Т-211
1921

НАУЧНО-МЕЛИОРАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ.

Н. Цветковой.

Г. К. РИЗЕНКАМПФ.

Профессор Политехнического Института в Ленинграде.
Директор Научно-Мелиорационного Института.

Воронеж
1924

ОСНОВЫ ИРРИГАЦИИ.

ТОМ ПЕРВЫЙ.

ЛЕНИНГРАД.
1925.

Перепечатка текста и чертежей
без разрешения автора воспрещается.

Постановление ЦИК и СНК СССР 30/I 1925 г.

Ленинградский Гублит № 17574. Тираж 3080 экз. - 7 5½ л.

2-я типография Транспечати НКПС имени тов. Лоханкова. Ул. Правды, 15.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Данный труд представляет из себя руководство по ирригационной технике; он предназначен для мелиораторов, имеющих гидротехническое образование. Для мелиораторов-агрономов настоящий труд может представить интерес в том случае, если бы они пожелали познакомиться поближе с принципами, методикой и техникой проектирования и сооружения ирригационных систем. Такое специальное назначение руководства требовало предпослания в самом его начале особой главы, дающей краткие сведения по структуре почв и по процессу питания растений, необходимые для изложения вопроса о режиме влаги в почве, так как многие техники, занимающиеся ирригацией, почти незнакомы с почвоведением и ботаникой.

Руководства по ирригации, как русские, так и иностранные, страдают, по моему мнению, одним крупным недостатком,—они не дают методов решения многих вопросов, вместо чего обычно приводится обширный цифровой материал, дающий некоторое представление о качественной и количественной стороне того или иного частного явления, протекающего в тех или иных местных условиях. Однако, на основании такого материала, между прочим весьма утомительного для читателя, невозможно в большинстве случаев решить конкретную задачу, стоящую перед проектирующим.

Несмотря на сжатость изложения, к которой я постоянно стремился в силу ограниченности имеющихся для издания средств, пришлось все-таки, благодаря обширности предмета, разбить весь труд—„Основы ирригации“ на два тома, выключив при этом из него все, что касается расчета и конструкций искусственных сооружений в особый третий том под заглавием: „Гидротехнические сооружения на ирригационных системах“.

На русском языке нет руководств, отвечающих современному состоянию ирригационной техники, иностранная же литература, особенно английская и англо-американская, богата и обширна, однако, и в ней остаются мало и даже совершенно незатронутыми многие важнейшие вопросы ирригационной техники; к таковым я отношу вопросы о методах установления

водооборота в системе, графика потребления воды системой, линии раздела между самотечным и машинным орошением, проектной схемы ирригационной системы, наиболее соответствующей рельефу предполагаемой к орошению местности, плана разбивки распределительной и мелкой сетей, схемы устройства головного участка холостой части магистрального канала, землеустройства орошаемых районов, а также вопрос о способах использования водной энергии на ирригационных системах и некоторые другие.

Не владея методами решения указанных задач, проектирующий может только ощупью и случайно составить технически рациональный и в то же время наиболее экономичный проект ирригационной системы, поэтому мне казалось совершенно необходимым в настоящем труде подвергнуть их анализу и дать способы решения. Таким образом, данное руководство включает в себе не только одну компилятивную проработку существующей русской и иностранной ирригационной литературы, но также и целый ряд оригинальных глав, новых учений и методов. Значительная часть последних была мною разработана еще в период 1913—1915 годов и затем всегда применялась мною, моими сотрудниками и учениками при составлении проектов орошения; в печатных журналах Технического Комитета Отдела Земельных Улучшений, посвященных составленному мною проекту орошения полумиллиона десятин Голодной степи, а также в двух моих работах („Мысли по методике проектирования ирригационных систем" и „Опыт создания теории водооборота") описаны в сжатом и в неполном виде способы разрешения некоторых из задач; но только в данном труде мне приходится впервые, на фоне общей трактовки ирригационной техники, давать методы решения всех вышеперечисленных вопросов.

Попутно с изложением, я полагал полезным устанавливать терминологию предмета в тех местах, где она отсутствовала, а также вводить некоторые новые понятия, облегчающие понимание работы ирригационной системы и технику проектирования. Наиболее существенные новые методы, способы, понятия и термины, введенные мною в данном труде, отмечены ниже по отдельным главам.

Глава V. Здесь я ввожу понятие о „постоянно-действующей" и „временно-действующей" ирригационных системах. Это разделение дает необходимую ясность в дальнейшем изложении. Временно-действующие ирригационные системы весьма сильно отличаются от постоянно-действующих, не только по характеру работы, но и по всей своей, если можно так выразиться, конструкции.

В существующих руководствах по ирригации обычно отсутствуют предварительное общее описание, хотя бы в сжатой форме, ирригационной системы, как единого водопередаточного и водораспределительного сооружения, расчленение его на отдельные элементы и краткое описание назначения каждого из элементов, между тем чрезвычайно важно дать возможность читателю, еще в самом начале, до приступа к изучению

отдельных элементов, получить общее представление о всей системе, а также о месте, которое занимает та или иная часть системы в целом; поэтому я полагал полезным ввести в курс особую главу, посвященную такому описанию, под заглавием: „Скелет ирригационной системы и основные ее элементы".

Глава VI, трактующая об основных типах рельефов и связанных с ними общих схем оросительных систем, является моей оригинальной работой, она дает ключ к решению вопроса о рациональных схемах орошения при различных рельефах.

Глава VII заполняет существующее как в ирригационной литературе так и в практике, отсутствие точной терминологии площадей орошения, а также отмечает необходимость отвода при проектировании и осуществлении ирригационных систем, части земельной площади под будущие населенные пункты.

Глава VIII трактует в оригинальном изложении вопрос о потреблении воды ирригационной системой из источника орошения и вопрос о гидромодуле. В ней даются способы построения графиков потребления и отдачи воды, впервые примененные мною еще в 1913 году при составлении проекта орошения Голодной степи.

Вводятся новые понятия о коэффициенте загрузки ирригационных систем и о шкалах вегетации.

В главе IX мною дается метод анализа рельефа предполагаемой к орошению площади при помощи „кривой характеристики рельефа", а также способ разделения всей площади на две зоны: низкую по рельефу, которую возможно орошать из самотечного канала, и высокую, для орошения которой выгоднее поднимать воду механическим путем. Здесь же мною дается метод разделения всей зоны, отведенной под машинное орошение на отдельные ярусы.

Из вновь вводимых мною понятий заслуживает внимания „кривая характеристики рельефа".

Глава X трактует о схемах землеустройства и организации жизни во вновь орошаемых районах и намечает главные этапы и ориентировочные вехи для мелиораторов в этой работе. В существующих курсах указанному вопросу совершенно не уделяется внимание, между тем, он является исключительно важным, так как ирригационная система должна проектироваться органически связанной с будущим устройством жизни и должна составлять правильную и хорошо сконструированную часть общего целого—оживления втуне лежащих засушливых земельных территорий.

Здесь же вводятся новые понятия о заселении орошаемых районов „полосами жизни" и о „единицах водопользования".

В главе XI—вся та часть, которая посвящена водообороту, является моей оригинальной работой. В ней я устанавливаю возможные типы водооборота, даю характеристику каждого из них, произвожу оценку различных способов разверстки воды по отдельным элементам системы при различных

типах водооборота, даю схему проектирования системы при принятом водообороте и привожу несколько примеров расчета.

Из новых понятий, вводимых мною, отмечу „такт работы распределителя", „размерность водооборота", „цикл водооборота", „хозяйственный ток", „характеристика водооборота", „главная характеристика водооборота".

Глава XII трактует в оригинальном изложении вопрос о головном участке и холостой части магистрального канала, а также о трассе рабочей части канала и его работе. Здесь, как будто бы, впервые мною вводятся схемы устройства головного участка канала, обеспечивающие отложение крупных наносов, удобную промывку, а также выгодное использование гидравлической энергии. В этой же главе я даю свой метод определения проектной величины возвышения бровки берм и дамб над уровнем воды в канале.

Глава XIII, в значительной своей части, является моей оригинальной работой. Здесь я устанавливаю общие требования, которым должна удовлетворять сеть, анализирую различные возможные типы разбивки сети, указываю на те изменения, которые следует вводить в разбивку распределительной и мелкой сети в связи с использованием гидравлической энергии, вновь, но более детально, останавливаюсь на понятиях „хозяйственного тока" и „единицы водопользования" и, наконец, даю свои методы проектирования оросителей и распределителей.

В главе XVI в оригинальном изложении трактуется вопрос о заболачивании орошаемого района и этим заполняется обычный пробел в существующих курсах по ирригации.

Из 292 чертежей, помещенных в первом томе, 99 заимствовано из различных источников; в прилагаемом перечне чертежей даны указания, откуда произведены позаимствования; остальные чертежи составлены мною.

Настоящий труд составлен и издан по поручению и на средства Средне-Азиатского Управления Водного Хозяйства. Он должен был быть выпущен еще в середине 1924 г., однако, целый ряд обстоятельств и значительно расширившаяся деятельность руководимого мною Научно-Мелиорационного Института не позволили мне в срок выполнить свои обязательства перед Средводхозом. Те же обстоятельства и, вместе с тем, желание, по возможности, ускорить выпуск в свет первого тома „Основ ирригации" побудили меня обратиться к моему старому сотруднику и товарищу по ирригационным работам, Илье Ивановичу Знаменскому, с просьбой взять на себя составление пятнадцатой главы—о мельчайшей сети и способах полива. Им она и написана.

Руководящему персоналу Средводхоза и, в частности, Михаилу Васильевичу Рыкунову, приношу свою глубокую признательность за то бесконечное долготерпение, которое ими было проявлено при, более чем годовой, задержке мною издания.

Заканчивая предисловие, считаю долгом выразить мою искреннюю благодарность профессору Б. Б. Полынову, сообщившему мне ценные сведения при составлении первой главы и инженеру путей сообщения И. А. Макашову за помощь при составлении примеров по водообороту. Инженеру-строителю П. Д. Глебову, оказавшему мне большую помощь при составлении таблиц и чертежей, при исполнении корректур и по ведению издания книги, я должен выразить особую благодарность. Он облегчил весьма существенно мне работу.

Г. Ризенкампф.

Ленинград. 1 июля 1925 года.

ОГЛАВЛЕНИЕ ПЕРВОГО ТОМА.

Глава I.—Структура почвы и связанный с нею режим влаги. Процесс питания растений и роль в нем воды (1—35 стр.).

Механический состав почвы (1). Структура и водные свойства почвы (5). Классификация почв (6) Почвы недостаточного увлажнения (7). Изменения, вносимые в почво-грунты деятельностью землероев (10). Виды влажности и величина запаса воды в почве (14). **Процесс питания растения и роль в нем воды (27**. Глубина простирания корней (33). Наиболее благоприятная величина влажности почвы для роста растений (34). **Литература (34).**

Глава II.—Изменение искусственными поливами естественных условий влажности почвы и произрастания растений (36—49 стр.).

Испарение воды листьями растений (36). Испарение почвенной влаги на орошаемых полях (38). Просачивание воды через почву (40). Поверхностный сток воды (45). Изменения вызываемые в почве орошением: физические изменения почвы (46); изменение химического состава почвы (48); влияние влажности почвы на микро-организмы (49); **Литература (49).**

Глава III.—Различные виды и цели орошения (50—54 стр.).

Увлажнительное орошение (50). Освежительное орошение (50). Удобрительное орошение (51). Отеплительное орошение (53). Смешанное орошение (53). Литература (54).

Глава IV.—Вода, как поливной материал (55—68 стр.).

Содержание солей (56): факторы, влияющие на предельную величину допускаемого содержания солей (57); предельная величина допускаемого содержания солей в поливной воде (58). **Взвешенные насосы (62). Источники орошения (63).**

Глава V.—Скелет ирригационной системы, основные элементы системы (69—89 стр.).

Постоянно действующая ирригационная система (69). Временно действующая ирригационная система (83). Литература (88).

Глава VI.—Основные типы рельефов и связанные с ними общие схемы оросительных систем (90—102 стр.).

Глава VII.—О площадях орошения (103—111 стр.).

Глава VIII.—Потребление воды ирригационной системой из источника орошения и отдача ее на поля орошения. Гидромодуль. (112—220 стр.).

Общие соображения (112). Распределение культур: проектное распределение (117); установление ежегодного распределения культур в действующей системе (120). **Фазы вегетации растений и сроки поливов (122). Нормы поливов:** Общие положения (131); главные результаты исследований и наблюдений по вопросу о количестве воды, потребном для орошения (133); об изменении поливных норм в существующих уже системах (150); нормы и сроки поливов, принятые в новых русских проектах орошения (151). **Построение главного графика полива или графика отдачи воды из ирригационной системы на поля орошения (151). Потери воды в ирригационной системе и коэффициент полезного действия:** виды потерь воды в системе и понятие о коэффициенте полезного действия системы (157); потери на фильтрацию через дно и откосы каналов и потери на всасывание (159); потери на испарение (167); потери в связи с недосмотром и неправильным учетом воды при распределении (167); потери в связи с необходимостью пропускать излишний расход для поддержания горизонта командования в каналах (167); коэффициент полезного действия (168). **Построение графика потребления в различных вариантах (175). Дополнительные потребности системы в воде (179):** мелиорация окрестностей (179); утилизация гидравлической энергии (180). **Коэффициент загрузки ирригационной системы (182). Установление расчетного графика потребления (184). Режим источника орошения, предъявляемые им требования к графику потребления и их взаимное согласование (186). Гидромодуль (199). Литература (219).**

Глава IX.—Установление линии раздела между самотечным и машинным орошением; определение на реке пункта, откуда вода может поступать самотеком и без подпруживающих сооружений в систему; разделение площади машинного орошения на отдельные ярусы (221—234 стр.).

Об установлении линии раздела между самотечным и „машинным" орошением (221). О разделении зоны, отведенной под машинное орошение, на отдельные ярусы (230).

Глава X.—Основные схемы землеустройства и организации жизни во вновь орошаемых районах (235—250 стр.).

Типы землеустройства и заселения: классификация и общая характеристика (236); хуторской тип (237); поселковый тип (239); заселение „полосами жизни" (240); план землеустройства, принятый в Канаде (246). Величина наделов (247). Отвод территории под города и населенные пункты. Скотопрогонные дороги (249). Литература (250).

Глава XI.—Водопользование: способ непрерывной подачи, способ подачи по требованию и водооборот (251—310 стр.).

Введение (251). Способ непрерывной подачи воды (253). Способ подачи воды по требованию (255). Водооборот (256): Определение, классификация (256); типы водооборота (257); характерные признаки отдельных типов водооборота (258); оценка различных способов разверстки воды по отдельным элементам системы при различных типах водооборота (279); схема проектирования (291); главная характеристика водооборота (297); пример установления водооборота (297). Особые методы подачи воды (308). Заключение (309). Литература (310).

Глава XII.—Магистральные каналы (311—386 стр.).

Введение (311). Головной участок магистрального канала (312). Холостая часть магистрального канала: общие соображения (324); случай проложения канала по пойме, затем по косогору, соединяющему пойму со степью (325); случай проложения канала в высоком берегу (326); особые случаи проложения канала (328); общие соображения к проектированию холостой части (338). Рабочая часть магистрального канала: конец холостой части (340); трасса канала (343); работа канала (349). Общие данные для проектирования и расчета магистрального канала (355): возвышение бровки берм (в выемке) и дамб (в насыпи) над уровнем воды в канале (359); ширина дамб по верху, внутренние и внешние откосы дамб, тело дамбы (369); ширина берм в полувыемке-полунасыпи (377); ширина берм и величина откосов (378); ширина полосы, оставляемой между урезом выемки и подошвой канальеров, высота канальеров (381); глубина резервов и ширина полосы, оставляемой между внешней бровкой дамбы и урезом резерва (383); радиусы и углы закругления каналов (383). Литература (385).

Глава XIII.—Распределительная и мелкая сеть (387—441 стр).

Общее (387). Разбивка распределительной и мелкой сети в плане: общие требования, которым должна удовлетворять сеть (389); типы разбивки сети (391); изменения, вносимые в разбивку распределительной и мелкой сети в связи с использованием гидравлической энергии (400). Хозяйственный ток и единица водопользования: хозяйственный ток (405); единица водопользования (407). Проектирование оросителей: общие соображения (409); установление расходов воды оросителя (412); установление горизонтов воды в оросителе (414); общие данные для проектирования и расчета оросителей (416); типы поперечных сечений, ширина оросителя и глубина наполнения (417); коэффициент шероховатости (421); предельные скорости (423); превышение дамб над горизонтом воды (424); ширина дамб по верху, внутренние и внешние откосы (424); резервы и канальеры (425); полосы отчуждения под каналы мелкой сети (425). Бетонирование оросителей (427). Проектирование распределителей: работа распределителя (428); расход распределителя (432); установление требуемых горизонтов воды в распределителях (437); дальнейший ход проектирования распределителя (438); резервы и канальеры (439); полосы отчуждения под каналы мелкой сети (441). Литература (441).

Глава XIV.—Содержание и ремонт каналов различного порядка, входящих в ирригационную систему (442—464 стр.).

Задачи эксплоатационного штата (442). О впуске воды в канал и выпуске ее из него (443). О защите каналов от переполнения и перелива через дамбы (444). О борьбе с размывом отдельных участков канала (444). О борьбе с растительностью в каналах (446). О борьбе с землеройными животными (451). О защите каналов, проложенных в легких, подверженных выдуванию, грунтах (454). Об искусственном заилении канала для уменьшения фильтрации (455). Об удалении излишних наносов, отложившихся в каналах (457). О содержании бетонированных каналов (458). Организация скорой помощи при прорывах дамб (460). Литература (464).

Глава XV.—Мельчайшая сеть и способы полива (465—544 стр.).

Мельчайшая сеть (465). Общее (465). Описание работы мельчайшей сети и производства поливов. Терминология предмета (466). Общие требования, которым должна удовлетворять мельчайшая сеть (470). Общий ход проектирования мельчайшей сети (472). Разбивка сети в плане (474). Расчет канав поливной сети (478). Водосборная хозяйственная сеть (480). Сбросная хозяйственная сеть (480). Стоимость работ по устройству мельчайшей сети (483). Сооружения на мельчайшей сети (484). Поливная сеть из трубопроводов (486).

Способы полива (488). Общее (488). Общая характеристика различных способов полива (490). Выбор способа полива и его отдельных элементов (491). Работы на поселенческом участке, связанные с орошением его (495). **Группа первая. Поливы затоплением (499).** Поливы напуском (499). Полив затопляемыми площадками (513). **Группа вторая. Поливы канавками (520).** Полив бороздами (520). Сравнение бороздного полива с поливом затоплением (530). Полив мелкими бороздами (533). Полив джоками (533). Подпочвенное орошение (539). **Литература (543).**

Глава XVI.—Общие задачи водоотводной сети. Заболачивание и засоление почв. Схема мероприятий по предупреждению этих явлений (545—559 стр.).

Общие задачи водоотводной сети (545). Заболачивание (546). Фильтрация из водоприводящих каналов (547). Фильтрация из реки (553). Фильтрация через толщу почвы орошаемых полей (555). Фильтрация дренажных вод, а также сбросы поверхностных вод с вышележащих участков (556). **Общая схема мероприятий по предупреждению от заболачивания (558). Естественные засоленные почвы. Засоление почв, как следствие орошения (564).** Общие понятия (564). Классификация засоленных земель (566). Передвижение солей в почво-грунтах (570). Влияние на растения вредных (непитательных) солей почвы (576). **Общая схема мероприятий по предупреждению засоления орошаемых земель и по уменьшению содержания вредных солей в почве.** Мероприятия по ликвидации постоянно действующих и опасных по своей интенсивности источников засоления (581). Способы улучшения солончаковой почвы (584). Способы улучшения солонцовой почвы (592). **Литература (596).**

Список чертежей (597).

КРАТКОЕ ОГЛАВЛЕНИЕ ВТОРОГО ТОМА.

Глава XVII.—Дренажная, водосборная и сбросная сеть.

Глава XVIII.—Перенесение и отложение наносов в ирригационной системе. Мероприятия по борьбе с вредными сторонами этого явления.

Глава XIX.—Гидравлические расчеты каналов (магистральных, распределителей, оросителей, водосборных и сбросных). Фильтрация воды через смоченную поверхность каналов.

Глава XX.—Временно действующие ирригационные системы. Бассейны наводнения и лиманное орошение.

Глава XXI.—Орошение дождеванием. Современные дождевые ирригационные устройства. Полунапорные ирригационные системы.

Глава XXII.—Кальматаж.

Глава XXIII.—Состав ирригационных изысканий и проекта. Методы производства изысканий и составления проекта.

Глава XXIV.—Организация эксплоатации ирригационных систем.

Глава I.

Структура почвы и связанный с нею режим влаги. Процесс питания растений и роль воды в нем.

Механический состав почвы. Почвенная масса представляет собою комплекс механических элементов (частиц) самой разнообразной величины. В ней можно встретить обломки горных пород и минералов, величиною в несколько сантиметров и даже дециметров, и мельчайшие частицы, измеряемые десятыми, сотыми и даже тысячными долями миллиметра; нередко присутствие в почвах и частиц, находящихся в коллоидном распылении [1]), т. е. измеряемых уже микронами и долями микронов. При помощи механического анализа можно разбить почвенную пробу на составляющие ее механические элементы. Если рассортировать эти элементы по величине по отдельным фракциям, можно получить картину механического состава исследуемой почвы. Существует много классификаций механических элементов почвы; приведем одну из них, а именно, Аттерберга (Atterberg, A.— шведский почвовед), выгодно отличающуюся от остальных тем, что в ней основанием для разделения на отдельные классы служат физические признаки существенной важности.

Хрящ	диаметр частиц более 3 мм. Частицы обладают ничтожной капиллярностью.
Песок	диаметр частиц между 3 мм. и 0,3 мм. Частицы обладают уже заметной капиллярностью, при чем частицами диаметром в 0,3 мм. определяется граница водопроводимости.

[1]) Коллоидное состояние—это общевозможное состояние материи. Каждое вещество, в сущности говоря, можно перевести в коллоидное состояние, то-есть в распыленное, в мельчайше-раздробленное состояние. Таким образом, коллоиды представляют дисперсную, рассеянную, распыленную систему материи. Степень распыленности, раздробленности колеблется для типических случаев в пределах от 0,0001 до 0,000001 мм. (величина диаметра отдельных частичек материи). Частички эти не видны в микроскоп и проходят через фильтры. Они не диффундируют и не диализируют. От вещества, находящегося в молекулярно-распыленном состоянии к коллоидам и от коллоидов к веществу, находящемуся в грубо-дисперсном состоянии (то-есть состоянии грубого раздробления) имеется непрерывный переход.

Песчаная пыль . диаметр частиц между 0,3—0,03 мм. Частицы обладают хорошо выраженной капиллярностью. Частицами диаметром в 0,03 мм. определяется предел коагуляции.

Ил. . . . . диаметр частиц между 0,03 — 0,003 мм. Частицы обладают очень высокой капиллярностью. Частицы диаметром 0,003 мм. представляют предел Броуновского движения.

Ил, с диаметром частиц меньше 0,003 мм., обнаруживает уже свойства коллоидов и называется коллоидным.

Частицы меньше 0,003 мм. образуют механическую глину.

Почва называется глинистой, если содержание механической глины в ней $> 80\%$.

„ „ суглинистой, когда механической глины $> 50\%$ и $< 80\%$.

„ „ легко-суглинистой, когда механической глины $> 30\%$ и $< 50\%$.

„ „ супесчаной, когда механической глины $> 10\%$ и $< 30\%$.

„ „ песчаной, когда механической глины $< 10\%$.

Часто встречаются почвы, в составе которых механическая глина не превышает 30%, но в то же время они обнаруживают ничтожное содержание песка. Их остальная часть почти исключительно слагается частицами пыли, т. е. такими, размеры которых находятся в пределах от 0,3 до 0,03 мм. Такая почва называется лессовидным суглинком.

Предельные размеры частиц, при которых почва еще может быть плодородной, определяются 1—3 мм. в диаметре. Тончайшие частицы имеют около 0,00001 мм. в диаметре. Большинство частиц в обычной почве имеет размеры промежуточные между двумя указанными пределами. Если бы почва состояла сплошь из крупнейших частиц, то в одном куб. сант. почвы находилось бы 745 штук, а, если бы, наоборот—из мельчайших частиц, то в том же объеме (1 куб. сант.) число частиц возросло бы до 1.000.000.000.000. Фактически почва состоит из частиц разнообразной величины (между указанными пределами), залегающих в почве в самых разнообразных сочетаниях. С точки зрения сельского хозяйства наибольший интерес представляет величина общей поверхности почвенных частиц, ибо вода, попадающая в почву обволакивает частицы и чем больше поверхность частиц почвы, заключенных в единице объема, тем больше почва может удержать в себе влаги, а, следовательно, тем больше корни растений могут ее получить. Один грамм почвы, состоящей из зерен диаметром в 3 мм. имеет общую поверхность частиц, в нем содержащихся, равную приблизительно 22 кв. сант. Тот же фунт почвы, состоящей только из мельчайших частиц (0,00001 мм. в диаметре), обладает общей поверхностью частиц почти в 222.000 кв. сант.

В последнее время (в период 1918—1923 годов) в Германии произведена большая работа по установлению признаков, по которым можно было бы, при помощи простого механического анализа, охарактеризовать каждый тип раздельно-зернистых почв с точки зрения культуртехники (Исследования Krüger'a, Fauser'a, Zunker'a и др.). Эти исследования интересны для каждого мелиоратора, поэтому приводим основные выводы названных работ.

Обычное подразделение почв, приведенное выше, основано на ощущаемой разнице в величине частиц почвы и в степени связности их между собою. Связность частиц (зерен) почвы определяется силами сцепления. Последние зависят от числа точек соприкасания между зернами в единице объема, а, следовательно, и от числа и величины зерен в единице объема. А так как число зерен и величина их вполне определяют и величину суммарной поверхности всех зерен, то числовым мерилом для подразделения почв по отдельным типам может явиться суммарная поверхность зерен в единице объема (Zunker). Между тем, величина общей поверхности почвенных частиц, содержащихся в единице объема почвы, определяет собою водоудерживающую способность почвы, ее водопоглощение и водопроницаемость, то-есть то, что в большинстве случаев необходимо знать для установления правильных мероприятий по мелиорации почвы. Взаимоотношение между поверхностью зерен и водопроницаемостью выразил Крюгер (Krüger, E.) эмпирической формулой:

$$\mathfrak{v} = \frac{J}{\eta} \cdot \frac{P}{S^2}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

где

$\mathfrak{v}$ — скорость просачивания,

J — гидравлический градиент,

P — объем всех пор единицы объема почвы,

S — общая поверхность всех почвенных частиц (зерен), заключенных в единице объема.

η — коэффициент.

Теоретическим путем и опытами со стеклянными шариками Цункеру (Zunker) удалось доказать, что формула Крюгера вполне может претендовать на признание ее правильной, насколько она выражает, что проницаемость, при одинаковом объеме пор, обратно пропорциональна квадрату суммы поверхностей зерен в единице объема. Таким образом, сумма поверхностей зерен почвы является мерилом не только при определении силы сцепления, но также и при определении водопроницаемости почвы. В одном грамме сухой массы почвы общая поверхность всех зерен — S при равновеликих шарообразных зернах, равна:

$$S = \frac{60}{\rho} \cdot \frac{1}{d} \text{ кв. см.} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

где ρ = удельному весу,

d = диаметру зерен в мм.

При зернах разной величины

$$S = \frac{60}{\rho} \cdot \left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \frac{g_3}{d_3} + \cdot \cdot \cdot \cdot \frac{g_n}{d_n} \right) \quad \ldots \quad (3)$$

где d_1, d_2, d_3, . . . d_n диаметры зерен, а

g_1, g_2, g_3, . . . g_n веса отдельных групп зерен, с одинаковым диаметром, составляющих в сумме один грамм.

Если положить:

$$\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \frac{g_3}{d_3} + \cdot \cdot \frac{g_n}{d_n} = \frac{1}{d_w},$$

то d_w можно назвать действующим (приведенным) диаметром зерен зерновой (почвенной) смеси (der wirksame Korndurchmesser eines Korngemisches); почвенная смесь, состоящая из одинаковых зерен с диаметром d_w, даст такую же величину сумарной поверхности и теоретически, при одинаковом объеме пор, такую же водопроницаемость, как и смесь зерен различных диаметров.

Величину, обратную приведенному диаметру зерен, т. е.

$$\frac{1}{d_w} = u,$$

Цункер называет удельной поверхностью (spezifische Oberfläche).

Между действительной общей поверхностью всех частиц (зерен), заключенных в 1 грамме сухой почвы и удельной поверхностью, на основании предыдущего, должно существовать соотношение:

$$S = \frac{60}{\rho} \cdot \text{ и кв. см.} \quad \ldots \quad (4)$$

Совершенно так же, как введение понятия об удельном весе, удельной проводимости и т. п. оказалось продуктивнее, чем абсолютные величины, которые, в конце концов, тоже имеют лишь относительное значение, введение понятия об удельной поверхности, целесообразнее, чем оперирование с действительной поверхностью частиц почвы. Введение понятия „удельная поверхность" даст, по мнению названных ученых, возможность установить простые зависимости между родом почвы и мелиоративными мероприятиями. Способом отстаивания Цункер определил удельную поверхность целого ряда почв и составил помещенную ниже таблицу.

ТАБЛИЦА 1.

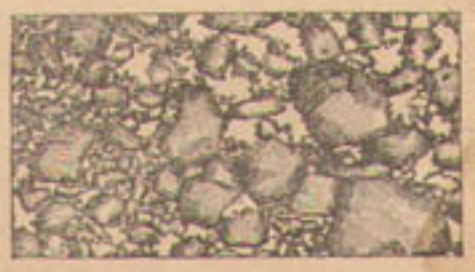
№№ по порядку.	Род почвы.	Удельная поверхность.
1	Плотные глины	> 1.000
2	Обыкновенные глины	1.000—730
3	Тяжелые суглинки	730—510
4	Обыкновенные суглинки	510—340
5	Легкие суглинки	340—130
6	Супеси	130— 30
7	Пески	< 30
8	Песок при величине зерен в 1 мм.	1

Подставляя из формулы (4) выражение для S в формулу (1), получим:

$$\mathfrak{B} = \frac{J \,.\, P \,.\, \rho^2}{\eta \,.\, 3600 \,.\, u^2} \quad ^1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Если предположить, что этот закон, доказанный для песчаной почвы, действителен и для глинистой, то в песчаной почве, с зернами диаметром в 1 мм., скорость просачивания окажется примерно в миллион раз больше, чем в плотной глинистой почве. Пользуясь понятием удельной поверхности, вышеприведенными формулами, а также механическим анализом почвы, германские ученые устанавливают целый ряд математических соотношений, например—расстояние между дренами для осушения различных почв, зависимость между удельной поверхностью и водопоглощательной способностью или капиллярной высотой подъема воды в различных почвах и проч.

Структура и водные свойства почвы. Современная наука о почвах различает два основных типа строения почвы: бесструктурное и структурное. Под первым понимают такое строение почвы, когда ее механические элементы, слагая ее, залегают в виде сплошной сыпучей массы, представляя более или менее однородную раздельно-зернистую смесь, при чем частицы почвы (ея первичные элементы) не входят в какие бы то ни было особые взаимоотношения между собою. В раздельно-зернистой почве, как показывает и само название, отдельные механические элементы (частицы) залегают в ближайшем между собою соприкосновении, какое допускает форма частиц этих элементов. Поры между элементами представляются в виде криволинейных трубок различной величины, в зависимости от размеров частиц почвенной смеси и от степени уплотнения почвенной массы. Эти трубки имеют капиллярные размеры въ мелкозернистых плотных почвах, с диаметром частиц меньше 0,3 милиметра; в таких почвах вода будет передвигаться по законам капиллярности. В почвах же крупно-зернистых поры между элементами превращаются в некапиллярные полости, через которые вода может свободно просачиваться.



Черт. 1. Схема раздельно-зернистого строения почвы.

Почвы называются структурными, если первичные элементы их тесно связаны между собою в особые отдельности, как бы в комки. Структура почвы может быть весьма разнообразной: она может быть пороховидной, ореховатой, слоистой или пластинчатой, линзовидной или чечевитчатой, призматической или столбчатой, ячеистой. Одна и та же почва может обладать в различных горизонтах неодинаковой структурой, например,

---

[1]) Выражение для $\mathfrak{B}$ в формулах (1) и (5) нуждается в поправочном множителе на температуру; см. главу XIII.

верхние горизонты могут быть слоистыми, а более глубокие ореховатыми или столбчатыми или верхние горизонты могут быть зернистыми, средние ореховатыми, а нижние—призматическими. В структурных почвах вообще говоря, могут встречаться:

а) широкие (некапиллярные) полости (между отдельными комками), составляющие одну сплошную сеть, равномерно пронизывающую всю толщу структурного горизонта почвы;
б) грубокапиллярные поры между комками на поверхности соприкосновения их между собою;
в) капиллярные поры различной величины, пронизывающие отдельные комки, представляющие из себя плотные зернистые массы.

Вода (атмосферная или поливная), доставленная на поверхность такой почвы, встретит сразу широкие промежутки между комками и по этим промежуткам она проникнет бесчисленными микроскопическими потоками в глубину почвы, смачивая по пути поверхность всех встреченных комков. Последние, при помощи пронизывающих их капилляров, будут впитывать смачивающую их воду. Таким образом, струи, проникающие в комковатую почву, будут немедленно рассасываться по комкам почвы, при чем напитывание комков должно быть полным, ибо только после полного насыщения всех волосных промежутков почвы, вода будет заполнять некапиллярные полости между комками на нижней границе комковатого горизонта и подстилающей его почвы иной структуры или материнской породы.

Образование почвы является сложным физико-химико-биологическим процессом, протекающим далеко не однородно в различных местах земной поверхности, в зависимости от различных комбинаций агентов, влияющих на почвообразование: климата, растительности, рельефа местности, материнских пород, животного мира и микроорганизмов. В процессе почвообразования надо различать три стороны: 1) разложение органических остатков (отмерших растений), ведущее к образованию органической составной части почвы (почвенного гумуса или перегноя), 2) механический и химический распад минеральных соединений материнских пород и 3) образование новых соединений из продуктов разложения и распада и при том таких, которые и по своему составу и по свойствам отличаются от соединений характерных для горных пород вообще.

Классификация почв. Многообразие почвенных типов и их разностей побуждало стремиться к созданию почвенной классификации, которая дала бы возможность представить в сжатом концентрированном виде совокупность наших знаний о почвенных типах. В последних по времени почвенных классификациях (Высоцкого, Сибирцева, Костычева, Глинки) степень увлажнения почвы принимается за главнейший классификационный признак. Этим подчеркивается, что названный фактор является чрезвычайно существенным и характерным условием почвообразо-

вания. В результате анализа и критики прежних (появившихся до 1915 года) почвенных классификаций и в соответствии с относительным количеством влаги, поступающей в различных областях земного шара на поверхностные горизонты земной коры, Глинка разделяет все почвы, в которых резко и определенно выражено влияние внешних факторов почвообразования, на следующие шесть классов:

1 класс. Почвы оптимального увлажнения.
- Латериты.
- Краснозем.
- Желтоземы.

2 класс. Почвы среднего увлажнения.
- Подзолистые почвы.
- Лесные суглинки и др. вторичные подзолистые почвы.
- Деградированный чернозем.

3 класс. Почвы умеренного увлажнения.
- Чернозем (и регур?).
- Черноземовидные почвы.

4 класс. Почвы недостаточного увлажнения.
- Каштановые почвы.
- Бурые.
- Сероземы.
- Красноцветные почвы.

5 класс. Почвы избыточного увлажнения.
- Болотные почвы (торфяные и иловатые).
- Горнолуговые почвы.
- Торфяные почвы тундр и горных вершин.

6 класс. Почвы временно избыточного увлажнения.
- Солонцы.
- Солончаки и корки пустынь.
- Солонцеватые и солончаковатые почвы.

Все таки и приведенная классификация несвободна от неясностей и неопределенности (например, являются вопросы, какими нормами влажности определяется каждый класс, как влияет на почвообразование различный ход температуры при одной и той же влажности и ряд других), однако, сам Глинка оговаривается, что на предлагаемую им классификацию надо смотреть, как на краткую и предварительную схему; как таковая она, конечно, может быть принята, а с точки зрения мелиоратора даже признана удобной.

Почвы недостаточного увлажнения. Наибольший интерес представляют для нас почвы недостаточного увлажнения (4 класс), то-есть, почвы сухих и полупустынных степей и пустынь, где комплекс естественно-исторических и, главным образом, климатических факторов, особенно требует применения

искусственного орошения. Высокая температура в течение продолжительного лета, короткая весна и чрезвычайная сухость воздуха, обусловливают резко выраженное испарение. Главная масса атмосферных осадков выпадает в этих районах в течение зимы. Незначительные летние осадки выпадают очень редко и ввиде коротких дождей, влага которых не успевает проникнуть в достаточной мере в почву. Влага же, проникшая в почву, вследствие ярко выраженных условий испарения, быстро теряется почвою и в течение всего длинного лета почва этой зоны отличается настолько большою сухостью, что, обычные в средних широтах, растения с короткими корнями не могут существовать и отмирают вскоре после весенних эфемеров; подземные остатки растительности оказываются окруженными средою с ярко выраженными аэробными условиями. Кроме того, растительность здесь, вследствие недостатка влаги, не развивается в такой степени, как в черноземной степи, почему почвы накопляют меньше гумуса, количество которого в Европейской и Азиатской России колеблется, более или менее правильно уменьшаясь по мере движения на юг. Благодаря этому в более северных разностях этих почв еще резко заметно различие в окраске гумусовых или подгумусовых горизонтов, а в более южных она подмечается нередко с трудом, и для того, чтобы почва могла быть плодородной, этот недостаток растительного гумуса должен быть в некоторых случаях пополнен. Почвы этой группы не обнаруживают обычно определенной структуры во всей толще своих гумусовых горизонтов или структура подмечается только в самом поверхностном горизонте небольшой мощности.

Все области с малым количеством атмосферных осадков и высоким испарением богаты солями и, чем суше область, тем ближе к поверхности скопляются эти соли. В этом заключается существеннейшее различие почв безводных местностей от сырых. В сырых районах обилие влаги в почве стремится выщелочить растворимые ингредиенты почвы, при этом, чем легче растворимы ее минеральные соединения, тем скорее они выщелачиваются, выносятся из почвы в грунтовые воды или в глубокие горизонты. В сухих же районах, наоборот, недостаток атмосферных осадков, короткие и слабые дожди, не могут создать усиленного движения почвенной влаги от поверхности почвы в глубь и процесс выщелачивания становится слабее. Очевидно, чем суше область, тем меньшее количество минеральных соединений может быть вымыто из почвы, и, следовательно, такие почвы должны содержать гораздо большие проценты различных солей калия, натрия и магния, так же, как и менее растворимых фосфатов, большинство которых служит ценной пищей для растений. Таким образом, недостаток влаги имеет свое преимущество в удержании в почве растворимых соединений, сохраняя питание для растений. Однако, иногда, некоторые из веществ встречаются в таком изобилии, что оказываются вредными для жизни растений. Это особенно относится к натровым солям (углекислые, хлористые и серно-кислые соединения натрия). Наиболее опасной солью является углекислый натр (сода) Na_2CO_3. Присутствие ее, даже в самых

незначительных количествах, приносит вред культурным растениям. Она имеет едкие свойства и в присутствии органических веществ почва принимает темно-коричневую окраску (черные солонцы). Присутствие в почве, в зоне распространения корневой системы, солей Na_2CO_3 в количестве 0,1% уже пагубно действует на рост наиболее полезных растений; для получения хорошего урожая, содержание этих солей должно быть много меньше. Следующей по вредности является поваренная соль—NaCl, а затем глауберовая соль—Na_2SO_4. Можно принять в грубом приближении, что опасными пределами содержания названных солей являются:

для соды, (Na_2CO_3) 0,1%
для поваренной соли, (NaCl) . . 0,5%
для глауберовой соли, (Na_2SO_4) . 1,0%

По степени растворимости щелочные и щелочноземельные соединения, имеющие существенное влияние на почвенные процессы, можно расположить в следующем порядке: Na_2CO_3, NaCl, Na_2SO_4, $CaSO_4$, $CaCO_3$. Прежде всего растворяется и вымывается Na_2CO_3, затем NaCl и Na_2SO_4, потом $CaSO_4$ и, наконец, $CaCO_3$. Поэтому, переходя постепенно из сырых районов в сухие, мы встретим:

1. Грунты совершенно выщелоченные, лишенные всех вышеперечисленных солей.

2. Грунты, в которых с некоторой глубины замечается присутствие углекислой извести ($CaCO_3$) и нет, или почти нет других солей.

3. Грунты, в которых с некоторой глубины, кроме $CaCO_3$, встречается гипс ($CaSO_4$).

4. Грунты, пропитанные $CaCO_3$, $CaSO_4$, NaCl и т. д.

Действительно, уже по северным окраинам степных областей умеренного увлажнения, в глубоких горизонтах почвы, встречается углекислая известь ($CaCO_3$). В степных почвах к углекислой извести начинает прибавляться гипс ($CaSO_4$), а по котловинам появляются еще более растворимые соли (NaCl, Na_2SO_4). В пустынных степях угле-соли и гипс начинают приближаться к поверхности. В то же время по котловинам чаще и в больших количествах скопляются поваренная соль, глауберовая соль и сода (NaCl, Na_2SO_4, Na_2CO_3).

Таким образом, в почво-грунтах сухих районов всегда имеются в некоторых горизонтах скопления углеизвестковых солей ($CaCO_3$) и гипса (Na_2SO_4). Эти почвенные горизонты принято называть: а) горизонтом скопления углеизвестковой соли и б) гипсовым горизонтом.

Гипсовый горизонт почв сухих районов может иногда совпадать с горизонтом скопления углеизвестковой соли, обычно же они существуют раздельно. Кроме того, следует отметить, что в некоторых случаях встречается особый, практически водонепроницаемый почвенный горизонт, так называемый, хардпен (hardpan—термин с.-американских почвоведов).

Присутствие в почве хардпена весьма существенно влияет на водный режим почвы, как до орошения, так и после, ибо верхние слои почвы изолируются от влияния нижних и грунтовой воды. В условиях искусственного орошения, наличие водонепроницаемого пласта может создать второй „висячий" горизонт грунтовых вод.

Схема образования хардпена в освещении русских почвоведов (Гедройц, К. К.) может быть представлена так: в почвах сухих степей, и в частности в верхних ее горизонтах, как уже указывалось выше, находятся (до вымывания) соли $CaCO_3$, Na_2SO_4 и NaCl. Легко растворимые соли Na_2SO_4 и NaCl переносятся водой, попадающей в почву и вмываются в более глубокий горизонт. Во время переноса, некоторая часть катионов этих солей (т. е. натр) удерживается почвенными коллоидами так, что в верхнем почвенном горизонте будут находиться (коллоид + Na) и $CaCO_3$, в нижнем же горизонте—остальные соли — Na_2SO_4 и NaCl.

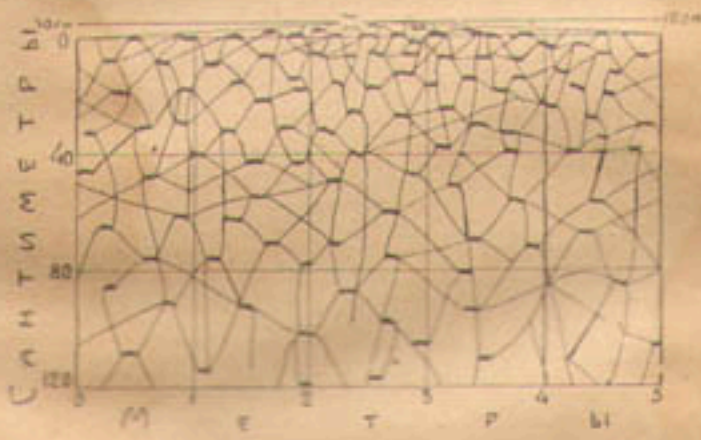
С этого момента дождевая вода, циркулирующая в верхнем горизонте, содержит в себе исключительно или преимущественно углекислую известь. Она вступает во взаимодействие с натром, поглощенным коллоидами. Известь (Ca) вытесняет его и становится на его место, а натр связывается с углекислотой, образуя соду. Процесс протекает по уравнению $(\text{коллоид}+\text{Na})+CaCO_3=(\text{коллоид}+\text{Ca})+Na_2CO_3$. Образование в верхнем горизонте соды обусловливает щелочную реакцию среды. При этих условиях коллоиды приобретают подвижность и легко рассеиваются в растворах в форме тонких суспензий. Поэтому просачивающиеся растворы начинают переносить их тоже вглубь. Но как только такой раствор достигнет горизонта, где скопились Na_2SO_4 и NaCl, т. е. электролиты, коллоиды сворачиваются, выпадают из раствора и естественно уменьшают величину пор. В дальнейшем поры становятся настолько мелкими, что не пропускают и коллоидальных суспензий—предел просачивания которых в глубину уменьшается и, таким образом, над горизонтом скопления щелочных солей образуется скопление коллоидальных частиц—это и есть хардпен. Проявления его многообразны по форме, но во всех случаях он практически непроницаем для воды.

Изменения, вносимые в почво-грунты деятельностью землероев. Выше была описана схема, как бы, первоначального строения почвогрунтов сухих районов. В нее вносят существенное изменение разнообразные животные и насекомые, населяющие почву, роющиеся в ней и подчас питающиеся ею. Разрыхляя почву, проделывая различной ширины ходы и камеры, выбрасывая землю на поверхность, они облегчают доступ воде и воздуху в глубину почво-грунтов. Оставляя в норах остатки пищи, извержения и свои трупы, они увеличивают количество органических веществ, из которых может созидаться почвенный гумус. Деятельность землероев, т. е. сусликов, черепах, змей, муравьев, червей, термитов, фаланг, скорпионов и других, превращает, в конце концов, плотный почво-грунт в губчато-ноздреватую массу, иногда на большую глубину и вносит изменения в его физические и химические свойства. Местами землерои, населяющие

почву, скопляются в больших количествах и производят большую работу, так что, если учесть все ходы и кучки, вырытые и выброшенные ими, то количество свободных от их деятельности площадок на поверхности почвы, а также в нижележащих слоях, оказалось бы весьма незначительным.

С указанным явлением необходимо считаться, как при проектировании, так и при постройке отдельных гидротехнических сооружений и всей сети, ибо, в результате губчатого строения почво-грунта, после пуска воды по каналам, через сооружения и после полива водой поверхности земли, вся местность может осесть и при том в разной степени. Вместе с этим изменятся рельеф орошаемой территории, горизонты командования в каналах и высотное положение сооружений. В некоторых случаях местность оседает на 0,20—0,30 саж. и более, в каналах образуются провалы и т. п. Таким образом, необходимость для мелиоратора изучения и учета данного явления очевидна. Для иллюстрации деятельности землероев ниже описывается работа одного из них—термита, весьма распространенного, как выяснили исследования Димо, Н. А., в Туркестанских степях.

Жилище термитов (термитник) представляет сочетание значительного количества камер и ходов, прорытых в почво-грунте. Преобладающие размеры камер, в условиях Голодной степи, оказались: длина 5 сантиметров, высота 0,6—07 см., ширина 5—7 см.; ходы в среднем имеют диаметр 0,6—0,7 см. Стенки камер очень плотные, с внутренней стороны сильно сглажены и выложены темно-бурой землистой пленкой с большим количеством органических веществ. В стенках камер, а также многих ходов разбросаны жилки и пятнышки солевых скоплений. Наибольшее количество камер и ходов сосредоточено в верхней и центральной части термитника; к периферии и к низу их количество уменьшается. Это уменьшение количества камер и ходов отчетливо выступает на чертеже 2, даваемом Димо (зарисованном с натуры), на котором изображены все, встретившиеся в вертикальном разрезе через центр термитника, камеры и ходы.



Черт. 2. Расположение главных камер и ходов в термитнике (зарисовано с натуры Н. А. Димо).

Для своих строительных целей термиты постоянно переносят комочки влажной почвы из глубины, где почва насыщена водой, в верхние слои. Этими мокрыми комочками они изолируют ходы и камеры от проникновения света и наружного воздуха. Таким образом, почва и грунт для строительных целей термитов могут быть пригодны только при определенном состоянии влажности, когда они легко разминаются, отрываются и хорошо склеиваются. В пустынных и полупустынных районах такие усло-

вия влажности имеются вблизи уровня грунтовых вод, в грунтовом слое, обильно увлажненном капиллярным подъемом воды (в лессовом грунте влажный слой имеет высоту 2—2,5—3 метра над горизонтом грунтовых вод). В поисках за водою термиты опускаются почти до уровня грунтовой воды. С увеличением глубины залегания последних, наростает и та часть толщи грунта, в которой можно встретить ходы и другие следы деятельности термитов. Встречаясь на всех глубинах, между поверхностью земли и уровнем грунтовых вод, термитные камеры и ходы представляют сложнейшую сеть каналов и труб, по которым почва и грунт становятся более доступными влиянию атмосферы и других поверхностных элементов почвообразования и выветривания. Термиты, перенося с больших глубин частицы грунтов и растворов, в них заключающихся, концентрируя в своих жилищах и распределяя по поверхности почвы эти элементы глубоких частей грунта, сообщают верхним частям почво-грунтов многие черты и свойства глубоких их горизонтов. Площадь, занятая термитниками, по исследованиям того же Димо, оказалась равной в условиях Голодной степи в среднем 6,33% от всей площади, при колебании от $12^1/_2$% до 2% и до полного отсутствия. Совершенно лишены термитников солончаки и такие солончаковые почвы, в которых уровень грунтовых вод залегает не глубже — 2,5 метров. Порозность почво-грунтов под влиянием деятельности термитов увеличивается на 5—6% (Голодная степь. Димо). Чередование крупных пустот и сильно уплотненных участков, встречающееся в термитниках, замедляет капиллярные явления и ослабляет процесс высыхания. Температура термитников обычно весною и осенью на несколько градусов (3—4) выше почв окружающей равнины. Влагоемкость их, благодаря обилию крупных полостей и ходов, ниже влагоемкости соседних почв.

Активный вынос комочков грунта и воды с больших глубин в поверхностные слои и на поверхность почв вносит изменение в их состав, ввиду того, что, в областях распространения термитов, грунтовые воды сильно минерализованы, почвы же и грунты мало содержат воднорастворимых солей в верхних слоях (за исключением солончаков), в более же глубоких—залегание их находится в прямом отношении к глубине грунтовых вод, а количество солей—в обратном. Анализы Димо установили, что при ничтожном содержании воднорастворимых солей в светлоземах, едва достигающем 0,06% до глубины 1,5 метра, рядом расположенные термитники являются солевыми фокусами, в которых сконцентрировано свыше 1,3% солей, то-есть в 22 раза больше. Работа термитов в почвах и в грунтах не может не влиять на гидрологические условия местности. Крупные ходы, пронизывающие грунт до глубины залегания воды, представляют закрытые сверху вертикальные и наклонные трубы, по которым при благоприятных условиях может совершаться сток поверхностных вод в глубокие слои грунта.

С момента приобщения пустынных равнин к культуре при помощи орошения, с совершенно иным режимом влажноети и с интенсивной обработкой, жизнь животного населения почв нарушается, а также изменяются

резко свойства почво-грунтов. Подробные наблюдения Димо на контакте земель орошенных и неорошенных и внутри орошенных первый год площадей, показали (приводим далее его слова) „что влияние инфильтрации из каналов и случайных затоплений при прорывах отражается не только на изменении влажности почв и грунтов. Насыщенные водою грунты и почвы Голодной степи приобретают особую зыбучесть, способность к превращению в те состояния, которые называются „плывунами", к очень большому оседанию. При затоплении поверхности водой и оседании верхних слоев почвы и грунтов образуются многочисленные трещины; термитники, как фокусы наибольшего объема и скважности массы, оседают более всего,—проникающая в них вода убивает население, и с этого момента жизнь термитника прекращается. В полосах неорошенной равнины, подвергающихся действию инфильтрации или случайных разливов при прорывах каналов, термитные холмики и места их нахождения как бы проявляются и становятся весьма резко заметными. Если бы термитники представляли, как и окружающие почвы, незасоленные до больших глубин субстраты, то изменение режима влажности и переход его в местах инфильтрации к состоянию сильно увлажненных и насыщенных почв и грунтов сказывалось бы только на растительности, на разрушении термитников и проч. Однако, иной характер химизма термитников: их богатство гипсом и другими водорастворимыми солями, при отмеченных условиях увлажнения, интенсивном испарении с поверхности почвы и капиллярном перемещении вверх почвенных растворов, приводит к образованию пятен поверхностных вторичных солончаков, лишенных растительности и покрытых белыми солевыми налетами, нередко довольно мощными (до 2 см.) и пухлыми. Такие круговины солончаков, на месте бывших термитников, сопровождают на всем протяжении инфильтрационные полосы вдоль каналов. Термитники и вызываемые деятельностью термитов изменения в строении и сложении почв и грунтов весьма существенно влияют на успешность первоначальных шагов при сплошном орошении девственных площадей. Как бы тщательно ни была протрассирована сеть мельчайших оросителей, проводящих воду к небольшим хозяйственным единицам, как бы тщательно ни были устроены оросители и сбросы на этих участках,—первоначальное орошение и насыщение почвы водой совершается с большими затруднениями, требует в 2—3 раза больше расчетного количества воды и времени на полив единицы площади. В объяснениях этих явлений, деятельности землероев и, в частности, термитов надо отвести едва ли не главную роль. Созданная их работой громадная порозность массы, особенно усиленная в многочисленных термитниках и распространяющаяся в виде крупных ходов до уровня грунтовой воды, не может во время первого полива способствовать равномерному распределению и поглощению воды. В провалы на местах термитников устремляется оросительная вода, насыщенные водой слои почвы и грунта неравномерно оседают (оседание для верхнего метра почвы и

грунта достигает 10—20 см., т. е. до 0,2), вокруг термитников создаются наиболее низкие части поверхности, собирающие и поглощающие воду, в то время как соседние места без термитников заливаются слабо или совсем водой не покрываются. В каналах на местах термитников происходит неравномерная осадка, появляются трещины и прорывы; в откосах каналов на таких же местах наблюдается в первое время оплывание и обвалы, а в соседних резервах (выемках), по бывшим термитникам, чаще всего выступает вода и случаются прорывы. Таким образом, термитники с инженерно-строительной точки зрения представляют большой интерес: ими определяются наиболее слабые места оросительных каналов, особенно мелких, вызывается неравномерная осадка поверхности, плохое орошение в первое время и поглощение громадных количеств воды. Места бывших термитников, при сплошном орошении, обнаруживаются в первое время только, как заметные депрессии поверхности, как многочисленные воронки и лунки, интенсивно собирающие воду. По их высыхании, никаких солевых выцветов в районах с незасоленными почвами и глубокими (до культуры) грунтовыми водами не наблюдается. Проникающая в термитники в больших массах вода вымывает все соли, уносит их в глубокие горизонты и распределяет в большом объеме воды, создавая сравнительно небольшую ее концентрацию. От бывших термитников на орошенных площадях некоторое время могут оставаться в поверхностных слоях пахотных почв более повышенные количества гипса, вызывая в неопытных исследователях и аналитиках недоумение".

В районах с более близкими грунтовыми водами, с довольно сильно засоленными, на небольшой глубине, почво-грунтами, термитники превращаются во вторичные солончаки, а термиты погибают, при, сравнительно небольшом, подъеме горизонта грунтовых вод, вызываемом фильтрацией из соседних оросительных каналов.

Весьма обширную деятельность в почво-образовательном процессе и в изменении водных свойств почво-грунтов проявляют и прочие землерои (муравьи, черви и другие). Указанное обстоятельство должно быть учтено мелиоратором, как при изысканиях и составлении проекта, так и при постройке. Однако, об этом речь будет в дальнейшем.

Виды влажности и величина запаса воды в почве. Очевидно, что в плотной мелкоземистой массе, в какую после всякого дождя превращается верхний распыленный почвенный горизонт сухих степей, движение воды может совершаться по преимуществу под влиянием капиллярности.

Запас воды в почве в продолжение осеннего дождливого периода будет пополняться весьма медленно, и он не будет концентрироваться в одном только верхнем горизонте почвы, а будет медленно распределяться на всю толщу рухляковой породы до тех пор, пока не встретит горизонта с иными свойствами.

Небольшой запас воды, который может быть сделан почвой сухих степей, должен отличаться и очень малой прочностью, так как тотчас по прекращении притока воды к поверхности почвы начнется быстрое испарение ее из верхняго слоя, объясняющееся и большою сухостью воздуха и высокою температурою, и беспрепятственностью движения степного ветра. Как только с поверхности почвы обособится сухой слой, к нему тотчас устремится из всей толщи промоченной породы капиллярный ток воды, поддерживаемый в своей беспрерывности теми же причинами, которые обусловливают и беспрерывность испарения воды с поверхности. Этот капиллярный ток будет существовать до тех пор, пока в толще почвы еще содержится вода в бо́льшем количестве, чем требуется для образования в почве влажности начальной капиллярности, и пока поверхностный слой почвы не будет разрыхлен и волосное сообщение его с остальной массой почвы не будет прервано.

Величина запаса воды в почве, полезного с точки зрения земледелия, т. е. то количество ее, которое почва может предоставить в распоряжение культурного растения, определяется тем количеством воды, которое может проникнуть через поры поверхности почвы и которое почва может удержать в области распространения корней культурных растений.

Характер проникновения воды в почву зависит, как мы уже указывали, от величины и формы промежутков между отдельными частицами почвы и от величины поверхности и состава самих частиц.

Вода, попавшая в почву, может находиться в ней в различных состояниях:

1) **в виде парообразной влаги в почвенном воздухе**;
2) **в виде гигроскопической воды**;
3) **в виде капиллярной воды**;
4) **в виде свободной воды**.

В почвенном воздухе, так же как и в атмосферном, всегда содержится большее или меньшее количество водяных паров. Эту влагу называют **парообразной почвенной влагой**. Кроме водяных паров, всякая естественная почва содержит в себе воду. Действующими на почвенную воду силами являются силы сцепления (молекулярные силы) между частицами почвенной массы и воды и сила тяжести. Когда воды в почве немного, она находится под доминирующим действием сил сцепления и принимает вид, прежде всего, гигроскопической, затем пленочной, а потом капиллярной воды.

Когда воды много и остается избыток (сверх гигроскопической, пленочной и капиллярной воды), он находится под доминирующим действием сил тяжести. Влияние сил сцепления на этот избыток воды ничтожно, поэтому указанную воду можно назвать свободной.

Под **гигроскопической водой** подразумевается та вода, которая встречается во всех почвах, не высушенных специально искусственным нагреванием. Если искусственно высушенный кусок почвы внести во влажный воздух, она немедленно поглотит из последнего некоторое количество влаги. Это явление происходит потому, что поверхность почвенных твердых частиц,

подобно поверхности многих других твердых тел, обладает способностью поглощать из окружающего пространства некоторое количество паров и газов и, как бы, обволакиваться тончайшей пленкой их. Поглощенный таким образом пар или газ переходит в особое состояние. Он перестает участвовать в газовом давлении окружающей среды и, наоборот, настолько прочно и тесно связывается с поверхностью твердого тела, что освободиться от него можно только путем продолжительного нагревания при высокой температуре. Так как такое поглощение совершается поверхностью частиц, то понятно, что в большей степени происходит у тел пористых (например, таких как солома, древесный уголь) и у порошковатых, нежели у тел плотных (конечно, при условии наличия явления „смачивания"). Таким образом, мелкозернистая почва (например суглинистая) поглотит при одних и тех же обстоятельствах больше гигроскопической влаги, чем крупнозернистая (например песчаная). Произойдет это потому, что общая поверхность мелкозернистых частиц, заключенных в единице веса почвы, будет больше, чем общая поверхность крупно-зернистых частиц, заключенных в объеме того же веса. Как видно из формул (2) и (3), суммарная поверхность всех зерен, заключенных в единице объема, растет обратно пропорционально радиусу зерен.

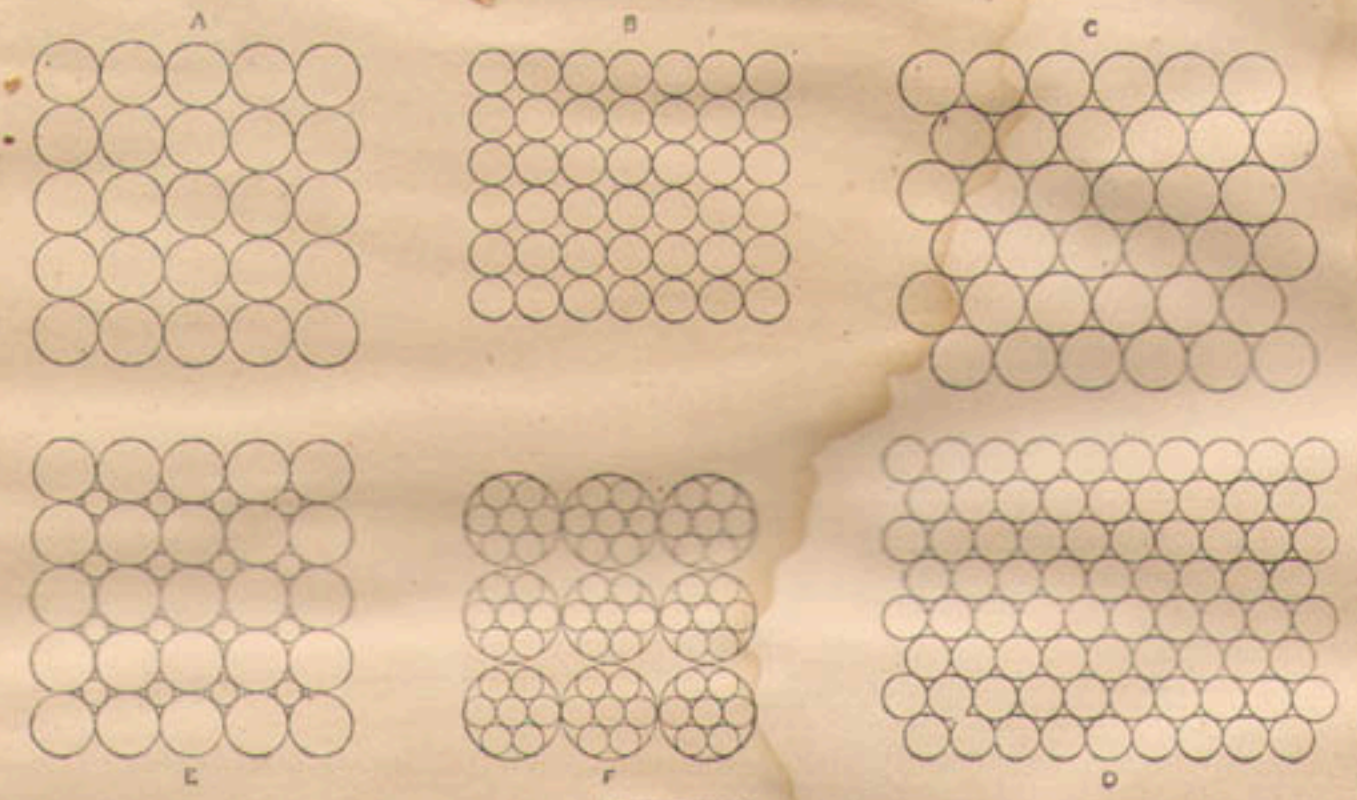
Поскольку почва состоит из отдельных зерен, постольку между ними должно существовать известное количество промежутков (пор), занятых воздухом и водою. Их величина, очевидно, должна в широкой степени зависеть от плотности почвы. Рассматривая простейший теоретический случай—почву, состоящую из одинаковых сферических зерен, касательных друг к другу, найдем, что объем пор зависит от способа укладки шаров, а не от их размера. При укладке (см. черт. 3) по способу А и В, объем пор достигает в обоих случаях одинакового максимума и исчисляется в 47,64% всего объема, занятого почвой.

Эта же величина объема пор остается во всех тех случаях, когда все зерна смеси имеют одинаковый диаметр и когда способ укладки остается прежним (следовательно, вне зависимости от абсолютной величины диаметра зерен).

Минимум объема пор получается при способе укладки, показанной в С и Д; он достигает 25,95% и опять-таки не зависит от размера частиц, если только они одинаковы. Если же шары будут иметь значительно различающиеся размеры, так что меньшие будут вполне умещаться в пространствах между большими, как это показано в Е, то объем пор может неограниченно сократиться. И, обратно, если в почве имеются агрегаты частиц (комки), то поры образуются как между частицами, заключенными в агрегате, так и между агрегатными образованиями (показаны в F) и в этом случае объем пор может превзойти вышеуказанный максимум в 47,64%.

Реальные почвы, вообще говоря, обладают большим объемом пор, чем в приведенных выше теоретических случаях, ибо, вследствие разных причин, например, разрыхления при обработке, разложения растительных организмов и прочее, в почве образуется увеличенная порозность. В обыкновенных почвах объем пор колеблется от 56% в плотной глине до 33—40% в крупных песках с зернами одинаковой круп-

ности. Причина большего объема пор в мелкозернистых (глинистых) почвах заключается в том, что мелкие частицы (зерна) глины не обладают достаточным весом, благодаря которому они могли бы, преодолев трение с соседними частицами, получить нужное движение для достижения наиболее плотного соприкасания с другими частицами.



Чертеж 3.

Благодаря порозности почвы, плотность ее сильно отличается от плотности тех пород, от разрушения которых она образовалась. Ниже в таблице приведены практические данные о порозности и удельном весе реальных почв, а также об удельном весе тех первоначальных пород, из которых почвы образовались.

ТАБЛИЦА 2.

№ по порядку.	ВИД ПОЧВЫ.	Объем пор в % от общего объема почвы.	Удельный вес первозданных пород, из которых образовалась данная почва.	Удельный вес почвы.
1	Крупный песок	40,00	2,655	1,60
2	Средний песок	41,80	2,648	1,54
3	Мелкий песок	44,10	2,659	1,48
4	Супесь	51,00	—	1,30
5	Легкий суглинок	50,00	—	1,32
6	Иловатый суглинок	53,00	—	1,24
7	Тяжелый суглинок	54,00	—	1,22
8	Глина	56,00	2,837	1,17
9	Очень плотная глина	65,12	—	0,93

Если почва находится в среде воздуха, насыщенного водяными парами, то она извлекает из него наибольшее количество гигроскопической влаги, какое она только может извлечь. Такое состояние почвы называется **состоянием наибольшей гигроскопичности.**

На основании многочисленных и продолжительных экспериментов на опытных станциях в Соед. Штат. Сев. Америки проф. Лафридж (Loughridge, R. H.) дает следующие цифры для количества гигроскопической влаги в различных почвах (в процентах от веса единицы объема почвы).

Песчаная почва.	1— 3%
Супесь	3— 5%
Суглинок	5%
Глина	5— 7%
Плотная глина	7—10%

Как известно, при соприкасании жидкости с поверхностью твердых тел, возникает взаимодействие между молекулами жидкости и твердого тела. Если силы сцепления между частицами твердого тела и жидкости больше сил сцепления действующих между молекулами жидкости, то получается явление смачивания, при котором жидкость обволакивает поверхность твердого тела. В случае обратного соотношения, жидкость старается, как бы, сойти с поверхности твердого тела и свернуться в сфероидальное состояние. Все вещества, находящиеся в почве, смачиваются водою; поэтому, прежде всего, вода, находящаяся в почве, обволакивает отдельные зерна (частицы) почвы тонкой пленкой, образуя **пленочную воду**. Таким образом, молекулы воды, пришедшие в соприкосновение с частицами почвы, подпадают под влияние поверхностных сил сцепления и остаются на поверхности этих частиц, утолщая постепенно водяную пленку. Толщина пленки не может быть большой, так как силы сцепления очень быстро убывают с удалением молекул воды от поверхности механических элементов (зерен) почвы. Как известно, молекулярная сила F обратно пропорциональна 7-ой, 9-ой и 11-ой степени расстояния между молекулами (в зависимости от механизма, создающего силы сцепления). Если одна молекула притягивает *другую, ближайшую к ней, находящуюся на расстоянии* l *с некоторой силой* F, то молекула следующего слоя, отстоящая на расстоянии $2l$, будет притягиваться уже только с силой, равной $\frac{1}{128}F$ или $\frac{1}{512}F$ или $\frac{1}{2048}F$. Следовательно, главным образом, должно сказываться притяжение ближайших молекул, влияние же более отдаленных только немного видоизменяет результат. Таким образом, весь пограничный слой водяных молекул будет сильно притягиваться к поверхности частиц почвы, второй слой будет также испытывать несколько более сильное притяжение ко внутренним слоям, чем к одному внешнему слою молекул. В дальнейших слоях проявление односторонне направленных сил не будет сколько-нибудь заметно проявляться. Так как среднее расстояние между молекулами жидкости равно $2{,}8 \times 10^{-8}$ см., то толщина поверхностной пленки не должна превышать 10^{-7} см. Можно пред-

ставить себе, что частицы почвы как бы затянуты в тонкую пленку молекул воды, сжимающих их с громадными силами, вследствие стремления сократить свою свободную поверхность до наименьших возможных пределов. Это явление, называемое поверхностным натяжением, сильно зависит от температуры. С повышением температуры поверхностное натяжение сильно уменьшается. Эйтвеш показал, что поверхностное натяжение $\alpha\left(\frac{\text{дин}}{\text{см}}\right)$ определяется величиной удаления от критической температуры и плотностью молекул в поверхностном слое.

$$\alpha = 2{,}1\,\frac{(T_к - T - \tau)}{(M \cdot V)^{2/3}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

где $T_к$ — критическая температура,

T — температура воды,

τ — поправка, равная нескольким градусам,

M — молекулярный вес воды (принимая состав молекулы воды равным нескольким H_2O).

V — удельный объем воды.

Поверхностное натяжение водяной пленки также уменьшается в связи с растворением в воде солей, содержащихся в почве. Чем больше концентрация солей в растворе, тем меньше поверхностное натяжение.

Из изложенного понятно, что пленочная вода в почве, как и гигроскопическая, с трудом испаряется даже в поверхностных слоях, что она не может быть поглощена корнями растений в количествах, имеющих практическое значение для произрастания растений. Также очевидно, что количество гигроскопической воды в почве будет увеличиваться прямо пропорционально суммарной поверхности механических элементов почвы, то есть с уменьшением размеров отдельных частиц почвы.

Если к почве прибавить некоторое количество воды, которое, благодаря волосности, распространится равномерно по всему слою почвы, то толщина водяных пленок, окружающих частицы почвы увеличится, поверхностное натяжение ослабеет и, наконец, наступит момент, когда корни растений смогут всасывать в себя воду, отрывая капельки от названных водяных пленок. Растения получают возможность питаться, хотя и с известными затруднениями. Соответствующая этому моменту влажность называется по американской терминологии **влажностью увядания** (wilting moisture). Зависит она также от структуры почвы и величины почвенных частиц. В виду того, что влажность увядания является тем минимальным пределом содержания воды в почве, до которого ни в каком случае не следует доводить, интересно иметь представление о величине этой степени влажности для различных почв. Бриггс (Lyman J. Briggs. Соед. Шт. Сев. Америки), в результате тщательно поставленных многочисленных опытов с различными культурами, получил нижеследующие данные:

ТАБЛИЦА 3.

ВИДЫ ПОЧВЫ.	Влажность увядания в % от веса сухой почвы.	Влажность гигроскопическая в % от веса сухой почвы.	Отношение величины гигроскопической влажности к величине влажности увядания.
Крупный песок	0,9	0,5	0,556
Мелкий	2,6	1,5	0,577
Мелкий	3,3	2,3	0,698
Мелкий	3,6	2,3	0,639
Супесь	4,8	3,5	0,729
Супесь	6,3	4,4	0,699
Супесь	9,9	6,3	0,636
Легкий суглинок	9,7	6,5	0,670
Легкий	10,8	6,6	0,611
Легкий	11,6	7,5	0,647
Суглинок	10,3	7,8	0,757
Суглинок	13,9	9,8	0,705
Суглинок	15,2	9,6	0,632
Глина	14,6	11,8	0,808
Глина	16,2	13,2	0,815
Глина	16,5	11,2	0,679
Глина	16,3	11,4	0,700
Среднее	—	—	0,680

Из этой таблицы видно, что гигроскопической воды совершенно недостаточно, чтобы удовлетворить нужду растений в воде, ибо даже влажность увядания превосходит гигроскопическую влажность почвы в среднем в 1,5 раза. Также и новейшие исследования, производимые с 1914 года в Южной Альберте (Канада) дают (на основании 8-ми-летнего опыта) величину отношения влажности увядания к гигроскопической влажности, для шести различных почв, на разной глубине (до 6 фут. включительно), близкую к 1,45—1,50, что легко усмотреть из таблицы 4. В ней же приведены данные о содержании влаги в почве и при других состояниях влажности.

Под **капиллярной водой** подразумевается та вода, которая движется в почве по волосным сосудам по законам капиллярности. Она образуется тогда, когда дальнейшее утолщение водяной пленки вокруг частиц земли не может происходить вследствие слабого действия сил сцепления, исходящих из частиц почвы, на внешние слои водяных молекул.

ТАБЛИЦА 4.

показывающая водоудержательную способность почв (по данным исследований опытных станций Южной Альберты в Канаде).

1	2	3		4		5	6	7	8	9
Род почвы.	Глубина.	Количество воды при гигроскопической влажности.		Количество воды при влажности увядания.		Вес 1 кубического фута сухой почвы.	Количество воды, удерживаемое почвой в состоянии насыщения, т. е., когда все поры заполнены водой.	Максимальная капиллярная водоемкость почвы.	Количество воды, доступное для потребления растений (разность между цифрами колонн 7 и 4).	Количество воды в почве, соответствующее оптимальным требованиям.
	Футы.	%	Кб. саж. на 1 десят.	%	Кб. саж. на 1 десят.	Русск. фунты	Кб. саж. на 1 десят.	Кб. саж. на 1 десят.	Кб. саж. на 1 десят.	Кб. саж. на 1 десят.
Песок средней крупности.	1	2,00	9,8	2,94	14,4	98,6	166,6	58,6	44,2	
	2	1,80	8,9	2,65	13,1	99,7	153,1	44,3	31,2	
	3	1,80	9,0	2,65	13,2	100,8	130,0	45,1	31,9	
	4	1,80	9,0	2,65	13,2	100,8	120,0	45,1	31,9	
	5	2,00	10,0	2,94	14,7	100,8	110,0	60,0	45,3	
	6	2,20	11,0	3,22	16,1	100,8	100,0	60,0	43,9	
Всего .	—	—	57,7	—	84,7	—	779,7	313,1	228,9	228,6 до 371,4
Песчано-глинистая почва.	1	4,10	20,0	6,03	29,5	98,6	161,4	112,6	83,1	
	2	3,50	17,3	5,14	25,4	99,7	128,6	94,0	68,6	
	3	4,10	20,7	6,03	30,5	101,9	126,6	101,1	70,6	
	4	4,10	20,7	6,03	30,5	101,9	121,1	101,1	70,6	
	5	4,10	20,7	6,03	30,5	101,9	116,3	101,1	70,6	
	6	4,70	23,7	6,92	35,0	101,9	111,1	126,3	91,3	
Всего .	—	—	123,1	—	184,4	—	765,1	636,2	454,8	142,9 до 285,7
Глинистая почва.	1	6,70	27,2	9,86	40,1	82,0	199,1	122,0	81,9	
	2	6,32	26,7	9,30	39,3	85,3	194,6	118,6	79,3	
	3	5,82	25,6	8,37	36,8	88,6	180,0	118,6	81,8	
	4	7,30	33,3	10,73	48,9	91,9	177,7	114,3	65,4	
	5	7,75	36,6	11,40	53,9	95,3	284,3	127,7	73,8	
	6	7,62	37,3	11,20	54,8	98,6	190,6	132,3	77,5	
Всего .	—	—	186,7	—	273,8	—	1126,3	733,5	459,7	171,4 до 400,0
Глинистая почва.	1	6,90	26,5	10,15	39,0	77,5	192,3	115,4	76,4	
	2	4,92	21,1	7,23	31,0	86,4	188,6	120,0	89,0	
	3	4,88	23,1	7,18	33,9	95,3	179,4	118,0	84,1	
	4	4,92	25,7	7,23	37,7	105,2	172,3	125,1	87,4	
	5	5,32	29,2	7,82	43,0	110,8	148,3	126,6	83,6	
	6	5,20	29,1	7,65	42,9	113,0	123,4	123,4	80,5	
Всего	—	—	154,7	—	227,5	—	1004,3	728,5	501,0	171,4 до 371,4

1	2	3		4		5	6	7	8	9
Род почвы.	Глубина.	Количество воды при гигроскопической влажности.		Количество воды при влажности увядания.		Вес 1 кубического фута сухой почвы.	Количество воды удерживаемое почвой в состоянии насыщения, т.-е. когда все поры заполнены водой.	Максимальная капиллярная водоемкость почвы.	Количество воды доступное для потребления растений (разность между цифрами колонн 7 и 8).	Количество воды в почве, соответствующее оптимальным требованиям.
	Футы.	%	Кб. саж. на 1 десят.	%	Кб. саж. на 1 десят.	Русск. фунты	Кб. саж. на 1 десят.	Кб. саж. на 1 десят.	Кб. саж. на 1 десят.	Кб. саж. на 1 десят.
Пловатый суглинок.	1	2,70	11,6	3,90	16,7	86,4	162,9	114,3	97,6	
	2	4,90	22,9	7,30	33,6	94,1	177,1	137,1	103,5	
	3	4,10	19,1	6,00	28,0	94,1	177,1	137,1	109,1	
	4	3,90	18,2	5,70	26,6	94,1	177,1	137,1	110,5	
	5	3,70	17,3	5,40	25,2	94,1	177,1	137,1	111,9	
	6	3,50	16,3	5,10	23,8	94,1	177,1	137,1	113,3	
Всего.	—	—	105,4	—	153,9	—	1048,4	799,8	645,9	257,1 до 485,7
Суглинок.	1	3,40	14,0	5,10	21,0	83,1	165,1	105,7	84,7	
	2	3,40	16,8	5,10	25,2	99,7	118,9	105,7	80,5	
	3	3,40	16,8	5,10	25,2	99,7	124,0	105,7	80,5	
	4									
	5	г	р	а	в	и	л.			
	6									
Всего.	—	—	47,6	—	75,4	—	408,0	317,1	245,7	85,7 до 171,4

Пояснение к таблице.

Колонны 1 и 2—указывают род и глубину почвы; данные приводятся для слоев почвы в один фут толщиною.

Колонна 3—указывает количество гигроскопической воды в %% от веса сухой почвы и в куб. саж. на десятину.

Колонна 4—показывает количество воды в %% от веса сухой почвы и в куб. саж. на десятину, при котором начинается увядание растений. Нормальное развитие растений при содержании влаги ниже этого предела, одним капиллярным поднятием влаги, не может быть обеспечено.

Колонна 5—дает вес одного кубического фута почвы в естественном состоянии на соответствующей глубине в русских фунтах.

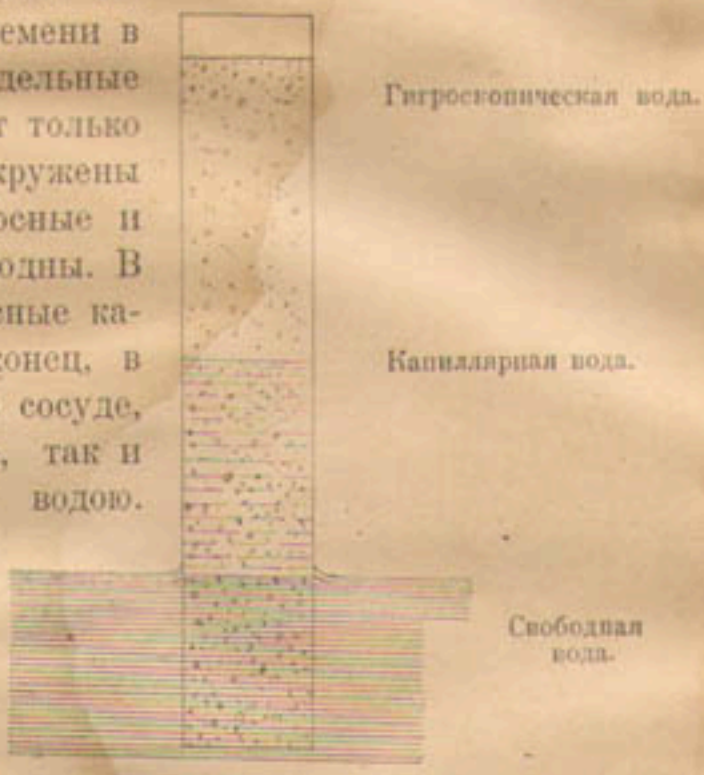
Колонна 6—показывает количество воды в куб. саж. на 1 десятину, которое почва удерживает, находясь в состоянии насыщения, то-есть при заполнении всех пор водой. Объем воды в куб. саж. равен объему пор почвы.

Колонна 7—показывает максимальную капиллярную водоемкость почвы, т.-е. количество воды, удерживаемое почвой в условиях естественного дренирования против действия силы тяжести. Цифры получены путем определения количества влаги из условий влажности после больших дождей и поливов.

Колонна 8—показывает количество воды, доступное для потребления растений при условиях свободного естественного дренирования почвы. Количество воды определено путем вычитания цифр колонны 4 из цифр колонны 7.

Колонна 9—показывает количество воды, соответствующее оптимальным требованиям растений, то-есть то количество влаги, при котором обеспечены условия свободной циркуляции воздуха в почве, что по опытам Гильгарда имеет место при заполнении водою от 40 до 60% объема пор.

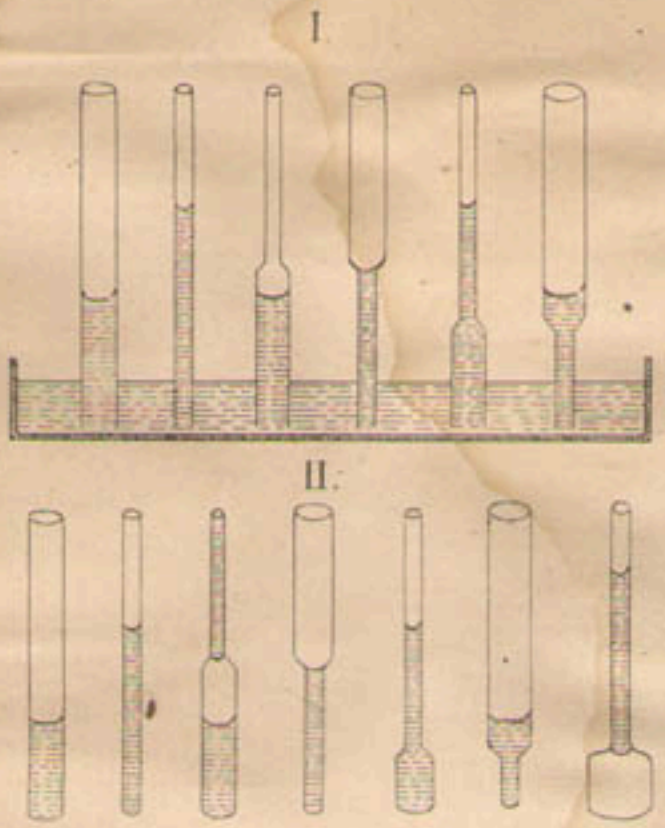
Различие пленочной воды от капиллярной и свойства последней очень легко показать на следующем опыте. Возьмем стеклянный цилиндр (см. черт. 4), нижний конец которого закроем сеткой с мелкими отверстиями. Наполним его землей и погрузим нижней оконечностью в воду. Прильем в него воду через верхнее отверстие. По истечении некоторого промежутка времени в нем отчетливо вырисуются три отдельные зоны. В верхней части земля будет только слегка сырая, частицы ее будут окружены тонким слоем пленочной воды, волосные и неволосные промежутки будут свободны. В средней части промежуточные волосные каналы будут заполнены водою. Наконец, в нижней части, ниже уровня воды в сосуде, все промежутки, как капиллярные, так и некапиллярные, будут наполнены водою. Поместим теперь нижнюю часть упомянутого цилиндра, наполненного сухой землей, в воду, но не будем приливать воду через верхнее отверстие. Вследствие капиллярности, вода поднимется на некоторую высоту над уровнем ее в сосуде. Если цилиндр достаточно высок, то в верхней его части, выше уровня подъема капиллярной воды, земля остается сухой. Первый случай аналогичен проникновению в почву дождевой или поливной воды, второй — извлечению грунтовой воды, лежащим над нею, почвенным слоем.



Черт. 4. Опытное распределение различных видов влажности в почве.

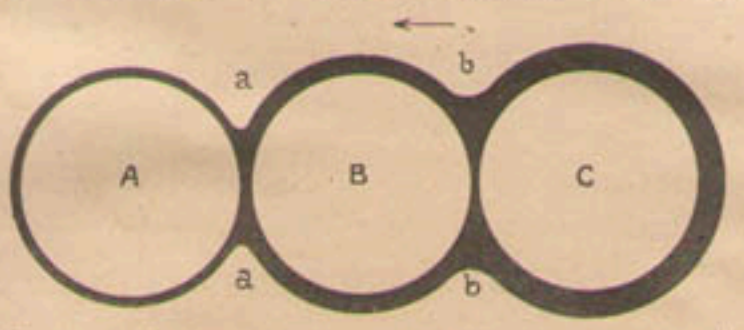
Хотя и пленочная и капиллярная вода находятся под влиянием молекулярных сил, однако, между ними существует значительная разница. В самом деле, столбик капиллярной воды легко можно выдуть из капиллярной трубки, между тем, как от пленочной таким путем нельзя освободиться. Мало того, Лебедев, А. Ф., подвергая трубки, наполненные влажным песком, действию центробежной силы, показал, что пленочную воду прилипшую к песчинкам, нельзя удалить даже при сильном центрофугировании (2.000 оборотов в минуту). Столбик капиллярной воды в тонкой стеклянной трубке будет двигаться вниз, пока не достигнет нижнего конца этой трубки, где он остановится, так как вес его уравновесится натяжением верхнего и нижнего менисков. Надо полагать, что то же самое происходит и в капиллярных ходах между почвенными частицами: и по ним столбики капиллярной воды опускаются вниз до тех пор, пока не достигнут или сплошного слоя воды (грунтовой), или трещины, пустоты, расширенных камер и тому подобных образований, прерывающих капиллярные ходы, у концов которых они и останавли-

ваются. Если почему-либо сообщение между капиллярными ходами снова возобновится, то столбики капиллярной воды опять начнут передвигаться вниз до нового перерыва. Картина движения воды по капиллярным ходам вверх и вниз показана на черт. 5.



Черт. 5.

Что же касается пленочной воды, она тоже может передвигаться как вверх, так и вниз, но только в тех случаях, когда почвенные частицы, покрытые пленкой прилипшей к ним воды, соприкасаются с такими, на которых ее или совсем нет или она тоньше, чем на первых. При этом происходит следующее явление: с частицы, покрытой более толстой пленкой воды, последняя распространяется на соседнюю частицу с более тонкой пленкой до тех пор, пока толщина пленок на обеих частицах не сделается одинаковой. Но если рядом со второй лежит, соприкасаясь с ней, частица, совсем непокрытая жидкой водой, то пленка со второй частицы будет распространяться и на эту третью, а так как, вследствие этого она сделается опять тоньше пленки на первой частице, то на вторую частицу начнет распространяться пленка первой частицы и т. д. Таким образом, пленочная вода стремится покрыть равномерно все соприкасающиеся между собою частицы почвы, безразлично, находятся ли они выше или ниже слоя с наибольшей толщиной пленок. Пленочная вода в своем движении находится под доминирующим влиянием сил сцепления.



Черт. 6. Картина распространения пленочной воды от частицы C к A. (Черным показана толщина водной пленки).

Высота возможного подъема капиллярной воды определяется уравнением:

$$h = \frac{2\alpha}{R \cdot \delta \cdot g}, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (7)$$

где

h — высота подъема воды в капиллярах,

α — поверхностное натяжение воды,

R — радиус капиллярных трубок (волосных промежутков между почвенными частицами),

δ — плотность воды (равно 1),

g — ускорение силы тяжести.

Капиллярная вода всегда движется в направлении от более влажных горизонтов капиллярной почвенной среды к более сухим ее горизонтам. Скорость движения воды по капиллярным промежуткам совершается с равномерным замедлением. Величина первоначальной скорости зависит от величины диаметра капиллярных промежутков, изменяясь в одном направлении с последней, но, при изменении диаметров капиллярных промежутков в отношении арифметической прогрессии, скорость капиллярного движения по ним изменяется в отношении геометрической прогрессии. Под влиянием названных законов происходит движение капиллярной воды в почве и весь комплекс основных явлений. Как мы уже указывали, капиллярная вода переходит от сырой почвы к более сухой и это заставляет ее распространяться в стороны, а также подниматься из более сырой подпочвы к поверхности, откуда, испаряясь, она уходит в воздух. Вода поднимается на большую высоту в мелкозернистой почве, чем в крупнозернистой. Однако, в последней она поднимается быстрее. По данным проф. Гильгарда (Hilgard. Соед. Шт. Сев. Америки), максимальная высота, на которую поднималась капиллярная вода, была в песчаной почве—17 дюймов в течение 6 дней, в глинистой — 46 дюймов в течение—195 дней. В песчаной почве вода поднималась в первый час на 8 дюймов, а в глинистой на ту же высоту поднялась в течение 12 часов. Лайон и Фиппин (Lyon and Fippen, Соед. Шт. Сев. Америки) дают следующие значения для высоты подъема и скорости капиллярного движения.

ТАБЛИЦА 5.

ВИД ПОЧВЫ.	Высота капиллярного поднятия воды в дюймах в течение:							
	1/4 час.	1 час.	2 час.	1 дня.	3 дней.	8 дней.	13 дней.	19 дней.
Ил и очень мелкий песок	2,7	4,7	7,0	20,0	30,0	45,0	52,0	56,0
Очень мелкий песок	7,6	10,0	12,4	21,0	23,0	26,0	27,5	28,5
Мелкий песок	9,0	9,5	10,0	11,6	13,0	14,3	15,2	16,0
Крупный и средний песок . . .	5,8	6,0	6,3	7,5	9,0	10,0	11,5	12,5
Мелкий гравий	4,0	5,0	5,3	6,4	8,0	9,0	10,0	10,8

Американские исследователи различают, так называемую, **влажность начальной капиллярности** (Lento-capillary point) и **влажность максимальной капиллярности**. Под первой они подразумевают такую влажность почвы, когда водяные пленки, обволакивающие почвенные частицы, постепенно утолщаясь, наконец, получают подвижность в своих поверхностных слоях и часть воды получает, таким образом, возможность двигаться под влиянием

капиллярных сил. При искусственном орошении необходимо следить за тем, чтобы влажность в почве не падала ниже указанной величины, так как только в этом случае капиллярная вода получает возможность покрывать собою корни и самые мелкие корневые волоски, что необходимо для питания растения. Величина влажности начальной капиллярности в крупнозернистых почвах не достигает 10%; в средних суглинках она равна 12—13%, а в глинистых даже превосходит 20% от веса сухой почвы.

Если продолжать увеличивать количество воды в почве, то должен наступить момент, когда появится в почве вода, уже не подверженная капиллярным силам, движущаяся свободно под влиянием преимущественно силы тяжести (свободная, почвенная вода). Влажность почвы в момент появления свободной воды называют влажностью максимальной капиллярности. В крупнозернистых песчанистых почвах величина такой влажности равна 10—12%, в средних суглинках 24% и в глинистых почвах 30—40%.

Количество капиллярной воды, которое почва может удержать, зависит не только от рода почвы, но также и от степени ее дренированности, от условий, создающих благоприятные обстоятельства для интенсивного проявления капиллярности. Очевидно, в практических целях, необходимо установить (на основании опытов) величину двух указанных пределов капиллярной влажности для различных почв. Если влажность почвы будет поддерживаться между начальной и максимальной капиллярностью, корни растений легко будут получать потребную для них воду и, кроме того, в почве будет оставаться достаточное количество пор для прохождения воздуха, столь же необходимого, как и вода, для произрастания культурных растений. Ниже в таблице 6 приводятся сводные данные для трех главных категорий почв.

ТАБЛИЦА 6.

ВИДЫ ПОЧВЫ.	Величина гигроскопической влажности.	Величина влажности увядания.	Величина влажности начальной капиллярности.	Величина влажности максимальной капиллярности.
	В процентах от веса сухой почвы.			
Крупно-зернистые почвы (песок) . . .	0,6	0,9	6	10—12
Средний суглинок	3,5—7,5	5—11	12—13	24
Глина	9,8—11.4	13—16	18	30—40

Там, где уровень грунтовых вод залегает далеко от поверхности, что обыкновенно и бывает в сухих почвах, по крайней мере, до их заболачивания, происходящего от излишнего орошения и отсутствия дренажа, капиллярная вода, доставленная орошением, распространяется по всему слою почвы и частью удерживается в ней, несмотря на действие силы тяжести. Коли-

чество воды, которое, при таких условиях, удерживается в себе почвой, по предложению Видтсо (Widtsoe, Соед. Шт. Сев. Америки, известен своими работами по сухому земледелию и по исследованию влажности почв) называется практической капиллярной емкостью почвы. На основании нескольких тысяч опытов, Видтсо дает следующие величины для практической капиллярной емкости почвы, в процентах от веса сухой почвы:

для сильно супесчаной почвы до 8-ми фут. глуб. . .		14%
„ супесчаной	„ „ „ „ . .	14½%
„ суглинистой	„ „ „ „ . .	16—17%
„ глинистой	„ „ „ „ . .	18%
„ глинистой	„ „ „ „ . .	19%

Свободная вода это та, которая проходит вниз через поры под действием силы тяжести. Когда почва насыщена, то-есть все поры и промежутки в ней целиком заполнены водою, получается наибольшее количество свободной воды. Эта последняя вместе с капиллярной, пленочной и гигроскопической водой определяет полную влагоемкость почвы.

Процесс питания растения и роль в нем воды.

Растение построено из элементов, которые находятся в окружающей его среде—в почве, воде, воздухе. Оно поглощает потребные вещества из окружающей среды и превращает их внутри своего организма в более сложные соединения. Растение живет за счет жидкой или растворенной пищи и в естественных условиях вопрос сводится почти исключительно к поглощению воды и растворенных в ней веществ.

Для объяснения процесса питания, вспомним прежде всего, что растение состоит из корней и листьев, соединенных между собою стволом и ветвями. Корни воспринимают находящуюся в почве воду и растворенные в ней вещества, листья же поглощают, главным образом, газообразные вещества из атмосферы. Корни только некоторых растений поглощают воду через обыкновенные клетки эпидермиса, в большинстве же случаев поглощающие клетки приобретают мешковидные выросты наружной стенки, так называемые корневые волоски. Достигая иногда достаточной длины, они весьма заметно увеличивают поглощающую поверхность корня. По вычислению некоторых исследователей, корневая поверхность увеличивается благодаря образованию волосков у пшеницы в 12 раз, у маиса в 5,5 раз. На удлиняющемся корне день за днем образуются на верхушке новые корневые волоски, а старые по направлению к основанию отмирают. Корневые волоски, как и вообще эпидермис корня, имеют лишь кратковременное существование. Места, покрытые отмершим эпидермисом, вряд ли могут оказывать существенные услуги в смысле поглощения воды, так как на этих местах, рано или поздно, отлагается пробковое вещество (клетками гиподермиса). Для вычисления работоспособности корня, с точки зрения поглощения воды, следует принимать во внимание поверхность верхушечной области корня

вместе с тем увеличением, которое получается благодаря волоскам. Каким же образом, отдельный корневой волосок воспринимает воду из почвы? Ясную картину явления дает Сакс, схемой которого мы и воспользуемся:

Частички почвы (на черт. 7 показаны заштрихованными) не плотно прилегают друг к другу, соприкасаясь только отдельными точками и плоскостями. Пазухи между ними (поры) заняты воздухом и водою. Каждая такая почвенная частица покрыта тонким слоем воды, который удерживается на ней силами поверхностного натяжения. Там, где водяные оболочки отдельных частичек соприкасаются между собою, образуется общая водяная пленка, находящаяся под действием сил притяжения большого числа почвенных частиц. Пленка стремится иметь наименьшую поверхность, но последняя все же имеет извилистые очертания, вдаваясь во входящие углы, образуемые соседними частицами почвы, так как здесь притяжение частиц складывается по величине и направлению. В этих же входящих углах образуются при этом и более значительные скопления влаги. Поверхность корневого волоска, пронизывающего почвенную массу, точно также, покрыта тонким водяным слоем. В некоторых местах, как, например, в α и γ, водяная оболочка корневого волоска, является общею и для волоска и для соседних почвенных частиц. Водяные оболочки отдельных частиц почвы и целых групп их связываются в одно целое. Таким образом, вся почвенная масса обволакивается тонким слоем воды, имеющим местами утолщения. Свободные от воды и частиц почвы пространства заняты воздухом. Допустим, что всасывающая работа корневого волоска почему либо приостановилась и что вода не поступает в почву и не уходит из нее, тогда вся масса почвенной влаги будет в стационарном состоянии. Теперь допустим, что корневой волосок *hh* начинает всасывать воду при α и γ, тогда на поверхности его в этих пунктах, количество воды будет уменьшаться, а, следовательно, уменьшится, и толщина водной пленки вокруг ближайших частиц, что вызовет в ней увеличение поверхностного натяжения. Для восполнения потребленной воды начнется приток ея с соседних ближайших участков водяной оболочки; та же картина повторится и на этих участках—таким образом почвенная влага придет в движение, которое прекратится только после установления равновесия между водяными оболочками; при этом оболочки станут тоньше, а почва соответственно суше. Это высыхание почвы будет не только местным, но распространится и на соседние более отдаленные участки, откуда часть воды перейдет на восполнение убыли воды в пленках, расположенных ближе к корневому волоску. Таким образом, каждый корневой волосок является артерией, к которой со всех сторон устремляется почвенная

Черт. 7.

влага, а участок корня, покрытый множеством таких волосков, создает в почве настоящий ток воды, направленный с разных сторон к корневой оси.

Таким образом, корень использует даже те слои почвы, в которые он не проникает. Представим себе водяное покрывало почвенной частички разложенным по толщине его на несколько очень тонких слоев, тогда молекулы воды, прилегающие непосредственно к частице почвы, притягиваются с наибольшей силой, в последовательно далее отстоящих слоях это притяжение постоянно ослабевает, и в самом наружном слое, в случае почвы, вполне насыщенной водой, молекулярное притяжение имеет как раз такую величину, что только препятствует стеканию воды. Следовательно, при исчезновении воды в α и γ будет приходить в движение самый наружный слой водяной сферы, потому что он, как наиболее слабо удерживаемый, является наиболее подвижным. Чем больше воды уже поглощено волоском, тем тоньше становятся водяные сферы всей системы, и тем больше сила, с которой удерживается самый наружный слой, тем, значит, больше должны быть и силы, всасывающие воду в стенки волоска, и тем труднее и медленнее будет распространяться нарушение от α и γ к β и δ. Наконец, может наступить такое состояние в водяных сферах, при котором все элементарные слои так прочно удерживаются частичками почвы, что вода больше не может поступать в корневой волосок.

При таком состоянии сухости почвы (влажность увядания американцев) растение начинает увядать, даже в том случае, если испарение воды листьями будет сильно ослаблено.

Сила, благодаря которой корневой волосок способен преодолеть сцепление частиц воды с частицами почвы, отрывать их и впитывать в себя, является силой осмоса.

Известно, что две взаимно смешивающиеся жидкости или два раствора, например, вода и медный купорос, если они осторожно налиты друг на друга, вначале представляют две ясно отграниченные друг от друга массы. Но скоро резкая граница между ними исчезает, так как молекулы медного купороса начинают перемещаться в воду и, наоборот, молекулы воды в раствор медного купороса. Такое перемещение вещества, известное под именем диффузии, происходит до тех пор, пока не наступит полное смешивание, пока, следовательно, вся масса жидкости не сделается однородной, повсюду с одинаковой концентрацией. Но если диффузия совершается в двух жидкостях, не свободно граничащих друг с другом, но разделенных пористой перегородкой, то в этом случае процесс несколько видоизменяется и тогда говорят об осмосе. Обе жидкости (например, вода и раствор медного купороса) уже не с одинаковой скоростью будут проходить через эту пористую перегородку, вода будет проникать в медный купорос в больших количествах, нежели обратно последний в воду. В результате должно быть увеличение жидкости на стороне медного купороса; здесь уровень жидкости будет подниматься, в то время, как на противоположной стороне (там, где вода) он будет падать. Разность уровней будет увеличиваться, пока не примет определенную величину в зави-

симости от рода перегородки и состава жидкости. Чем больше будет эта разность уровней, созданная осмосом, тем больше, очевидно, будет сила, с которой вода, под влиянием гидростатического давления, будет стремиться выдавиться обратно через перегородку в ту сторону, где уровень ниже. В конце концов, должно наступить равновесие между двумя противоположными по своим результатам процессами: стремлением к выравниванию состава (концентрации) жидкостей и к выравниванию уровней. Разность весов столба раствора и столба воды, разделенных полупроницаемой перегородкой (пленкой), определяет **осмотическое** давление раствора.

Изучение осмотического давления в растворах различных веществ (с разными молекулярными весами), при разных концентрациях их и температурах, привело к следующим законам, руководствуясь которыми можно понять явления, сопровождающие обмен веществ между почвой и растениями.

1. Осмотическое давление (P) прямо пропорционально концентрации раствора C, измеряемой числом грамм вещества в 1 литре раствора.

2. При постоянной концентрации осмотическое давление прямо пропорционально абсолютной температуре раствора—T.

3. При одинаковой концентрации и температуре осмотическое давление растворов различных веществ обратно пропорционально их молекулярным весам μ.

Законы осмотического давления могут быть формулированы следующим образом:

$$1.\ \frac{P}{C} = \text{Const. при постоянных } T \text{ и } \mu.$$

$$2.\ \frac{P}{T} = \text{Const. при постоянных } C \text{ и } \mu.$$

$$3.\ P\mu = \text{Const. при постоянных } C \text{ и } T.$$

Все три закона можно соединить в один, выражающий зависимость осмотического давления и от концентрации, и от температуры, и от молекулярного веса:

$$\frac{P}{C} \cdot \frac{\mu}{T} = R,$$

где R—есть универсальная постоянная, одинаковая для всех растворов и всех растворителей, равная $8{,}31 \times 10^7 \frac{\text{эрг.}}{\text{град.}}$.

Слой протоплазмы, прилегающей к оболочке растительной клетки корневых волосков, в значительной степени обладает способностью задерживать растворенные вещества, свободно пропуская воду. Поэтому, если растительную клетку поместить в раствор меньшей концентрации, чем та, которая существует внутри клетки, то она начнет набухать, всасывая воду; если же, наоборот, окружающая клетку среда обладает большей концентрацией, то клетка начнет съеживаться, теряя воду. Концентрация соляных растворов в почве обычно меньше концентрации в корневых волосках, чем и обеспечивается постоянный приток к ним влаги. Чем меньше разница концентрации, тем более затрудняется поглощение влаги корнями. Этим и объясняется, отчасти, увядание растений на засоленных почвах, так

как концентрация солей в таких почвах может даже превзойти концентрацию в корнях; при этом не только не будет происходить движение воды от почвы к корням, но может иметь место даже обратное явление.

Однако, простым физическим процессом—явлением осмоса, нельзя объяснить процесс питания растения из почвы. Он представляет сложное жизненное явление. Протоплазма растительных клеток обладает способностью, изменяя свои свойства, регулировать обмен веществ. Клетка воспринимает вещества не так, как они представляются, без всякого разбора, она может производить качественный и количественный выбор. Таким образом, сможет случиться, что какое-нибудь широко распространенное в природе тело совершенно отсутствует в клетке, потому что оно не диффундирует, тогда как другое, редкое, накопляется в ней массами.

Интересно здесь отметить, что осмотическое давление в 5—10 атмосфер представляется обыкновенным в растении. Но наблюдаются отклонения от этих средних величин вверх и вниз. Однако, ниже 3 атмосфер осмотическое давление, как будто бы, не опускается даже в самых истощенных клетках. Напротив того, оно возрастает иногда до 15—20 атмосфер, например, в свекле и луке.

Из почвы растение берет прежде всего воду, необходимость которой для всех организмов, в частности для растений, известна и понятна. Если даже совершенно не касаться того, что вода совместно с водородом и кислородом в соединении с углеродом образуют важнейшие строительные материалы для органических соединений, если брать воду только, как таковую, то необходимость ее уже ясна потому, что, во-первых, она является нормальной составной частью каждой растительной оболочки, которую мы находим в жизнедеятельном растении не иначе, как пропитанной водой, во-вторых, потому, что и протоплазма в жизнедеятельном растении всегда является пропитанной водой, наконец, потому, что вакуоля, нередко занимающая большую часть клетки, в главной своей массе состоит из воды. Соответственно этому, также и химический анализ обнаруживает весьма значительное содержание воды даже в таких органах, которые можно считать бедными водой. Если бы растение обходилось с раз поглощенной водой столь же экономным образом, как, например, с азотом, то новое поступление ее было бы необходимо лишь по мере образования новых органов в растении. Однако, растение, по крайней мере при некоторых условиях, обходится с водой в высшей степени расточительно, оно отправляет обратно в атмосферу в форме пара колоссальные массы этого вещества, которое извлекалось корнями из почвы с затратой энергии.

Помимо корней, значительную роль в процессе обмена веществ растения с окружающей средой, играют листья. Они испаряют большое количество воды, понижая давление в растительных каналах, что, в свою очередь позволяет воде, впитанной корнями, подниматься вверх и достигать листьев. Таким образом, полученная растениями влага движется вверх и, в конце концов, испаряется листьями, при чем растворенные соли отлагаются в

самом растении и обусловливают его рост. Листья имеют и другую задачу: в них содержится вещество, от которого зависит их цвет и которое называется хлорофилом. Оно обладает свойством, пользуясь энергией солнечных лучей, разлагать угольную кислоту, содержащуюся в воздухе (проникающем в поры листьев) на углерод и кислород ($CO_2 = C + O_2$), другими словами осуществлять химическую реакцию, обратную той, какая происходит при сжигании угля. Кислород освобождается и уходит в атмосферу, тогда как углерод соединяется с водою, поступившей из почвы, через корни, ствол и ветви, образуя углеводы.

Растения дышут своей корневой системой и листвою, поглощая из окружающего воздуха кислород и выделяя углекислоту, следовательно необходимо, чтобы, помимо воды, к корням культурных растений мог поступать и воздух. Дыхание через листву создает явление совершенно обратное действию хлорофила, так как последнее заставляет растение поглощать углекислоту и выделять кислород. Ночью происходит только дыхание, так как для действия хлорофила необходим свет. В течение дня оба явления накладываются друг на друга и, смотря по тому, какое из них преобладает, листья выделяют то кислород, то углекислоту. В общем случае (днем) преобладает действие хлорофила и, как эффект его,—выделение кислорода.

Теперь, в схематическом виде, мы можем представить, откуда и как растения получают свою пищу. Как известно, почти половина растения состоит из углерода, извлекаемого из воздуха, от 2 до 12% веса падает на различные минеральные вещества, получаемые из почвы через почвенные растворы, остальное же составляет воду, извлекаемую также из почвы. Но, помимо этого растение принуждено, как мы уже указывали, извлекать из почвы громаднейшие количества воды для обеспечения построения своих тканей, своего роста, для обеспечения процесса испарения.

Испарение воды листвою растений, как и следовало ожидать, пропорционально той легкости, с какой происходит поглощение ее корнями, то-есть, пропорционально влажности почвы и разнице концентрации солей в почвенном растворе и в клетках корневых волосков. По той же причине, растения, произрастающие на засоленных почвах, испаряют значительно меньшее количество влаги, чем растения, произрастающие на почвах, более бедных солями. И, действительно, солончаковые почвы остаются влажными гораздо дольше незасоленных (вследствие меньшей разницы концетрации растворов в почве и в клеточках корневых волосков). Точно так же растения на плодородных почвах, испаряют меньшее количество влаги, чем растения на почвах подвергающихся в течение продолжительного времени процессу выщелачивания и вымывания солей в подпочву. Вопрос влияния химического состава почвы на потери от испарения растениями является весьма существенным в сельском хозяйстве, ибо земледелец имеет возможность вводить искусственно в почву различные соли, например, удобряющие вещества и уменьшать потери этим путем.

Испарение воды растениями тем больше, чем сильнее влага концентрируется в поверхностном слое почвы и, наоборот, тем меньше, чем равномернее она распределяется по всей глубине проникновения корней. Чем глубже корни растений проникают в почву, тем это выгоднее. Структура почвы также имеет значительное влияние на величину испарения растениями. Так, в мелкозернистых почвах общая поверхность частиц велика по сравнению с крупнозернистыми, а толщина водяной пленки, окружающей частицы, сравнительно тонка, поэтому, корни растений извлекают из таких почв влагу с большим трудом, а, следовательно, испарение растениями происходит менее интенсивно.

Глубина простирания корней.

Зона почвы, в которой надо контролировать и создавать надлежащую степень влажности для лучшего произрастания растений, очевидно, определяется глубиной проникновения корней растений. Последняя зависит от рода растения, характера почвы и подпочвы, а также, в сильной степени от величины влажности почвы.

Исследования и наблюдения Гильгарда, Лафриджа и Видтсо показывают, что в хорошо дренированных, в глубоких и открытых почвах сухих районов может быть достигнута следующая максимальная глубина проникновения корней:

деревья с опадающей листвой и виноградные лозы .	до	20—24 фут.
люцерна	свыше	50 „
хлебные растения	до	4— 8 „
картофель и сахарная свекла	„	3— 4 „
хлопчатник [1])	„	3 „

Те же исследователи указывают, что в случаях, когда уровень грунтовых вод, вследствие каких-либо причин, поднимался, наименьшая глубина почвенного слоя, ненасыщенного водою, то-есть слоя, в котором еще возможна циркуляция воздуха (требующаяся, как мы уже указывали, для жизни растения), определялась следующими цифрами:

для деревьев с опадающей листвой	7 фут.
для люцерны	5 „
для хлопчатника [1])	1 „
для хлебных растений	1 „

Эти цифры показывают (конечно, только в грубом приближении) насколько может подниматься без вреда для названных растений уровень грунтовых вод и как может колебаться глубина проникновения корней растений при различных условиях влажности почвы.

---

[1]) Данные по хлопчатнику взяты из отчетов Туркестанских опытных сельско-хозяйственных станций.

Наиболее благоприятная величина влажности почвы для роста растений.

У большинства почв порозность колеблется от 30 до 60% всего их объема. Для песчаных почв получаются, как уже указывалось, меньшие величины, для глинистых — большие. Так как воздух для произрастания растений так же необходим, как и вода, то, очевидно, не весь объем промежутков-пор должен быть занят водою. Исследования опытных станций засушливых районов Соед. Шт. Сев. Америки показали, что лучшие условия получаются тогда, когда вода в почве занимает от 40 до 60% объема пор. Воздух должен занимать почти такой же объем, как и вода. Следовательно:

в песчаных крупно-зернистых почвах, с объемом пор в 30%, количество воды должно равняться . . . . . 12—18% объема почвы
в глинистых почвах, с объемом пор в 50% . 20—30% „ „

Переводя объемное содержание в весовое, получим оптимальное количество воды:

для песчаных почв . . . 6,8 –10,2% от веса сухой почвы,
„ супесчаных „ . . . 10,0—15,0% „ „ „ „
„ глинистых „ . . . 16,6—25,0% „ „ „ „

Сопоставляя эти цифры с вышеприведенными данными Видтсо для практической капиллярной емкости различных почв, легко заметить, что они очень близки друг к другу. Это показывает, что количество воды, воспринятой хорошо дренированной почвой, после применения искусственного орошения, не будет на много превышать потребный оптимум для произрастания растений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Глинка. Почвоведение.—1915 г.
2. Полынов, Б. Б. Почвы и их образование.—1923 г. Петроград.
3. Бараков, П. Курс общего земледелия. Часть I.—1916 г. Петроград.
4. Кравков, С. П. Почва.—1923 г. Петроград.
5. Raman, E. Bodenbildung und Bodeneinteilung. — 1918. Berlin.
6. Вильямс, В. Р. Общее земледелие.—1920 г. Москва.
7. Оствальд, В. Мир обойденных величин. Введение в коллоидную химию.—1923 Москва.
8. Димо, Н. А. Отчет по почвенным исследованиям в районе Восточной части Голодной степи.—1910 г. Петербург.
9. Димо, Н. А. Влияние искусственного орошения и повышенного естественного увлажнения на процессы почвообразования и перемещения солей в почвогрунтах Голодной степи Самаркандской области.—1911 г. Саратов.
10. Димо, Н. А. Роль и значение термитов в жизни почв и грунтов Туркестана.—1916 г. Москва.
11. Hilgard, E. W. Soils.—1906. New York.
12. Lyon and Fippen. Soils.—1909. New York.

13. Hall, A. D. The Soil.—1910. London.
14. Mitscherlich. Bodenkunde für Land-und Forstwirte.
15. Atterberg, A. Mechanische Bodenanalyse.— 1918. Verhandlungen der Zweiten Internationalen Agrogeologenkonferenz. Stockholm.
16. Zunker. Die Spezifische Oberfläche des Bodens als Grundlage für die Normung der Dränentfernung.—1923. Kulturtechniker. XXVI Jahrgang. Breslau.
17. Krauss. Die dem Prager Bodenkundlichen Kongress im April 1922 vorgetragene neue Methode zur Korngrössenbestimmung von Mineralböden.—1923. Der Kulturtechniker. Breslau.
18. King, F. H. Physics of Agriculture.—1901. New York.
19. Loughridge, R. H. Distribution of water in the soil in furrow irrigation.—1908. Bull. 203. Office of Exp. Station, U. S. Depart. of Agriculture.
20. Briggs and Schanz, The Wilting Coefficient for Different Plants and its Indirect Determination.—1912. Bull. 230. Bureau of Plant Industry U. S. Department of Agriculture.
21. Briggs and Shantz. The Water Requirement of Plants —1913. Bull. 285. Bureau of Plant Industry U. S. Depart. of Agriculture.
22. Widtsoe, J. A. and McLaughlin. The movement of Water in Irrigated Soils.—1912. Bull. 115. Utah Agricultural College, Logan, Utah.
23. W. H. Snelson. Irrigation Practice and Water Requirements for Crops in Alberta.—1922. Bulletin № 6. Department of the Interior Canada-Reclamation Service.
24. King. F. H. Irrigation and Drainage.—1922. New York.
25. Davis, A. P. and Wilson, H. M. Irrigation Engineering.—1919. New York.

Глава II.

Изменение искусственными поливами естественных условий влажности почвы и произрастания растений.

Вода, данная почве искусственным поливом, расходуется различным образом. Часть ее теряется или стекает раньше, чем она успеет проникнуть в почву, испаряясь в воздух с поверхности воды и стекая (поверхностным стоком) в наиболее пониженные места поля, откуда использование ее делается практически невозможным. Остаток воды проникает в почву и под влиянием силы тяжести и капиллярных сил движется вниз и вбок, через промежутки и волосные поры, образуемые частицами почвы. Часть этой воды, войдя в соприкосновение с волосными концами корней растений, поглощается ими и идет на питание растений и на создание процесса образования тканей, путем транспирации через листву; другая часть теряется путем испарения с поверхности почвы, ибо вода под действием сил капиллярности поднимается из влажной подпочвы на высыхающую поверхность и здесь поглощается воздухом. Наконец, третья часть воды успевает под влиянием силы тяжести проникнуть вниз, ниже зоны всасывающего действия корней, и достигает или горизонта грунтовых вод или же, если заложены дрены и дренажные канавы, стекает в последние. Таким образом, вода расходуется:

во-первых, транспирацией через листву растений; часть этой воды идет на образование массы растения;

во-вторых, испарением почвенной влаги;

в-третьих, просачиванием через почву ниже зоны питания растений.

в-четвертых, поверхностным стоком, имеющим место при примитивных способах орошения.

Испарение воды листьями растений (транспирация).

Испарение воды листьями растений (транспирация) значительно превосходит количество воды испаряемое почвой. С точки зрения сельского хозяйства особый интерес представляет количество сухих веществ (вес),

заключающихся в растениях в зависимости от разного рода факторов и, в частности, что специально интересует нас, в зависимости от количества потребленной воды. В сущности, величина жатвенных сборов определяется весом сухого вещества растения. Количество испаряемой влаги растениями принято выражать двояко: или как число единиц влаги, испаряемой растениями на единицу веса сухих веществ или как число единиц влаги, испаряемой растениями и почвой на ту же единицу веса сухих веществ. Первое назовем коэффициентом транспирации, второе—коэффициентом транспирации и испарения. Результаты, полученные на опытной станции Logan, Штата Юта, С. Америки, для различных культур при различных степенях почвенной влажности, на плодородном суглинке приведены ниже (в средних цифрах) в таблице 7.

ТАБЛИЦА 7.

Род культур.	Коэффициент транспирации.	Коэффициент транспирации и испарения.
	Пудов воды на 1 пуд сухого вещества растения.	
Пшеница	458	1018
Сахарная свекла	510	630
Кукуруза	392	675
Горох	740	1119

Обработка почвы (разрыхление ее поверхностного слоя) сильно понижает эти коэффициенты, что видно из нижеследующих средних данных той же опытной станции для культуры кукурузы из таблицы 8.

ТАБЛИЦА 8.

Род почвы.	Коэффициент транспирации.	Коэффициент транспирации и испарения.
	В пудах воды на 1 пуд сухого вещества растений.	
Супесь (обработанная)	252	423
Супесь (необработанная)	603	754
Суглинок (обработанная)	428	681
Суглинок (необработанная)	535	744
Глина (обработанная)	582	1684
Глина (необработанная)	753	2019

Удобрение почвы также понижает коэффициенты испарения, например—прибавление 0,1% азотнокислого натрия в супесчаную почву уменьшает коэффициент испарения и транспирации (для кукурузы) с 1133 до 857.

Установлению коэффициентов испарения и транспирации были посвящены многочисленные опыты различных исследователей. Наиболее ценными являются работы Бриггса (Lyman J. Briggs) и Шантца (H. L. Schantz), произведенные в Колорадо на станции Acron, в 1913 году. Они установили, что введение удобрения в бедную почву может уменьшить потребление воды растениями на половину и даже на две трети, что величина транспирации больше в сухом, чем во влажном воздухе, что она увеличивается вместе с температурой, с силой ветра, солнечной радиацией, достигая минимума ночью. Коэффициент транспирации весьма разнится не только для различных растений и различных почв, но, даже, для одного и того же вида растений, при одинаковых почвенных условиях, получаемые разными исследователями величины коэффициентов транспирации сильно отличаются друг от друга, что видно из таблицы 9:

ТАБЛИЦА 9.

Величины коэффициентов транспирации (число пудов воды на 1 пуд сухого вещества растений) по данным различных исследователей.

Авторы. / Род культуры.	Вольни. 1886 г. Мюнхен, Германия.	Хельригель. 1883 г. Даме, Германия.	Кинг 1892—95 гг. Мадисон Висконсин.	Видтсо. 1900 г. Логан, Юта.	Лезер. 1910—11 гг. Пуза, Индия.	Бриггс и Шантц 1913 г. Акрон. Колорадо.
Пшеница	—	359	—	546	554	507
Овес	665	401	541	—	469	614
Ячмень	774	297	388	—	468	539
Горох	416	292	477	843	563	800
Люцерна	—	—	—	—	—	1.068
Картофель	—	—	423	—	—	448
Сахарная свекла	—	—	—	497	—	377

Если мы привели выше цифровые данные, то, конечно, не для того, чтобы ими можно было слепо пользоваться в других почвенных и климатических условиях. Задача наша заключалась в том, чтобы читатель мог себе представить категорию цифр, их взаимное соотношение, а также всю важность постановки аналогичных исследований у себя, для получения своих местных данных. Во избежание недоразумений отметим, что под сухим веществом растения, мы понимаем сухое вещество всего растения, то-есть зерна, стеблей, корней, листьев.

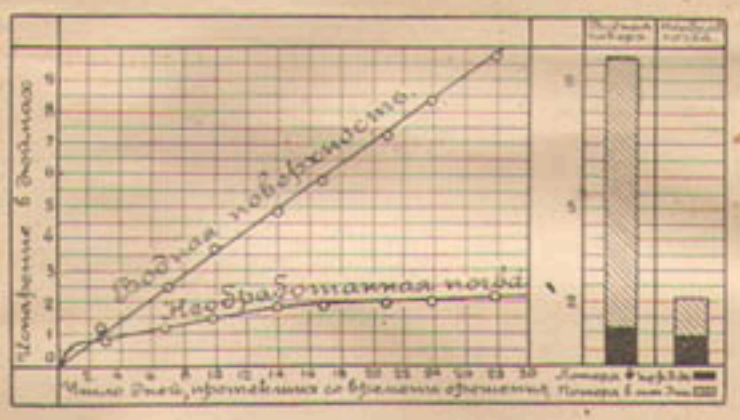
Испарение почвенной влаги на орошаемых землях.

Воздух около почвы почти никогда не бывает насыщен. В засушливых районах он обычно бывает очень сухой, так что испарение принимает весьма серьезные размеры. Величина испарения зависит от целого ряда обстоятельств, из которых главными являются структура и состав почвы (физический и химический), глубина распространения почвенной влажности, метеорологические условия (температура, процентное отношение солнечных

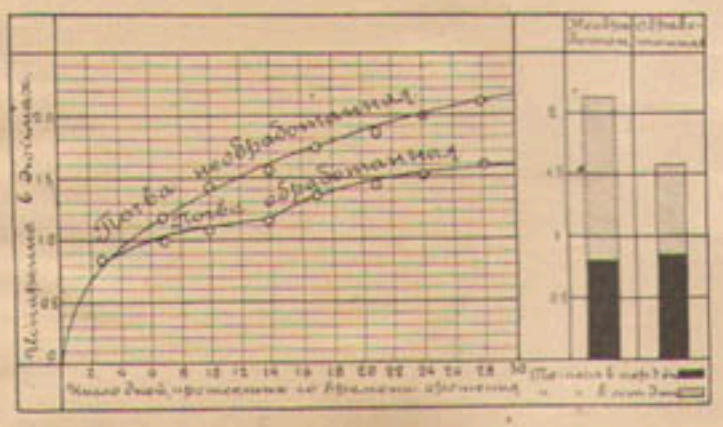
дней к полному числу дней, относительная влажность, осадки и их продолжительность), начальная влажность почвы (т. е., влажность до начала полива), состояние поверхностного почвенного слоя. Из всех перечисленных факторов, влияющих на испарение почвы, человек имеет возможность влиять только на два фактора, а именно на начальную влажность и состояние поверхностного слоя почвы.

Пропорциональная зависимость между количеством испарения и этой влажностью наталкивает на мысль, что последнюю необходимо удерживать по возможности низкой, то-есть не приступать к поливам раньше, чем это явится необходимым с точки зрения потребности растения в воде (влажность начальной капиллярности).

Поддержание поверхностного слоя в разрыхленном состоянии играет колоссальную роль, в смысле уменьшения потерь воды от испарения. Как мы уже указывали в первой главе, это явление объясняется нарушением непрерывности капиллярных трубок. Некоторые почвы, богатые известковыми примесями, обладают свойством само-разрыхления, то-есть, они сами распадаются при высыхании. Чаще же приходится производить разрыхление искусственным путем. Такое взрыхление полезно производить после каждого полива и каждого дождя, но на это обычно не хватает рабочих рук. Разрыхление поверхностного слоя имеет еще одно весьма серьезное преимущество в том, что оно сокращает потери воды от поверхностного стока, позволяя последней быстро просачиваться в почву.



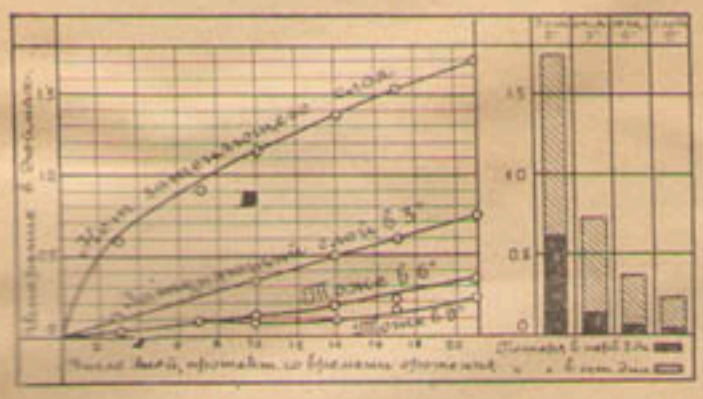
Черт. 8. Потери через испарение с поверхности необработанной почвы и со свободной водной поверхности.



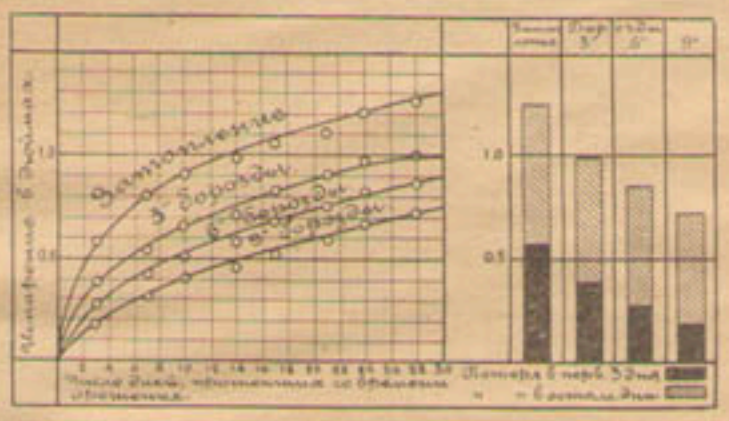
Черт. 9. Потери через испарение с поверхности обработанной и необработанной почвы.

На чертежах 8, 9, 10 и 11 приведены в графической форме средние результаты исследований над испарением с водной поверхности, с поверхности голой почвы, обработанной и необработанной, взрыхленной на глубину 3-х, 6-ти, 9-ти дюймов, при орошении затоплением и бороздами различной глубины (3, 6 и 9 дюймов). Опыты производились на шести станциях в Соединенных Штатах Северной Америки, а именно: в Sunnyside (Штат Вашингтон), Davis

(Штат Калифорния), Reno (Штат Невада), Caldwell (Штат Айдаго), Сельскохозяйственном Колледже (Штат Новая Мексика), Bozeman (Штат Монтана).



Черт. 10. Потери через испарение с поверхности почвы, защищенной затеняющим слоем [1]).



Черт. 11. Потери через испарение с поверхности почв, орошенных затоплением и по бороздам различной глубины.

Просачивание воды через почву.

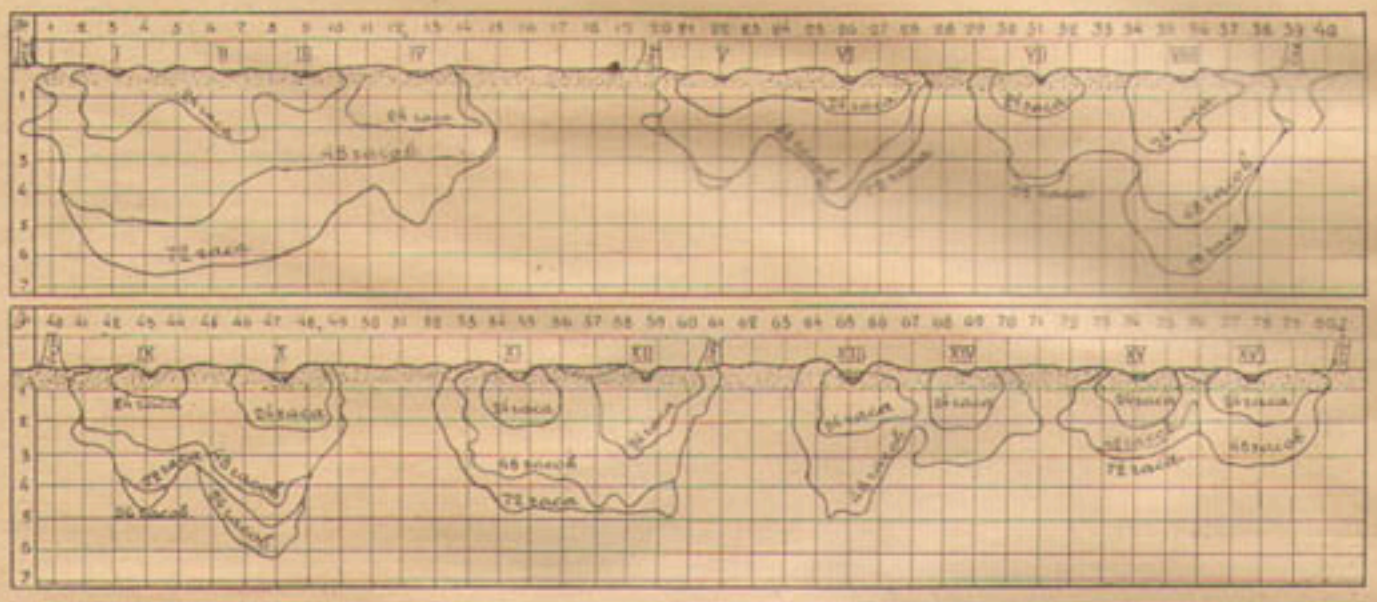
Просачивание происходит тем более медленно, чем суше почва. Это объясняется тем, что при сухом состоянии почвы толщина водяной пленки, окружающей частицы земли, весьма мала и притяжение вновь прибывающих молекул воды очень энергично. Лишь когда влажность почвы достигнет состояния начальной капиллярности, движение воды будет происходить более быстро. Это подтверждается практикой,—в первый год орошения вода не проникает на значительную глубину в почву.

Кроме вертикального движения воды в почве, боковое ее распространение представляет большой интерес для поливного хозяйства, напр., в тех случаях, когда подача воды на поля происходит при помощи бороздок, проведенных с боку от растений. Благодаря силе тяжести, движение воды вниз происходит всегда быстрее, чем вбок. В поверхностном слое последнее совсем незначительно и на практике редко превышает 3 фута. Дальность бокового проникновения зависит, конечно, от почвенных условий.

Довольно наглядную картину распространения поливной воды в разного рода почвах дают нижеприводимые диаграммы, составленные проф. Лафридж на основании произведенных им исследований в Южной Калифорнии по поручению Управления Ирригационных Исследований Департамента Земледелия Соед. Шт. Сев. Америки. Им был применен следующий метод определения глубины просачивания. Поперек поля, орошаемого параллельными бороздами, была вырыта траншея, глубиною до 6 фут. (перпендикулярно к направлению борозд), пересекающая ряд борозд. Вода через траншеи передавалась при помощи деревянных лотков. Через ровные промежутки времени (12 или 24 часа), после начала полива, снимался тонкий слой почвы с боковых щек траншей для наблюдения изолиний распространения влажности в почве (см. черт. 12). Первая диаграмма дает картину просачивания для

[1]) Взрыхление верхнего слоя, покрытие его соломой, навозом, покров люцерны и т. п. создают условия, защищающие поверхность почвы от усиленного испарения.

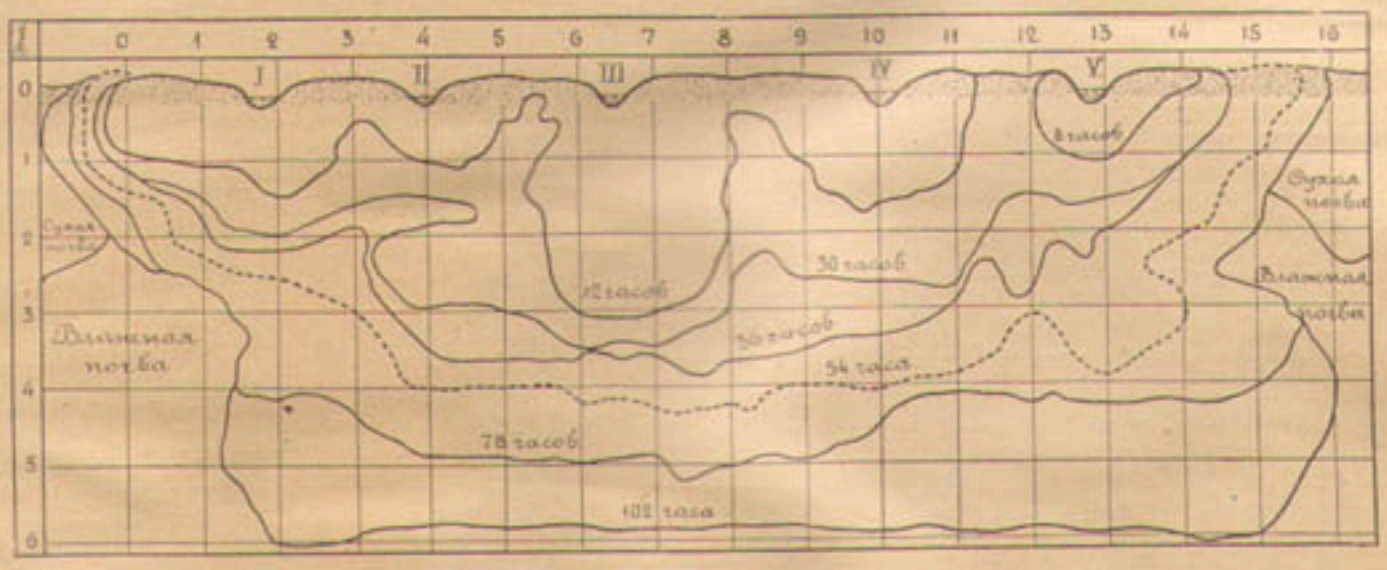
супесчаной почвы, подстилаемой на глубине 7—9 футов песчаной подпочвой. Она показывает, что боковое распространение влаги очень незначительно, менее 3-х футов от оси бороздок, по которым протекает вода.



Черт. 12. Изолинии быстроты просачивания воды под поливными бороздами в легком суглинке, подстилаемом песчаной подпочвой.

Из этого можно заключить, что борозды необходимо проводить поближе к деревьям и достаточно часто, чтобы не оставлять неувлажненных полос почвы.

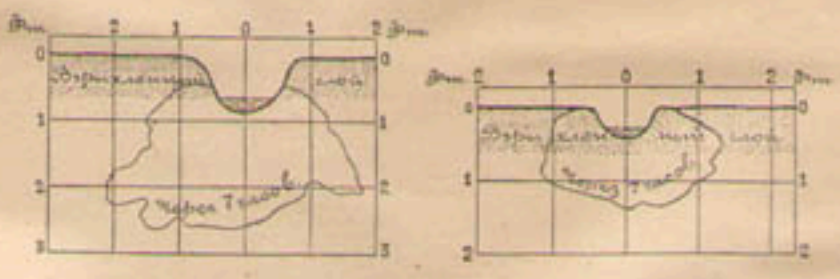
Следующая диаграмма иллюстрирует явление для хрящеватой тяжело суглинистой почвы с очень плотной подпочвой. Дальность бокового просачивания в этой почве значительнее, просачивание—медленнее (см. черт. 12).



Черт. 13. Изолинии быстроты просачивания воды под поливными бороздами в хрящеватом тяжелом суглинке.

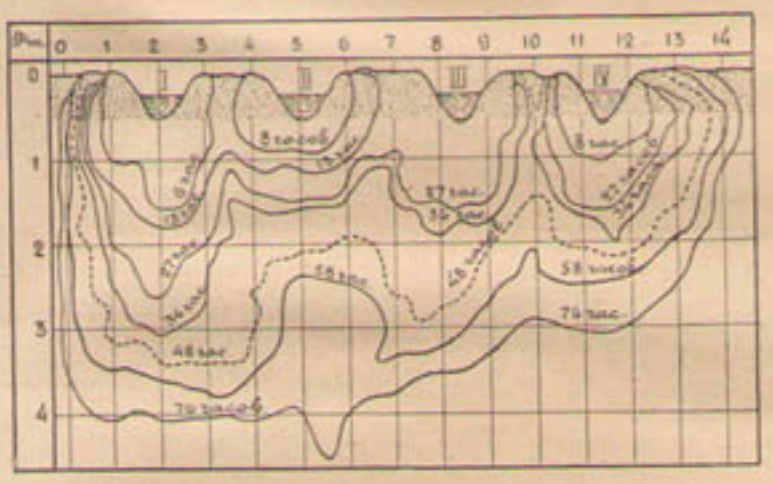
Глубина просачивания воды вниз и дальность распространения вбок зависит не только от рода почвы, но и от глубины бороздок. Глубокие бороздки имеют то преимущество, что при них меньше смачивается поверх-

ностный разрыхленный слой водою, чем при мелких. Нижеприводимые диаграммы (см. черт. 13, 14, 15 и 16) показывают глубину распространения воды в песчаной почве под бороздами глубиной в 10 и 5 дюймов по прошествии 7 часов при одних и тех же условиях почвы и подачи воды.



Черт. 14 и 15. Изолинии быстроты просачивания воды из борозд, глубиною в 10" и 5" за период времени в 7 часов.

В возделываемой почве глубина распространения действия корневой системы определяет тот горизонт, проникая ниже которого, вода уже теряется для растений и поступает на питание грунтовых вод. Очевидно, для одной и той же почвы, но для разного рода растений этот критический горизонт будет различен. Необходимо также принять во внимание, что глубина корневой системы одного и того же вида растений может сильно меняться в зависимости от условий влажности почвы. В поисках воды корни могут глубоко проникать в почву, могут следовать за понижающимся уровнем грунтовых вод до известного, конечно, предела.



Черт. 16. Изолинии быстроты просачивания под глубокими поливными бороздами в тяжелом суглинке.

Вода, просочившаяся вниз, за пределы корневой системы, не только является потерянной для полезного использования, она часто причиняет существенный вред, питая грунтовые воды, поднимая их горизонт до зоны

Черт. 17. Изолинии быстроты просачивания под мелкими поливными бороздами в тяжелом суглинке.

распространения корней и выше. При этом все поры почвы заполняются водою, свободная циркуляция воздуха (необходимого, как мы выяснили выше для процессов питания и дыхания растений через корневую систему) прекращается, и растения начинают гибнуть. Подъем грунтовых вод неминуемо влечет за собою усиленный подъем солей, значительную концентрацию их в верхнем слое почвы, что опять таки может причинить растениям, в случае, если содержание солей превзойдет критические пределы, существенный вред.

На величину потерь через просачивание существенно влияет количество подаваемой воды при каждом орошении. Когда полив происходит только небольшими дозами воды, почти вся вода может быть задержана в зоне питания корней. Наоборот, при поливе большим количеством воды, значительная масса ее проходит ниже и теряется, таким образом, для полезного использования. Опыты произведенные Видтсо и Маклафлином на станции Логан (Штат Юта), показали (см. таблицу 10), что, когда полив выражается в затоплении почвы слоем воды в 2,5 дюйма, вся вода сохраняется в слое почвы толщиною в 8 фут, в течение нескольких недель после орошения; при орошении 5 или 7дюймовым слоем, в течение того же срока, в том же слое почвы, удается сохранить 77—69% просочившейся в почву воды.

ТАБЛИЦА 10.

Распределение влаги в почве до и после полива.

Толщина поливного слоя, в дюймах.	Число опытов.	До или после орошения.	Процентное содержание всей влаги в слоях почвы, толщиной в 1 фут, от веса сухой почвы.								Среднее содержание.	Среднее содержание без гигроскопической воды.
			1	2	3	4	5	6	7	8		
2,5	23	До	9,57	10,55	11,78	12,97	11,92	11,41	11,75	11,49	11,43	7,10
		После	19,24	13,70	13,17	13,84	12,66	12,72	12,31	12,70	13,67	9,34
		Увеличение влажности.	9,67	3,15	1,39	0,87	0,74	1,31	0,56	1,21	2,24	2,24
5,0	115	До	12,97	14,08	15,68	16,09	15,21	15,18	14,77	13,92	14,74	10,41
		После	23,92	20,71	19,27	17,95	16,25	15,79	15,60	14,81	18,04	13,71
		Увеличение влажности.	10,95	6,63	3,59	1,86	1,04	0,61	0,83	0,89	3,30	3,30
7,5	44	До	10,6	12,41	14,44	15,11	14,20	13,40	13,13	13,27	13,33	9,00
		После	23,83	21,83	20,05	17,40	15,87	14,66	14,21	14,15	17,75	13,42
		Увеличение влажности	13,21	9,39	5,61	2,29	1,67	1,26	1,08	0,88	4,42	4,42

Таким образом, при поливе слоем воды в 2,5 дюйма, средняя влажность пласта почво-грунта, глубиною в 8 футов, поднялась на 2,24%, при поливе слоем в 5 дюймов—на 3,3%, при поливе слоем в 7,5 дюймов—на 4,42%. Если принять во внимание, что для увеличения влаги в слое данной почвы (плотный суглинок), толщиною в 1 фут, на 1% (от веса почвы) требуется подача почве 4,2 куб. саж. воды, а, следовательно, для почвенного пласта, глубиною в 8 футов—33,6 куб. саж. и, что это количество, вылитое

на одну десятину, дает слой поливной воды толщиною в 1,165 дюйма, то станет очевидным:

а) что при поливе слоем воды в 2,5 дюйма вся вода остается в рассматриваемом почвенном пласте (8 футов глубиной),

б) что при поливе в 5 дюймов остается только 77%,

в) что при поливе в 7,5 дюймов остается только 69%.

В последних двух случаях часть воды от 23 до 31% просочилась в почву ниже 8-ми футов и отчасти поглотилась атмосферой, благодаря почвенному испарению.

Почва, в которой производились опыты, была супесь. Оптимальное содержание воды в почве обусловливается таким ее количеством, которое может заполнить от 40 до 60% объема пор. Для этого необходимо, чтобы в почве находилось от 16 до 24% воды от веса сухой почвы (принимая порозность грунта в 40% от объема почвы). Сопоставляя цифры таблицы, выражающие среднее количество влаги в почве после полива в 13,67%, 18,04%, 17,75%, с только что определенным оптимальным количеством влаги для данной почвы (16—24%) и вышеуказанными величинами потерь, можем заключить, что величина наиболее благоприятного полива находится между 2,5 и 5 дюймами, ближе к 4 дюймам (это соответствует поливу 110—115 куб. саж. на одну десятину).

Минимальное количество воды, при котором начинается увядание растений, определяется влажностью увядания, которая, согласно Бриггсу, в 1,5 раза больше гигроскопической влажности. Величина последней, в результате опытов над той же почвой на различной глубине, дается в таблице 11:

ТАБЛИЦА 11.

Глубина почвы, в футах.	2	3	7	8	Среднее.	Влажность увядания в ‰ от веса сухой почвы.
Содержание гигроскопической воды в ‰ от веса сухой почвы	5,02	4,80	4,89	3,61	4,33	$1,5 \times 4,33 = 6,5$

Картина высыхания той же почвы, находящейся под различными посевами, дается в таблице 12 (опыты произведенные Видтсо и Маклафлином).

Эти данные показывают, что во всех случаях, за исключением люцерны, количество воды, сохранившееся в почве, было выше влажности увядания, несмотря на большой промежуток времени, прошедший после полива.

ТАБЛИЦА 12.

Виды растений.	Число дней после полива.	Число опытов.	Процентное содержание всей влаги в слоях почвы, толщиной в 1 фут, от веса сухой почвы.								Среднее количество воды в почве.	Оставшееся кол. воды за вычетом гигроскоп. воды.
			1	2	3	4	5	6	7	8		
Кукуруза	38	2	8,83	8,87	11,03	9,59	11,27	11,03	8,95	9,47	9,88	5,55
Свекловица	35	7	6,86	9,54	11,78	12,26	11,61	14,33	11,90	11,76	11,26	6,93
Картофель	32	5	9,27	10,76	13,63	14,94	13,15	13,54	13,29	11,92	12,44	6.11
Пшеница	*40*	*14*	*5,64*	*6,52*	*7,56*	*8,98*	*7,19*	*9,38*	*10,94*	*10,15*	*8,21*	*3,98*
Люцерна	31	4	8,34	8,08	7,60	6,19	5,78	6,64	—	—	6,82	1,92
Горох	27	3	7,66	8,61	9,75	11,32	13,47	13,28	—	—	10,68	5,78
Кукуруза	55	4	9,72	10,02	10,27	10,89	10,88	9,23	—	—	10,17	5,27
Незасеянная земля (обработанная)	36	3	18,63	18,63	17,91	18,26	—	—	—	—	18,38	13,48
Овес	34	3	6,05	7,03	10,15	8,82	11,46	9,22	9,97	12,15	9,36	5,03

Поверхностный сток воды.

Величина этого вида потерь воды почти целиком зависит от уменья и старательности, которые будут проявлены при подготовке земли под орошение и при пользовании поливной водой. Несомненно, что в правильном и организованном поливном хозяйстве поверхностный сток можно было бы довести до нуля. В практике с этими потерями приходится считаться и они достигают часто значительных величин, в зависимости от следующих факторов: 1) уклона поверхности орошаемых участков, 2) длины пути, совершаемого оросительной водой, 3) структуры почвы, 4) количества воды, подаваемого на орошение за один полив, 5) величины секундного тока, которым отпускается вода отдельным водопользователям на орошение и, наконец, 6) от того способа, каким распространяется вода по поливному участку. Весьма часто в практике пользуются водой, стекающей с вышележащего участка, для орошения нижележащих; в таком случае потери от поверхностного стока могут быть сведены к нулю.

Влияние каждого из приведенных факторов трудно определить в количественном отношении. Общую суммарную величину потерь от поверхностного стока можно встретить в отчетах и бюллетенях отдельных орошаемых районов и опытных станций, преимущественно иностранных, но, конечно, этими цифрами практически воспользоваться нельзя и если мы их ниже приводим, то только для того, чтобы показать, насколько они бывают значительными и как важно производить измерения и этого рода потерь. Для восьми орошаемых районов Соед. Штатов (Монтана, Северная Дакота, Вайоминг и проч.) средняя потеря от стока выражалась, примерно, 8 процентами от всего количества воды, подаваемого на орошение. В районе Бойси, Штата Айдаго С. Америки), эта потеря на разных участках коле-

блется от 4 до 18%. Наконец, на некоторых орошаемых участках в Айдаго с глинистой почвой, по исследованиям Дона Х. Барка, величина поверхностного стока для полей под люцерной достигала 21,3% и под зерновыми культурами до 16,1%.

Многолетние опыты (с 1914 по 1922 год), произведенные Израэльсеном и Уинзором (Orson W. Israelsen and Luther M. Winsor, Utah Agriculture College, Соед. Шт.) в долине Sevier показали, что самым главным фактором, влияющим на величину стока, является поливная норма, то-есть то количество воды, которое подается на 1 десятину данной культуры при одном поливе. Это хорошо выявляет нижеприводимая таблица с результатами опытов названных исследователей:

ТАБЛИЦА 13.

Род культуры.	Глубина слоя воды, которым производится полив, в дюймах.	Поверхностный сток, выраженный в % от общего количества воды, поданного за данный полив.
Картофель	2,0	9,0
Картофель	3,5	20,0
Сахарная свекла	4,0	16,0
Картофель	5,0	23,0
Сахарная свекла	6,0	26,0
Сахарная свекла	8,0	28,0

Важно отметить, что, несмотря на самую тщательную планировку поверхности земли опытных участков и на малый уклон стока воды, даже при самых малых нормах полива, наблюдался сравнительно значительный процент потерь воды на поверхностный сток (при глубине единичного орошения в 2 дюйма—9%). Цифры стока для люцерны, при всех прочих равных условиях, меньше, чем для сахарной свеклы.

Изменения вызываемые в почве орошением.

Поливная вода производит в почве весьма существенные изменения, как физические, так и химические и бактериологические.

Физические изменения почвы. К разряду физических относятся: а) изменение силы сцепления, б) изменение объема, в) изменение структуры поверхностного слоя, г) изменение температуры, а также явления, связанные с отложением на поверхности почвы взвешенных в воде наносов.

а) Изменение силы сцепления частиц почвы имеет большое значение в сельском хозяйстве, ибо от степени вязкости почвы зависит в значительной степени легкость или затруднительность полевых работ. Сцепление зависит от крупности частиц почвы (чем частицы меньше, тем сцепление больше), от содержания воды (чем больше влаги, тем глина

мягче и песок тверже) и от содержания и состава солей (некоторые соли влияют на почву в смысле увеличения ее вязкости, другие же,—наоборот, например, известь).

Наиболее благоприятное состояние почвы (с точки зрения легкости ее обработки) соответствует тому моменту, когда лишь самый верхний слой ее является насыщенным водой, а остальная часть слоя, играющего роль в жизни растений (толщина его, как было указано выше, колеблется приблизительно от 5 до 8 фут.) не насыщена и степень влажности близка к оптимальной.

б) Объемное изменение почвы после полива известно всякому ирригатору. Объясняется это явление тем, что при смачивании частицы почвы группируются в гранули, занимающие больше места, чем сами частицы. Затем, при высыхании глина оседается и в ней образуются глубокие трещины. Объемные изменения бывают очень велики. В некоторых случаях оседание чистой глины превышает 30% первоначального объема. В средних почвах при поливах средней интенсивности изменение объема некоторые исследователи принимают равным от 7 до 12%.

Как мы уже указывали, почва и грунт в сухих районах бывают пронизаны от поверхности вплоть до уровня грунтовых вод многочисленными ходами и норами различных животных и сложными жилищами некоторых насекомых. После первых же поливов, когда почво-грунт на большую глубину пропитывается водою, начнется оседание и заполнение этих свободных полостей размягченным грунтом, таким образом сложная система подземных сооружений мира животных и насекомых погибает.

в) Действие оросительной воды на поверхностный слой почвы весьма интересно. Из исследований Камерона и Галлахера видно, что непосредственно после полива поверхностный слой разрыхляется и после высыхания—оседает; после следующего полива почва снова разрыхляется, но уже в меньших пределах, так что, по мере производства поливов, происходит процесс естественного уплотнения. В конечном итоге наступает некоторое равновесие, как нельзя лучше соответствующее благоприятной степени плотности поверхностного слоя. Наоборот, орошение приводит к разрыхлению слишком плотных почв, приближая состояние поверхностного слоя к благоприятной степени плотности.

г) Проникновение тепла в почву и повышение температуры почвы имеет огромное значение. В сельском хозяйстве очень существенно иметь возможность удлинить вегетационный период, что может позволить культивировать такие растения, которые при нормальной продолжительности вегетационного периода не вполне успевают вызревать. Следует стремиться, чтобы почва имела по возможности максимальную теплопроводность. Теплопроводность зависит, в свою очередь, от степени влажности почвы, при чем некоторые исследования приводят к заключению, что максимум соответствует моменту близкому к оптимальной влажности почвы. Таким образом, мы видим, что

целый ряд соображений указывает на то, что наилучшее состояние почвы совпадает с оптимальным увлажнением.

д) Все реки несут то или иное количество взвешенных частиц, но степень мутности колеблется в весьма широких пределах от одного примера к другому. Столь же велики и колебания мутности одной и той же реки в течение одного года. В общем, наибольшее количество мути проносится реками во время паводка. Обычно наибольшее количество мути встречается во время первого паводка, при возрастании расхода, после чего оно сильно падает. Насколько велико может быть количество проносимых рекой взвешенных частиц, свидетельствует, хотя бы, пример реки Рио-Гранде в Соед. Штатах, в которой количество наносов достигло во время одного из паводков 8,4% от расхода реки. Только небольшое число рек содержит летом, то-есть во время орошения, меньше 0,1% взвешенных веществ, но, даже при таком содержании, весьма умеренное орошение в 700 куб. саж. на десятину отлагает на этой площади около 400 пудов ила. В местностях, где орошение производится из рек, отличающихся более значительной мутностью, слой отлагаемого ежегодно ила может достигать нескольких дюймов.

Взвешенные наносы происходят, обычно, от размыва поверхностного слоя почвы, то-есть слоя, претерпевшего наибольшие изменения под действием солнечных лучей, воздуха, микроорганизмов и т. д. и являются, обычно, более плодородными, чем сама почва. Классическим примером, всем известным, оплодотворения почвы наносами является Нил, где такое удобрительное орошение практикуется с незапамятных времен.

Воды, вытекающие из озер или водохранилищ, предетавляющих из себя в сущности огромные отстойные бассейны, чисты и не обладают удобрительными качествами тех вод, которые несут значительное количество ила, поэтому они расцениваются ниже в деле орошения.

Следует отметить, что отложение наносов не всегда выгодно, ибо при высыхании они образуют корку, плохо пропускающую воду и воздух; однако, предотвратить это явление можно вспашкой полей осенью и бороненнем после первого весеннего полива, обычно особенно богатого наносами.

Изменение химического состава почвы орошением. Орошение может, в зависимости от обстоятельств, увеличивать или уменьшать количество солей в почве. Большинство веществ в известной степени растворимо в воде, поэтому всякая почвенная вода содержит то или иное количество солей в состоянии раствора.

Следовательно, некоторое количество солей вымывается уходящей в подпочву водой, но с другой стороны всякая вода, поступающая для орошения, содержит соли, которые поглощаются почвой, чем от части пополняется потеря солей вымыванием. Почвы засушливых районов гораздо более плодородны, чем почвы влажных районов, ибо последние обеднены постоянным процессом

выщелачивания. Тоже самое происходит при слишком обильном орошении земель, подстилаемых водопроницаемой галечниковой или гравелистой подпочвой.

Как раз противоположное явление имеет место при переорошении земель, лишенных такой водопроницаемой подпочвы, ибо оно сопровождается повышением горизонта грунтовых вод. При высыхании поверхностного слоя почвы, почвенная влага поднимается, благодаря явлениям капиллярности, кверху, унося с собой растворенные соли; у поверхности почвы происходит испарение, и, вместе с тем, отложение солей. Усиленная концентрация солей в поверхностном слое может пагубным образом отразится на плодородности почвы.

Засоление почв будет рассмотрено в дальнейшем при описании действия дренажной и водосборной сети.

Влияние влажности почвы на микроорганизмы. Вопрос влияния влажности на жизнь микроорганизмов еще мало изучен. Наиболее распространено мнение, что жизнь бактерий протекает наиболее интенсивно при обилии воды. Утверждение это нельзя, однако, принимать без оговорок, ибо для жизни растений необходимо достаточное количество воздуха, который не проникает в почву при насыщении ее водой.

Опыты, поставленные на опытной станции штата Юта в Америке, доказали, что наиболее важные из почвенных бактерий, а именно бактерии, производящие азотистые соединения, развиваются тем более интенсивно, чем влажнее почва, до известного предела. По достижении этого предела образование азотистых соединений значительно падает, при этом оптимальное состояние влажности почвы с точки зрения жизни полезных бактерий, не совпадает с оптимальным состоянием влажности, при котором поглощение корнями почвенного раствора наиболее благоприятно.

ЛИТЕРАТУРА:

Briggs, L. J. and Shantz.—The Water Requirement of Plants.—1913. Bull. 284 and 285 Bureau of Plant Industry, U. S. Depart of Agriculture.

Loughridge, R. H.—Distribution of Water in the Soil in Furrow Irrigation.—1908. Bull. 203. Office of Experiment Stations, U. S. Department of Agriculture.

Widtsoe, J. A.—Factors Influencing Evaporation and Transpiration.—1909. Bull. 105. Utah Agr. Col., Logan, Utah.

Bark, Don H.—Losses and Waste of Water.—1911—1912 Boise, Idaho.

Widtsoe, J. A.—and Mc Laughlin.—The Movement of Water in Irrigated Soils.—1912. Bull. 115. Utah Agr. Col.

Etcheverry, B. A—Irrigation Practice and Engineering Vol. I.—1915. New York.

Israelsen, O. W. and Winsor, L. M.—The duty of Water in Sevier Valley.—1922. Bull. 182. Utah Agr. Col.

Fife, A. Investigations of duty of Water on Coal Creek in Utah —1922. Bull. 181. Utah Agr. Col

King, N. H. Irrigation and Drainage.—1922. New York.

Глава III.

Различные виды и цели орошения.

Водою, искусственно приводимой на поверхность земли, пользуются в различных климатических и почвенных условиях для осуществления различных целей: увлажнения почвы, удобрения ее, отепления или; наконец, для освежения растений. Различные задачи требуют различных методов, поэтому следует отличать следующие четыре вида орошения:

1. Увлажнительное.
2. Освежительное.
3. Удобрительное.
4. Отеплительное.
5. Смешанное.

Увлажнительное орошение.

Увлажнительное орошение, то-есть искусственное введение влаги в почву там, где она имеется в количестве недостаточном для произрастания культур или где это количество не обеспечивает получения земледельцем оптимальных жатвенных сборов с его полей, является кардинальным видом орошения. Почти все курсы орошения, а также и данное руководство, имеют в виду главным образом лишь увлажнительное орошение, так что от рассмотрения его сущности, в настоящем кратком обзоре видов орошения, можно воздержаться.

Освежительное орошение.

Освежительное орошение применяется, когда влажность почвы падает, приближаясь к влажности увядания, и растения начинают терять свой свежий вид. Дать как раз в этот момент, хотя бы, незначительный полив, освежающий растение, спасающий его от увядания и дающий возможность продержаться до ближайшего дождя или увлажнительного орошения, есть задача освежительного орошения. Очевидно, что освежительное орошение требует значительно меньших количеств воды, чем увлажнительное, что применение его может иметь место, главным образом, в районах, где

засуха—временное явление и где естественные осадки дают в общем достаточное или близкое к нему количество воды, но распределяются по времени не так, как это требуется для жизни растений. Устройства, создаваемые для применения освежительного орошения, значительно дешевле обычных оросительных систем (созданных для увлажнительного орошения). Экономический их эффект бывает весьма существенным. Например, по данным орошаемых хозяйств в Восточной Пруссии иногда бывало достаточно дать за весь вегетационный период полив в 1,5 дюйма глубиною, чтобы увеличить урожай до двух раз. Освежительное орошение принимает в последнее время вид искусственного дождевания и, в связи с изобретением новых, более рациональных конструкций для дождевания, получает все большее и большее распространение. Данному вопросу посвящена ниже специальная глава.

Удобрительное орошение.

Удобрительное орошение в чистом виде применяется, главным образом, в странах, обладающих в достаточной мере влажным климатом, которые обычно не нуждаются в искусственном увлажнении. Почвы таких стран, как уже было сказано, нередко бывают недостаточно плодородными в силу постоянного выщелачивания из них полезных для растений солей дождевой водой. Удобрительное орошение преследует цель корректирования этого недостатка солей путем введения их в почву в растворенном в оросительной воде виде. Химический состав поступающей для удобрительного орошения воды гораздо важнее, чем это имеет место при простом увлажнении и определение качества ее путем химического анализа совершенно необходимо. Обычно, теоретическое определение потребного количества воды бывает мало надежным и нормы поливов устанавливаются с достоверностью только опытным путем.

Вода несет взвешенные наносы и растворенные соли; как одни, так и другие могут быть использованы для удобрения. Однако, наносы рек влажных районов представляют малую ценность в этом отношении и главное внимание обращается здесь на содержащиеся в воде соли. Удобрительное действие наносов гораздо более ясно выражено в засушливых районах, но здесь удобрительное орошение составляет неотъемлемую часть увлажнительного и должно рассматриваться с ним совместно.

До начала орошения в почве имеется некоторое равновесие между солями, растворенными в почвенной влаге и солями (растворимыми) в самой почве. При поливе концентрация изменяется; в зависимости от концентрации солей в поливной воде, концентрация солей в почвенной влаге увеличивается или уменьшается. Если концентрация воды больше, то по истечении некоторого промежутка времени опять наступает равновесие с несколько большей концентрацией солей в почвенной влаге. Если концентрация воды меньше, то некоторое количе-

ство нерастворенных солей в почве поступит в раствор и равновесие опять наступит. В первом случае почва всегда обогащается солями, во втором же случае, если вода имеет возможность свободно стекать в подпочву, происходит обеднение. Отдача солей воды почве происходит тем энергичнее, чем интенсивнее растительный покров в момент полива.

Воды источников и родников обычно мало пригодны для удобрительного орошения, в особенности, если они содержат много поваренной соли, серного ангидрида, окиси железа и органических кислот (гумусовых). Наиболее пригодными являются воды рек и некоторые сточные воды городской и фабричной канализации. Сама пригодность поливной воды и потребное количество ее могут быть, очевидно, установлены только на основании тщательных анализов, как поливной воды, так и почвы и, кроме того, на основании учета потребления культивируемыми растениями различных веществ из почвы. Необходимо здесь отметить, что аналитический метод необходим, но не достаточен. Только многолетние опыты, произведенные на данной почве с данной водой и с интересующими нас культурами, могут дать надежные результаты.

Потребное количество воды колеблется в весьма широких пределах в зависимости от качества воды и степени бедности почвы. Так, 230 куб. саж. городских сточных вод в год часто достаточно для орошения одной десятины. С другой стороны, на удобрительное орошение лугов на крупнопесчанистой почве (в Вогезах) расходуется ежегодно около 230.000 куб. саж. воды на десятину. Таким образом, максимальная норма для удобрительного орошения превосходит чуть ли не в сто раз существующую максимальную норму увлажнительного орошения.

Наиболее подходящей водой для удобрительного орошения является такая, которая содержит необходимые для произрастания культивируемых растений питательные вещества (извлекаемые из почвы при каждом урожае), и, следовательно, возмещает потерю особенно тех веществ, которые или вовсе отсутствуют в данной почве, или имеются в ней в недостаточном количестве, или в трудно растворимом состоянии. Отсутствие в воде взвешенных (осаждающихся) веществ, то-есть, прозрачность ее отнюдь еще не указывает на непригодность воды для удобрительного орошения. Даже вода абсолютно прозрачная может иметь полное применение для целей орошения, благодаря растворенным в ней веществам.

Мутность поливной воды определяется взвешенными в ней наносами. Наносы могут состоять, как из органических, так и из минеральных веществ, при чем первые из них, хотя и бывают полезны для посева, часто являются причиной многих „неприятностей" для оросительных каналов. Вообще значение наносов, как удобряющего вещества, хорошо известно. Существуют примеры бесплодных почв, не представляющих никакой ценности без искусственного удобрения, которые при удобрительном орошении мутными водами, дают два жатвенных сбора в год (долина р. Маас во

Франции и др.). В долине р. Дюране (во Франции) мутные воды этой реки расцениваются в продаже на орошение в 10—12 раз дороже чистых вод других речек. Таких примеров можно было бы привести много.

Отеплительное орошение.

Полив изменяет температуру почвы, если поливная вода холоднее почвы, почва теряет часть своей теплоты и наоборот. Ранний весенний полив, произведенный согретой лучами солнца водой, поступающей, например, из мелководного водохранилища или по каналу значительной длины, сразу же прогревает почву и существенно удлиняет вегетационный период. Опыт показал, что в странах не с суровым климатом, луга, поливаемые зимой теплой водой, остаются зелеными, круглый год. Так называемые „марциты“,—луга в окрестностях Милана, могут служить классическим примером отеплительного орошения. Вода берется из артезианских колодцев, в которых температура держится круглый год от 6 до 8 градусов Цельсия, так что, при обильном орошении, луга с легкостью выдерживают сравнительно небольшие зимние морозы. Марциты требуют больших затрат труда, но дают зато совершенно неслыханный урожай от 6600 до 10000 пудов на десятину.

В условиях сурового климата зимний полив не достиг бы цели и в этих случаях надо оставлять луг сухим к зиме. Но в условиях сурового климата отеплительное орошение может весною ускорить начало вегетационного периода, а осенью продлить его, что очень важно для многих сельско-хозяйственных культур. Количество теплоты, которое поливная вода должна приносить для того, чтобы поднять температуру почвы до требуемой величины, может быть грубо определено расчетом. Часть теплоты, содержащаяся в поливной воде, теряется при испарении последней во время полива (процессы испарения воды требуют громадного количества теплоты), другая часть теряется, оставаясь в воде успевшей просочиться в дренажные канавы. Таким образом, зная температуру и количество воды приведенной для полива, температуру и количество дренажных вод, величину испарения, величину поверхностного стока, теплоемкость почвы, можно подойти к приближенному определению возможного повышения температуры почвы. Очевидно, что задачу можно поставить и иначе, а именно: требуется определить, какое количество воды данной температуры надо дать при поливе, чтобы поднять температуру интересующего нас почвенного слоя до заданной величины.

Смешанное орошение.

Под смешанным орошением надо подразумевать орошение, преследующее одновременно несколько целей, например, увлажнение и удобрение, или увлажнение, удобрение и отепление и т. п. Обычно увлажнительное орошение, преследуя только цели увлажнения, приносит в некоторой сте-

пени и удобрение и отепление, так как вода рек, являющихся большей частью источниками орошения в засушливых районах, содержит в себе значительное количество наносов и солей и, протекая по длинным и сравнительно мелким оросительным каналам, сильно прогревается, так что температура ее весною много выше температуры почвы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Friedrich, A.—Kulturtechnischer Wasserbau.—1923. Berlin.
2. Levy Salvador.—Hydraulique agricole. 1923. Paris.
3. Журнал „Kulturtechniker" за 1920—1923 г.г. Ряд статей по дождеванию.
4. Шарпантье де-Коссиньи—Земледельческая гидравлика. 1895 г. Петербург.

Глава IV.

Вода, как поливной материал.

Вода не представляет из себя лишь химическое соединение водорода и кислорода. Всякая вода содержит некоторое количество растворенных солей, взвешенных наносов и газообразный кислород. Кислород необходим для питания растений, остальные примеси в зависимости от их состава могут быть или полезны или вредны, как непосредственно для растений, так и для микроорганизмов в почве, играющих важную роль в процессе питания растений. Состав и количество примесей определяют качества и ценность воды, как поливного материала. Нередко случается, что вода содержит такое количество примесей, вредных для растений, что ее приходится признавать непригодной для целей орошения. Количество примесей может колебаться в природе в чрезвычайно широких пределах, как в отношении содержимости растворенных солей и кислорода, так и количества взвешенных наносов. Колебания эти значительны не только в различного рода водных источниках, например, в ключевых и речных, но и в водах одного рода и, даже, в одном и том же источнике в зависимости от времени года.

Наиболее подходящей водой для орошения данного вида почвы является такая, которая содержит необходимые для произрастания культурных растений питательные вещества (извлекаемые из почвы при каждом урожае) и может возместить потерю особенно тех веществ, которые или вовсе отсутствуют в данной почве, или имеются в ней в недостаточном количестве или в трудно растворимом состоянии. Существенное значение играет также температура поливной воды. Она не должна быть холоднее почвы, чтобы не вредить росту растений. Часто даже требуется (как мы уже указывали), чтобы поливная вода вносила в почву некоторое дополнительное количество теплоты.

Теперь, совершенно очевидно, что, прежде чем можно было бы признать пригодность водного источника для орошения намеченного участка земли и установить количество воды, потребной для полива намеченных к культивированию растений, необходимо произвести тщательное изучение состава воды данного источника, как предполагаемого поливного материала.

Сопоставляя анализы почвы и подпочвы с данными по составу и количеству примесей, содержащихся в воде, и учитывая потребление растениями из почвы питательных веществ, сравнивая температуры воды и почвы в различные моменты года, мы сможем установить, насколько намеченный нами водный источник годен для целей орошения. При проектировании новых ирригационных систем желательно, в целях осторожности, предварительно произвести орошение ряда опытных участков, в природных условиях, для различных типов почв и подпочв, встречающихся в районе, захватываемом проектом.

Содержание солей.

Определение допустимых пределов концентрации солей в поливной воде представляет трудную задачу, ввиду большого разнообразия почв по их солевому содержанию и поглотительной способности. Однако, эта проблема так важна, что заслуживает глубокого дальнейшего изучения. Как известно, около 30.000.000 десятин земли, то есть, около семи процентов всей обрабатываемой земельной территории в мире находится под искусственным орошением. В будущем эта площадь должна неминуемо значительно расшириться, ибо на 25—30% всей поверхности суши сельское хозяйство невозможно без искусственного орошения, несмотря на все успехи сухого земледелия; при этом следует отметить, что в пределах засушливой территории лежат земли с богатыми почвами. Между тем, „воды меньше, чем земли", то-есть, потребное количество воды для орошения земель, нуждающихся в искусственном увлажнении, гораздо больше, чем имеется в существующих водных источниках. Это почти повсеместное явление в засушливых странах. Поэтому, весьма важно получить возможность использовать различные виды водных источников, даже несущие большое количество растворенных солей. Отсюда понятна необходимость определения действительно опасных пределов содержания солей в поливной воде. Вопрос этот может быть теоретически выявлен, повидимому, в связи с развитием нового учения о поглотительной способности почвы. Опытные данныя американских исследователей показывают, что так много факторов влияет на степень вредности различных солей, что невозможно установить точно допустимое предельное их содержание в поливной воде. Характер почвы, дренаж, сорт возделываемых растений, количество поливной воды, влажность почвы, методы обработки почвы и ряд других факторов влияют существенно на решение вопроса. Гильгард (Hilgard) утверждает, что в большинстве случаев содержание $NaCl$, Na_2CO_3, Na_2SO_4, $CaSO_4$ в пропорции 685 частей на 1 миллион частей воды является предельно допустимым. Однако, эта цифра, как показали последующие исследования, может значительно изменяться в зависимости от относительного содержания отдельных солей. Так, например, гипс ($CaSO_4$) безвреден в количестве даже 2739 частей на 1 миллион, но уже 342 части углекислого натрия (Na_2CO_3) причинят серьезный вред после 3-х—4-х лет орошения. Важную роль играет при этом дренаж. Опыты

в штате Вайоминг (С. Америки) показали, что практически задерживаются, если орошение производится очень малыми количествами воды, все содержащиеся в ней соли. Наоборот, большое количество воды, подаваемой на поля еженедельно или дважды в неделю, позволяет солям постоянно уходить в дренажную сеть. В оазисах Сахары для орошения пользуются водою, содержащей до 8000 частей солей на 1 миллион частей воды. Но это допустимо лишь для особо солеустойчивых культур на легко проницаемых почвах, если при этом приняты меры против испарения воды и аккумуляции солей в поверхностном слое почвы. Опыты в Гавайе с поливной водой, содержащей 2000 частей солей на 1 миллион, показали, что, если сооружен достаточно мощный дренаж, даже в умеренно пористых почвах наблюдается малое накопление солей. Кроме того, промывание почвы относительно чистой зимней и весенней водою оказалось очень благотворным в некоторых засоленных районах. С другой стороны, в Аризоне (один из сухих штатов Сев. Америки), даже при хорошем дренаже, почва удерживала от 50 до 60% солей из воды, содержащей около 1000 частей на 1 миллион.

В полу-сухих и влажных областях можно принимать для полива более соленую воду, так как, во-первых, ее меньше идет на полив, а, во-вторых, почва иногда хорошо промывается дождями.

Остановимся еще на некоторых факторах, влияющих на величину предела допускаемого содержания солей в поливной воде.

Факторы, влияющие на предельную величину допускаемого содержания солей в воде. При значительном содержании солей в поливной воде, орошение затоплением следует предпочесть орошению бороздами. Особенно это относится к тем случаям, когда имеется сильный дренаж почвы, позволяющий применять большие поливные нормы, благодаря которым происходит выщелачивание части скопляющихся в почве солей. Опыты показывают, что почва, затопляемая через каждые 8 дней щелочной водой, содержит менее $^1/_3$ того количества солей, которое собирается в грядках при орошении бороздами.

Опыты в Гавайе доказали, что вода, содержащая около 3430 частей главных солей на 1 миллион частей воды, а также много извести, магнезии и поташа, может быть использована для орошения в случае применения больших поливных норм.

Чрезмерное орошение, в целях предупреждения аккумуляции солей у поверхности, производит вымывание значительных количеств извести и магнезии. Почва, не содержащая извести, портится от щелочной воды больше, чем известковая. Такая вода вымывает из почвы также сернистые, углекислые и азотистые соли кальция.

Если в воде содержится сернокислый кальций ($CaSO_4$), то углекислый натр (Na_2CO_3) в почве (черные солончаки) нейтрализуется и становится менее ядовитым.

Если вода не содержит углекислого натрия, содержание остальных солей может быть значительно увеличено без вреда для растений. На опытных станциях штатов Юта и Новой Мексики (С. Америки) концентрации

порядка 4300 действовали губительно на растения. По данным европейских опытных станций, вода, содержащая от 5000 до 10000 частей, понижала урожайность травы и овощей и совершенно убивала посевную траву. Хлеба страдали от поливки их, во время роста, хлористыми и углекислыми водами с концентрациями около 7389 частей на 1 миллион. Сахарный тростник при поливке чистой водой дал на 11 тонн с акра больше, чем когда вода содержала 3430 частей соли, главным образом, хлористого натрия. Рис (дикий) не переносит концентраций выше 1754 для хлористого натрия. Вышеприведенные цифры даны нами для характеристики качественной стороны явления, а не для того, чтобы ими можно было пользоваться в местных условиях. Мы уже указывали, от какого сложного комплекса факторов зависит предельная величина допускаемого содержания солей. Очевидно, можно базироваться только на данных, полученных из местных опытов.

Предельная величина допускаемого содержания солей в поливной воде. В течение зимнего сезона 1918 года на опытной станции при Сельско-Хозяйственном Колледже, в штате Юта, была поставлена серия опытов для выяснения вопроса о том, при каких содержаниях трех главных щелочных солей поливная вода причинит немедленный вред всходам пшеницы или вызовет даже полную их гибель. Было взято 1320 больших цилиндрических сосудов, в каждый из которых было помещено по 200 гр. сухой суглинистой почвы и, после увлажнения ее 22,5 процентами воды, в каждый сосуд было посажено по 10 зерен Ново-Зеландской пшеницы. Затем сосуды были разделены на 20 групп по 66 сосудов в каждой.

Черт. 18. Диаграмма показывает все 66 комбинаций с солями NaCl, Na_2SO_4 и Na_2CO_3, которые были испытаны. В каждой группе (20 групп) были испытаны показанные 66 комбинаций солей; группы же отличались друг от друга степенью концентрации растворов.

Сосуды в каждой группе были расположены в плане так, что общая площадь, занимаемая ими, представляла треугольник. Через 10 дней после прорастания зерен, во все сосуды было прибавлено по 17,5% влаги, после

чего они смачивались за один раз двадцатью куб. сант. раствора солей, действие которых тщательно наблюдалось. Концентрация 20 различных растворов колебалась от 0,0625 до 1,2500 граммолекул в 1 литре. Серии были снабжены этикетками от *A* (самый слабый раствор) до *T* (самый крепкий раствор). Каждый из 66 сосудов в группе получал раствор с одной и той же концентрацией, но с различными комбинациями солей. Каждая соль испытывалась и в чистом виде и в комбинации с другими солями порознь и вместе, в пропорциях, варьировавших от 1 до 9, как это графически показано на чертеже 18.

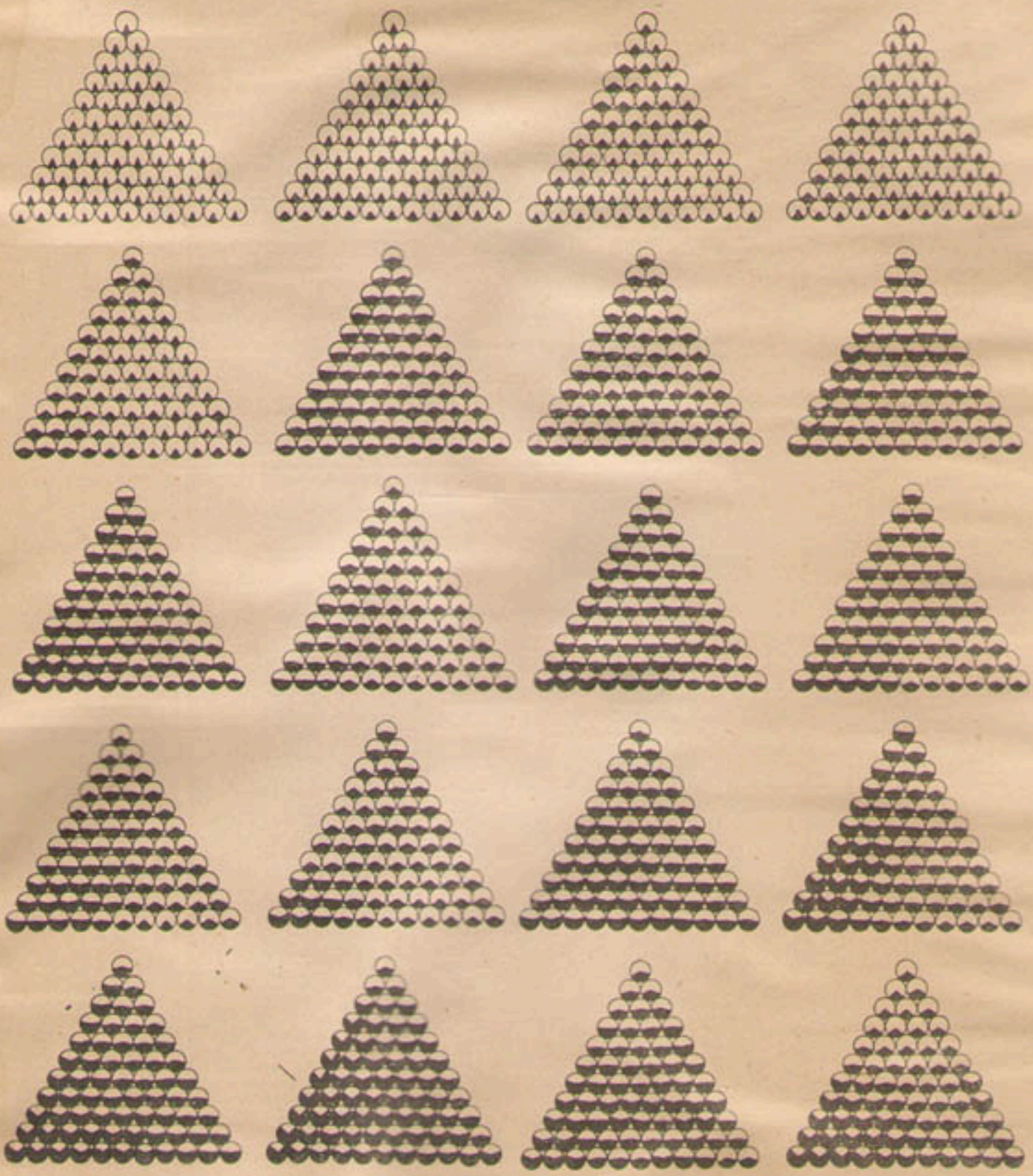
Концентрация растворов каждой группы и количество частей соли на 1 миллион частей воды для угловых сосудов треугольника с несмешанными солями показаны в нижеприведенной таблице:

ТАБЛИЦА 14.

СЕРИИ ОПЫТОВ	Концентрация раствора.	Число частей солей на 1 миллион частей воды.		
		NaCl	Na_2CO_3	Na_2SO_4
A	0,0625	3654	6625	8879
B	0,1250	7308	13250	17759
C	0,1875	10961	19875	26638
D	0,2500	14615	26500	35518
E	0,3125	18269	33125	44397
F	0,3750	21923	39750	53276
G	0,4375	25576	46375	62156
H	0,5000	29230	53000	71035
I	0,5625	32884	59625	79914
J	0,6250	36538	66250	88794
K	0,6875	40191	72875	97673
L	0,7500	43845	79500	106553
M	0,8125	47499	86125	115432
N	0,8750	51152	92750	124311
O	0,9375	54806	99375	133191
P	1,0000	58460	106000	142070
Q	1,0625	62114	112625	150949
R	1,1250	65768	119250	159829
S	1,1875	69421	125875	168708
T	1,2500	73075	132500	177588

Так как раствор приливался в количестве 10% от веса сухой почвы, то одна десятая часть приведенного в таблице содержания солей (в растворе) будет представлять то количество солей, которое вводится на 1 миллион частей почвы. Влияние раствора на рост растений (вялость

листьев, потемнение и разрушение основания стебля) и на общее здоровье растений бралось в процентном отношении к нормальным растениям. Результаты представлены на черт. 19, показывающем средний эффект солей для



Черт. 19. Результаты опытов с различной степенью концентрации солей NaCl, Na_2SO_4 и Na_2CO_3.

всех перечисленных признаков в общем для каждой из 20-ти групп. Черный сектор круга (отношением своей площади к площади всего круга)

показывает относительный вред для растений данного содержания солей. Белый круг—означает прекрасный рост, черный круг—полную гибель растения. Первые определенные признаки отравления солями проявились в серии *E*, где состав солей был следующий: на 1 миллион частей воды около 1800 частей хлористого натрия, или 3300 частей углекислого натрия или 4400 частей сернокислого натрия, или же наконец различные смеси этих трех солей (при одинаковой концентрации). Хлористый натрий и особенно углекислый натрий становятся очень ядовитыми в этих пропорциях, серно-кислый же натр не так определенно вреден. В этой серии чистые соли или только немного смешанные с другими оказались более вредными, чем в случаях приблизительно равной смеси. Смесь хлористого и углекислого натрия, повидимому, является такой же ядовитой, как и обе эти соли в отдельности, но во всяком случае не больше. Группа *F*, содержавшая около 2200 частей хлористого натрия, 5300 частей сернокислого натрия и 4000 частей углекислого натрия, оказалась одинаково ядовитой вся, настолько, что растения дали менее двух третей нормального роста. Вообще, опыт показал, что смесь всех трех солей немного менее ядовита, чем один углекислый натрий или смесь углекислого и хлористого натрия. Сернокислый натрий и смеси, содержащие большое его количество, менее вредны, чем остальные две соли.

Следует заметить, что серия *Q* оказалась немного менее вредной, чем серия *F*, хотя в общем отношения между солями в смысле вредности оставались те же, как и для серии *F*, за исключением того, что один хлористый натрий был более ядовит, чем большая часть каких-либо смесей всех 3-х солей.

В сериях *H* и *J* в почвах, получивших углекислый или хлористый натрий или смесь этих двух солей, растения дали менее половины номрального роста. Влияние сернокислого натрия оказалось значительно больше, чем в предыдущих сериях. Большой токсический эффект одного углекислого натрия, по сравнению с эффектом других солей, в этих сериях оказался менее, чем в предыдущих. Общий же эффект смесей был почти тот же самый, как и в серии *F*. В дальнейших сериях состояние растений отчасти колебалось, но в общем заметно их ухудшение по мере усиления концентрации солей.

В итоге, как вышеприведенных опытов, так и ряда других, произведенных с различными почвами, интересно заметить нижеследующее: для пшеницы непригодна вода, содержащая более 1000 частей (на 1 миллион) углекислого натрия, и даже при 500 частях в короткое время урожаи будут понижены. Более 1000 частей хлористого натрия и более 4000 частей сернокислого натрия обнаруживали свое вредное влияние после 2—3 лет. Смесь всех 3-х солей менее опасна, чем самая ядовитая, и более опасна, чем наименее ядовитая из этих трех отдельных солей. Вода с более 4000 частями смешанных солей оказалась опасной. Слабые концентрации солей иногда вызывали усиление роста. На землях, орошаемых

щелочной водой, только первый год или при одной только поливке в год, могут применяться гораздо более сильные концентрации, чем упомянутые выше. Но, если поливка производится регулярно, то концентрации выше 500 частей углекислого натрия, 1000 частей хлористого натрия и 4000 частей сернокислого натрия, а также 4000 частей всех солей в смеси могут рассматриваться, как опасные. К этому вопросу мы предполагаем еще вернуться в главе о водосборной сети, в которой будет дан подробный анализ явления, поэтому здесь ограничимся приведенными сведениями.

Взвешенные наносы.

Обычные источники орошения—реки несут огромное количество взвешенных и донных наносов и являются в одно и то же время, как агентами размыва, так и агентами переноса и осаждения. Реки, откладывая наносы, образуют в своих поймах, по мере уменьшения уклона течения, почвы все более и более мелко-зернистого строения. Когда вода из реки поступает в оросительные каналы, то вместе с нею попадают в оросительную систему и взвешенные в ней мельчайшие частицы наносов. По пути в каналах осаждаются наиболее крупные фракции наносов—песок, илистые же частицы удерживаются во взвешенном состоянии и, при правильно запроектированной системе, могут, вместе с поливной водой, выноситься на поля и там откладываться, образуя свежий слой почвы, богатый во многих случаях удобрительными веществами: количество последних зависит от происхождения наносов. Обильные отложения наносов могут образовать значительный слой плодородной земли и, таким образом, мало плодородные почвы могут быть обращены постепенно в плодородные. Однако, при этом не только увеличивается количество химически удобряющих веществ, но также изменяется состав почв, а главное—их физические свойства. Физические же свойства почв определяют их плодородие не в меньшей мере, чем химический состав. Орошение дает удовлетворительные результаты, если оно применяется на почвах, обладающих достаточной влагоемкостью, средней водопроницаемостью и хорошей аэрацией. Водопроницаемость, будучи значительной в почвах, образованных отложением крупных наносов, становится очень незначительной в почвах, отложенных мелкими частицами. Мельчайшие наносные отложения почти совершенно водонепроницаемы. Что касается влагоемкости, она увеличивается по мере уменьшения величины наносных частиц, но не достигает никогда больших значений. Следовательно, взвешенные наносы, выносимые из оросительных каналов на поля, образуют почвенный слой достаточной влагоемкости, но плотный, водонепроницаемый и с малой аэрацией. Таким образом эти недостатки могут быть переданы орошаемым почвам.

Изменение физических свойств орошаемых почв под действием наносов, содержащихся в поливной воде, с большой легкостью можно проследить на очень старых оросительных системах. Ниже, в таблице 15 сопоставлены результаты исследований образцов почв, взятых с одной стороны из ста-

ринейших районов орошения, а с другой из соседних с ними районов, оставшихся в первобытном состоянии.

ТАБЛИЦА 15.

Название местности.	Районы, откуда взяты почвенные образцы.	Физический анализ.				Физические свойства.			
		Ил			Глина.	Влагоемкость (в %).		Содержание воздуха.	Водопроницаемость.
		Песчан.	Мелкий.	Очень мелкий.					
		В процентах от веса сухой почвы.				По объему.	По весу.	В % от объема.	[1]
1. Benimamet (Испания).	Орошенный par l'Acequia Real de Moncada (система сооружена еще во времена мавров) . .	14,4	17,8	32,4	15,0	38,1	24,4	9,5	0,06
Там же.	Неорошенный соседний район	30,9	16,8	16,0	7,5	24,2	15,6	17,3	0,46
2. Benifayo (Испания).	Орошенный par l'Acequia Real del Jucar (система сооружена еще во времена мавров) . .	15,3	16,2	23,6	19,7	34,5	24,3	11,5	0,10
Там же.	Неорошенный соседний район	20,3	17,1	13,7	10,3	27,5	19,0	16,7	0,42
3. Cavaillon (Франция).	Орошенный каналом Saint Julien (еще с XV века)	6,3	10,6	41,2	12,3	—	—	—	0,3
Там же.	Неорошенный соседний район	11,6	10,5	23,7	13,8	—	—	—	20,4

Из этой таблицы видно, что продолжительное орошение водами, содержащими взвешенные наносы, ведет к значительному увеличению в почве количества мелких частиц. В результате почвы делаются более плотными, менее аэрируемыми и, в особенности, менее водопроницаемыми.

Указанные изменения в физических свойствах ухудшают хорошие почвы. Но так как описанные изменения происходят очень медленно, земледельцы постепенно приобретают опыт, как надо обрабатывать и поливать подобные почвы, благодаря чему вредное влияние наносов не ощущается. Наоборот, бесплодные почвы путем отложения наносов, приносимых поливной водою, возможно превратить в хорошие, плодородные.

Источники орошения.

Качества поливной воды могут сильно меняться в зависимости от источника орошения, то-есть в зависимости от того, откуда она берется.

[1]) Водопроницаемость выражена высотой столба воды (в сантиметрах), просачивающейся в один час.

Источниками орошения могут быть: атмосферные осадки (естественное орошение), ручьи, речки и реки, ключи, естественные и искусственные водохранилища, колодезные и артезианские воды, сточные городские воды. Атмосферные осадки, выпадающие на поверхность почвы, содержат в растворе весьма малые количества солей по сравнению с земными водами, и, конечно, твердые наносы совершенно отсутствуют. Наоборот, количество газа, обычно, бывает значительно. Химический анализ показал, что дождевая вода в среднем содержит 5,97 куб. см. кислорода, 16,60 куб. см. азота и 4,47 куб. см. угольной кислоты на литр. Количество амминака колеблется в зависимости от интенсивности дождя: при мелком, медленно падающем дожде, оно достигает почти 3 мгр. на литр, при ливнях же—значительно меньше. Таким образом, при сопоставлении дождевой воды с водами другого происхождения видно, что они богаты, прежде всего, кислородом и это является главным их достоинством; значительное содержание азота также представляет некоторое значение. Угольной кислоты мало. Содержание солей в дождевой воде ничтожно (преобладает NaCl).

Воды атмосферных осадков, протекая по поверхности земли, растворяют на своем пути значительные количества минеральных веществ, а также смывают и сносят частицы грунта, остатки растительного и животного мира, обогащая, таким образом, те ручьи, речки и реки, в которые они в конце концов вливаются. Этот вид источника орошения обладает значительным разнообразием содержания растворенных солей и твердых наносов. Никаких общих средних цифр дать нельзя. Каждая река индивидуальна и режим ее довольно сложен в отношении содержания растворенных солей и наносов. что хорошо иллюстрируется таблицами 16, 17 и 18.

Совершенно негодной для орошения является вода, вытекающая из болот, насыщенная гумусной кислотой, а также речная вода, испорченная водоспусками из фабрик и заводов. Мало полезными для орошения являются также воды рудничного происхождения с большим содержанием солей.

Ключевые, колодезные и артезианские воды свободны от наносов. Количество растворенных веществ в них может быть весьма разнообразным и часто достигающим вредных пределов. Наконец, воды естественных и искусственных водохранилищ в значительной степени, а иногда и совсем бывают освобождены от взвешенных наносов, которые оседают в спокойной воде на дно. Количество растворенных солей зависит от содержания их в водном потоке, питающем водохранилище, а также от силы испарения с водной поверхности.

ТАБЛИЦА 16.

Содержание взвешенных наносов в воде различных рек, в пудах на 1 куб. сажень воды.

Название рек и пунктов наблюдения.	Год наблюдения.	Январь.	Февраль.	Март.	Апрель.	Май.	Июнь.	Июль.	Август.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.	Минимум, до которого падало содержание взвешенных наносов.	Максимум, до которого доходило содержание взвешенных наносов.	Годовое количество взвешенных наносов, приведенных водным током в 1 куб. сажень, в пуд.	ПРИМЕЧАНИЯ.
Р. Аму-Дарья. Чарджуй.	1913	0,393	0,321	0,605	1,527	3,364	0,852	2,417	1,379	0,831	0,337	0,278	0,258	0,258	3,364	33,26	Отчет Гидрометр. Части в Туркестане за 1913 г. Т. II. Стр. 166
„ „ Нукус [1]).	1913	0,335	0,718	0,890	0,016	1,088	2,647	—	—	—	0,462	0,521	0,464	0,016	2,647	18,67	Там же.
„ Сыр-Дарья [1]). Запорожье	1911	0,206	0,172	0,253	0,514	0,835	0,642	0,461	0,187	0,420	—	—	—	0,172	0,835	9,70	Отчет Гидрометр. Части в Туркестане за 1911 г. Т. I. Стр. 212.
„ Чу. II. 6-ой участок .	1912	0,039	0,480	0,473	0,294	0,212	0,212	0,256	0,162	0,239	0,141	0,137	0,065	0,039	0,480	7,06	Отчет Гидрометр. Части в Туркестане за 1912 г. Т. III. Стр. 114.
„ Чирчик II. Чимбайлык.	1912	0,047	0,082	0,844	0,248	0,266	0,201	0,057	0,016	0,006	0,016	0,011	0,018	0,006	0,844	4,87	Там же, стр. 109.
„ Аракс. Карадонлы:	1913	0,113	0,130	0,178	0,895	0,498	0,024	0,018	0,006	0,041	0,059	0,059	0,036	0,006	—	—	
	1913	7,340	1,375	4,500	14,721	5,941	0,516	0,243	0,154	7,275	0,308	0,522	0,480	—	14,721	—	
„ Кура. Тифлис . .	1913	0,003	0,006	0,142	0,178	0,202	0,089	0,042	0,006	0,006	0,003	0,003	0,012	0,003	—	—	Отчет Гидрометр. части на Кавказе за 1913 г. Ч. 3. Стр. 78, 86 и 97. С.-Петербург. 1915 г.
	1913	0,083	0,344	3,059	3,866	7,939	3,207	11,436	0,889	2,537	0,646	0,053	0,107	—	11,436	—	
„ Кура. Мингечаур .	1913	0,018	0,012	0,053	0,457	0,866	0,208	0,053	0,059	0,119	0,047	0,003	0,006	0,003	—	—	
	1913	0,053	0,160	2,917	3,545	7,126	1,660	2,810	2,733	4,986	0,457	0,065	0,065	—	7,126	—	
„ Рона. Лион.	1843—44	0,015	0,048	0,033	0,031	0,043	0,058	0,080	0,072	0,031	0,073	0,037	0,011	0,011	0,080	1,40	
„ Дюранс. Мериндоль .	1859—60	0,201	0,231	0,178	0,487	1,009	1,324	0,238	0,118	2,154	1,686	0,201	0,201	0,118	2,154	21,00	Dr. Albrecht Penck. Morphologie der Erdoberfläche. Стр. 300—301. T. I. Stuttgart.
„ Дунай [1]). Пешт . . .	1871—72	0,009	0,065	0,178	0,059	0,059	0,140	0,152	0,090	0,030	0,023	—	0,012	0,009	0,178	2,15	
„ Миссисипи	1851—52	0,341	0,371	0,404	0,226	0,183	0,578	0,510	0,628	0,395	0,143	0,136	0,228	0,136	0,628	10,87	
„ Ганг	1831—32			0,157				1,384				0,317		—	—	19,60	
„ Рио-Гранде [4]). Эль-Пас.	1897—904	6,937	6,818	6,937	8,122	6,996	4,802	8,893	12,450	16,778	7,826	3,320	4,269	3,320	16,778	247,55	B. A. Etcheverry. Irrigation practice and Engineering. Vol. II p. 85. New York. 1916.
„ Колорадо	1905	2,117	8,122	14,347	11,265	8,063	2,057	1,998	2,401	3,053	5,277	5,158	5,810	1,998	14,347	182,63	
„ Брекос [1]) (Техас) . .	1902	—	—	1,583	2,976	4,137	3,682	3,000	1,571	1,073	2,140	2,158	0,960	0,960	4,137	61,50	
„ Инд. Суккур . . .	1902	0,490	0,381	0,381	0,475	1,348	1,882	2,140	2,066	1,629	0,850	0,557	0,489	0,381	2,140	33,49	Buckley R. B. Irrigation Pocket Book. p. 109. London. 1913.
	1903	0,449	0,508	0,538	0,611	1,475	1,770	1,950	2,460	2,037	1,008	0,720	0,557	0,449	2,460	37,14	
	1904	0,664	0,570	0,793	0,727	1,057	1,944	1,847	2,003	1,512	1,026	0,623	0,406	0,406	2,003	34,71	
	1905	0,399	0,467	0,445	0,834	1,443	2,037	1,950	1,931	1,937	0,961	0,760	0,470	0,399	2,037	35,91	
„ Нил [2]). Каир	—	0,136	0,100	0,060	0,047	0,042	0,051	0,082	1,041	0,994	0,547	0,347	0,190	0,042	1,041	9,59	М. Н. Ермолаев. Современное орошение и хлопководство Египта. Стр. 32. С.-Петербург. 1910.

[1]) Количество наносов дано не за целый год, а только за те месяцы, данные для которых приведены.
[2]) Для рек Закавказья дано максимальное и минимальное содержание наносов.
[3]) Для рек Туркестана количество наносов за октябрь, ноябрь и декабрь дано за предыдущий год.
[4]) За период в $7^1/_2$ год.
[5]) Среднее за 10 лет.

ТАБЛИ

Среднее содержание растворенных веществ в воде различных

Название рек и пункта наблюдения.	Год.	Время наблюдения.	Плотный остаток.	Потери при прокаливании.	Прокален-ный остаток	Cl	SO_3	N_2O_5
Р. Аму-Дарья. Керки. . . .	1912	За год.	252,44	52,47	200,15	48,85	49,92	0
		За вегет. период	190,67	43,64	147,15	28,40	39,49	0
	1913	За год.	276,63	50,69	225,94	56,14	50,33	0
		За вегет. период	228,61	47,49	181,06	33,08	39,01	0
Р. Аму-Дарья. Нукус. . . .	1913	За год.	296,02	50,99	245,03	52,94	46,96	0
		За вегет. период	244,97	38,95	206,02	42,03	41,80	0,13
Р. Сыр-Дарья. Запорожье .	1912	За год.	237,56	61,98	172,58	19,15	64,39	0
		За вегет. период	176,70	52,71	123,49	13,34	43,61	0
	1913	За год.	222,98	46,60	176,38	19,68	58,13	0,07
		За вегет. период	165,11	32,37	132,74	14,41	38,00	0,06
Р. Нарын. Уч-Курган . .	1912	За год.	155,81	39,37	116,56	11,86	30,71	0
		За вегет. период	116,08	29,76	86,32	8,54	19,45	0
	1913	За год.	161,02	30,41	127,61	14,70	34,45	0
		За вегет. период	130,02	30,77	99,25	10,43	25,61	0
Р. Чирчик. Чимбайлык. . .	1912	За год.	88,40	—	—	1,13	8,30	0,10
		За вегет. период	80,33	—	—	1,36	7,06	0,09
Р. Чу. Константиновская	1912	За год.	147,39	36,58	110,81	6,52	24,96	0,08
		За вегет. период	148,75	33,97	114,84	6,40	31,78	0,09
	1913	За год.	141,87	27,33	114,54	5,75	15,53	0,05
		За вегет. период	142,64	27,74	114,90	5,40	12,15	0,03
Р. Иан. Илийская. . . .	1912	За год.	150,23	39,25	113,24	8,95	24,96	0,46
		За вегет. период	124,38	33,97	90,18	6,11	22,29	0,14
	1913	За год.	147,33	28,40	118,93	10,20	20,34	0,06
		За вегет. период	116,56	25,02	91,54	7,59	14,29	0,08
Р. Аракс. Карадонлы . . .	1913	1/I—15/III	319,56	88,93	230,63	83,27	34,56	0
		16/III—20/VII	205,13	30,83	174,30	71,41	26,38	0
		21/VII—23/IX	316,59	61,66	254,93	87,18	41,86	сл.
		24/IX—18/X	301,18	78,26	222,92	65,68	31,15	сл.
Р. Кура. Мингечаур . . .	1913	1/I—16/III	189,72	60,47	129,25	24,56	32,31	0
		17/III—20/VII	118,57	18,38	100,19	12,82	10,14	0
		21/VII—21/IX	161,85	39,13	122,72	10,09	22,35	0
		22/IX—16/X	145,85	46,24	99,61	12,33	21,94	0
Р. Кура. Тифлис.	1913	1/I—15/III	136,95	41,50	95,45	8,91	8,48	0
		16/III—19/VII	119,76	26,09	93,67	7,45	11,50	0
		20/VII—18/IX	119,76	33,20	86,56	19,91	11,92	сл.
		19/IX—18/XI	123,32	47,43	75,89	8,14	26,44	сл.
Р. Днепр. Киев . . .	1859	Летом.	154,66	—	—	2,73	0,89	—
		Январь.	193,60	—	—	2,35	0,83	—
Р. Нил. Каир.	1905—07	—	—	—	—	1,48	4,16	0
		—	—	—	—	15,41	6,34	0,36

Примечания. 1. Данные о составе воды р. Туркестана взяты из отчетов Гидрометрической части
2. Данные о составе воды р. Закавказья взяты из отчетов Гидрометрической части
3. Данные о составе воды р. Днепра взяты из книги Н. И. Максимовича „Днепр и
4. Данные о составе воды р. Нила взяты из книги М. Н. Ермолаева — Современное
5. В составе воды рр. Закавказья K и Na были показаны в виде KCl и NaCl. В в соответствующий столбец.
6. В некоторых анализах воды рек Туркестана суммарный вес прокаленного остатка
7. 0 — означает отсутствие элемента или соединения; — (тире) указывает, что в

Ц А . 17.

рек. в пудах, на 1000 кубических саженей воды.

N_2O_5	NH_3	N общ.	SiO_2	Al_2O_3 Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	CO_2 общ.	CO_2 связ.
0,06	0,02	—	5,87	—	48,73	11,80	7,41	36,88	—	—	—
0,06	0,02	—	5,10	—	44,70	9,78	6,23	23,54	—	—	—
0,01	1,93	—	6,46	—	73,81	14,29	6,11	42,63	—	—	—
0	0,15	—	5,28	—	53,65	10,49	5,81	26,50	—	—	—
0	0,06	—	6,70	—	68,52	13,93	8,30	42,39	—	—	—
0,01	0,07	—	6,58	—	53,54	12,09	7,29	37,47	—	—	—
0	0	—	7,53	—	47,19	20,63	5,92	22,94	—	—	—
0	0	—	5,99	—	37,23	14,82	5,07	14,35	—	—	—
0	0,11	—	7,65	—	52,82	24,84	8,42	20,51	—	—	—
0	0,11	—	6,11	—	39,31	17,37	10,08	15,30	—	—	—
0,02	0	—	4,98	—	39,08	12,98	3,44	13,46	—	—	—
0,01	0	—	4,57	—	31,96	9,84	2,91	9,25	—	—	—
0	0	—	7,29	—	41,56	18,38	4,68	13,22	—	—	—
0	0	—	7,00	—	34,51	13,04	4,92	8,95	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	1,91	17,85	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	0,60	27,03	—	—	—
0,02	0	—	6,82	—	43,81	10,26	3,32	14,82	—	—	—
0,02	0	—	6,52	—	49,86	10,97	3,14	14,34	—	—	—
0,02	сл.	—	7,71	—	43,69	10,73	3,02	15,24	—	—	—
0	сл.	—	8,30	—	43,69	10,85	3,79	16,13	—	—	—
0,05	0	—	6,46	—	45,71	9,96	3,91	17,55	—	—	—
0,01	0	—	5,10	—	33,38	7,77	4,21	13,28	—	—	—
0,03	0,11	—	6,70	—	39,19	10,73	4,92	15,59	—	—	—
0,03	0,11	—	6,23	—	32,01	8,24	5,45	13,28	—	—	—
0	сл.	1,70	18,08	сл.	47,96	13,70	16,68	34,56	0	90,77	—
0	сл.	4,68	14,70	сл.	34,27	8,72	2,25	39,14	0	73,04	36,64
0	0	1,30	14,23	сл.	40,55	29,05	16,27	38,70	0	119,11	58,93
0	сл.	2,37	16,36	сл.	53,95	27,39	2,25	18,22	0	88,81	43,04
0	0	2,61	7,47	сл.	24,90	6,70	9,02	14,11	0	53,71	—
0	сл.	4,03	6,88	2,13	35,93	3,44	0,60	7,59	0	61,78	31,13
0	0	1,42	4,15	0	42,33	10,14	3,78	4,56	сл.	75,47	37,29
0	сл.	1,90	8,06	0	32,49	13,40	1,91	4,02	сл.	58,16	28,28
0	сл.	2,61	10,61	сл.	37,00	4,92	2,06	3,17	0	64,09	—
0	сл.	2,49	9,37	2,85	36,28	2,25	1,65	4,18	сл.	55,26	27,57
0	0	1,54	1,07	0	24,90	7,71	2,77	11,94	0	58,34	28,69
0	сл.	1,25	5,35	0	28,46	9,01	1,34	3,65	сл.	39,78	19,33
—	сл.	—	—	0,47	33,73	6,28	0	0	0	—	—
—	0,63	—	8,00	0,71	42,93	9,75	0	0	0,35	—	—
0	0	—	6,23	0,95	23,12	6,17	—	—	1,29	—	—
0	0	—	10,67	0,95	23,66	8,36	—	—	1,51	—	—

О. З. У. в Туркестане за 1912 (т. III) и 1913 (т. II) гг.
при водном Управлении на Кавказе за 1913 г. (ч. 3).
его бассейн". стр. 294—296 Киев. 1901 г.
орошение и хлопководство Египта. Стр. 38. С.-Петербург. 1910 г.
цёлях однообразия и возможности сравнения произведен пересчет на K_2O и Na_2O, а Cl отнесен

и потерь при прокаливании неравен весу плотного остатка.
приводимых отчетах нет данных о содержании этих элементов или соединений.

ТАБЛИЦА 18.

Среднее месячное содержание взвешенных наносов в воде различных рек, в процентах по об'ему.

НАЗВАНИЕ РЕК.	Год наблюдения.	Январь.	Февраль.	Март.	Апрель.	Май.	Июнь.	Июль.	Август.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.	ПРИМЕЧАНИЯ.
Р. Аму-Дарья. Керки	1911 г.	0,132	0,208	0,332	0,746	0,736	0,458	0,297	0,310	0,338	0,126	0,151	0,145	По данным отчетов Гидрометрической Части в Туркестане (т. II). за 1911 (т. I), 1912 (т. III) и 1913 (т. II).
	1912 г.	0,140	0,178	0,413	0,685	0,688	0,536	0,660	0,447	0,220	0,123	0,094	0,099	
	1913 г.	0,134	0,137	0,244	0,766	0,774	0,348	0,546	0,351	0,265	—	—	—	
Р. Сыр-Дарья. Запорожье	1911 г.	0,038	0,034	0,050	0,132	0,249	0,168	0,127	0,080	0,257	0,086	0,184	0,107	
	1912 г.	0,018	0,072	0,105	0,365	0,192	0,205	0,172	0,248	0,129	0,053	0,048	0,030	
	1913 г.	0,055	0,071	0,122	0,164	0,498	0,219	0,199	0,086	0,077	—	—	—	
Р. Нарын. Уч-Курган	1911 г.	0,033	0,037	0,037	0,059	0,249	0,160	0,132	0,093	0,035	0,029	0,011	0,011	
	1912 г.	0,045	0,049	0,081	0,152	0,098	0,186	0,111	0,102	0,052	0,030	0,023	0,030	
Р. Иан. Ийская . . .	1911 г.	0,038	0,050	0,106	0,099	0,142	0,088	0,076	0,045	0,043	0,027	0,021	0,019	
	1912 г.	0,015	0,143	0,312	0,190	0,110	0,109	0,278	0,114	0,048	0,084	0,038	0,017	
	1913 г.	0,027	0,058	0,078	0,073	—	—	—	—	—	—	—	—	
Р. Кара-Дарья. Куйган-Яр	1911 г.	0,040	0,002	0,002	0,004	0,025	0,048	0,045	0,017	0,009	—	—	—	
	1912 г.	—	0,147	0,147	0,133	0,043	0,036	0,019	0,019	0,019	—	—	—	
Р. Чу. Константиновская	1911 г.	0,016	0,049	0,047	0,056	0,130	0,073	0,045	0,040	0,027	0,030	0,015	0,022	
	1912 г.	0,025	0,026	0,048	0,124	0,047	0,108	0,057	0,048	0,040	0,040	0,039	0,031	
	1913 г.	0,023	0,031	0,025	0,044	0,117	—	—	—	—	—	—	—	
Р. Чирчик. Чимбайлык.	1911 г.	0,035	0,035	0,035	0,200	0,084	0,028	0,012	0,005	0,005	0,008	0,028	0,028	
	1912 г.	0,028	0,028	0,079	0,059	0,036	0,039	0,036	0,006	0,006	—	—	—	
Brazos River. (Техас) . . .	1902 г.	0,00	0,00	0,793	1,494	2,078	1,848	1,503	0,790	0,541	1,075	1,082	0,484	B. A. Etcheverry.—Irrigation Practice and Engineering. Vol. II p. 85. New York. 1916.

Глава V.

Скелет ирригационной системы, основные элементы системы.

Ирригационная система представляет из себя сложное сооружение, имеющее возможность забирать воду из одного пункта, передавать ее на десятки и сотни верст и распределять в среднем равномерно по площади.

Надо различать два главных типа ирригационных систем:

а) постоянно действующие (Perennial irrigation), вне зависимости от горизонта и количества воды в источнике орошения;

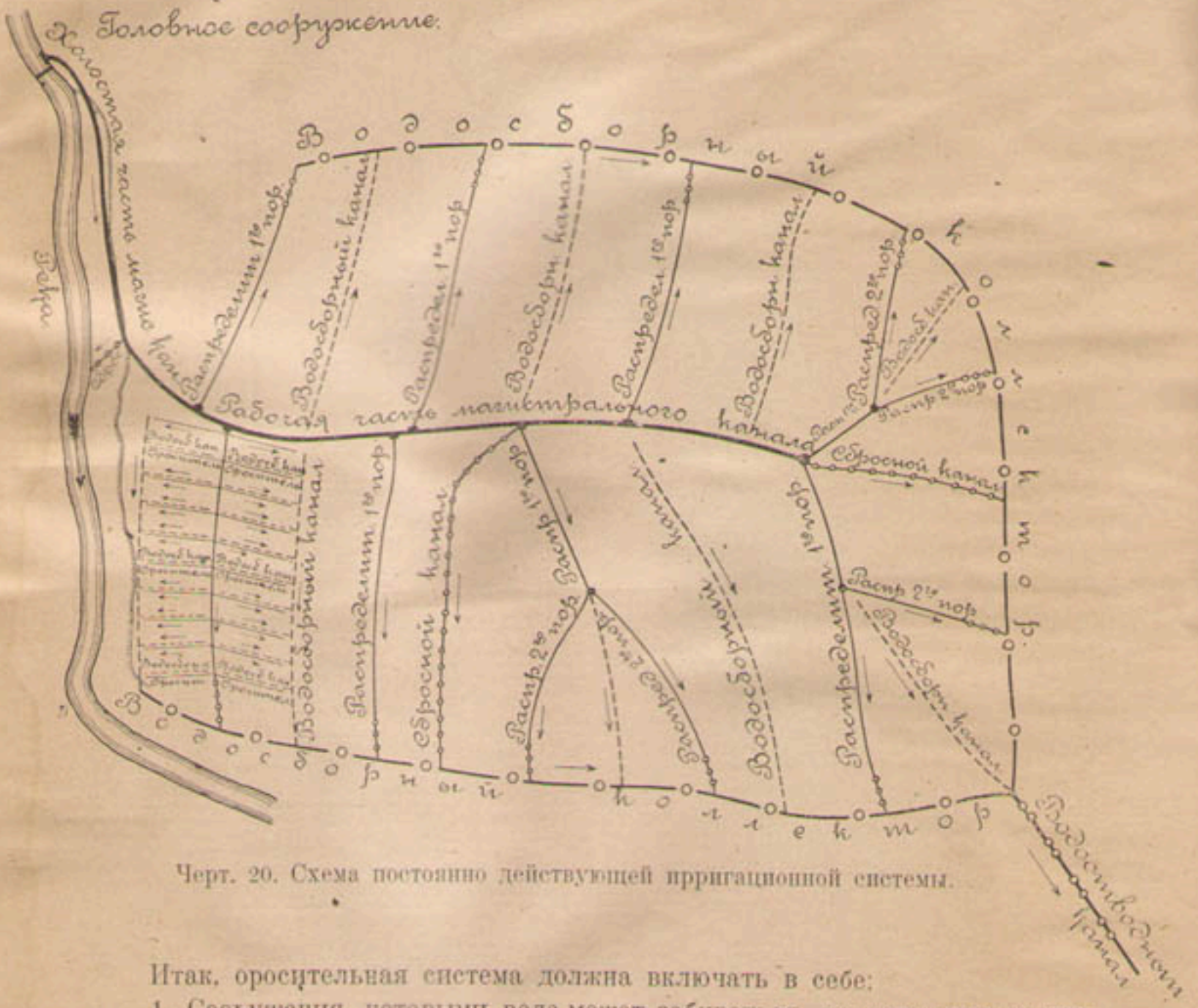
б) временно действующие (Basin irrigation, лиманное орошение, орошение затоплением), при наступлении паводков и подъеме горизонта в источнике орошения.

Каждый из указанных типов может встречаться или в виде правильной и вполне разработанной системы, обладающей всеми необходимыми элементами, или в виде примитивной, лишенной тех или иных сооружений, необходимых для рационального действия системы.

Постоянно действующая ирригационная система.

Постоянно действующая ирригационная система заключает в себе: сооружения, забирающие воду из источников орошения; главные каналы, проводящие воду от источников орошения вглубь орошаемого района; распределители, принимающие воду из главного канала и подающие ее вглубь отдельных участков; общественные оросители, являющиеся последними звеньями в водном передаточном механизме — они принимают воду от распределителей и подводят ее непосредственно к каждому земледельцу; хозяйственную оросительную сеть, разносящую воду непосредственно уже по орошаемой земле в пределах владения каждого земледельца и, наконец, водосборную и водосбросную сеть, выводящую из орошаемого района сточные, дренажные и излишние воды. Весь этот механизм, снабженный кранами (шлюзами), клапанами (сбросами), регулирующими приспособлениями (поперечными преграждениями), счетчиками (водомерами) и предста-

вляет из себя ирригационную систему. Следовательно, ирригационная система есть не что иное, как громадная машина, передающая воду из одного пункта на сотни верст и распределяющая ее в среднем равномерно по площади.



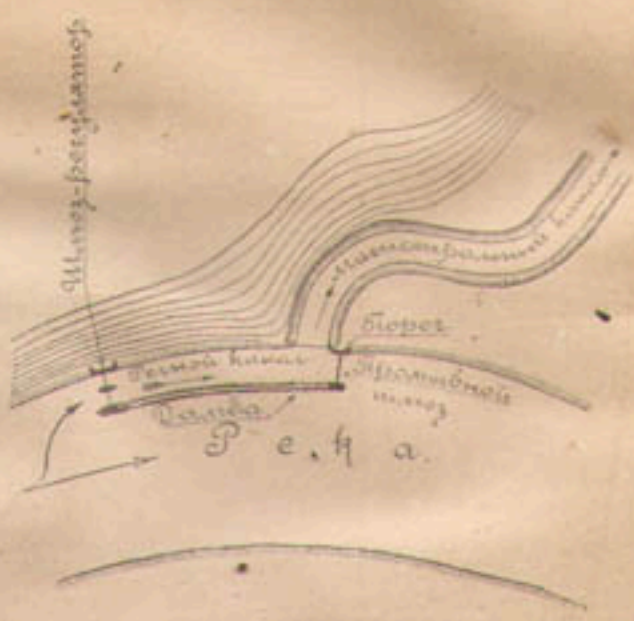
Черт. 20. Схема постоянно действующей ирригационной системы.

Итак, оросительная система должна включать в себе:

1. Сооружения, которыми вода может забираться из источника орошения в требуемом в каждый данный момент количестве. Эти сооружения называются **головными**. Если источником орошения является река, они могут быть следующих пяти видов:

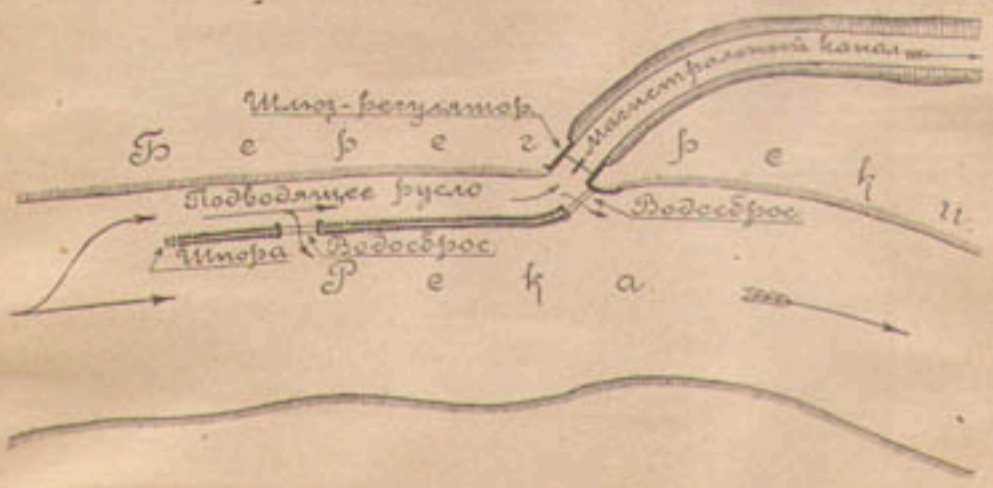
а) в виде подводящего русла—речного канала со шлюзом-регулятором в верховой части (см. черт. 21). Этот вид приходится применять тогда, когда высокий берег вилотную подходит к реке и магистральный канал невыгодно, в силу экономических соображений, „тянуть" вверх по берегу, так как пришлось бы прорывать глубокую, дорого стоящую выемку, особенно, если грунт скалистый или конгломератный. В этом случае выгоднее повернуть магистральный канал к

реке и проложить его по реке в виде речного канала, до того пункта на реке, в котором уровень воды даже при низких горизонтах достаточен, чтобы обеспечить питание магистрального канала необходимым расходом. Шлюз-регулятор в начале канала позволяет строго регулировать поступление воды в канал, а, следовательно, и в ирригационную систему, согласно действительной потребности;



Черт. 21. Подводящее русло с захватной шпорой, со шлюзом-регулятором в верховой части.

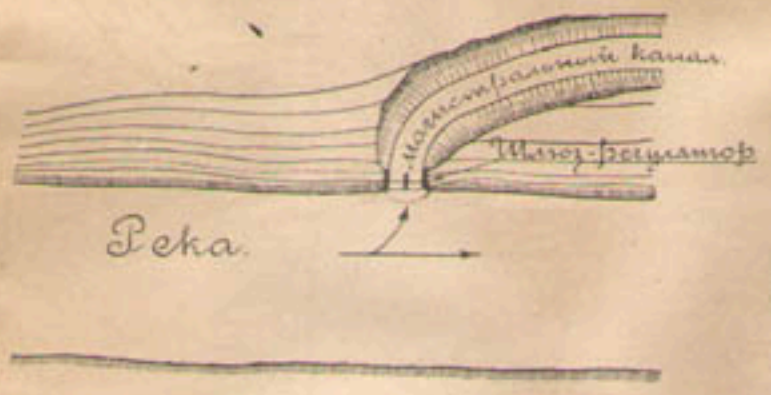
б) в виде подводящего русла с захватной шпорой, со шлюзом-регулятором в низовой части (у начала магистрального канала) и с водосбросными сооружениями, устроенными в теле шпоры (см. черт. 22). Это обычный вид головных сооружений туземных ирригационных систем: туземная техника не имеет возможности строить прочные шлюзы в воде, так как для этого требуется применение водоотлива или опускных колодцев или кессонов. При высоких горизонтах в реке в подводящее русло поступает избыточное количество воды, которое сбрасывается через водосбросы;



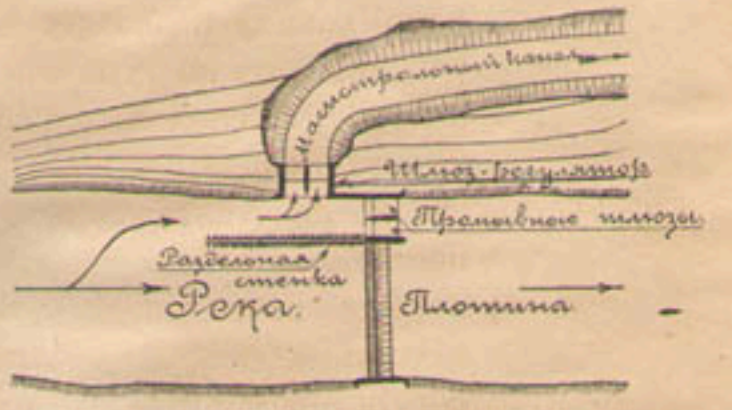
Черт. 22. Подводящее русло с захватной шпорой, со шлюзом-регулятором в низовой части.

в) в виде шлюза-регулятора устроенного в береге реки и настолько глубоко заложенного, что вода в него попадает самотеком при самых низких горизонтах в реке, в нужном количестве (см. черт. 23);

г) в виде водоподъемной плотины со шлюзом-регулятором. Часть плотины при этом устраивается в виде промывных шлюзов, примыкающих к тому берегу, в котором заложен шлюз-регулятор. Цель плотины поднять горизонт в реке и тем сократить длину магистрального канала (см. черт. 24);

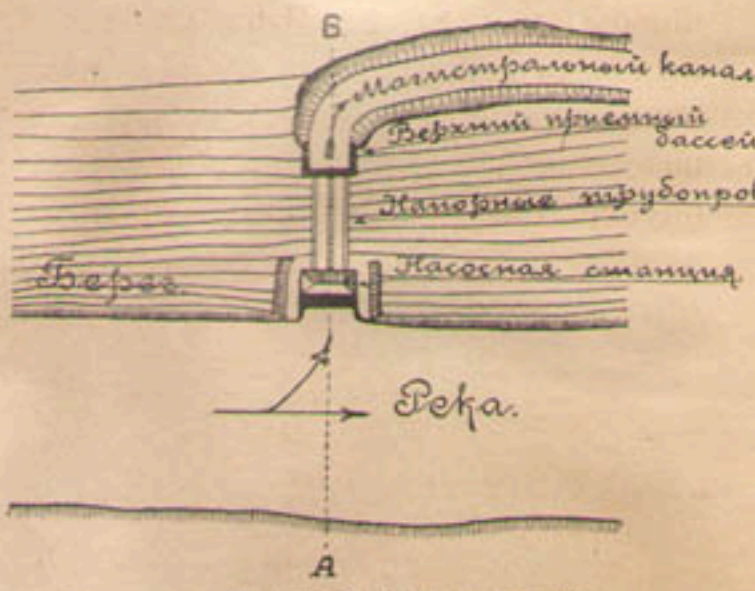


Черт. 23. Шлюз-регулятор, заложенный в береге реки.

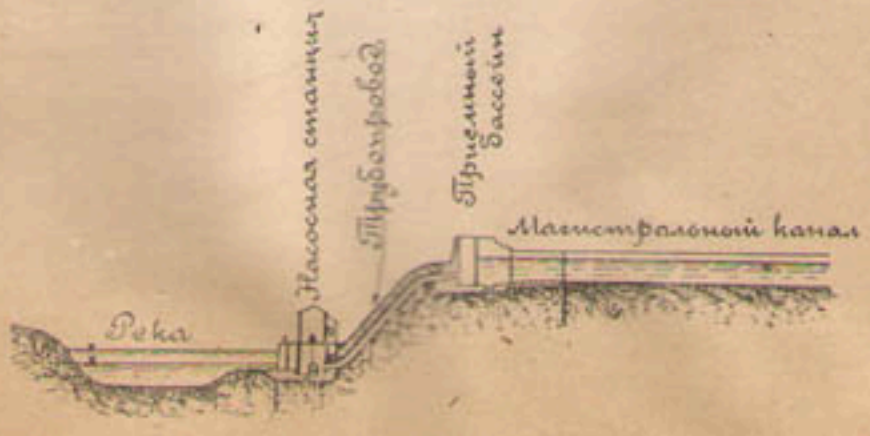


Черт. 24. Водоподъемная плотина со шлюзом-регулятором.

д) в виде насосной станции, устроенной на берегу реки и качающей воду из последней в магистральный канал. Очевидно, этот вид головных сооружений приходится применять тогда, когда магистральный канал должен быть высоко заложен, и вода в него не может попадать самотеком из реки (черт. 25 и 26).



Черт. 25 (см. черт. 26).

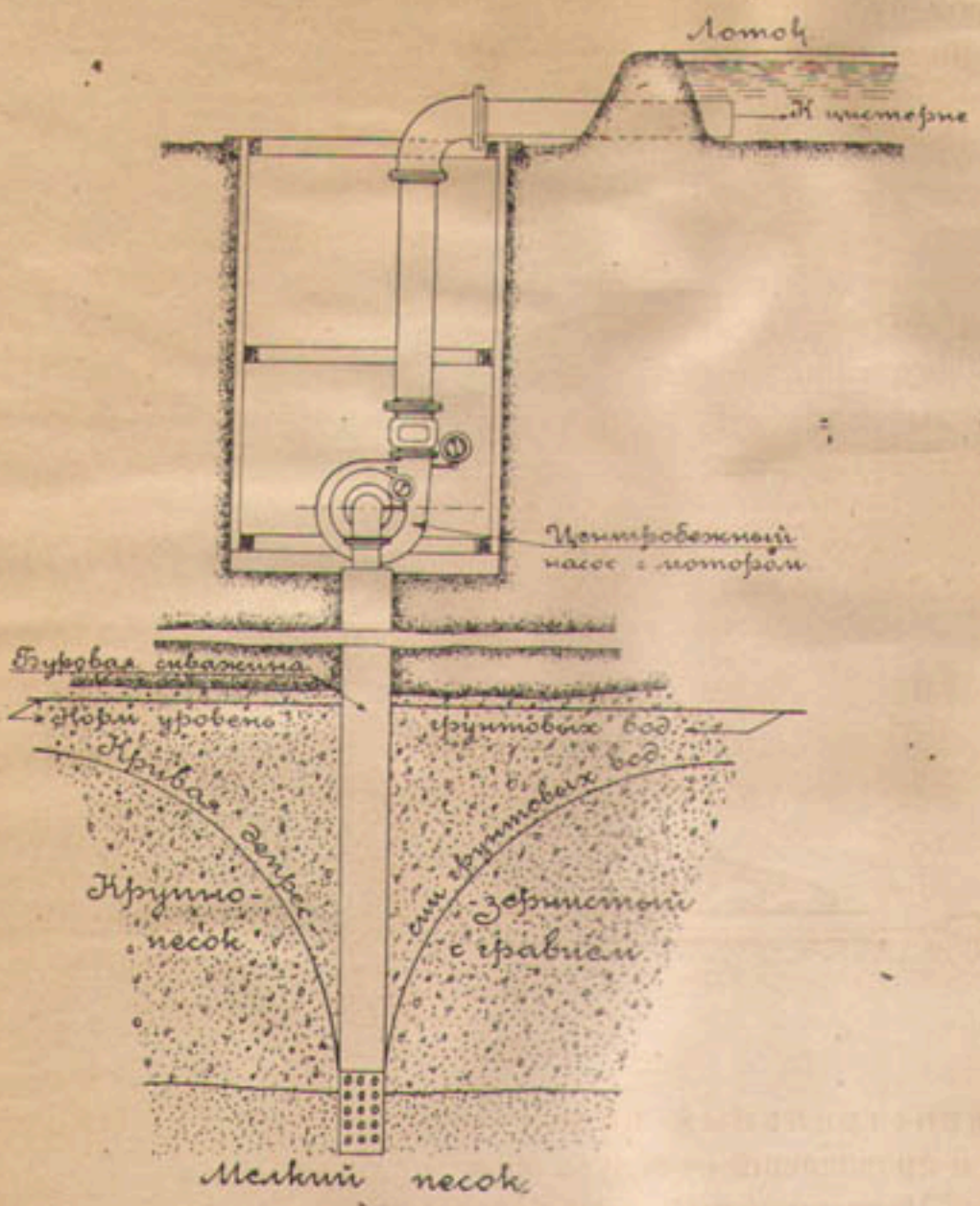


Черт. 26. Головное сооружение в виде насосной станции: план и разрез по АБ и магистральному каналу.

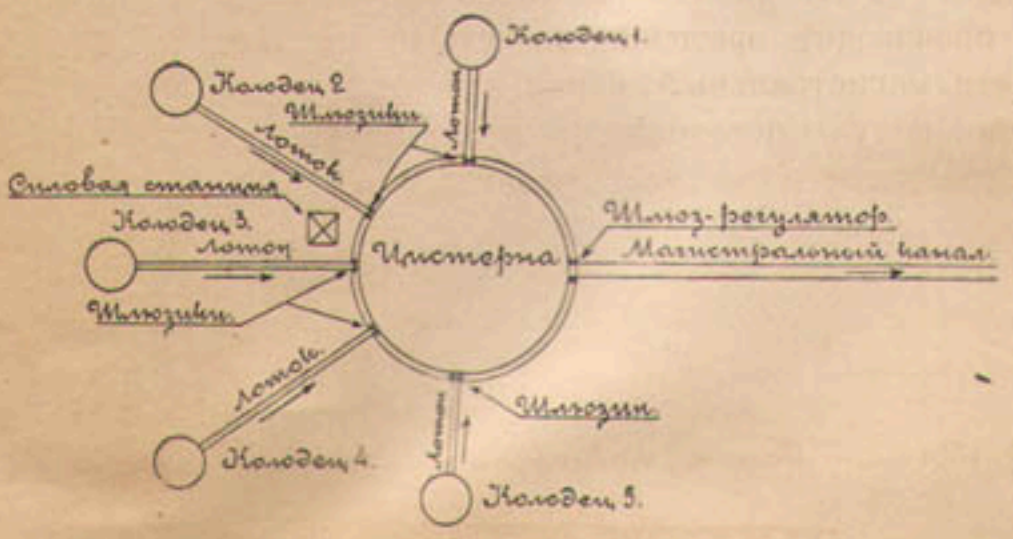
В случае, если источником орошения является не река, а грунтовые или артезианские воды, головное сооружение состоит из:

а) колодца (артезианский или простой,

в зависимости от источника орошения) или системы объединенных колодцев;



Черт. 27.



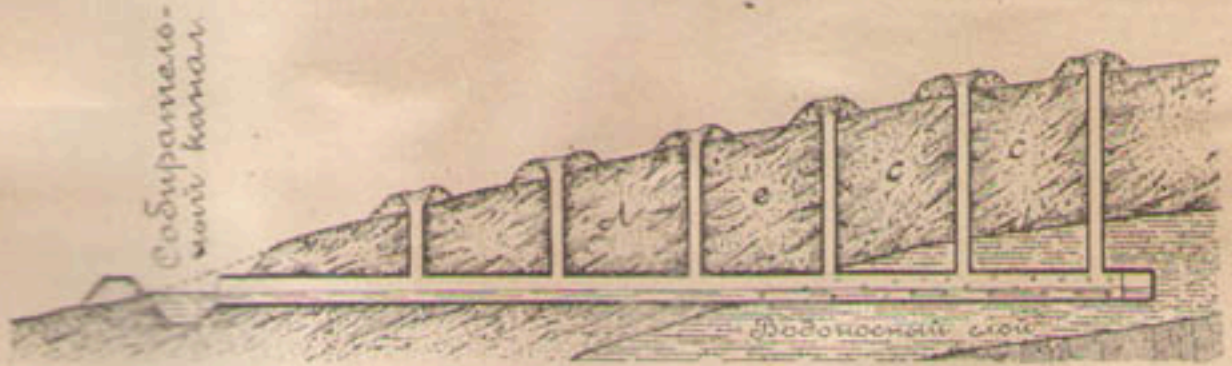
Черт. 28.

б) водоподъемных приспособлений, поднимающих воду из колодцев в цистерну или в лотки, по которым вода отводится в цистерну;

при артезианских колодцах могут быть случаи, когда водоподъемных приспособлений не потребуется; вода естественным напором будет выбрасываться на поверхность земли;

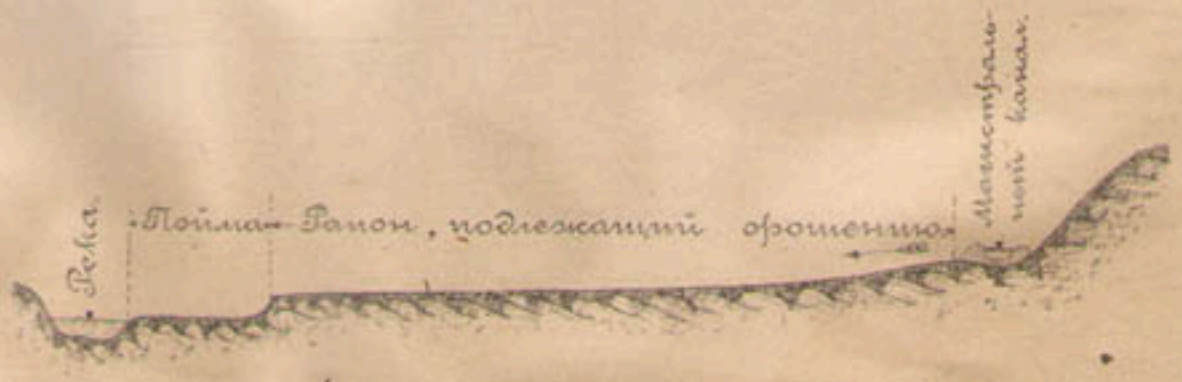
в) цистерны или резервуара, в котором вода, поступающая из колодцев, магазинируется для последующего использования, согласно действительной потребности в поливе (см. черт. 27 и 28).

В местностях с большим падением часто бывают случаи, когда подземные воды, залегающие в высоких участках местности, могут быть выведены самотеком для орошения нижележащих участков. В этом случае головными сооружениями являются каптажные устройства инженерного или туземного типа, например, применяемые в Туркестане, так называемые, „кяризы“ или „кягризы“. Кяриз (см. черт. 29) состоит из водосборной подземной галлереи, заложенной в водоносном пласте, и водопроводной подземной галлереи, проложенной в сухих грунтах по линии наибольшего ската местности и выводящей воду на поверхность земли в открытый канал (магистральный).



Черт. 29. Кяриз.

2. Магистральный канал, принимающий воду из головного сооружения и проводящий ее вглубь орошенного района для передачи распределителям. Магистральный канал состоит из двух частей: холостой и рабочей. Холостою называется та начальная часть канала, на которой канал не производит орошение, то есть не питает еще распределителей. В этой части магистральный канал является просто сооружением, транспортирующим воду из источника орошения в район, подлежащий орошению. Рабочей называется та часть канала, на которой он уже командует



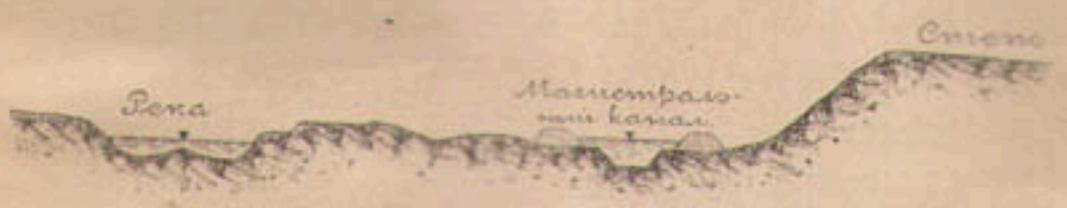
Черт. 30. Разрез местности по линии ската (односкатный рельеф).

окружающей местностью и питает распределители водою. Магистральный канал должен быть так затрассирован, чтобы он мог выйти или на самые высокие отметки предполагаемого к орошению района, если местность имеет однообразный скат (см. черт. 30) или на водораздел, если местность имеет двойной скат (см. черт. 31).

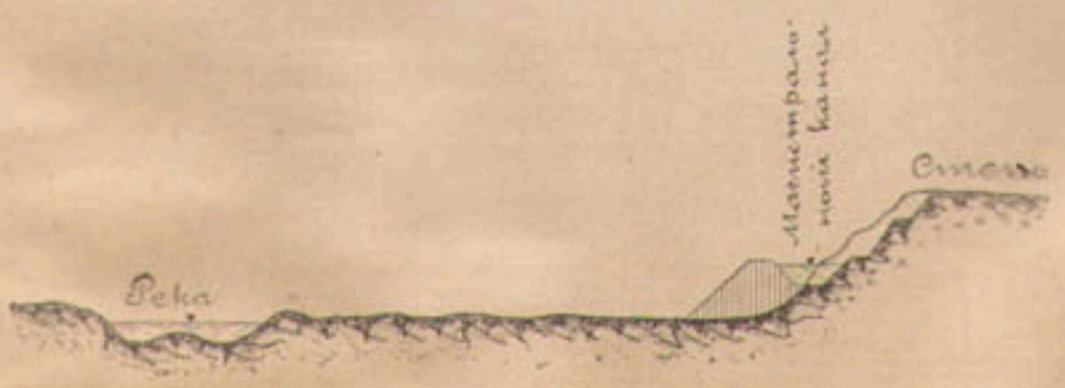
Черт. 31. Разрез местности по линии ската (двускатный рельеф).

В конце рабочей части магистральный канал распадается на распределители. Обычно магистральный канал прокладывается: вначале, в головной части—в глубокой выемке, затем по пойме, затем по косогору, прежде чем выйти в степь и, наконец, по степи, где он начинает уже командовать предполагаемым к орошению районом. На чертежах 32, 33, 34 и 35 показаны типовые сечения магистрального канала и прилегающей местности на различных участках.

Черт. 32. Типовое поперечное сечение магистрального канала в головной части, в глубокой выемке.



Черт. 33. Типовое поперечное сечение магистрального канала в пойме.

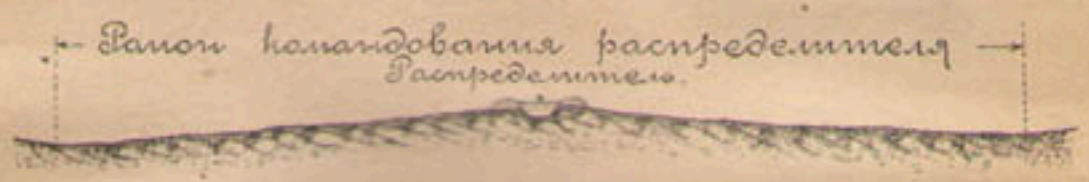


Черт. 34. Типовое поперечное сечение магистральн. канала при прохождении им косогора.

3. Распределительные каналы, принимающие воду из магистрального канала и передающие ее в оросители. Распределители должны командовать той местностью, на которую они подают воду, то есть гори-

Черт. 35. Типовое поперечное сечение магистрального канала по выходе в степь (начало рабочей части).

зонт воды должен быть в них выше окружающей местности. Поэтому их следует трассировать по самым высоким отметкам, по второстепенным водоразделам, отходящим от того главного водораздела, по которому проложен магистральный канал. Различают распределители различных порядков. Распределитель первого порядка получает воду из магистрального канала и трассируется по водоразделам, отходящим от главного водораздела. Он командует местностью по обоим скатам вплоть до линии стока каждого бассейна (см. черт. 36). В тех местах, где второстепенный



Черт. 36. Поперечное сечение по местности, командуемой распределителем.

водораздел разветвляется на третьестепенные, распределитель первого порядка также разветвляется, давая начало распределителям второго порядка и т. д. Типовое сечение распределителей—полувыемка-полунасыпь—указано на нижеприводимом чертеже. Горизонт воды в канале должен быть выше окружающей местности.

Черт. 37. Типовое поперечное сечение распределителя.

4. Оросители, получающие воду из распределителей и подводящие ее к отдельным водопользователям, то есть к полевым участкам. Это последние элементы ирригационной системы, рассматриваемой как пред-

приятие общественного пользования. Вода, поступающая из оросителя на отдельные земледельческие участки, разводится по специально устраиваемой каждым водопользователем своими средствами и силами мельчайшей оросительной сети, называемой часто поливной сетью, для увлажнения площадей занятых сельско-хозяйственными культурами. Горизонт воды в оросителе должен быть выше всей той полосы земли, которую предполагается орошать из него. Большею частью оросител устраивается в дамбах (см. черт. 38).

Черт. 38. Типовое поперечное сечение оросителя.

5. Водосборные канавы, собирающие и отводящие сточную и дренажную воду, которая поступает с земледельческих участков расположенных в зоне командования отдельных оросителей. Водосборные канавы имеют также целью не допускать подъем грунтовых вод выше опасного для растений горизонта, каковым является зона распространения корневой системы растений. Таким образом водосборная канава целиком устраивается в выемке. (См. черт. 39).

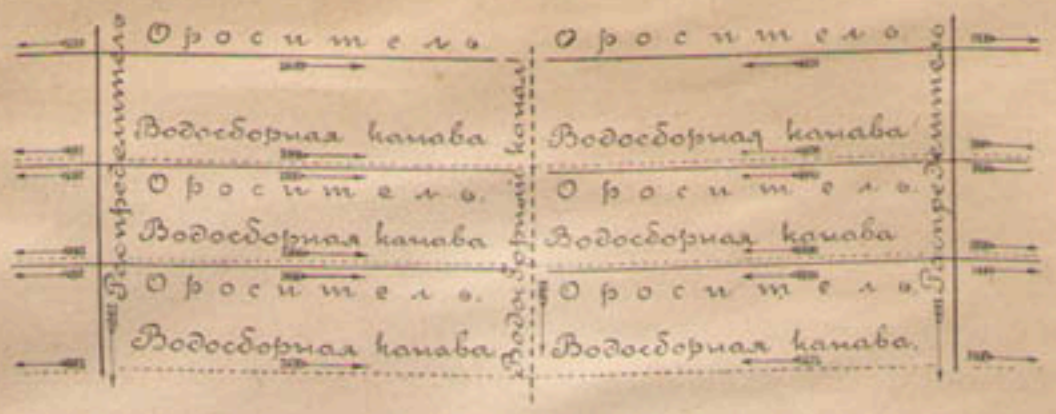
Черт. 39. Типовое поперечное сечение водосборной канавы.

6. Водосборные каналы, принимающие воду из водосборных канав и отводящие ее в водосборный коллектор. Водосборные каналы проводятся по наиболее пониженным местам между распределителями. Они отводят всю сточную, отработанную и дренажную воду с орошенной площади, заключенной между двумя распределителями.

Черт. 40. Поперечное сечение по водосборному каналу и продольное по водосборной канаве.

Водосборные каналы имеют также задачу удерживать уровень грунтовых вод ниже опасного горизонта. Горизонт воды в них должен быть при нормальных условиях работы ниже горизонта воды в водосборных канавах в месте их слияния. В водосборные каналы впускаются также концы

оросителей. Таким образом неиспользованная вода в оросителях может быть сброшена в водосборные каналы.



Черт. 41. Схема, показывающая примерное взаимное расположение распределителей, оросителей, водосборных канав и водосборных каналов.

7. Водосбросные каналы, устраиваемые для того, чтобы излишняя вода, почему либо появившаяся в магистральном канале или в распределителях, могла быть сброшена из них через сбросные шлюзы и отведена из орошаемого района. Излишки воды в них могут появиться или вследствие не правильного хозяйственного регулирования, или вследствие какой либо катастрофы (напр. прорыва дамбы или разрушения шлюза и т. п.), когда появляется необходимость не пропускать воду вниз по течению названных каналов или уменьшить пропуск ее до возможного минимума. Сбросы устраиваются в конце магистрального канала и каждого распределителя, а кроме того, еще в тех пунктах, где из магистрального канала берет начало большое число распределителей или где распределитель высшего порядка разветвляется на распределители низшего порядка. Водосбросные каналы устраиваются в выемке и часто сливаются на значительной части своего протяжения с водосборными каналами.

8. Водосборные коллекторы, принимающие воду из водосборных и водосбросных каналов и выводящие ее из пределов района орошения или в водоотводный канал или прямо в реку. Они трассируются обычно по естественным ложбинам, линиям стока поверхностных вод со всего бассейна и устраиваются в виде каналов в выемках достаточной глубины и ширины, чтобы все воды (попадающие в них, как из водосборных и водосбросных каналов, так и грунтовые), могли свободно протекать, не создавая подпора горизонта воды во впадающих в них каналах. Водосборные коллекторы являются фактически главными регуляторами горизонта грунтовых вод в орошаемом районе.

9. Главный водоотводный канал, принимающий воду из водосборных коллекторов и отводящий ее в такое место, где она может быть без вреда сброшена, то есть, или в какой-нибудь пролегающий вблизи естественный водоток, или в водоем, в котором имеется достаточная емкость для принятия сбросных и дренажных вод из орошенного района, или в естественную, далеко отстоящую от населенных районов, впадину,

когда нет оснований опасаться, что образующееся водное скопление может создать благоприятные условия для малярии. Наконец, вода из главного водоотводного канала может быть использована (в случае, если качества ея, как поливного материала, будут удовлетворительны) для орошения нижележащих районов, на которые она может быть выведена самотеком или, даже, при помощи механического подъема. В этом случае главный водоотводный канал данного орошаемого района явится источником орошения и магистральным каналом нижележащего района.

10. Шлюзы-распределители, устраиваемые в голове каждого распределительного канала и имеющие целью регулировать поступление в него воды в требуемом количестве и определенного качества.

11. Шлюзики-оросители, которые располагаются по распределителю, в местах вывода из него оросительных канав. Задача шлюзиков — регулировать поступление воды в эти канавы (оросители). В районах, где воды мало, а потребность в ней большая, шлюзики-оросители устраиваются так, что они могут служить одновременно и водомерами.

12. Сбросные шлюзы, располагаемые в начале сбросных каналов и имеющие целью в нужный момент сбросить то или иное количество воды из водоприводящей системы каналов в водоотводящую. Сбросные шлюзы часто употребляются также для смыва наносов, отложившихся в канале выше по течению. В этом случае они называются промывными шлюзами.

13. Водосливы, обыкновенно включаемые в одну группу сооружений, вместе с водосбросами; они служат для защиты системы каналов от переполнения свыше допустимой нормы и часто водосливы и водосбросы объединяются в одно сооружение. Однако, по характеру и способу работы они сильно разнятся друг от друга, так что по существу их следует отнести к разным группам гидротехнических сооружений. Водосливы действуют автоматически и употребляются для предохранения от подъема горизонта воды в канале свыше принятого в проекте, во избежание переливов воды через гребни дамб и последующего разрушения их. Переполнение канала может иметь место от различных причин:

а) вследствие избытка воды, случайно впущенной в канал через головной регулятор.

б) вследствие поступления в канал нагорных поверхностных и дренажных вод.

в) вследствие закрытия выше по течению шлюзов распределителей, бравших воду из магистрального канала.

г) вследствие закрытия поперечного преграждения на канале ниже по течению.

14. Песколовки, употребляемые для ускорения осаждения из воды тех песчаных и илистых частиц, которые нежелательно пропускать дальше в систему. Они устраиваются:

а) недалеко от головного шлюза, ниже по течению, для того, чтобы остановить, насколько возможно, дальнейшее продвижение наносов.

б) в голове дюкеров для предохранения последних от попадания в них песчаных частиц, ибо иначе крупные фракции наносов неминуемо должны будут осесть в колодцах и в трубах дюкеров, вследствие больших глубин и ничтожных скоростей протекания воды через эти сооружения.

в) у поперечных преграждений на канале и там, где последний пересекается водосборными коллекторами.

Песколовки обычно устраивают совместно с промывными и сбросными шлюзами, соединяя их в одно сооружение.

15. Поперечные преграждения, регулирующие горизонт воды в магистральном и распределительных каналах, а также количество воды, поступающее вниз по течению, и иногда, в случае нужды, преграждающие доступ воды в низовой участок. Очевидно, что поперечные преграждения необходимо устраивать вместе со сбросными шлюзами.

16. Перепады и быстротоки, устраиваемые на каналах (магистральном, распределительных и оросителях) в тех пунктах, где местность круто падает и где приходится давать каналам такие большие уклоны, при которых скорости течения воды превосходят допускаемые пределы, так что грунт, составляющий ложе каналов, будет размываться.

17. Дюкеры, применяемые в тех случаях, когда приходится одним каналом пересекать другой канал или какой-либо иной водоток, с горизонтами воды, находящимися в одном или близких уровнях.

18. Акведуки, устраиваемые для пропуска каналов через дороги, овраги, реки и пр. Они похожи на мосты и виадуки, с той только разницей, что вместо проезжей части устраивается лоток для пропуска воды.

19. Сифоны, устраиваемые для пропуска воды из каналов через глубокие и широкие тальвеги. Это собственно трубопровод, в который через особую приемную камеру впускается вода из канала, подходящего к одному из берегов тальвега (если последний протекает по его дну). Трубопровод прокладывается по откосам тальвега и перебрасывается через водный поток, имеющийся на дне тальвега, или через узкую и глубокую часть тальвега, в виде балочного или арочного (трубчатого сечения) моста. На противоположном берегу тальвега трубопровод, поднявшись до требуемой высоты, входит опять в приемную камеру, откуда вода снова поступает в открытый канал.

20. Трубопроводы, употребляемые вместо открытых главных распределительных и оросительных каналов в тех случаях, когда расход воды незначительный и когда имеется очень пересеченный рельеф и оросительная вода дорога.

21. Лотки, применяемые вместо каналов в земляном русле, при крутых склонах местности и при больших уклонах, а также в тех случаях, когда приходится проходить через ложбины высокими насыпями. Иногда оказывается выгоднее вместо устройства дорого стоящей насыпи применить эстакаду с лотком, положенным поверх ея.

22. Туннели, дающие возможность иногда в очень трудных условиях рельефа разрешить экономично так называемую „головную проблему", то-есть проблему устройства головных сооружений и начальной части магистрального канала. Если необходимо устроить головной шлюз в таком пункте по реке, где берега отвесно и высоко поднимаются над рекой, и если при этом берег сложен из плотных и трудно разрабатываемых пород, то очевидно, только, туннелем можно будет пропустить воду из реки в канал сквозь высокую часть берега, вплоть до того места, где пойма становится шире или берег ниже. Если в бассейне, в котором расположен район, требующий орошения, нет требуемого количества воды, а между тем в соседнем, примыкающем бассейне, вода имеется в избытке, также естественно искать решения вопроса в проведении воды из одного бассейна в другой при помощи туннеля, пробитого сквозь водораздел отделяющий бассейны. Наконец, туннели употребляются в тех случаях, когда на пути водоприводящего канала возвышаются высокие, далеко выступающие отроги скал или холмы. Вместо того, чтобы обходить скалистый выступ или холм длинным каналом и терять в высоте командования, часто бывает выгоднее пробиться через препятствие коротким туннелем.

23. Мосты и трубы всякого рода, необходимые в ирригационной системе, для обеспечения возможности переезда и перехода через разного рода каналы, которыми бывает пересечена вся орошаемая местность.

Перечисленными сооружениями исчерпываются сооружения инженерного характера, встречающиеся в правильных ирригационных системах постоянного действия. Однако, ирригационная система в целом включает в себе также и мельчайшую сеть канав, валиков, борозд и пр., а также совокупность многочисленных мельчайших сооружений, которые устраиваются на полевых участках. Вышеуказанная мельчайшая оросительная сеть, называемая поливной, сооружается силами и средствами водопользователей в пределах своих земельных участков. Трактовка поливной сети могла бы быть выделена из инженерного ирригационного курса. Однако, для правильного представления работы ирригационной системы в целом, необходимо ясное понимание поливного процесса, то-есть процесса передачи воды из каналов в почву. Без этого возможно, как при проектировании, так и при эксплоатации, допущение крупных ошибок в составлении плана водного хозяйства, кривых потребления и водооборота. Поэтому мы полагаем необходимым осветить и названный вопрос в пределах данного курса, посвятив ему отдельную главу.

Ирригационные системы постоянного действия могут быть разделены в зависимости от вида головных сооружений на системы самотечные и системы машинного орошения; в последние вода подается водоподъемными сооружениями. Площадь района, охватываемого одной самотечной системой, может быть самой разнообразной величины и в некоторых проектах достигает нескольких сот тысяч десятин. Огромное большинство ирriга-

ционных систем принадлежит к самотечным. Системы машинного орошения имеют размеры от небольших участков, обслуживающих индивидуальные хозяйства, до больших установок, работающих на тысячи десятин. Небольшие, индивидуальные установки широко применяются при использовании грунтовых вод с помощью колодцев, особенно в Индии, в Калифорнии, Аризоне и Новой Мексике. Большие насосные системы, построенные за последние 15 лет в Калифорнии, в штатах Вашингтон, Айдаго и Юта, поднимают воду из рек, а в некоторых случаях из нижележащих каналов, к высшим пунктам земельной площади, предположенной к орошению. Там, где общая высота поднятия сравнительно велика, прибегают к ступенчатому подъему воды, разделяя всю площадь по высоте на ряд отдельных зон, при чем каждая зона орошается самостоятельным каналом, питаемым или отдельной наносной станцией или специальной группой насосов, расположенной в общей центральной станции, обслуживающей все зоны.

Характер ирригационной системы в значительной степени определяется:

а) топографическими условиями той местности, где должны быть заложены головные сооружения и проложена холостая часть магистрального канала;
б) конфигурацией подлежащей орошению земельной территории;
в) характером источника орошения;
г) ценностью воды в данном районе.

Если площадь имеет холмистый рельеф и если холостая часть магистрального канала должна быть проложена вдоль крутых склонов, подступающих к реке холмов и скал, может встретиться потребность в применении (при осуществлении ирригационной системы), большинства из вышеперечисленных сооружений, а также весьма сложной распределительной сети.

Там, где оросительная вода ценится очень высоко, а в некоторых случаях и там, где орошаемая площадь имеет крутой рельеф, могут быть с выгодой применены бетонированные каналы и распределительная сеть из труб. Такого типа ирригационные системы обычно встречаются редко, занимаемая ими площадь незначительна. Ранее они встречались почти исключительно в Южной Калифорнии при орошении дорого стоящих лимонных и апельсинных плантаций, но за последние годы они распространились и в другие штаты С. Америки,—в Орегоне, Вашингтоне, Колорадо, Айдахо и Британской Колумбии, а также, отчасти, и в некоторые районы Испании.

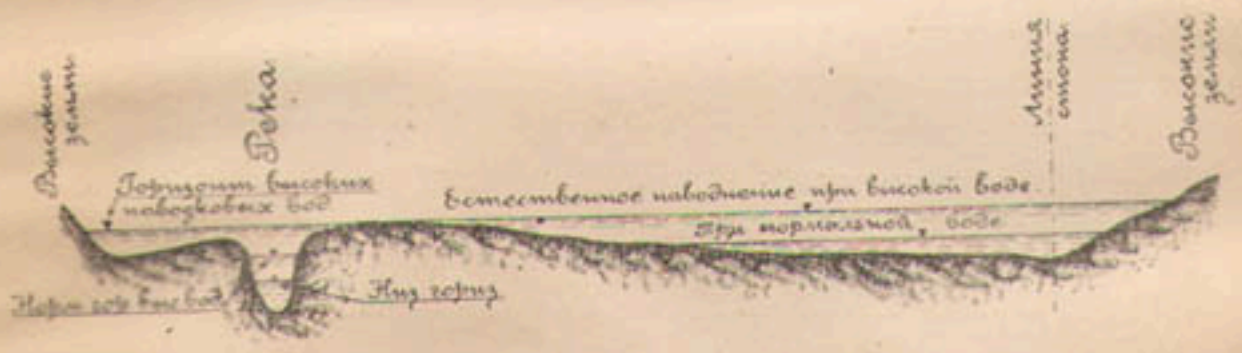
Ирригационная система будет состоять из земляных каналов, с небольшим количеством сверх обычных сооружений в том случае, когда территория, подлежащая орошению, представляет ровную, с однообразным скатом площадь, расположенную в широкой долине, если холостая часть магистрального канала имеет короткое протяжение и может быть проложена по непересеченной местности, без крупных выемок, и если, наконец, источник орошения обилен водою.

Соответственно вышеуказанному в сильной степени колеблется и стоимость ирригационных систем, от 80 до 300 рублей на десятину. В

исключительных случаях стоимость достигает 550 рублей на десятину. Сооружение системы может быть в каждом отдельном случае значительно удешевлено, если возможно обойтись временными сооружениями и без водохранилищ. В выше приведенные цифры стоимости систем не включены проценты на затраченный капитал в период постройки до начала эксплоатации.

Временно действующая ирригационная система. (Орошение затоплением).

Временно действующие ирригационные системы представляют из себя усовершенствованный первобытный способ орошения, заключавшийся в естественном затоплении водами паводков, когда горизонт воды в реке поднимался выше окружающих берегов, прилегающих, низко расположенных, долин. Очевидно, подобные явления могли иметь место только в низовых участках рек и в дельтах. И, действительно, этот вид орошения возник в Месопотамии, расположенной по низовому течению и в дельте Тигра и Ефрата, в Египте — по низовому течению р. Нила и, наконец, в Синде (в Индии)—по низовому течению р. Инда. При низовом и дельтовом типе рельефа (согласно принятой нами классификации, см. главу VI), во время высоких вод и паводков, вода, выйдя из берегов, должна переливаться мелким слоем по поверхности прилегающей территории и затоплять низменные участки. При низких горизонтах высоких вод вода может попадать в низменность, сквозь возвышенную полосу земли, прилегающую непосредственно к реке, по руслу старых протоков. Затопление долины при таких обстоятельствах будет лишь частичным (см. черт. 42).

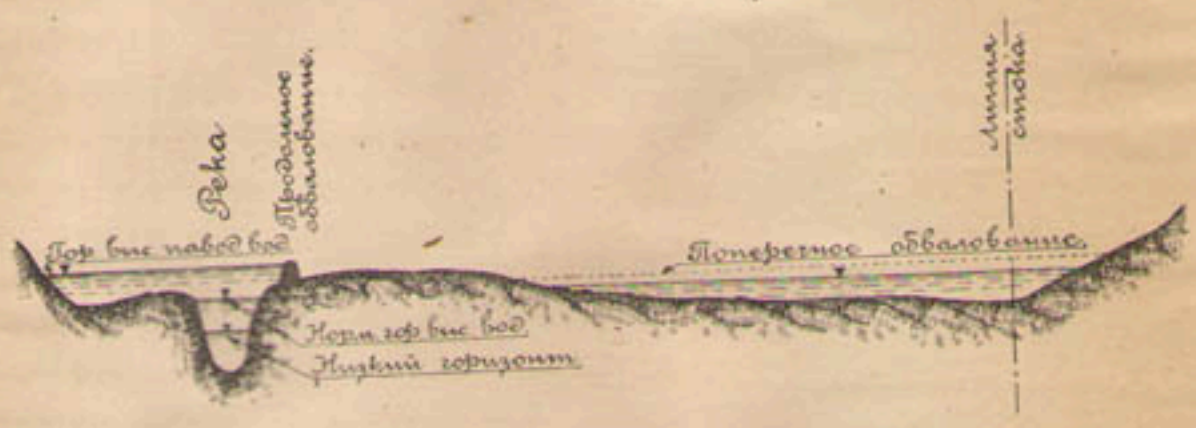


Черт. 42. Поперечный разрез по реке и прилегающей местности.

Некоторые участки возвышенной полосы, пролегающей вдоль реки обычно находятся на более низком уровне, чем другие; во время нормальных паводков, вода, переливаясь через указанные понижения, может затопить низменные земли. Что касается самых высоких паводков, они обычно заливают прибрежную полосу по всему ее протяжению.

Первобытная техника, очевидно, должна была прежде всего найти способ обеспечения низменных мест водою, (независимо от горизонта высоких вод), путем устройства искусственных прорезей через возвышенную

полосу, прилегающую к реке, чтобы через последние вода могла пропускаться на низколежащие площади. Далее неминуемо должна была родиться мысль об устройстве, в целях задержания воды на определенном участке, *поперечных дамб, перпендикулярных к течению реки*, при помощи которых возможно было бы разделить местность на ряд отдельных участков. Также естественно должна была возникнуть мысль об искусственном подъеме, путем устройства преграждения в русле реки, горизонта воды в реке для затопления прилегающей местности. Таким образом могли возникнуть короткие каналы затопления и поперечные обвалования. В дальнейшем, для предотвращения размывания поперечных обвалований (дамб) и для обеспечения от затопления всей местности при паводках высокого уровня, население должно было почувствовать необходимость в устройстве защитного продольного обвалования (см. черт. 43) вдоль реки.



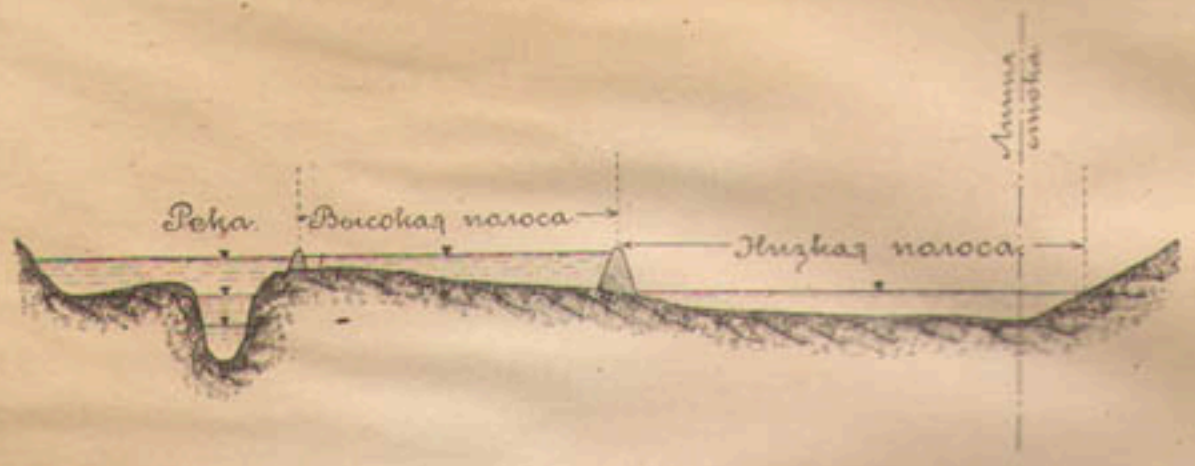
Черт. 43. Тот же поперечный разрез с защитой от затопления всей местности, в виде продольного обвалования.

Постепенное усовершенствование привело первобытный способ орошения к современным ирригационным системам временного действия, дающим возможность:

1. В годы с невысоким паводком использовать имеющийся расход в реке в таком количестве и при таких горизонтах, что вся площадь, (требующая орошения), может быть затоплена в течение периода наводнения слоем воды, достаточным для насыщения почвы и создания таких условий влажности, которые обеспечили бы дальнейший посев, произрастание и созревание сельско-хозяйственных культур.
2. В годы с высоким паводком использовать паводочные воды, богатые наносами, в целях обогащения почвы, путем создания условий благоприятных для отложений взвешенных в воде частиц. Желательно, чтобы отложения были не только по возможности обильными, но, также, чтобы они равномерно распределялись по всей площади орошения.

Ниже на черт. 45 показана общая схема ирригационной системы временного действия.

Вся местность при помощи продольных валов разделяется на две полосы: высокую и низкую (см. черт. 44).



Черт. 44.

Эти полосы рядом поперечных дамб разделяются на отдельные клетки, называемые бассейнами. Цепь бассейнов низкого уровня снабжается водой, приводимой особым магистральным каналом, который может забирать воду из реки, во время высоких вод, особым шлюзом-регулятором. Этот канал обычно пролегает приблизительно вдоль продольнаго вала, разделяющего бассейны высокого уровня от бассейнов низкого уровня. Он защищен (дамбами) с обеих сторон. В дамбе канала, устраиваются выпускные шлюзы, через которые вода из канала может поступать в каждый из бассейнов, принося с собой взвешенные наносы. В теле поперечных дамб, в месте пересечения их с линией стока, устраиваются соединительные шлюзы-регуляторы, соединяющие вышележащие бассейны с нижележащими. Они служат для регулирования уровня в бассейнах и для их опорожнения. При их посредстве вода может передаваться, в случае нужды, из одного бассейна в другой. Кроме того, при их посредстве цепи бассейнов, расположенные на различных уровнях, сообщаются между собой. По ним вода может передаваться из одной цепи в другую, когда это представляется необходимым. Самый нижний из бассейнов цепи соединен с рекой при помощи сбросного канала и сбросного шлюза, посредством которых вся цепь бассейнов, может быть освобождена от воды.

Цепь бассейнов высокой полосы получает воду из специального канала высокого уровня, забирающего воду также из реки, но значительно выше по течению. Канал высокого уровня также снабжен головным шлюзом-регулятором, выпускными шлюзами, подающими воду из каналов в бассейны, и сбросными шлюзами.

Хотя каналы высокого уровня обеспечивают верхнюю полосу потребным количеством воды, однако, находят полезным устраивать еще короткие каналы, которые могли бы забирать воду из реки во время высоких паводков и непосредственно снабжать верхние бассейны водой, обильной наносами. Водоприводящий канал высокого уровня, орошающий верхнюю

полосу данного участка, пересекает водоприводящий канал низкого уровня, снабжающего водою низкую полосу того же участка при помощи дюкеров.

Таким образом, ирригационная система временного действия включает в себе:

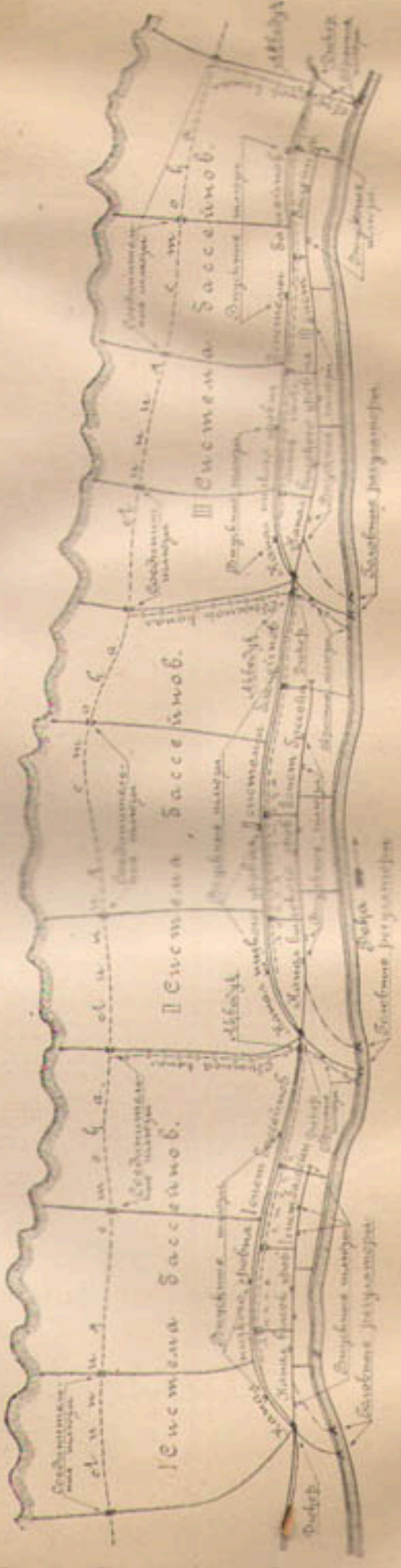
1. Речную продольную дамбу, ограждающую верхнюю полосу орошаемаго участка от наводнения со стороны реки.
2. Раздельную продольную дамбу, отделяющую верхнюю полосу орошаемого участка от нижнего.
3. Поперечные дамбы, разделяющие полосы на отдельные бассейны.
4. Водоприводный канал нижнего уровня, снабжающий водой бассейны нижней полосы.
5. Водоприводный канал высокого уровня, снабжающий водой бассейны верхней полосы.
6. Головной шлюз-регулятор, питающий канал низкого уровня.
7. Головной шлюз-регулятор, питающий канал верхнего уровня.
8. Дюкер, дающий возможность каналу высокого уровня пересечь канал нижнего уровня.
9. Выпускные шлюзы, подающие воду из каналов в бассейны.
10. Соединительные шлюзы пропускающие воду из вышележащих бассейнов в нижележащие.
11. Сбросные шлюзы, дающие возможность опорожнить последние бассейны цепи, и сбросить воду обратно в реку при низком стоянии горизонта.
12. Сбросные каналы, проложенные по линии стока местности, отводящие воду при опорожнении бассейнов к соединительным шлюзам и выводящие ее, в конце концов, в реку.

Затопление бассейнов производится обычно с таким расчетом, чтобы наиболее высоко-расположенные места в пределах данного бассейна покрывались на глубину, по крайней мере, 0,30 метра. Площадь бассейнов может быть разнообразной. В Египте она изменяется от 1.000 до 20.000 десятин; средняя глубина затопления колеблется от 0,75 метра (в малых бассейнах) до 1,5 метра (в крупных). В виде грубого приближения достаточно, однако, точного при рассмотрении вопросов принципиального характера, можно принять, что на 1 десятину подлежащих затоплению земель с плотной суглинистой почвой, в сухом климате, требуется забирать из реки 13000 кб. метр воды. Конечно, для различных почв и температурных условий эта цифра должна меняться.

Если приходится орошать береговые полосы значительной длины, нельзя обойтись одной ирригационной системой; выгоднее весь район орошения разделить на ряд зон вдоль реки и для каждой зоны устроить отдельные водоприводные каналы высокого и низкого уровня, обслуживающие отдельные цепи бассейнов, при этом канал низкого уровня верхней зоны может быть продолжен в виде канала высокого уровня соседней.

нижележащей по реке зоны и последний бассейн верхней зоны может быть связан при помощи соединительного шлюза с первым бассейном нижележащей зоны. Таким образом, получается неразрывная связь между отдельными системами и общая водная жизнь, дающая возможность лучше использовать водные ресурсы источника орошения. На черт. 45 показана схема взаимной связи трех систем бассейнов наводнения.

Для лучшего представления сущности работы ирригационных систем временного действия, ниже приводим описание процесса наполнения и опорожнения цепи бассейнов, принятого в Египте, в классической стране подобного способа орошения. В определенный день (в Верхнем Египте обычно 10 августа) открываются головные регуляторы каналов верхнего и нижнего уровня, вода начинает поступать в каналы, а затем, через выпускные шлюзы пропускается в бассейны. Таким образом, начинается заполнение бассейнов. Сбросы точно также открываются для впуска речной воды в бассейны, прилегающие к сбросным каналам; однако, как только горизонт воды в реке начинает падать и поступающая через сбросные шлюзы вода меняет направление течения, сбросы сейчас же закрываются. Заполнение бассейнов продолжается при посредстве водоприводных каналов, расходы которых зависят от высоты горизонта воды в реке. В то же время вода пропускается по водоприводным каналам нижнего уровня вперед, в верхнюю полосу соседней системы. При проектировании и эксплоатации системы бассейнов необходимо стремиться к полному использованию паводков с целью получения максимального отложения плодоносного ила; этого можно достигнуть, между прочим, пропуском через бассейны, по возможности, максимального количества паводочной воды. Поэтому головной регулятор водоприводной магистрали в период заполнения бассейна держится



Черт. 45. Схема взаимной связи трех систем бассейнов наводнения.

открытым, при чем уровень воды в бассейнах должен регулироваться соответствующим открытием отверстий соединительных и сбросных шлюзов. Таким путем через бассейны вода пропускается в количестве, значительно большем, чем это требуется для их заполнения и, при совершенно минимальной скорости течения воды по столь обширным пространствам, большая часть взвешенных веществ осаждается, увеличивая плодородность почвы. По истечении 50 дней после впуска воды или меньшего срока, если паводок является благоприятным, вся площадь бассейнов должна быть под водой; спустя неделю (5 октября) уже начинают готовится к опорожнению бассейнов. Тогда головные шлюзы-регуляторы водоприводных каналов закрываются и приток речной воды в каналы прекращается. Вода из верхних бассейнов выпускается в бассейны лежащие ниже для их окончательного наполнения, если таковое еще требуется. Таким образом, вода передается вперед из бассейна в бассейн до конца цепи, откуда она окончательно выпускается в реку через концевой сбросный шлюз. В течение двух или трех недель бассейны должны быть опорожнены, исключая наиболее низколежащих котловин, осушающихся более медленно. Засим, растения засеваются непосредственно по остающейся на дне бассейнов грязи, в которую семена вдавливаются всего лишь при помощи протаскиваемой по земле доски; в других случаях земля слегка разрыхляется плугом до посева, по истечении короткого периода высыхания. Затем, за растениями не бывает никакого ухода вплоть до момента созревания и сбора.

Водоприводные каналы, называемые „каналами наводнения" (Inundation Canals), действующие во время высоких вод (паводков), встречаются самой разнообразной величины. Пропускная способность некоторых каналов наводнения доходит до 200 куб. метров в секунду. Самый древний канал, из находящихся ныне в действии, есть канал Бар-Юзуф в Верхнем Египте, построенный и работавший до последнего времени, как канал наводнения. Ныне, после целого ряда переделок и исправлений, он превращен в канал постоянного действия.

Углубления каналов наводнения, производимые для пропуска большого количества воды во время паводков, дают вместе с тем возможность пользоваться ими и при более низких уровнях реки. В настоящее время невозможно провести различие между некоторыми каналами наводнений, (которые были углублены) и каналами постоянного действия. В Индии есть некоторые каналы, которые являются постоянными в том смысле, что вода протекает по ним в продолжение всего года, хотя в межень воды так мало по сравнению с периодами паводков, что их правильнее было бы отнести к разряду каналов наводнения, несмотря на то, что последними принято называть такие каналы, по которым вода может протекать лишь временами.

Литература.

1. Davis A. P. and Wilson, H. M.—Irrigation Engineering—1919. New York.
2. Davis. A. P.—Irrigation Works constructed bu the United States.
3. Etcheverry, B. A—Irrigation Practice and Engineering. Vol II and III 1916.

4 Brown, H.—Irrigation. 1907. London.
5. Willcocks, M. W.—Egyptian Irrigation. 1899.
6. Chélu Bey, A.—Le Nil, le Soudan, l'Égypte - 1891.
7. Barrois, I.—Les Irrigations en Egypte. — 1911. Paris.
8. Ross, J. C.—Notes on the Distribution of Water and the Maintenance of Works in Upper Egypt. 1892. Cairo.
9. Buckley, R B.—The Irrigation Works of India—1905. London.
10. Bellasis, E. S.—Irrigation Works. - 1913. London.

Глава VI.

Основные типы рельефов и связанные с ними общие схемы оросительных систем.

Установление схемы оросительной системы, то-есть трасс главных каналов (самотечных и машинных), их высотного расположения, типа и расположения головных сооружений, схемы распределительной и водосборной сетей, является основной проблемой оросительной техники. То или иное решение поставленной задачи весьма существенно влияет на стоимость орошения всего района.

Как ни странно, но приходится констатировать, что до сего времени не существует установленных методов для решения указанной задачи, каждому проектирующему предоставляется право самому, субъективно, без всяких „направляющих", подходить к решению вопроса. В результате составленная таким образом случайная схема вносится в высшие технические совещательные органы на обсуждение и утверждение. У лиц, рассматривающих проект, также нет никаких „опорных пунктов" для критики, поэтому большинство проектов (как осуществленных, так и предполагаемых к осуществлению), не только русских, но и иностранных, имеют случайные схемы, весьма далекие от „экономического решения" и требующие, вследствие этого, излишних затрат.

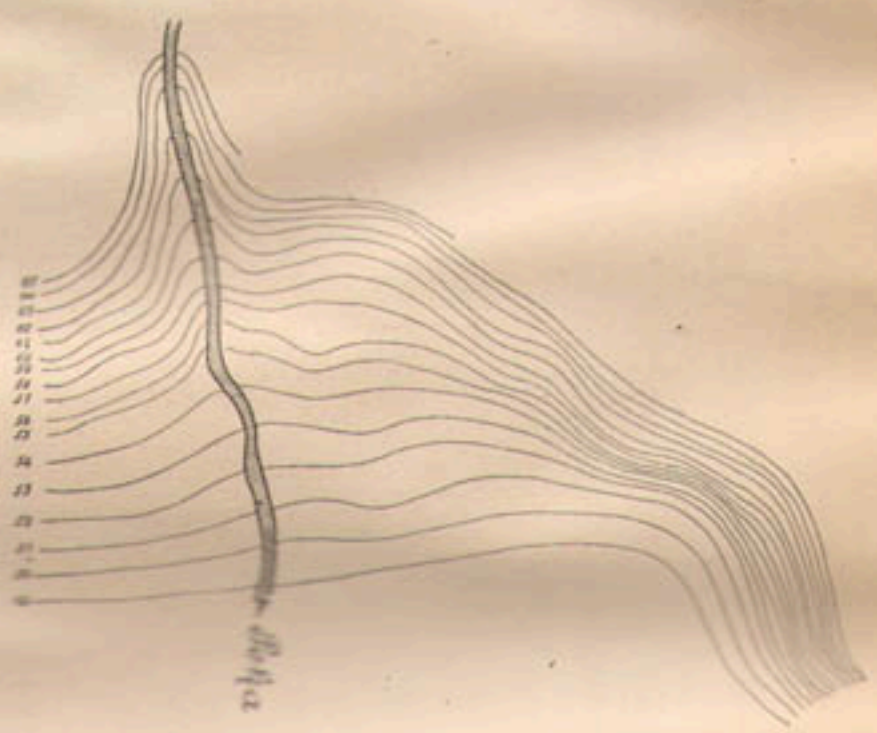
Между тем, несмотря на все кажущееся разнообразие рельефов земельных площадей (уже орошенных или предназначенных к орошению), мы полагаем, что попытка произвести классификацию и наметить основные характерные типы рельефов была бы не бесплодною. В небольшое количество основных типов возможно, по нашему мнению, уложить рельефы большинства районов орошения.

Со многих точек зрения было бы важно выявить характерные рельефы и создать классификацию их. Прежде всего для определенного типового рельефа можно было бы раз навсегда выработать наиболее рациональную схему оросительной системы, то-есть „картину" расположения главных каналов, головных сооружений и даже схему распределительной сети так, что проектирующий орошение какого-нибудь нового района, определив тип рельефа интересующей его местности, уже сразу мог бы получить общее представление о „характере" решения наиболее важных для него вопросов.

Таким образом интуиция могла бы быть до некоторой степени заменена методикой.

Изучая планы в горизонталях наших главных оросительных районов (Муганской, Мильской, Ширвано-Кудринской, Дальверзинской, Голодной, Койбальской, Кальджирской, Чуйской степей и др.), а также многих иностранных районов орошения, мы пришли к заключению, что возможно установить следующие основные типы рельефов:

I. „Предгорный" тип, характерный для тех районов реки, где она, по выходе из горного ущелья, входит в долину. Тип характеризуется тем, что горизонтали местности (степи) имеют среднее направление перпендикулярное, или близкое к перпендикулярному, к течению реки (см. черт. 46). Степь отделяется от речного ложа неширокой поймой, над которой она возвышается сравнительно крутым уступом. Поперечное сечение по реке перпендикулярное к оси потока и продолженное по местности имеет в большинстве случаев вид, указанный ниже на черт. 47. Возвышение уровня степи над уровнем воды в реке (в одном и том же поперечном сечении) бывает большею частью весьма значительным. К этому типу рельефов относится Уч-Курганская степь, Мильская и Муганская степи, Кальджирская степь и многие другие.

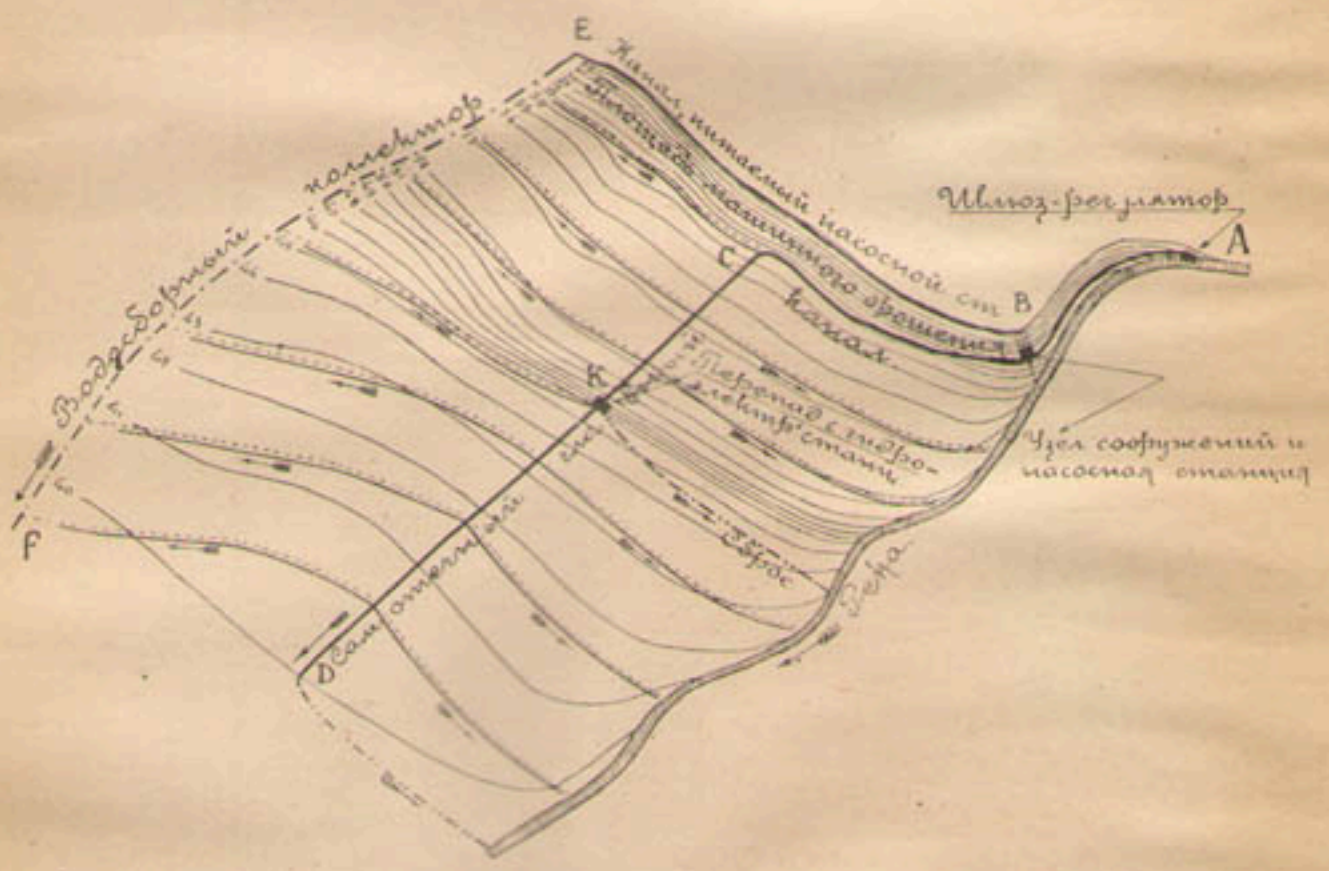


Черт. 46. Предгорный тип рельефа.

Черт. 47. Поперечный профиль реки и прилегающей степи для предгорного типа рельефа.

Районы предгорного типа обычно обладают хорошим дренирующим подпочвенным слоем (галечниковым или песчаным), а глубоко зарывшееся русло реки является естественным дренажным и сбросным коллектором. В силу *указанных обстоятельств, в этих районах легко можно избежать* явлений заболачивания и засоления, вызываемых обычно орошением. Стоимость устройства водосборной и сбросной сетей может быть доведена до минимума. Степь окаймляется в большинстве случаев крутым склоном

подступающих гор и холмов, пересеченных руслами балок, второстепенных потоков и оврагов, пребывающих в продолжение значительной части года в сухом состоянии. В случае, если трасса главного самотечного канала прокладывается высоко, стремясь захватить в сферу своего командования весь годный под орошение район, приходится считаться с необходимостью устраивать сравнительно длинную и дорогую холостую часть главного самотечного канала. Высокая стоимость вызывается необходимостью вести канал в глубокой выемке, в тяжелых, иногда, даже, в скалистых грунтах, а также необходимостью устраивать много дополнительных, помимо основных, искусственных сооружений. Часто оказывается выгодным весь район орошения разбить на две зоны: нижнюю и верхнюю. Границу между ними определяет трасса самотечного главного канала, проводимая так, чтобы стоимость холостой части, была по возможности, дешевле. Самотечный канал командует



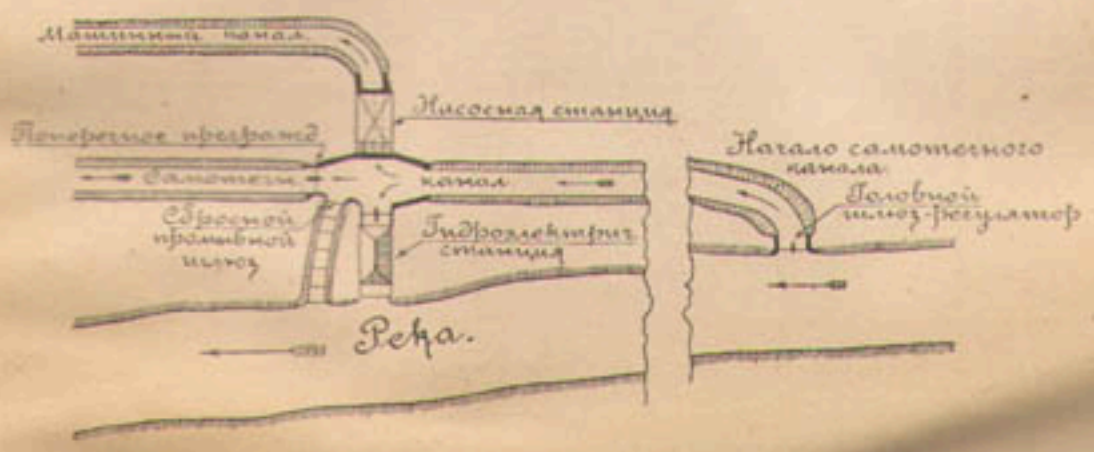
Черт. 48. Схема оросительной сети для предгорного района.

нижней зоной, в которую входит обычно значительная часть района, подлежащего орошению. Остающуюся часть высоко лежащей площади, входящую в верхнюю зону, лучше всего оросить особым каналом, проведенным по верхней границе этой зоны и питаемым водой из самотечного канала специально устроенной насосной станцией. Сфера применения насосного орошения в сильной степени зависит от стоимости энергии, необходимой для работы насосов. Чем дешевле энергия, тем, очевидно, большую площадь земли можно отнести в верхнюю зону, под „машинное орошение". Поэтому, составляя схему ирригационной системы, надо стремиться создать благоприятные условия, для утилизации энергии воды, протекающей через ирригационные каналы и сооружения. Разрешить эту задачу

для предгорного рельефа нетрудно, благодаря, с одной стороны, большому уклону реки, позволяющему на небольшом протяжении холостой части канала создать уже порядочную разницу горизонтов между уровнями воды в канале и в реке (в одном поперечном сечении местности, перпендикулярном к реке), а, с другой стороны, благодаря сравнительно большому падению самой местности, подлежащей орошению, позволяющему на главном канале в его рабочей части устраивать перепады. Вопросу использования гидравлической энергии на ирригационных системах уделяется внимание в дальнейшем, при рассмотрении отдельных элементов системы. Здесь мы не будем останавливаться дольше на этом вопросе, укажем лишь, что существует еще много других возможностей, помимо указанных, использовать гидравлическую энергию на системе.

На черт. 48 показана та схема орошения, которая, по нашему мнению, могла бы быть признана типичной для предгорного района; взята двухъярусная степь, но характер схемы останется тем же самым, как для одноярусной, так и для многоярусной степей.

Как видно из чертежа, весь подлежащий орошению район разбивается на две части. Верхняя часть степи между горизонталями 64 и 57 берется на „машинное орошение" (то-есть, на орошение из канала, в который вода попадает при помощи механического подъема). Вся остальная площадь орошается самотеком. Для этой цели в соответствующем пункте реки A устраивается головное сооружение (например, шлюз-регулятор, или же плотина со шлюзом-регулятором), при помощи которого вода забирается из реки и поступает самотеком в главный канал. Берется не только количество воды, необходимое для орошения всего района, как самотечного, так и машинного, но и некоторый избыток для сброса ее в дальнейшем обратно в реку через гидроэлектрическую станцию. В пункте B этого канала, где он еще идет параллельно реке, но уже близок к повороту в степь, там, где склон местности, вышележащей над каналом, принимает наиболее крутой характер, устраивают на канале узел сооружений, состоящий из поперечного преграждения, сбросного и в то же время промывного шлюза, гидроэлектрической установки и насосной станции. На черт. 49 показана возможная схема сооружений в узле.



Черт. 49. Схема сооружений в узле B

Вышеупомянутое дополнительное количество воды, забранное каналом из источника орошения, сбрасывается через гидроэлектрическую станцию обратно в реку. Полученная дешевая энергия передается в насосную станцию. Пользуясь ею, насосы гонят воду через напорные трубопроводы в верхний канал, по которому вода в дальнейшем поступает самотеком для орошения верхней зоны степи.

При помощи поперечного преграждения регулируется горизонт воды перед насосной и гидроэлектрическими станциями, а также количество воды, пропускаемое далее по самотечному каналу в систему. В случае, если гидроэлектрическая станция почему-либо не работает, избыток воды сбрасывается через сбросной шлюз. Последний исполняет также роль промывного шлюза для смыва наносов, отлагающихся в самотечном канале перед поперечным преграждением.

Такое компактное размещение всех сооружений в одном месте не всегда удается. Условия рельефа местности могут быть таковы, что место, удобное для устройства гидроэлектрической станции, неудобно для насосной станции. В таких случаях насосную станцию устраивают на главном канале отдельно, в пункте специально удобном для механического подъема воды (где возможно довести до минимума длину напорных труб, по которым вода передается из насосов в верхний канал), а энергия, необходимая для питания насосной станции, передается с гидроэлектрической установки при посредстве электропередачи.

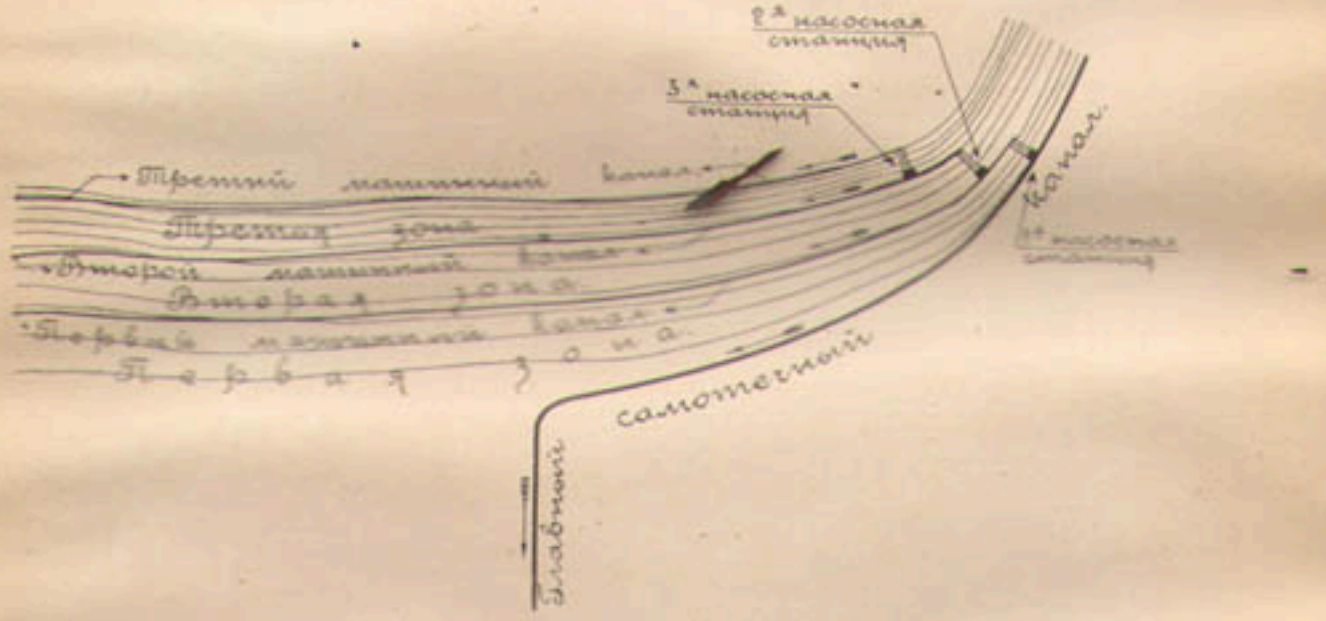
Участок AB самотечного канала от головы до узла может быть очень коротким, если головное сооружение включает в себе водоподъемную плотину. В предельном случае длина AB может быть доведена до нуля: гидроэлектрическая станция со сбросно-промывным шлюзом устраивается сейчас же за плотиной, а насосная станция забирает воду для питания верхнего канала непосредственно из подпертого бьефа реки.

От пункта B самотечный канал трассируется с минимально возможным уклоном вдоль горизонталей до пункта C, лежащего на „середине" линии CD, делящей всю степь на две, примерно равные, части по ширине. Далее канал круто поворачивает и идет по направлению наибольшего ската—по серединной линии CD, выпуская на-право и на-лево распределительные каналы. Каналы одной стороны впадают концевым сбросом в реку, а другой—в водосборный коллектор EF, идущий по границе предполагаемого к орошению участка.

Главный самотечный канал кончается сбросным шлюзом, через который вода, оставшаяся по каким-либо причинам в канале, может быть сброшена обратно в реку. На протяжении CD, на участках с крутым падением местности, на канале приходится устраивать перепады или быстротоки. В этих пунктах при перепадах можно устроить гидроэлектрические или гидравлические станции, утилизирующие энергию падения воды. Очевидно, наиболее крупные станции возможно создать в тех местах, где канал переходит с одного яруса в другой, например, в K.

Что касается машинного канала, он трассируется с минимальным уклоном, чтобы захватить в свое командование возможно бо́льшую площадь. Он кончается сбросом в водосборный коллектор *EF*.

На приведенной на чертеже 48 схеме, орошение верхней части степи предусматривается одним „машинным" каналом. Однако, если эта часть степи имеет значительные размеры по линии наибольшего ската и большое или изменяющееся падение местности, часто бывает выгодно разбить ее на ряд зон, орошаемых отдельными самостоятельными каналами, питаемыми или отдельными насосными станциями, самостоятельно берущими воду из самотечного канала или из реки, или отдельными насосами, расположенными в одной центральной станции или, наконец, отдельными насосными станциями, расположенными ступенчато. Например, если верхний участок разбит на три зоны, то первая станция качает воду, необходимую для орошения всех трех зон из самотечного канала в первый машинный, вторая станция подает воду, потребную для орошения второй и третьей зоны из первого машинного канала во второй, и, наконец, третья насосная станция поднимает воду нужную для орошения третьей зоны из второго машинного канала в третий (см. черт. 50).

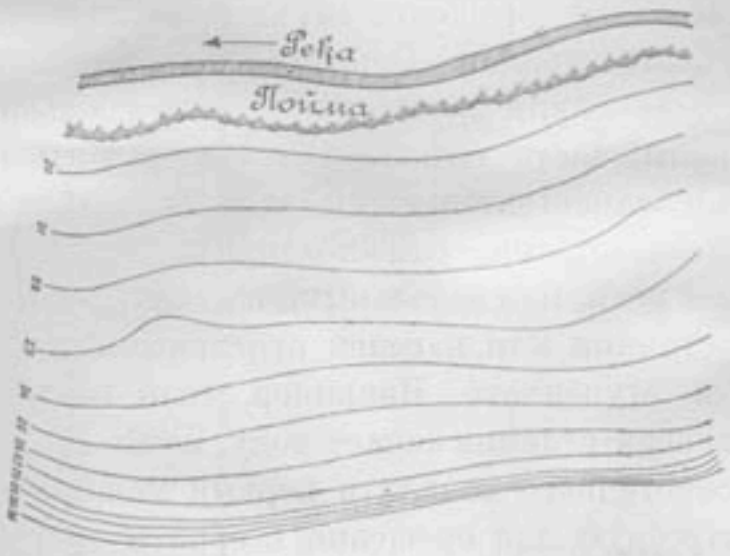


Черт. 50. Схема орошения верхнего участка степи, разбитого на три зоны тремя насосными станциями, расположенными ступеньчато.

II. „Долинный" тип, характерный для районов, лежащих вдоль среднего течения реки. Горизонтали местности имеют направление параллельное (или близкое к этому) течению реки. Степь отделяется от речного ложа поймой, сравнительно значительной ширины.

Степь возвышается над поймой небольшим уступом или пологим откосом. Далее степь поднимается сравнительно медленно, при чем, чем дальше от реки, тем скат местности становится круче (см. черт. 51, 52 и 53). Поперечные сечения, взятые по реке (перпендикулярно к ее направлению) и продолженные по местности, показаны ниже (см. черт. 54, 55 и 56). Как видно из нижеприводимых профилей, один и тот же долинный тип может

иметь много различных видов, например, первый профиль (черт. 51 и 54) характеризует степь „одноярусную", второй (черт. 52 и 55) профиль — „двух-ярусную", третий профиль (см. черт. 53 и 56) характерен для местности, в которой основной тип рельефа искажен местными возвышениями. Если мысленно себе представить, что холмы сняты с местности, мы получим чистый тип долинного рельефа.



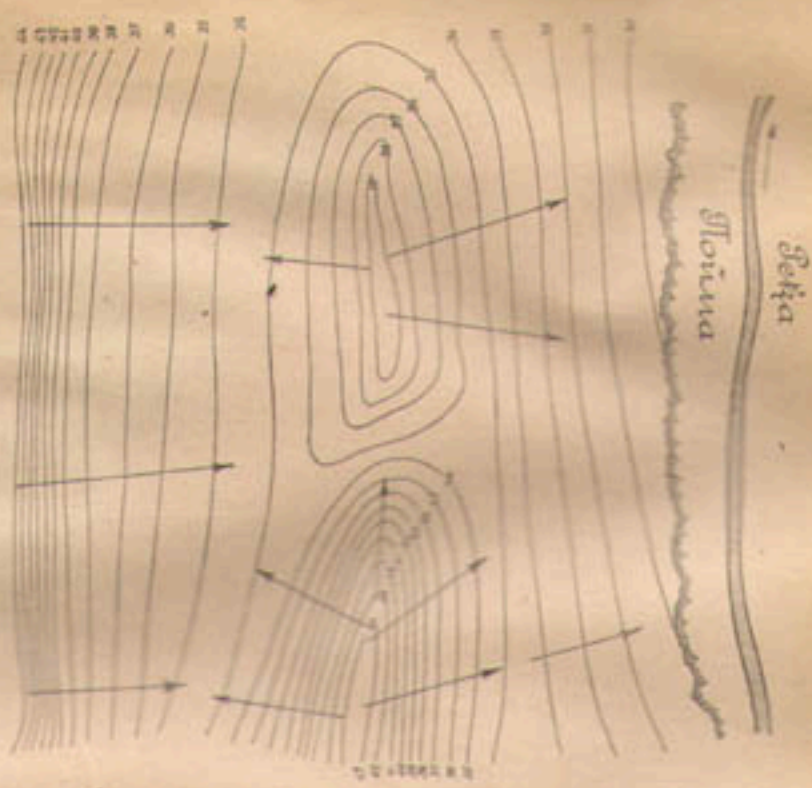
Черт. 51. Долинный тип рельефа.

Условия подпочвы в долинных районах менее благоприятны для орошения, чем в предгорных. Рассчитывать на естественный дренирующий (галечниковый или песчаный) подпочвенный слой здесь, в большинстве случаев, не приходится; он может встретиться в виде исключения. Грунтовые воды в пониженных частях рельефа, могут оказаться очень близкими к поверхности земли, так что, в случае орошения, опасность подтопа грунтовыми водами корневой зоны растений представляется часто и может, весьма быстро, принять реальные формы. Поэтому водосборная сеть в долинных районах должна быть дороже, чем в предгорных, хотя, обычно, естественным приемником дренажных и сбросных вод служит также река.

Черт. 52. Долинный тип рельефа. Ярусная степь.

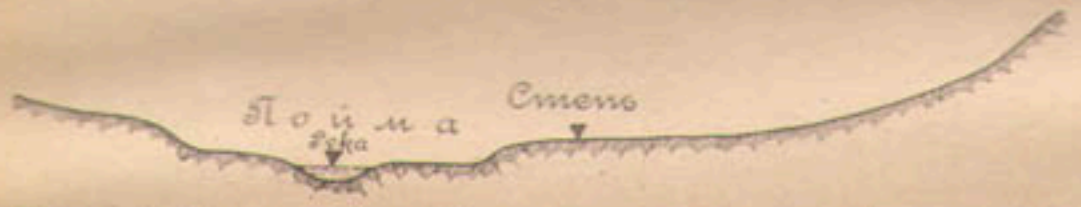
Длина холостой части главного самотечного канала, благодаря малому уклону реки, в долинных районах значительно больше, чем в предгорных. Участок степи, захватываемый орошением, обыкновенно имеет малое протяжение по ширине (в направлении, перпендикулярном в реке) сравнительно с протяжением вдоль реки. Главный канал трассируется по верхней границе, предполагаемого к орошению, участка с возможно меньшим уклоном для захвата бо́льшей площади. Таким образом, канал тянется вдоль реки.

Чтобы захватить очень широкую полосу земли, необходимо, очевидно, значительно поднять трассу канала в районе его командования (в рабочей части), а, следовательно, сильно удлинить его холостую часть. Вполне естественно и здесь стремиться к тому, чтобы главная часть площади района, залегающая сравнительно низко, могла бы быть орошена самотечным каналом и чтобы для остающейся высокой части площади вода подавалась бы специальным каналом при помощи механического подъема из самотечного канала. Для возможности применения машинного орошения и отнесения значительной части площади под такое орошение, необходимо наличие дешевой энергии.

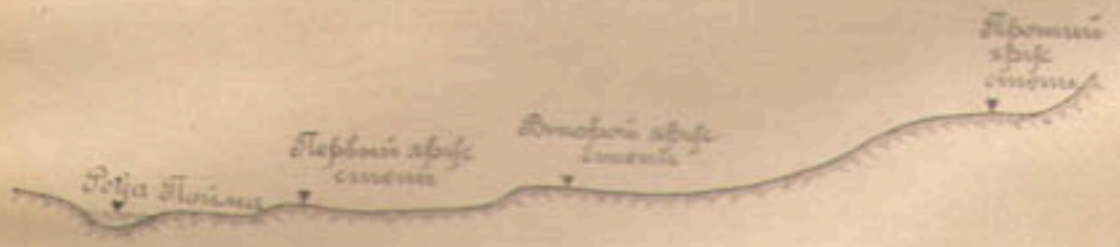


Черт. 53. Долинный тип рельефа с местными возмущениями в виде холмов и котловин.

В районах долинного типа значительно реже встречается возможность выгодного использования гидравлической энергии; кроме того и стоимость ее должна



Черт. 54. Поперечный профиль реки и прилегающей степи для долинного типа рельефа.



Черт. 55. Поперечный профиль реки и прилегающей степи для долинного типа рельефа. Ярусная степь.

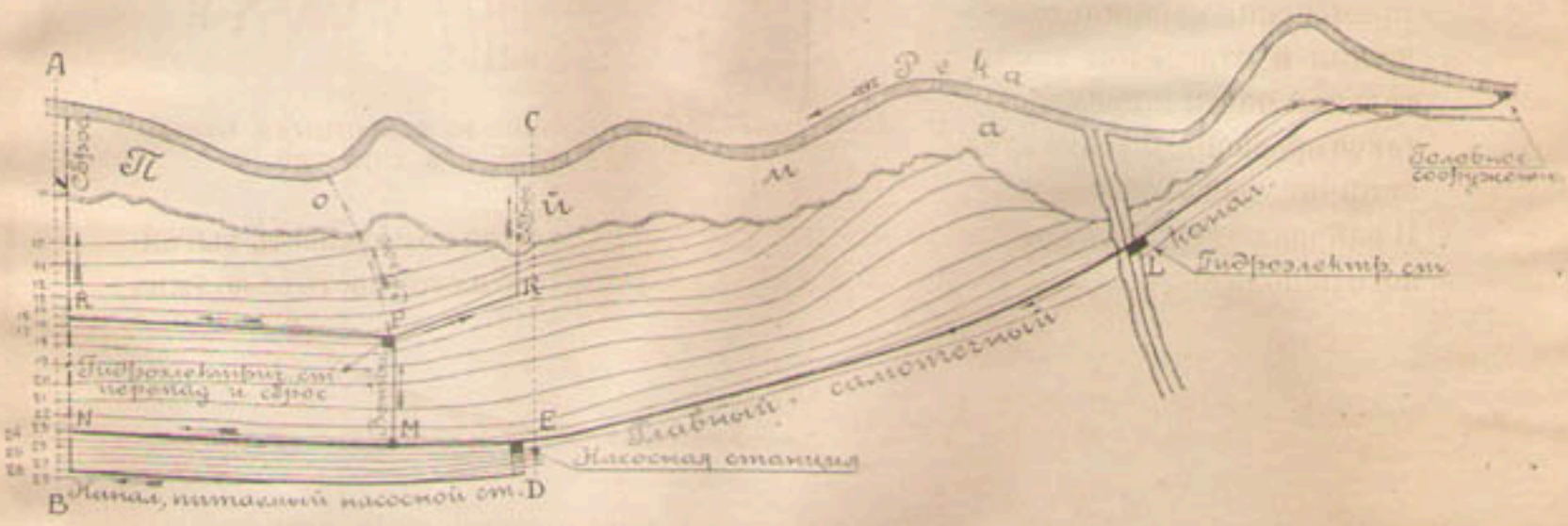
быть выше, чем в предгорных районах, уже хотя бы потому, что избыток воды, захватываемый самотечным каналом из реки (для сброса обратно в реку в том месте, где существует наличие достаточной разницы горизонтов между уровнем воды в канале и в реке), приходится вести самотечным каналом (вследствие малого уклона реки), на значительно большем протяжении, для получения на гидроэлектрической станции перепада той же

величины. Кроме того, так как канал трассируется в рабочей части с минимально возможными уклонами, исчезает возможность использования энергии на самом канале (в виду отсутствия перепадов на нем). Если местность перерезается руслами боковых притоков, впадающих в реку, из которой берет начало главный самотечный канал, то в месте пересечения

Черт. 56. Поперечный профиль реки и прилегающей степи для долинного типа рельефа.

последнего с боковыми руслами бывает иногда целесообразно, при наличии благоприятных условий, устроить гидроэлектрическую установку, сбрасывая излишний расход, имеющийся в канале (специально для сей цели забираемый из реки), через турбины.

Возможная схема орошения участка местности с долинным рельефом показана на черт. 57.

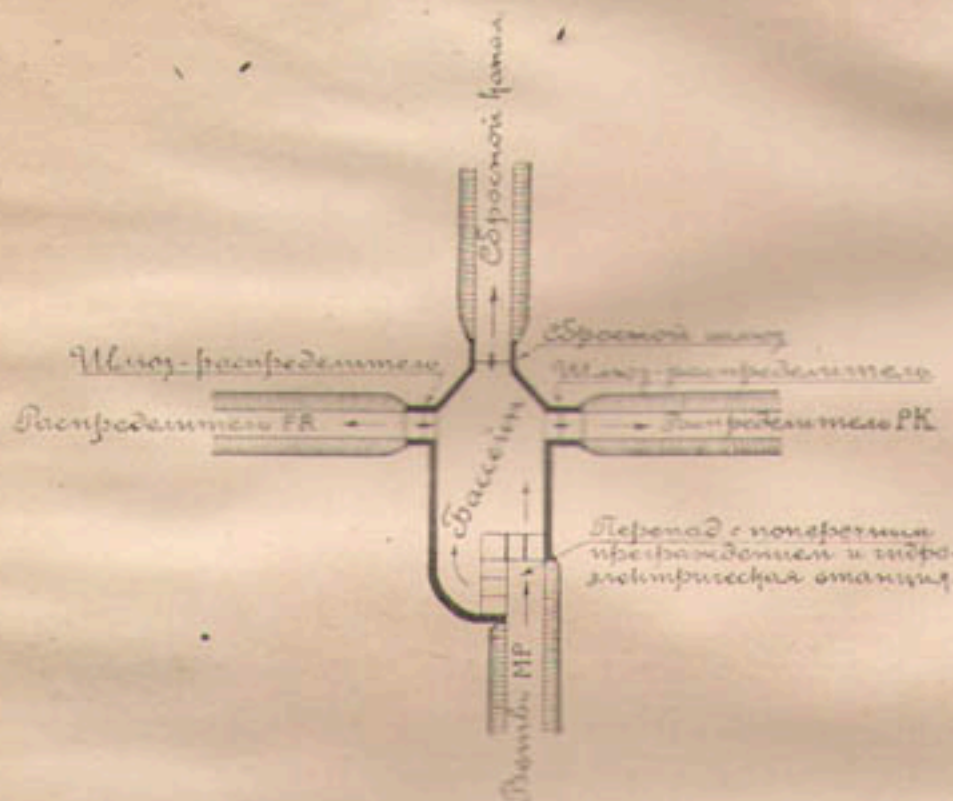


Черт. 57. Возможная схема орошения участка (ABCД) с долинным типом рельефа. *ABCD*—есть площадь участка, подлежащего орошению; *IE*—холостая часть самотечного канала; *EN*—рабочая часть самотечного канала; *MP*—ветвь самотечного канала, разделяющаяся в точке *P* на 2 ответвления (*PR* и *PK*) для орошения нижней зоны.

На ветви *MP*, при переходе с верхней террассы на нижнюю, может быть устроен перепад с гидроэлектрической станцией. Весь расход, нужный для орошения нижней зоны, подводится к ней в одном месте (удобном для утилизации энергии) и, здесь, сбрасывается предварительно через турбины. В этом пункте устраивается узел сооружений, состоящий из поперечного преграждения с перепадом, гидроэлектрической станции, сбросного шлюза и двух шлюзов-распределителей. Схема узла указана ниже на чертеже 58.

Кроме того, гидроэлектрическая станция может быть устроена в пункте *L*, где трасса главного канала пересекает естественный овраг или боковое

русло. Избыток воды, имеющийся в канале (дополнительно забираемый каналом из реки), здесь сбрасывается через турбины на дно оврага и, таким образом, используется разность горизонтов между уровнем воды в канале и в овраге. Энергия, полученная на гидроэлектрических установках передается в потребном количестве на насосную станцию для подъема воды из самотечного канала в специальный канал высокого уровня, затрассированный по верхней границе площади, предназначенной к орошению.

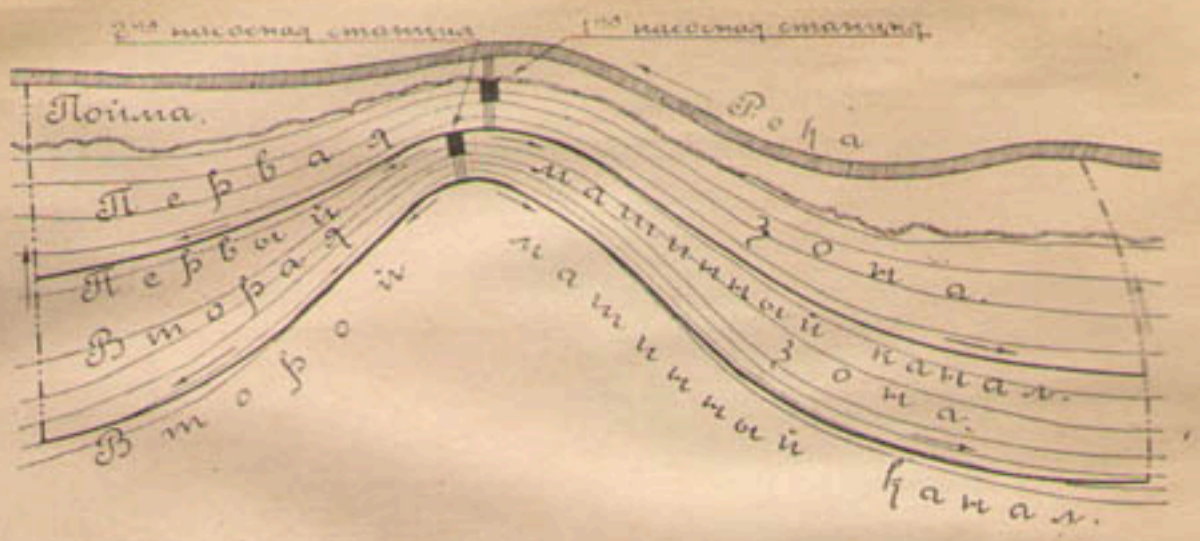


Черт. 58. Схема узла P.

Когда площадь участка, требующего орошения, незначительна, а длина холостой части самотечного канала оказывается большой, следует проверить, не будет ли более выгодным применить машинное орошение для всего участка, особенно, если имеются удобные условия для устройства насосной станции (см. черт. 59). Очевидно, что в этом случае нельзя рассчитывать на получение гидравлической энергии на самой ирригационной системе, а между тем экономичность насосных установок, а, следовательно, и всего орошения, в значительной степени будет зависеть от стоимости потребляемой станциями энергии. Поэтому, вопрос о нахождении дешевого белого угля (водной энергии) в данном случае стоит еще более остро, чем в предыдущих схемах. Очевидно, удобные места для использования водной энергии надо искать на стороне, вообще говоря, вне пределов ирригационной системы (где-нибудь на боковых притоках источника орошения).

При большой высоте подъема воды и значительном количестве потребляемой (насосными станциями) энергии бывает выгоднее использовать гидравлическую энергию, даже на расстоянии многих десятков верст от места расположения насосных станций с устройством электро-передачи, чем устраивать тепловые станции.

Экономическая высота подъема воды в целях орошения значительно уменьшается, если приходится применять тепловую энергию (нефтяные двигатели, паровые машины и турбины).



Черт. 59. Возможная схема орошения (механическим подъемом воды) участка степи с долинным типом рельефа.

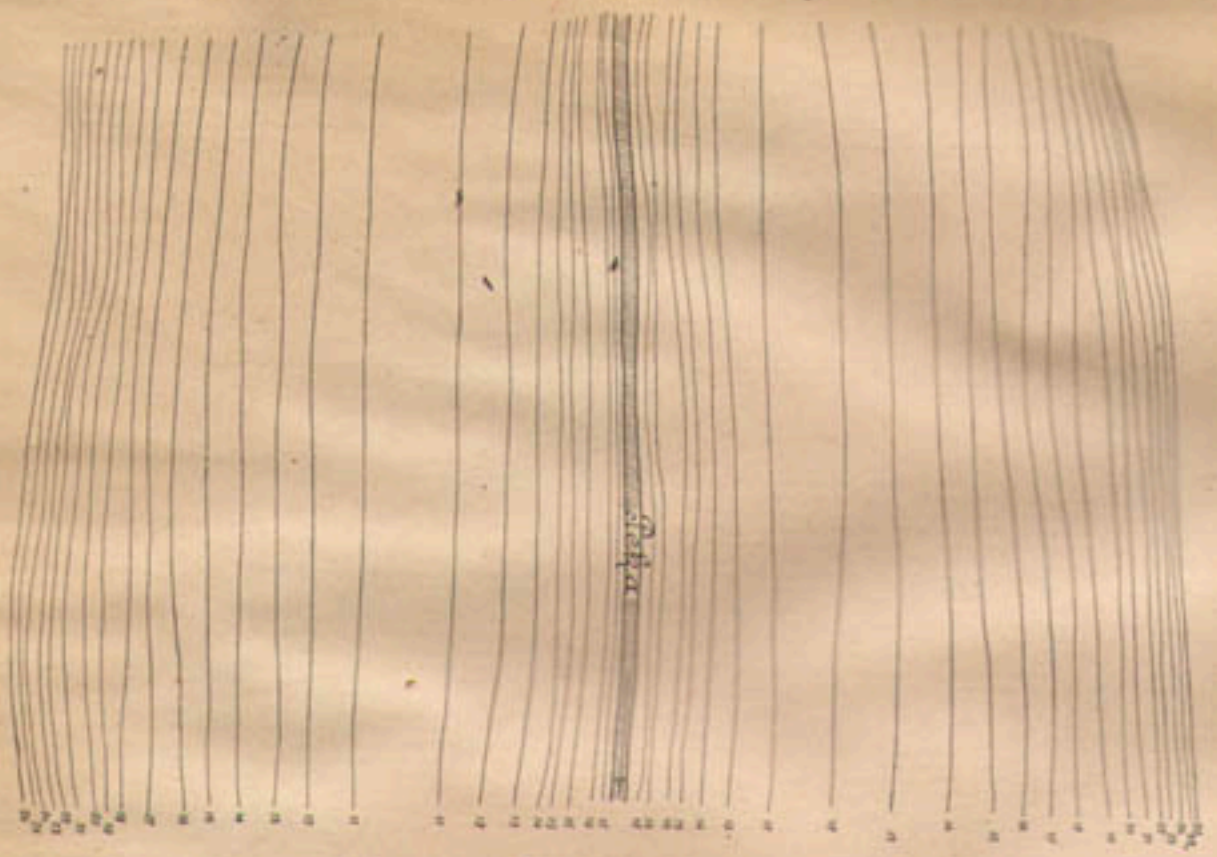
Схема, указанная на черт. 59, предусматривает орошение участка следующим способом. Вся местность разбивается на несколько зон (в данном случае на две). Для орошения первой зоны из реки проводится короткий специальный канал поперек поймы к подножию высокого берега степи; здесь устраивается насосная станция, подающая в первый машинный канал (затрассированный по верхней границе первой зоны) все то количество воды, которое требуется для орошения всех зон. На первом машинном канале устраивается вторая насосная станция (в удобном месте по рельефу, позволяющем применение коротких напорных труб и коротких каналов с высокими насыпями), качающая во второй машинный канал то количество воды, которое требуется для орошения всех зон, за исключением первой и т. д.

Разделение всего участка на зоны орошения является одной из основных технико-экономических задач при проектировании. Машинные каналы проводятся с минимальными уклонами для захватывания в сферу своего командования возможно больших площадей. В конце каналов устраиваются сбросы в водосборные коллекторы, проводимые вблизи границ орошаемого участка. По коллекторам дренажная и сбросная вода поступает обратно в реку.

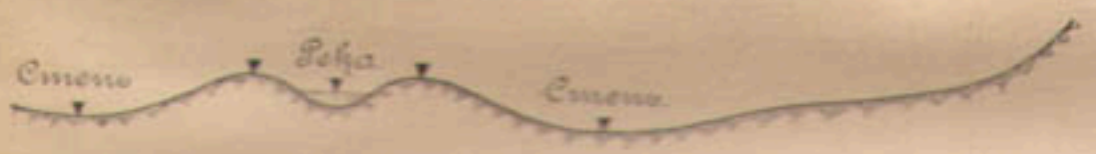
Приведенные две схемы орошения участков с долинным рельефом, хотя и не обнимают всех возможных схем орошения, однако, достаточно ясно выявляют необходимые основы этих схем и их общий характер.

III. Тип „Низовьев и дельты" характерен для районов, расположенных вдоль низового течения реки, а также и для дельты реки. Горизонтали местности имеют направление параллельное течению реки (черт. 60), как в долинном типе, но местность падает не к реке, а от реки; если взять поперечное сечение по реке (перпендикулярно к оси потока) и продолжить его по местности, картина получится такой, как это изобра-

жено ниже (см. черт. 61); горизонт воды в реке будет выше прилегающей долины, местность сперва падает от реки, достигая некоторых

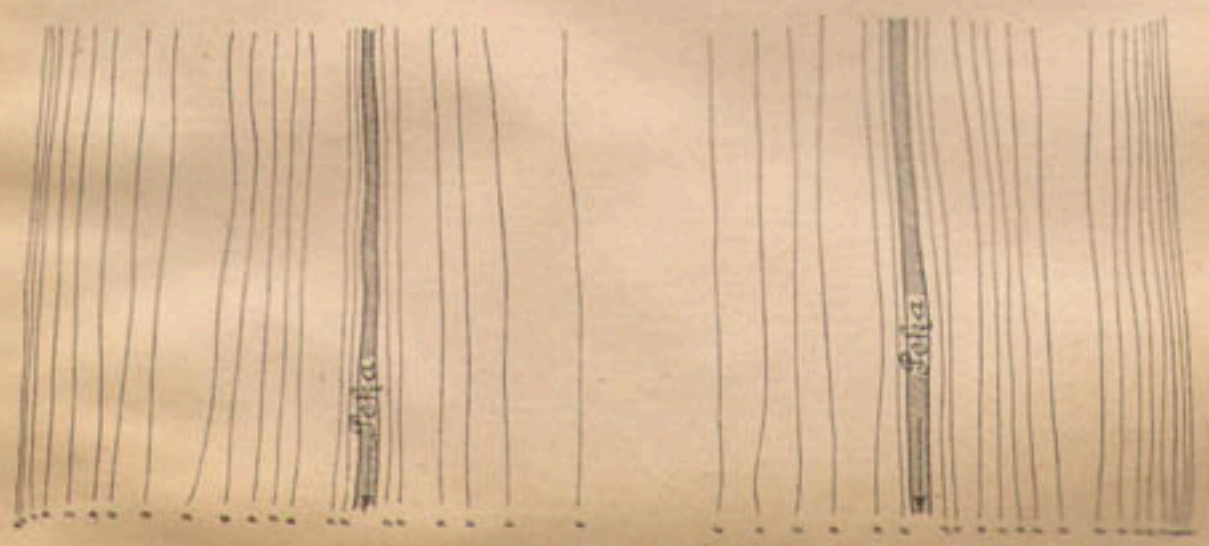


Черт. 60. Низовой тип рельефа.



Черт. 61. Поперечное сечение по реке и местности с рельефом низового типа.

наинизших отметок, и только после этого снова начинает подниматься, сперва очень медленно и постепенно, а затем все быстрее и круче. В дельтах рек, где река разбивается на несколько русел, рельеф местности и поперечный профиль ее имеют вид, показанный на черт. 62 и 63.



Черт. 62. Дельтовый тип рельефа.

В районах низовьев и дельт почва подстилается мощным слоем аллювиальных отложений. Сперва идут илистые отложения, ниже идут пески и гравий. Слой почвы, составляющий культивируемую землю, имеет значительную толщину; это, в большинстве случаев, илистая глина. Почва плохо дренирована; нижние слои ее, особенно в дельтовых районах, бывают часто сильно засолены.

Черт. 63. Поперечное сечение по реке и местности с рельефом дельтового типа.

Грунтовые воды залегают в пониженных местах близко от поверхности. При орошении этих районов необходимо самое серьезное внимание обращать на водосборную и дренажную сеть, ибо рассчитывать на естественный дренаж не приходится и, даже, при специально устроенной водосборной сети, часто бывает весьма затруднительно, а иногда и невозможно, вывести дренажные и сбросные воды самотеком обратно в реку. Приходится прибегать к устройству насосных станций, выкачивающих воду из водоотводного коллектора в реку или высасывающих грунтовую воду через особые скважины для понижения их уровня.

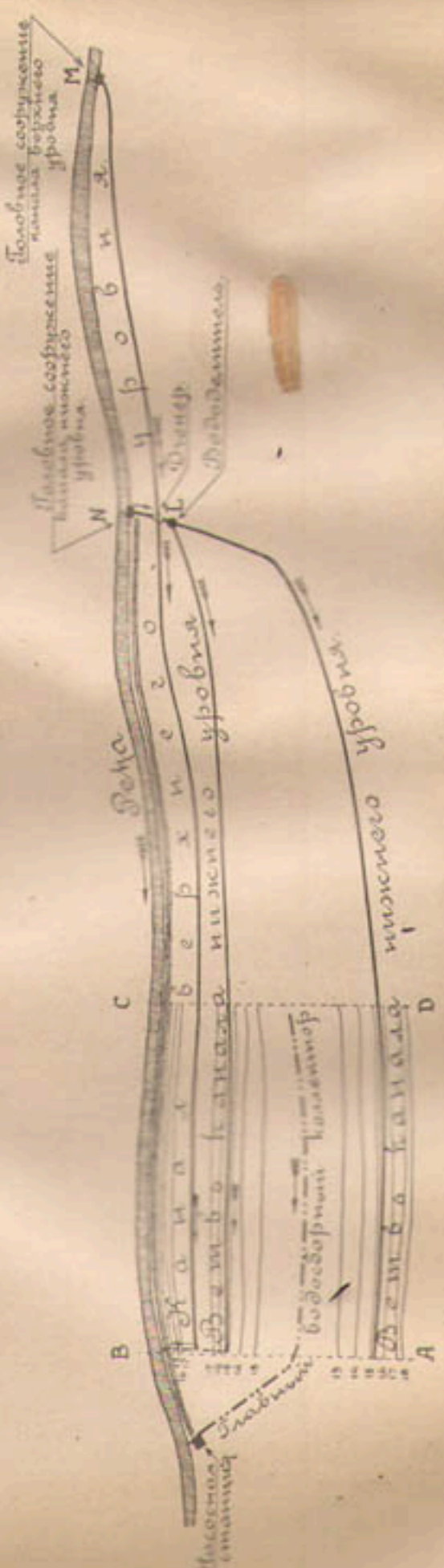
Река течет в этих районах в ложе поднятом над низменностью, поэтому вывод воды из нее самотеком для орошения прилегающей местности не представляет особых затруднений. Длина холостой части главных каналов незначительна.

Во время паводков горизонт воды в реке может так сильно подняться, что грозит затоплением прилегающей низменности. Для защиты от наводнений берег обваловывают, то-есть устраивают продольные дамбы. Отсутствие глубоко залегающих естественных водных потоков, в которые можно было бы сбрасывать воду из ирригационных каналов, создает условия, исключающие возможность использования водной энергии. Выход из положения иногда дает наличие глубоких и обширных высохших котловин (бывших озер) в районах, не особенно удаленных от реки (например, Сарыкамышская котловина вблизи низовьев Аму-Дарьи). Подводя воду высокими каналами к этим котловинам и сбрасывая её туда, возможно использовать даже гидравлическую энергию. Однако, горизонт воды в котловине будет постепенно, по мере накопления ее, подниматься, а, следовательно, высота падения воды и используемая мощность уменьшаться. Необходимо, чтобы количество воды поступающей в котловину, равнялось бы количеству воды, испаряющейся с водной поверхности (образовавшейся в котловине); при этих условиях горизонт воды в котловине не будет подниматься выше некоторого предельного уровня.

При отсутствии таких исключительно благоприятных условий, рассчитывать на дешевую водную энергию не приходится, даже и в том случае, когда для захвата воды из реки приходится устраивать водоподъемную плотину,

ибо, в виду отсутствия (в условиях дельты и низовьев) плотных и надежных пород для основания плотины, приходится держать в реке небольшой подпор, а во время прохождения высоких вод и совсем отказываться от него.

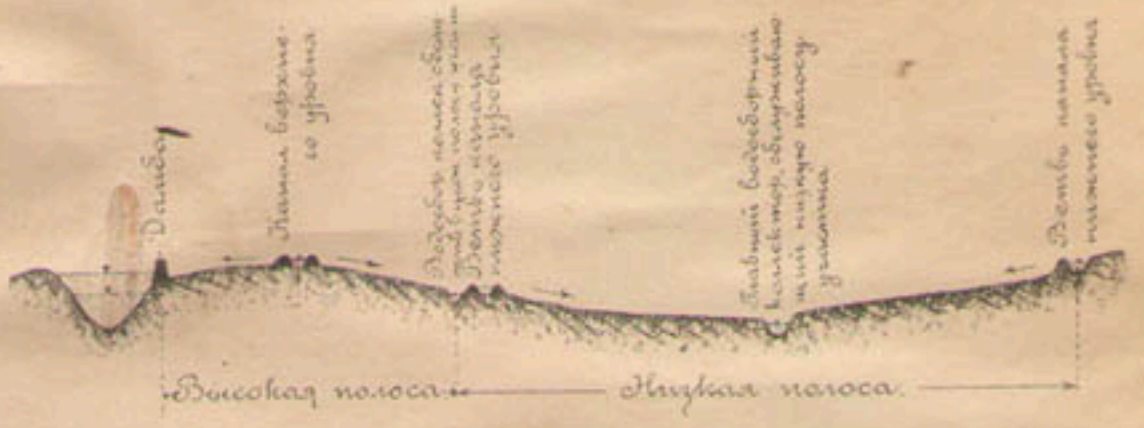
Возможная основная схема орошения участков с рельефом низового типа указана на черт. 64 и 65. Вдоль реки устраивается дамба, охраняющая участок от затопления высоким паводком. Весь участок разделяется на две полосы: верхнюю и нижнюю. Верхняя орошается особым самотечным каналом (каналом верхнего уровня), берущим начало в точке *M*. Нижняя полоса орошается другим самотечным каналом, с головным сооружением в точке *N* (ниже по реке). Этот канал низкого уровня разветвляется на две ветви, охватывающие низкую полосу с двух сторон. Дренажная и сбросная вода поступают в водосборный коллектор, устроенный по наиболее пониженной линии. Конец коллектора подводится к реке, где устраивается насосная станция, выкачивающая воду из него обратно в реку. Дренажные и сбросные воды верхней полосы отводятся в реку самотеком специальными водосборными коллекторами. В месте пересечения самотечных каналов верхнего и нижнего уровней сооружается дюкер. Такова в общих чертах схема главных сооружений ирригационной системы для участков с низовым и дельтовым рельефом.



Черт. 64. Возможная схема орошения участка (ABCD) с низовым типом рельефа.

IV. „Смешанные“ рельефы и некоторые отклонения в идеальном типе „долинного“ рельефа. Помимо трех основных вышеуказанных типов, встречаются часто рельефы смешанного характера: напр., верховая часть района может быть предгорного типа, низовая-долинного (см. черт. 69). Это особенно часто имеет место в тех случаях, когда река, выйдя из горной местности, ущелья,

горловины и протекая сперва в направлении перпендикулярном к горизонталям прилегающей долины, затем круто на 90° изменяет свое направление и, таким образом, течение ее получает направление параллельное горизонталям местности (например, Дальверзинская степь, Голодная степь и др.).



Черт. 65. Схематический разрез местности, представленной на черт. 64.

Когда отроги гор подступают к реке, долинный тип рельефа местности, прилегающей к реке, сильно искажается, горизонтали изменяют свое параллельное направление к реке, на направление наклонное, при чем они все больше и больше сближаются; в том месте, где возвышенность больше всего подходит к реке, горизонтали снова принимают параллельное направление, но, конечно, уклон местности становится значительно круче. Обогнув выступ, горизонтали снова удаляются по направлению наклонному и даже перпендикулярному к течению реки, а, затем, уже постепенно, принимают параллельное направление. Если долинный рельеф в двух местах искажен указанным образом, то мы получим боковую долину, как бы замкнутую в двух местах. Установим нижеследующую терминологию.

а) Долинный тип, „замкнутый с верховой стороны", — для того случая, когда однообразный долинный рельеф прерывается подступающими к реке возвышенностями, с верховой (считая по реке) стороны долины (см. черт. 66).

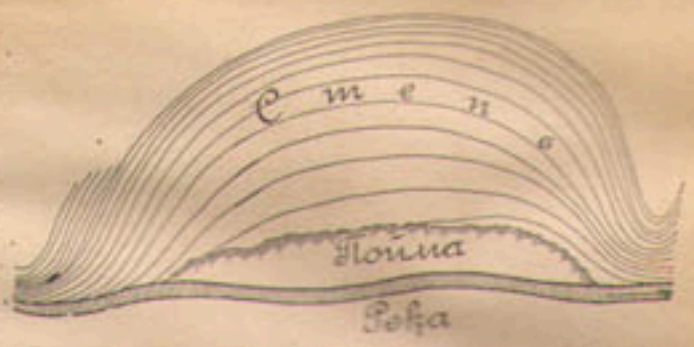
Черт. 66. Долинный тип рельефа, замкнутый с верховой стороны

б) Долинный тип, „замкнутый с низовой стороны" — для того случая, когда однообразный долинный рельеф прерывается подступающими к реке возвышенностями с низовой стороны долины.

в) „Долинный, замкнутый тип" — для случая, когда долина замкнута с верховой и низовой стороны (см. черт. 67).

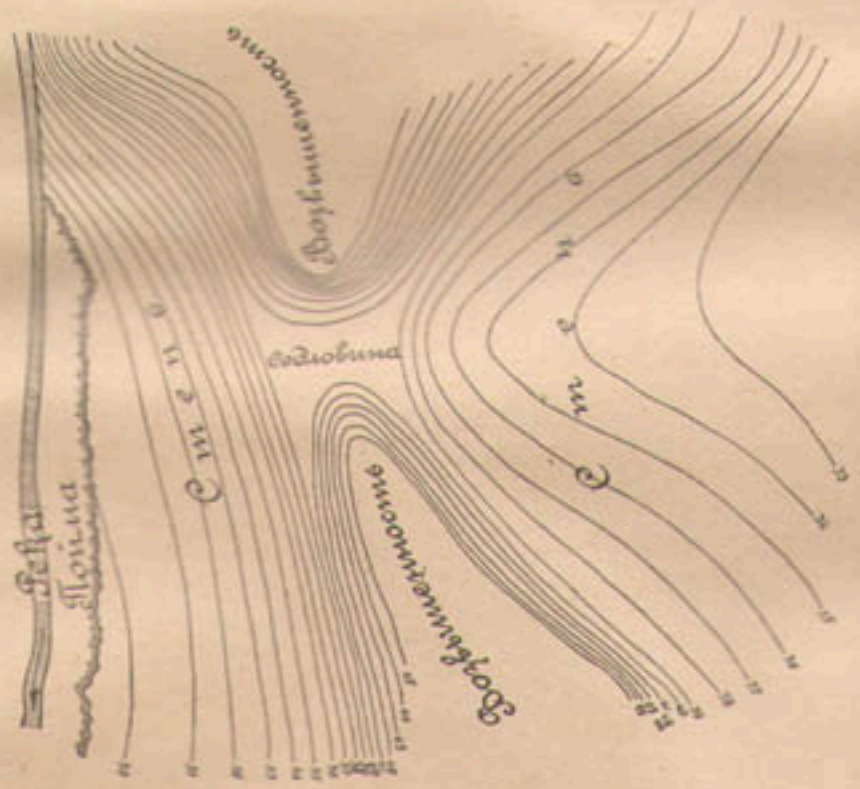
Часто можно встретиться со следующим случаем. Местность с рельефом долинного типа, удалясь от реки, постепенно переходит в окаймляющую ее возвышенность, а затем через какое-либо местное по-

нижение в этих возвышенностях,—„по седловине“, —соединяется с долиной, расположенной по другую сторону от возвышенности (см. черт. 68). Очень часто эта последняя долина бывает или замкнутой, не имеющей самостоятельного источника орошения, или же, хотя она и примыкает к какому-нибудь источнику орошения, но (по условиям рельефа) не может быть из последнего орошена (например, Чимбайская степь Зеравшанской долины и Каршинская степь).



Черт. 67. Долинный тип рельефа, замкнутого с верховой и низовой стороны.

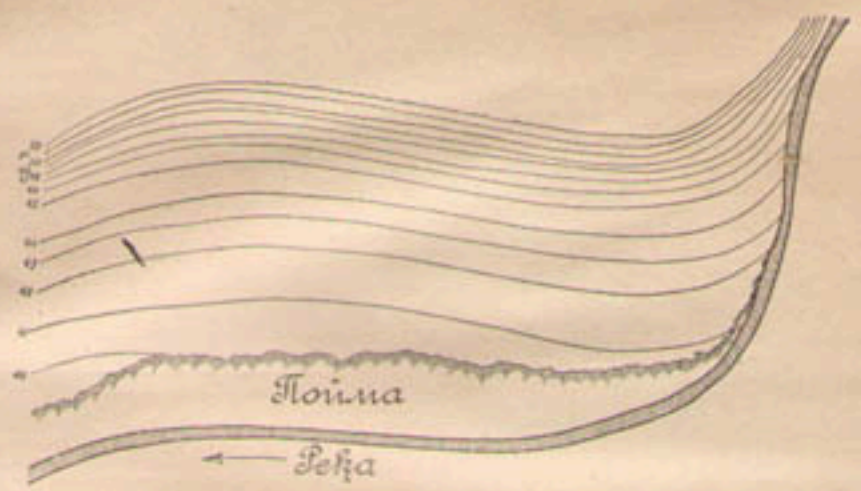
Проектирующий обыкновенно стоит перед дилеммой или совсем отказаться от мысли создать орошение этой второй долины, или же найти какой-нибудь способ перебросить воду, потребную для орошения указанной местности, из первой долины, то-есть, другими словами, составляя проект орошения долины, расположенной вдоль реки, надо иметь ввиду и орошение местности, с которой она соединяется через седловину. Для этого случая также можно разработать типовую схему орошения.



Черт. 68. „Долинный“ тип рельефа. Местность замкнута с верховой стороны и соединена через „седловину“ окаймляющей возвышенности с соседней степью, расположенной по другой стороне.

Вышеописанными типами рельефов, по нашему мнению, охватываются главные характерные черты тех местностей, с которыми приходится встречаться в мелиоративной практике (за исключением специальных горных районов). Вначале, иногда, бывает трудно установить, к какому типу надо

отнести данную местность. Однако, после тщательного исследования рельефа, всегда возможно расчленить или разбить самый запутанный характер местности на ряд простых „составляющих“ рельефов.



Черт. 69. Смешанный тип рельефа: „предгорный“ для верхнего и „долинный“ для нижнего течения реки.

Размеры данного руководства не позволяют остановиться более подробно на разработанном нами учении об ирригационных схемах в связи с типами рельефов.

Глава VII.

О площадях орошения.

Как при эксплоатации существующих ирригационных систем, так и при проектировании новых, совершенно необходимо точно знать площадь орошаемой земельной территории, ибо, как эксплоатационные расходы по поддержанию системы, так и затраты по возведению ирригационных сооружений, принято относить на 1 десятину площади; при исчислении количества воды, которое должно забираться из источника орошения головным шлюзом-регулятором, также приходится прежде всего исходить из площади, подлежащей орошению. Вообще необходимо отметить, что установление разного рода цифр, характеризующих систему, производится отнесением общих величин, полученных для всей системы, к единице площади орошения. Для возможности сравнения двух систем друг с другом, очевидно, необходимо, чтобы „характеристики" систем относились к одной и той же единице сравнения, — к десятине аналогичных площадей. Между тем, благодаря отсутствию точной терминологии площадей орошения, существующие оросительные проекты страдают „разношерстностью" характеристик. Например, когда говорят, что стоимость орошения одной десятины района А исчисляется, положим в 150 руб., а района Б—в 200 рублей, то это еще не значит, что фактически орошение в районе Б дороже, чем в районе А, так как необходимо предварительно выяснить, к каким площадям отнесены стоимости орошения в этих районах, к валовым ли, к действительно ли орошаемым и т. п. Если в районе А стоимость определена на 1 десятину валовой площади, а в районе Б—на 1 десятину действительно орошаемой площади, и если валовая площадь в районе А на 40% больше площади действительного орошения, то, очевидно, что стоимость орошения в этом районе фактически будет дороже, чем в районе Б.

Мы останавливаемся на этом вопросе потому, что авторы проектов, желая иногда создать впечатление дешевизны проекта, стараются сознательно отнести общую стоимость на возможно большую площадь; члены финансовых и законодательных учреждений, от которых зависит отпуск средств, не будучи специалистами, часто бывают таким путем введены в заблуждение.

Итак, совершенно очевидна необходимость установления ясной единой терминологии и проведения ее, как при составлении проектов и эксплоатации существующих систем, так и при оценке и сравнении различных проектных предположений.

В оросительной практике приходится сталкиваться с нижеследующими площадями:

1. **Общей валовой площадью района**, захватываемой проектом, — $\Omega_{общ.}$ Она определяется, с одной стороны—пределами командования намеченных главных оросительных каналов, а с другой — естественными границами явно выраженных неудобных или негодных земель или же, наконец, границами уже орошенного района. Если производится орошение частновладельческих земель, пределы распространения района орошения ограничиваются, обычно, границами этих земель.

Общая валовая площадь района не дает представления о площади могущей быть орошенной в пределах данного района, она, так сказать, не пропорциональна последней. В нее входят в пределах границ района, все земли, следовательно, и высокие холмы и пересеченный неудобный рельеф, и солончаки, и пески, и каменные гряды и галечники и заболоченные пространства и т. п., то-есть земли не подлежащие орошению и, очевидно, для различных районов, в зависимости от местных условий, отношение площади таких земель к общей валовой площади $\left(\frac{\Omega_{неуд.}}{\Omega_{общ.}}\right)$ может быть весьма различным.

Общая валовая площадь района орошения устанавливается уже в самом начале изысканий, перед приступом к проекту, на основании тех общих топографических карт, которые обычно имеются (например, планшетов Военно-Топографического Отдела). Она дает общее представление о площади территории, в пределах которой придется действовать при осуществлении ирригационного проекта.

2. **Валовой площадью годной под орошение**, в районе захватываемом проектом, — $\Omega_{вал.}$ Эту площадь можно определить лишь после топографических и почвенных исследований и составления проекта главных водоприводных и водоотводных каналов, то-есть, после определения $\Omega_{неуд.}$ и точного установления командных горизонтов в главных ирригационных каналах и дренажных горизонтов в водоотводных коллекторах. Очевидно,

$$\Omega_{вал.} = \Omega_{общ.} - \Omega_{неуд.}$$

Валовая площадь орошения ($\Omega_{вал.}$) уже дает предетавление о действительной площади орошения, ибо она „пропорциональна“ последней до некоторой степени.

3. **Действительной площадью предназначенной под орошение**, в районе захватываемом проектом, — $\Omega_{д.}$ Это есть площадь, которая по своим топографическим и почвенным данным, пригодна под орошение и,

по составленному проекту, может быть орошена. Будет ли фактически вся эта площадь орошаться, это другой вопрос. Во всяком случае она может быть орошена проектируемой (или существующей) системой, то-есть, следовательно, она включена в учет потребного количества воды и принята во внимание при разбивке водоподводящей и отводящей сетей; $\Omega_д$ может быть определена только по составлении подробного проекта орошения. Из валовой площади орошения ($\Omega_{вал.}$) надо вычесть площади отчуждения ($\Omega_{отчужд.}$), оставляемые под каналы, распределители, оросители, дороги, сооружения, здания и проч., затем площади $\Omega_{выкл.}$, которые, при составлении подробного проекта оказались неудобными для орошения, как например, низины, (вследствие близости горизонта грунтовых вод, если по проекту не предусматривается их понижение) или бугры (вследствие высокого рельефа требующие механического дорого стоящего подъема воды); очевидно, что не все площади, в данный момент выключенные из орошения, являются абсолютно непригодными для культуры, постепенно в будущем они могут быть приобщены к орошению.

Кроме того, из валовой площади надо вычесть также площади, хотя и пригодные под орошение, но, почему-либо, оставленные по проекту в качестве резервов ($\Omega_{рез.}$).

Следовательно,

$$\Omega_д = \Omega_{вал.} - \Omega_{отчужд.} - \Omega_{выкл.} - \Omega_{рез.}$$

Можно $\Omega_д$ выразить также в виде части $\Omega_{вал.}$

$$\Omega_д = \varepsilon \cdot \Omega_{вал.}$$

при чем ε — будем называть коэффициентом земельного использования.

Если резервы не оставляются и проект орошения составлен тщательно, то-есть в случае, когда при разбивке оросительной и водосборной сети проявляется стремление к возможно большему использованию площади, так что под отчуждения оставляются минимальные полосы, величина ε колеблется от 0,92 до 0,88. В грубо разработанных проектах, в несовершенных оросительных системах, ε доходит до 0,80. Наконец, когда оставляют резервы, величина ε очевидно, может принимать разнообразные значения.

Величина площади, оставляемой под резерв, определяется наличным количеством воды в источнике орошения, близостью грунтовых вод от поверхности почвы и ожидаемым прогрессом в смысле сокращения поливных норм и уменьшения бесполезных потерь воды в системе. Когда воды в источнике орошения недостаточно для возможности орошения всей имеющейся площади, очевидно, уже при составлении проекта, надо установить, какая часть площади будет фактически орошаться; при этом мыслимо двоякое решение:

а) Оросительная система проектируется и осуществляется только для той части площади, которую фактически возможно оросить. Остальная площадь, в виде сплошного массива, остается нетронутой в качестве, так сказать, внешнего резерва.

б) Оросительная система захватывает всю площадь, „разбросившись" по всей территории. Вода может быть подана всюду, но так как количество ее недостаточно для орошения всей площади, то фактически используется в пределах каждого хозяйства или в пределах командования каждого оросителя только некоторая часть, а остальная площадь остается в виде внутреннего резерва.

Иногда в районе имеются участки с сравнительно неглубоким залеганием поверхности грунтовых вод, которые в связи с орошением (вследствие просачивания поливной воды через почву) могут подняться до опасных пределов и затопить зону распространения корней растений; такие участки, даже при изобилии воды в источнике орошения, предпочитают оставлять неорошенными, когда желают избегнуть необходимости устраивать дорогую дренажную сеть.

Если необходимо в силу почвенных условий района или бедности источника орошения, проведение в жизнь постепенного сокращения поливных норм и бережного отношения к воде, то прибегают к оставлению внутренних резервов в пределах отдельных хозяйств (будь то наделы поселенца или участки отдельных аренд и концессий).

Можно привести очень много примеров оставления резервов. Например, в Соединенных Провинциях Индии ограничиваются орошением только известной части пригодной к культуре площади, а именно в пределах 40%—80%. В Бомбейском президентстве (Деккан, Индия) орошаемая площадь составляет *около* $^1/_3$ командуемой и годной к культуре площади. В районе обслуживаемом Ченабским каналом (Пенджаб, Индия) принято, чтобы в местностях с глубиной залегания поверхности грунтовых вод более 40 футов, орошалось только 50% всей площади. Если уровень грунтовых вод выше, процент площади отводимой под орошение уменьшается. Там, где подпочвенная вода находится в 10 или 15 футах под поверхностью земли, орошение совершенно прекращается. В новом большом проекте орошения в Пенджабе, в так называемом проекте тройного канала, площадь орошения (как из каналов, так и из туземных колодцев) составляет 75% всей годной к культуре площади. В новой нижней Баридобской системе (Пенджаб, Индия) орошение в низких местностях ограничивалось 50% всей годной земли, а в высоких—75%.

Не вся валовая площадь, годная под орошение ($\Omega_{вал.}$) может быть отведена под сельско-хозяйственное использование; часть этой площади должна быть отведена под будущие населенные пункты (города, поселки, промышленные и заводские центры и т. п.). Поэтому, проектируя ирригационную систему, необходимо одновременно разработать и систему заселения, установить местоположение для будущих населенных пунктов, наметить площадь под них, разбить сеть дорог, как обыкновенных, так, если нужно, и железных, наметить полосы отчуждения и т. п. Очень трудно, ввиду отсутствия в литературе спе-

циальных статистических данных, заранее предуказать, какую площадь надо отводить под населенные пункты. Очевидно, размер этой площади будет зависеть от характера и степени интенсивности предполагаемого использования сельско-хозяйственной территории. Определяя, для уже существующих районов (находящихся в условиях аналогичных или близких с проектируемым), процент площади отведенной под города и прочие населенные пункты, а также рост этой площади во времени, можно более или менее сознательно подойти к установлению в проекте интересующей нас площади. Например, в условиях интенсивных и старых хлопковых районов Туркестана (Фергана), площадь занятая городами и другими населенными пунктами ($\Omega^{\text{гор.}}_{\text{вал.}}$) исчисляется в 5%—7% от всей валовой орошенной площади. Таким образом:

$$\Omega^{\text{сел.}}_{\text{вал.}} = (0{,}93 - 0{,}95)\ \Omega_{\text{вал.}}$$

$$\Omega^{\text{гор.}}_{\text{вал.}} = (0{,}07 - 0{,}05)\ \Omega_{\text{вал.}}$$

Приводимая таблица (см. табл. 19) дает иллюстрацию сказанного на примере использования земель в Северо-Западной части Голодной степи. Составление аналогичных таблиц должно быть обязательным, как для каждого проекта нового орошения, так и для существующих уже орошенных районов, ибо они дают сразу необходимые сведения для самых разнообразных, как экономических, так и технических соображений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ризенкампф, Г. К.—Проблемы орошения Туркестана 1921 г. Москва.
2. Ризенкампф, Г. К.—Записки по заселению и использованию земельного фонда в проекте орошения 500.000 десятин Голодной Степи.
3. Buckley, R. B.—The Irrigation Works of India 1905. London.
4. Bellasis, E. S.—The Irrigation Works. 1913. London.
5. Parker, P. M.—The Control of Water. 1913. London.

Глава VIII.

Потребление воды ирригационной системой из источника орошения и отдача ее на поля орошения. Гидромодуль.

Общие соображения.

В самой первой стадии составления проекта необходимо установить потребность в воде проектируемой системы в различные периоды года, при различных предположениях развития сельско-хозяйственной жизни вновь орошаемого района и проч., и, наметив вероятные потери воды на системе, определить то количество ея, которое должно забираться головными сооружениями из источника орошения для удовлетворения водопотребности района. Указанная работа сведется к построению графика потребления воды данной ирригационной системой из источника орошения.

Следующей стадией проектирования должно быть сопоставление и согласование указанного графика потребления с естественным режимом источника орошения, с целью выяснения величины площади, которая, при наличных в разное время года водных рессурсах источника, может быть обеспечена из него оросительной водой без ущерба для существующего уже в бассейне орошения и при условии учета будущей потребности в воде остальных земельных запасов в этом бассейне.

Задача установления будущей водопотребности предполагаемого к орошению района является весьма сложной и находится в зависимости от ряда сельско-хозяйственных, климатических, естественно—исторических и технических факторов и проч. Она значительно упрощается в том случае, когда составляется проект расширения или переустройства уже существующей оросительной системы, так как многие вопросы, связанные с установлением графика потребления, уже разрешены самой жизнью и число неизвестных величин, подлежащих определению, сводится к минимуму. На график водопотребления системы в той или иной степени влияют:

1) будущее распределение культур во вновь орошаемом районе;
2) фазы вегетации растений, предполагаемых к культивированию;
3) сроки и нормы поливов;
4) план заселения и организации жизни;
5) характер почв и подпочв (почво-грунтов), естественное состояние их влажности и отношение их к искусственному увлажнению;
6) глубина грунтовых вод, их качество, дебет и проч.;
7) количество выпадающих осадков и распределение их по времени
8) прочие метеорологические факторы, в том числе сила и продолжительность ветров, влажность воздуха;
9) техника водопользования, культурность водопользователей;
10) потери воды в системе и в отдельных ее элементах:
11) коэффициент земельного использования;
12) коэффициент загрузки системы;
13) дополнительная потребность в воде вспомогательных предприятий, как-то: гидроэлектрических станций, водоснабжения городов и других населенных пунктов и пр.;
14) отношение к вопросу о мелиорации окрестностей, прилегающих к орошаемому району;
15) величина наделов;
16) режим источника орошения.
и прочее.

В случае, если источник орошения обилен водою, задача, несомненно, значительно упрощается, так как многие вопросы отпадают и проектирующему предоставляется большая свобода действий. Однако, следует отметить, что в большинстве случаев в засушливых районах площадь земель, требующих орошения и расположенных в одном и том же бассейне, превышает оросительную способность источника орошения или, выражаясь, по обывательски, „воды меньше, чем земли“. При орошении первых незначительных земельных участков, острота водного вопроса может и не выявиться до тех пор, пока не будет составлен общий план водного хозяйства для всего бассейна. Такой план, обычно, вскрывает несоответствие между земельными и водными ресурсами, вследствие чего приходится разрешать ряд дополнительных вопросов, связанных с согласованием кривых потребления с режимом источника орошения, а именно: 1) о необходимости искусственного регулирования стока в источнике орошения, а также о технических и экономических возможностях устройства водохранилищ, 2) о мероприятиях по уменьшению потерь воды как в самой системе, так и на полях орошения, 3) об уменьшении поливных норм для некоторых культур и 4) вообще о том направлении, в каком следует стремиться уменьшить водопотребность данного района и проч.

Каждый из вышеприведенных факторов, так или иначе влияющих на график водопотребления района, представляет сам по себе сложную функцию многих переменных. Например, установление распределения культур в

интересующем нас районе зависит не только от климата, почвы, сельскохозяйственного навыка засельщиков, но и от относительной рентабельности тех или иных культур, от желательной степени использования особенностей района, как с народно-хозяйственной точки зрения всей страны, так и с точки зрения областных и районных потребностей и т. д.; или, например, величина потерь воды зависит от формы и размеров каналов, их обделки, грунтов, которые они прорезают, глубины и условий передвижения грунтовых вод, от возраста каналов, мутности текущей воды, навыка эксплоатационного штата и т. д.

Конечно, отмеченные факторы влияют на график потребления далеко не в одинаковой степени. Так, например, величина наделов почти не отражается на нем, величина же потерь весьма существенно увеличивает то количество воды, которое должно забираться головным шлюзом из источника орошения.

Часть факторов независима друг от друга, большинство же из них находится в явном или неявном взаимодействии (например, техника водопользования и потери; коэффициент загрузки системы и утилизация водной энергии и т. п.).

Некоторые факторы, будучи, как указывалось, сложными комплексами многих независимых переменных, изменяются не только из года в год, но и в течение одного года; таковы, например, осадки, режим источника орошения, распределение культур и прочее.

Жизнь, несомненно, будет ставить перед ирригационной системой разнообразнейшие сочетания факторов, поэтому рациональный ирригационный проект должен учесть возможные в будущем комбинации требований на воду. Система должна быть настолько гибкой, чтобы жизненные и здоровые сочетания требований могли получить полное удовлетворение и чтобы экономический эффект системы оставался при этом возможно высоким. При составлении проекта нельзя ограничиваться предположением об отпуске воды каждому водопользователю определенным постоянным секундным током ее, необходимо всячески идти на встречу потребностям, нарождающимся при развитии сельско-хозяйственной жизни района. Надлежит считаться с многолетними наблюдениями, практикой и специальными опытами, установившими, что каждая сельско-хозяйственная культура требует, в различные периоды своей жизни даже независимо от климатических условий, различную интенсивность полива, что разные культуры имеют и различную продолжительность жизни и фазы их вегетации не совпадают, и что, наконец, нормальная потребность в поливной воде у каждого водопользователя определяется не только указанными особенностями культур, но и соотношением их по площади, то-есть принятым севооборотом. В этих целях для каждого года следовало бы устанавливать специальный водооборот, по возможности, удовлетворяющий индивидуальным требованиям поселенцев, а головной шлюз, забирающий воду из источника орошения и главный канал, транспортирующий эту воду в орошаемый район, должны

иметь такую пропускную способность, которая могла бы удовлетворить всем колебаниям в водопотребности системы, как в пределах одного года, так и из года в год.

Еще очень недавно злобой дня американской ирригационной жизни являлись договоры, обеспечивающие водопользователям равномерный постоянный приток воды на их участки в продолжение всего периода орошения. С одной стороны фермеры, при этом в наиболее острый период потребности в оросительной воде, не могли получать ее более, чем было установлено законом, с другой же стороны государство во время незначительной потребности фермеров в воде, когда в водоотводы и на поля лилась избыточная, а потому и вредная вода, не могло отнять от них этот излишек и направить на полезные цели. Все подобные договоры имеют сравнительно давнее происхождение и составлялись еще в то время, когда не были выяснены основные положения рационального ведения водного хозяйства. В настоящее же время несоответствие подобного способа подачи воды, как нормальным хозяйственным потребностям каждой фермы, так и общим принципам рационального плана водного хозяйства, уже вполне осознано. Такой отпуск воды ведет к совершенно непроизводительным и даже вредным тратам воды, наиболее неблагоприятно отражаясь прежде всего на самом водопользователе, которому не гарантируется достаточная величина тока для поливных операций в течение определенных небольших промежутков времени, так как, получая воду хотя и постоянным, но слишком слабым током, он вынужден затрачивать на операцию полива избыточное количество ценного в хозяйстве труда и, все же, не может удовлетворительно распределить воду по полю и избежать бесполезных потерь оросительной воды.

Все вышеприведенное свидетельствует о необходимости положить в основу плана водного хозяйства, как мы уже указывали, принцип некоторой гибкости и приспособляемости, принцип наилучшего удовлетворения потребностей водопользователей и, в то же время, принцип наиэкономейшего использования водных запасов источника орошения.

Как видно из вышеизложенного, установление кривой потребления воды представляет сложную задачу с переменными исходными величинами расчета. Случай проектирования с такими условиями далеко не обычен в инженерной практике. Подобные задачи надлежит исследовать в их пределах, так как установление максимальных и минимальных границ, в которых явление может изменяться, являясь задачей значительно более легкой, вместе с тем дает уже обрисовку, так сказать, „зоны явления", что зачастую бывает достаточно для практических целей. Точная количественная оценка перечисленных выше явлений представляется сплошь и рядом невозможной, а вместе с тем она и не требуется для составления проекта, и исследование факторов водопользования не только может, но и должно вестись в пределах, так как для проекта необходимо иметь именно пределы

возможных колебаний потребности системы в воде. Подобный способ решения вопроса может быть назван „решением в пределах".

Установление кривой потребления значительно упрощается в случаях, когда приходится составлять проекты переустройства или расширения уже существующих оросительных систем, так как многие факторы, влияющие на кривую потребления будучи неизвестными при проектировании нового орошения, в данном случае являются уже величинами определенными. Изучение их в реальных условиях жизни в интересующих нас районах, изучение процесса развития жизни, изучение самой ирригационной системы — может осветить в достаточной степени все те элементы, из которых складывается график потребления. В силу тех же соображений еще более облегчается задача в случаях, когда приходится составлять график потребления воды, для районов уже имеющих орошение, в эксплоатационных целях, то есть для установления плана водного хозяйства на ближайший операционный год. В дальнейшем при анализе отдельных факторов мы будем каждый раз отмечать, в чем будет заключаться указанное упрощение.

Выше нами были перечислены 16 главных факторов, влияющих на график потребления; влияние некоторых из них, а именно: а) характера почвы и подпочвы, б) количества выпадающих осадков и распределение их по времени, в) остальных метеорологических факторов, г) техники водопользования, д) глубины грунтовых вод, и е) величины наделов, удобнее рассматривать одновременно с нормами и сроками поливов с потерями воды, с планом заселения и организации жизни. Остальные факторы разобьем на нижеследующие семь отдельных групп:

1. Распределение культур, план использования земельной территории и связанный с ним коэффициент земельного использования.

2. Фитофенологический календарь или фазы вегетации растений, предполагаемых к культивированию и сроки их поливов.

3. Нормы и число поливов.

4. Потери воды в системе и в отдельных ее элементах; коэффициент полезного действия системы.

5. Дополнительная потребность в воде:
   а) в целях постепенной мелиорации в будущем окрестностей интересующего нас района;
   б) для удовлетворения вспомогательных предприятий, например, по использованию силы падения воды в целях получения дешевой энергии для вновь приобщаемого к жизни района, по обеспечению водою населенных мест, фабрично-заводских центров и проч.

6. Коэффициент загрузки ирригационной системы.

7. Режим источника орошения и требования, предъявляемые им к графику потребления.

Распределение культур.

Проектное распределение. Первый этап работы должен быть посвящен выявлению культур, пригодных к возделыванию в предположенном к орошению районе и выбору тех из них, которые должны играть основную роль в его сельско-хозяйственной жизни. Затем, следует выяснить проектное распределение культур, то-есть определить, какой процент общей (действительно орошенной) площади ($\Omega_д$) будет занят (во всем предположенном к орошению районе) различными культурами в будущем, когда хозяйственная жизнь установится и весь орошенный район приобретет ту или иную сел.-хоз. физиономию.

Вопрос о распределении культур так широко и тесно связан в настоящем и будущем со всей сложной массой естественно-исторических и культурно-экономических условий предположенного к орошению и прилегающих к нему районов, что, конечно, нет никакой возможности предвидеть точную и подробную картину распределения культур; это тем более справедливо, что вновь орошаемые земли заселяются не сразу, а постепенно. Десятки лет, на ряду с прочно установившимися хозяйствами, будут встречаться молодые, лишь начинающие свою жизнь; неоднородный состав поселенцев с различным культурным уровнем, привычками и т. д. еще более увеличивает пестроту хозяйственной жизни. Однако, с течением времени жизнь будет приобретать все более и более устойчивые формы и отдельные отклонения будут постепенно сглаживаться, благодаря чему распределение культур в суммарной картине, охватывающей весь район, получит в будущем некоторую устойчивость. Эту картину установившейся жизни будущего мы и будем считать за проектное распределение культур, так как проектируемая оросительная система именно и имеет своим основным заданием удовлетворение водной потребности сельско-хозяйственной жизни района, принявшей уже окончательные формы.

Разумеется, принятие в проекте некоторого распределения культур не означает, что именно такое распределение должно быть в каждом хозяйстве или хотя бы в группе их. Несомненно, в жизни будет наблюдаться значительная пестрота в севооборотах отдельных хозяйств с уклонениями в ту или другую сторону в отношении различных культур; однако, для всего района в целом отдельные отклонения как бы уравновешиваются и количественное взаимоотношение разводимых растений характеризуется некоторыми средними числами. Не следует забывать, что система должна иметь возможность удовлетворять потребность отдельных хозяйств орошаемого района не только при каком-нибудь одном определенном севообороте, но и при всех возможных распределениях культур в пределах, какие мыслимы в организованном хозяйстве при данных местных сочe-

таниях главнейших образующих причин хозяйственной жизни: почвы, климата, бытового и экономического уклада и пр.

Вопрос о проектном распределении культур является весьма сложным и инженер, проектирующий ирригационную систему, не может и не должен брать на себя единоличное его разрешение. Столь ответственная задача должна решаться коллективом специалистов в различных областях и при том при участии представителей заинтересованных ведомств.

Роль инженера должна заключаться в постановке вопроса, подготовке вариантных предположений о распределении культур, в инициативе привлечения к этой работе компетентных специалистов: агрономов, знающих хорошо местные условия, заведывающих местными опытными сельскохозяйственными и мелиоративными станциями, экономистов работающих над проблемами, близкими к орошению и в направлении использования интересующего нас района, а также государственных и политических деятелей. Только в результате всестороннего обсуждения вопроса в таких совещаниях, составитель проекта может получить необходимые для него директивы, после чего задача его сведется к конкретному учету их в проектной форме.

Как мы уже указывали, прогноз будущей сельско-хозяйственной жизни района весьма сложен, поэтому, в большинстве случаев, он не может быть дан в совершенно категорической форме. Взгляды специалистов на будущее распределение культур часто весьма сильно расходятся, поэтому необходимо придать проектируемой системе гибкость, обеспечивающую исправность ее работы при различных крайних предположениях. Следовательно, помимо установления наиболее вероятного, так сказать, нормального распределения культур, необходимо предвидеть еще пределы возможных изменений их. Таким образом, ирригационная система должна удовлетворять водой орошаемый район при:

1) нормальном распределении культур.
2) предельно интенсивном распределении культур.
3) предельно экстенсивном „ „

В отношении установления распределения культур местный статистический и опытный материал, хотя и представляется совершенно необходимым, но решающее значение он приобретает только в том случае, когда проектируемая ирригационная система, располагаясь в орошаемом уже районе, не вносит по своему масштабу или каким либо другим причинам резкого изменения в хозяйственную жизнь района, то есть когда система подлежит как бы поглощению существующей, уже установившейся местной жизнью. В противном случае, благодаря значительным изменениям, которые должна будет внести проектируемая система в существующую хозяйственную жизнь данного района, необходимо для установления проектного распределения культур составить прогноз будущей хозяйственной жизни; базироваться на одних местных данных не представляется целесообразным.

Сельско-хозяйственный район, обслуживаемый одной ирригационной системой, можно рассматривать, как крупное самостоятельное хозяйственное объединение и по отношению к нему следует предъявлять нижеследующие требования:

а) хозяйство должно быть рациональным в техническом отношении;
б) оно должно быть рациональным в экономическом отношении;
в) оно должно быть устойчивым и в случае, если площадь орошаемого района значительна, оно должно иметь самодовлеющий характер.

Первое положение выражает, что в хозяйстве, то есть в орошаемом районе, должны культивироваться те растения, которые возможны по местным условиям и наиболее к ним подходят. Второе—означает, что из возможных сортов растений должны культивироваться те, совокупность которых даст району наибольшую прибыль. Наконец, третье положение указывает на необходимость создания на орошаемого района устойчивого и самодовлеющего сельско-хозяйственного центра, который, помимо наиболее рентабельных культур, производил бы так же и все необходимые, как для людей, так и для животных, кормовые продукты. В этой независимости насущных своих потребностей безусловно заключается залог устойчивости большого земледельческого района, и осторожность требует базирования плана хозяйства на этом принципе. Не следует стремиться к одностороннему использованию большого района, ставить его в экономическую зависимость от других областей и допускать хищническое отношение к богатствам почвы; хотя высокая рентабельность некоторых культур и дает им доминирующее положение в хозяйстве, но никоим образом не должна вести к их монокультуре. Хозяйство должно быть прочно самодовлеющим, правильно организованным, рассчитанным на длительную постоянную жизнь, т. е. оно должно основываться на правильном полеводстве, рассчитанном на поддержании плодородия почвы путем рационального плодосмена, при наличии собственных кормовых средств и при небольшом числе наемных рабочих рук, так как рабочий вопрос в орошаемых районах стоит большею частью очень остро. В силу высказанных соображений при составлении проектного распределения культур необходимо отвести значительную долю земли под удобрительные и кормовые культуры, а также предвидеть использование известной части площади под зерновые хлеба и пропашные для обеспечения поселенца, как хлебом, так и прочими сельско-хозяйственными продуктами.

Иногда, впрочем, к вопросу об использовании территории орошаемого района можно подходить и с точки зрения получения наивысшего экономического эффекта, но лишь в порядке временной меры, когда, в силу каких-либо исключительных обстоятельств, требуется форсировать район в сторону монокультуры некоторых растений, в которых появляется особо острая нужда. Например, во время войны усиленная потребность в хлопке и лекарственных растениях может заставить, ввиду повышения цен и преиму-

тельных государственных мероприятий, расширить площадь под указанными культурами до высших возможных пределов за счет сокращения других малорентабельных культур, которые возможно подвозить в орошаемый район из других областей. Это будет случаем интенсивного использования района.

Наконец, надо считаться с вполне возможным случаем, когда жизнь в орошаемом районе не принимает организованных форм и развивается более или менее случайно, например, когда поселенцы мало приспособлены и подготовлены к ведению интенсивных форм земледелия в условиях орошаемого хозяйства, когда плохо организована кредитная и семенная помощь, отсутствуют удобные пути сообщения и т. п. Очевидно, в таких условиях использование орошаемых территорий должно принять экстенсивные формы.

В качестве примера ниже, на чертеже 70, приводится проектное распределение культур, принятое в ряде русских проектов орошения. Цифры, поставленные внутри столбцов, показывают процент площади, отводимой под соответствующую культуру от общей площади.

Черт. 70. Проектное распределение культур, принятое в различных русских проектах.

Установление ежегодного распределения культур в действующей системе. До настоящего времени, мы разбирали вопрос о проектном распределении культур в условиях вновь орошаемого района для составления проектной, так сказать гипотетической кривой потребления, необходимой нам для расчета главных сооружений и для выявления вопроса о количестве воды, расходуемой системой и о том, как будет изменяться во времени потребление ею воды, в какие части орошаемого района вода будет подаваться и для какой надобности. Однако, как мы уже указывали, кривую потребления необходимо составлять и для районов уже имеющих орошение, в целях выработки в начале каждого оросительного сезона плана водооборота.

В этом случае, для выяснения распределения культур в предстоящем сезоне необходимо, чтобы в конце каждого истекшего года эксплоатационный штат (в лице заведывающих распределением воды и водных надсмотрщиков) собирал бы от водных товариществ, в которых объединяются водопользователи, получающие воду из одного и того же оросителя, письменные заявления (по определенной форме, установленной инструкцией), о предполагаемых в будущем году распределениях отдельных культур на площади, находящейся в их пользовании. Если водные товарищества еще не организованы, необходимо собирать требующиеся сведения от отдельных водопользователей.

Следует, однако, помнить, что внедрение административной опеки со стороны управления системой до каждого отдельного водопользователя нежелательно, так как это неудобно и для поселенцев и для самого управления. Более целесообразно предоставить населению некоторую свободу, объединить их (по признаку общности водных интересов) в особые товарищества водопользователей и на них уже возложить тяжесть непосредственного распределения между собой воды из обслуживающего их оросителя, который и должен быть передан в их эксплоатацию. Таким путем, будет достигнута большая гибкость в управлении системой; администрация будет иметь дело с значительно меньшим числом лиц, водопользователи же получат возможность менять, в случае нужды, по соглашению с остальными членами своего водного товарищества, как предположенный ими севооборот, так и очереди отдельных поливов тех или иных культур. Кроме того, выбирая постоянного представителя водного товарищества, они избавляются от потери времени на езду и хождение каждого из них в управление эксплоатационного штата (управление системой). Наконец, объединяясь в общественные ячейки, они скорее привыкают к общественной работе и будут чувствовать себя значительно сильнее и увереннее. Однако, практика жизни показала, что в некоторых случаях, в силу ряда бытовых условий (отсутствия взаимной экономической связи, различия племен или религий, недостатка в навыке к общественной работе и проч.), объединения водопользователей не отличались достаточной крепостью и внутренней спайкой, между тем работа по урегулированию водопользования оказывается успешной лишь в случаях прочной организации водных товариществ. Столкновение интересов верховых и низовых водопользователей, затруднения эксплоатационного и ремонтного характера и проч. послужили в некоторых случаях причиной обратной передачи распределительных и оросительных каналов от водных товариществ в службу мелиорации, как это было, например, на Минидокской и других системах. Некоторые из неудобств, возникающих при передаче оросителей и распределителей в ведение самих водопользователей, нашли свое отражение в приводимом ниже постановлений Калифорнийской железнодорожной комиссии. „Опыт показал, что интересы потребителя и управления оросительной системой требуют, чтобы управление и содержание распределителей и оросителей, вплоть до места подачи воды индивидуальным потребителям, находились бы в ведении самой компании, так как наличие в этом случае одинаковых для всех водо-

пользователей правил о работе распределителей и оросителей создает лучшее и более справедливое распределение воды и способствует поддержанию системы в более хорошем состоянии. Наоборот, эксплоатация каналов и распределение воды из них самими потребителями приводит иногда к нежелательным последствиям. Так, например, в случае, когда потребители нуждаются в воде в разное время, очистку каналов вплоть до своих участков вынуждены бывают производить те водопользователи, которые испытывают в данный момент наиболее острую нужду, после чего другие водопользователи, живущие на том же распределителе или оросителе, могут с небольшими лишь издержками с их стороны воспользоваться произведенными трудами своих соседей.

Возникают также споры и вокруг распределения воды и, хотя эти затруднения, казалось, могли бы быть преодолены именно объединением водопользователей в товарищество, однако, в жизни создание последнего оказывается иногда трудно осуществимым*.

Однако надо иметь ввиду, что при наличии достаточных организаторских способностей у лиц, стоящих во главе товариществ, умеющих побороть противоречивые стремления водопользователей и создать единую тесную группу, связанную общностью интересов и взаимным пониманием,—водные товарищества чрезвычайно облегчают эксплоатацию системы и ее улучшение.

Полученные со всей системы сведения поступают в управление системой, в котором и подвергаются обработке, в результате чего выявляется желательный для населения план распределения культур на предстоящий сезон. Если заявленные требования, почему-либо, не могут или не должны быть полностью удовлетворены, управление заранее извещает об этом заинтересованные водные товарищества, а также сообщает им, в каких пределах их требования будут удовлетворены системой.

Вместе с этим, очевидно, выясняется и та площадь ($\Omega_{исп.}$), которую фактически предположено использовать в наступающем году под сельскохозяйственную культуру (из всей, могущей быть орошенной площади, т. е. из $\Omega_{д.}$). Отношение $\frac{\Omega_{исп.}}{\Omega_{д.}} = \mu$ характеризует степень загрузки системы и мы будет называть его коэффициентом загрузки системы. Однако о нем речь впереди.

Фазы вегетации растений и сроки поливов.

Ирригационная система должна подавать растениям воду в те моменты, когда последние наиболее в ней нуждаются, так что, при построении кривой потребления воды, очевидно, необходимо употребить все усилия для установления желательного для растений водного режима. В этих целях требуется прежде всего изучить потребность растений во влаге в различные периоды их развития, что приводит в свою очередь к необходимости изучения фенологии сельско-хозяйственных культур.

Работами опытных учреждений выяснено, что для достижения наилучшего эффекта урожайности, кроме применения наиболее благоприятных

норм поливов, надлежащего способа и числа их, необходимо еще знать, как требуется распределить поливы во времени в связи с теми или другими фазами развития растений. Повышение урожайности при своевременных поливах есть факт твердо установленный, и, как отчетами гидромодульных станций, так и всеми опытными учреждениями в орошаемых районах, отмечается возможность увеличения урожаев на 10—30% исключительно в зависимости от того или иного распределения поливов во времени. В работе сотрудника Гидромодульной Части, Кондрашева, С. К.: „Вода в орошаемом хозяйстве" (1922 г.), отмечается при этом, что подвергавшиеся между собою сравнению схемы поливов или издавна были приняты в местном хозяйстве или же считались наиболее полезными по тем или другим общим соображениям, и что среди них совершенно отсутствовали такие, которые могли бы быть забракованы до опыта по очевидной непригодности их для местных условий. Поэтому указанное увеличение урожая на 10%—30% не является результатом сравнения явно плохой схемы с явно хорошей, но получается как результат выискивания наиболее лучшей схемы из ряда более или менее равноценных хороших. И, если при такой постановке исследований все же находятся схемы поливов, дающие при тех-же затратах оросительной воды повышение урожая на 10%—30%, то можно без всякого преувеличения сказать, что в схеме поливов мы имеем важный фактор повышения урожайности на орошаемых землях.

Вот несколько данных из исследований Гидромодульной Части по изучению оптимального модуля орошения, относящихся к 1914 году (заимствовано из той же работы С. К. Кондрашева). Например, в Голодной Степи, яровая пшеница при одном поливе в 84 куб. саж. воды, произведенном 14 апреля дала 24 пуда с десятины, а при поливе 28-го апреля (начало колошения)—28 пудов. В том же районе хлопчатник при одном и том же количестве воды, поданной на орошение в течение всего сезона, дал наибольший урожай при такой схеме поливов: 0 поливов до посева, 1 полив от посева до цветения, 3 полива во время цветения и 0 поливов во время созревания. Все другие схемы дали меньшие урожаи на 10%—20%. Еще значительнее было влияние соответствующей схемы поливов при опытах на Мургабской гидромодульной станции. Схема 1—4—1[1]) дала повышение урожая на 27 пудов сырца с десятины при одном и том же количестве оросительной воды за сезон (в 360 кб. саж. на 1 десят.). То же самое замечено и при опытах в Самарской губ. По данным гидромодульного отдела Костычевской опытной станции, один полив, во время кущения пшеницы (в 160 кб. саж.), дал 69 пудов урожая с десятины, тогда как такой же полив (в 160 кб. саж.) в период колошения был менее благоприятен, так как при нем получилось только 47 пудов с десятины. Итак, несомненно, что схемы поливов растений должны быть тесно связаны с отдельными фазами их жизни.

[1]) Т. е. один полив от посева до цветения, четыре полива во время цветения и один полив во время созревания.

Сельско-хозяйственной фитофенологией различаются следующие основные фазы вегетации полевых культур:

1. Время посева или посадки растения и продолжительность от этого момента до всходов. Время посева фиксируется самим временем производства этой операции, а всходов — или появлением первых зеленых растеньиц на поверхности почвы, или временем, когда около $^1/_3$ посева взошло.
2. Время всходов и продолжительность от всходов до начала цветения, колошения или выбрасывания метелок. Граница этой фазы отмечается так же, как и для фазы всходов.
3. Время от начала цветения до начала созревания. Созревание для различных растений отмечается крайне различно: для хлопчатника, например, раскрытием первых коробочек, так что до полного созревания еще остается значительный промежуток времени; для злаков — моментом наступления восковой спелости, за которой может быстро следовать и уборка; для корнеплодов и растений, двухлетних по своей природе, подобный момент может определяться только прекращением прироста массы, уборкой и т. п.
4. Наконец, под понятием „вегетационного периода" подразумевается весь промежуток времени между посевом и началом созревания или уборки.

Для люцерны, культивируемой на сено, принимается особое разделение вегетационного периода по съемам: от пробуждения весною до 1-госъема, от 1-го до 2-го и т. д., считая, что съем должен производиться в начале цветения или при зацветании.

Иногда принимается и более подробное подразделение, но для наших целей вышеизложенное разделение вполне удовлетворительно.

Как известно, для жизни и развития растения необходим некоторый минимум основных факторов его роста, а именно, питательных веществ, влаги, тепла и света, без которых его существование, вообще говоря, и на короткое время было бы невозможным. Помимо минимума требований, каждое растение имеет и свой оптимум, при наличии которого оно может достигнуть наибольшего развития и дать максимум полезной продукции. Ряд естественно-исторических и сельско-хозяйственных наук, занимаясь изучением жизни растений, всячески стремится подойти к точному определению оптимума требований каждого растения, но гибкость индивидуальных свойств растений даже в пределах одного вида, разнообразие в сочетании природных условий, влияющих на жизнь растений, чрезвычайно усложняют задачу определения оптимума и дают возможность установить только известные пределы оптимальных требований культур, и то лишь в очень тесном кругу местных условий.

Выяснение сроков интересующих нас фаз вегетации растений путем теоретических исследований не представляется возможным, поэтому составление фенологического календаря для растений какого-либо района без

хороших местных данных, основанных на длительных и планомерных наблюдениях, является делом гадательным, а иногда даже и совершенно безнадежным. Учитывая далее, что во многих районах указанный материал зачастую недостаточен или отсутствует вовсе, необходимо заключить, что неотложной задачей каждого, приступающего к исследованию какого-нибудь района в целях его последующего орошения, является незамедлительная постановка фитофенологических наблюдений и соответствующих опытов, как на существующих хозяйствах, так и на специально организуемых сельско-хозяйственных станциях. В течение нескольких лет, пока будут производиться изыскания и составляться проект, указанные наблюдения и опыты дадут уже основные руководящие указания. Те же замечания могут быть отнесены и к существующим уже районам орошения, если в них указанные наблюдения и опыты ранее не производились, ибо знание сроков основных фаз вегетации растений и потребного, органически связанного с жизнью растений, поливного режима (сроков поливов) для эксплоатационного штата, не менее важно, чем для составителя нового проекта.

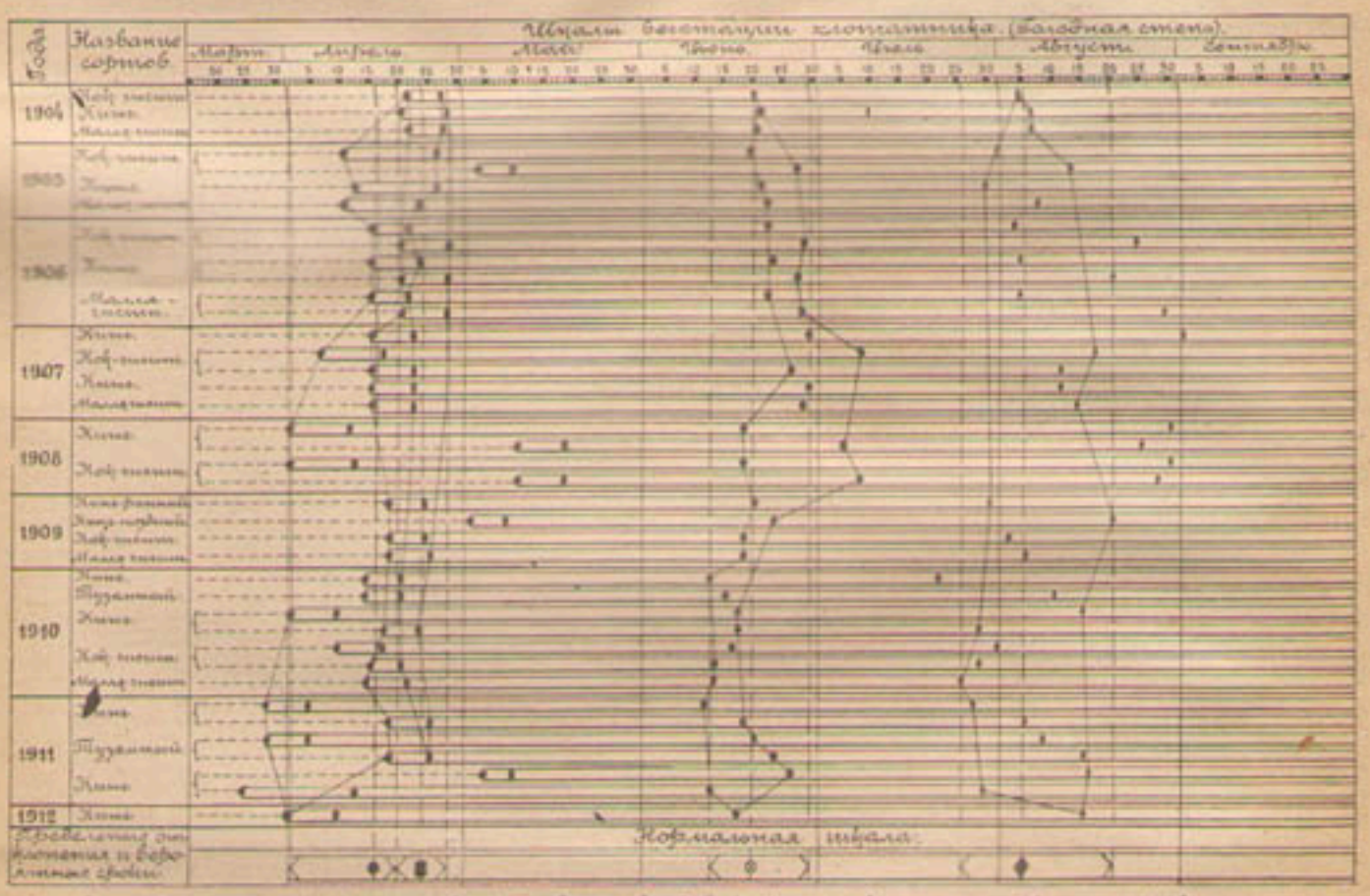
Установление начальной фазы жизни растений практически является одной из самых важных задач, так как все обстоятельства, отклоняющие в ту или другую сторону последующие фазы развития растений, находятся в прямой связи со временем начала их жизни. Чтобы представить себе картину условий, какими практически определяется начало жизни культивируемых в данном районе растений, лучше всего стать по отношению к этому вопросу на точку зрения сознательного земледельца, который годами опыта, удач и неудач, рядом хозяйственных соображений, вырабатывает некоторые постоянные принципы и нащупывает периоды времени, характер состояния погоды и почвы, являющиеся наиболее подходящими для посева определенной культуры. Этот срок можно назвать „хозяйственно-оптимальным", так как он по многим причинам может не совпадать с физиологически-оптимальным началом посева данной культуры. Первой из подобных причин являются индивидуальные и часто неправильные соображения относительно дальнейшего состояния и возможных скачков в изменении погоды. Так, например, опасение утренних заморозков, могущих погубить молодые всходы, сплошь и рядом заставляет оттягивать посев некоторых культур, когда по всем другим условиям данное время является наиболее благоприятным. Посев на весь район растягивается на сравнительно большой период времени, ибо находятся как рискующие так и более осторожные сельские хозяева. Второй причиной может явиться то предпочтение, которое оказывается некоторым культурам: культура, дающая главный доход и часто являющаяся наиболее требовательной, ставится в лучшие условия, в то время, как прочие культуры должны выжидать очереди, пока хозяин будет в состоянии направить на них свои рабочие силы, хотя для этих культур может быть уже и наступили физиологически-оптимальные условия посева. Разным

образом может случиться, по тем же соображениям, что некоторые растения будут высеваться несколько раньше оптимального срока, до посева основной культуры.

Иногда, однако, культуры второстепенного значения могут отодвинуть время посева главного растения, если их вегетационный период настолько длинен, что, будучи посеянными позже, они вовсе не дадут урожая, или урожай запоздает и в момент образования плода будет слишком высокая температура воздуха, которую растения не могут вынести и т. п.

Начало посева скороспелых культур, идущих вторым растением, всецело обусловливается временем созревания и уборки их предшественников.

Кроме указанных причин и всяких непредвиденных случайностей, сознательный хозяин принимает, по мере возможности, во внимание и равномерность использования рабочих сил хозяйства и стремится, чтобы в течение вегетационного и ирригационного периодов не возникала бы одновременно острая потребность в обработке и поливке сразу нескольких культур. Такова картина условий, обусловливающих начало жизни культивируемых растений.



Черт. 71. Графическое определение шкал вегетации хлопчатника (условия Голодной Степи).

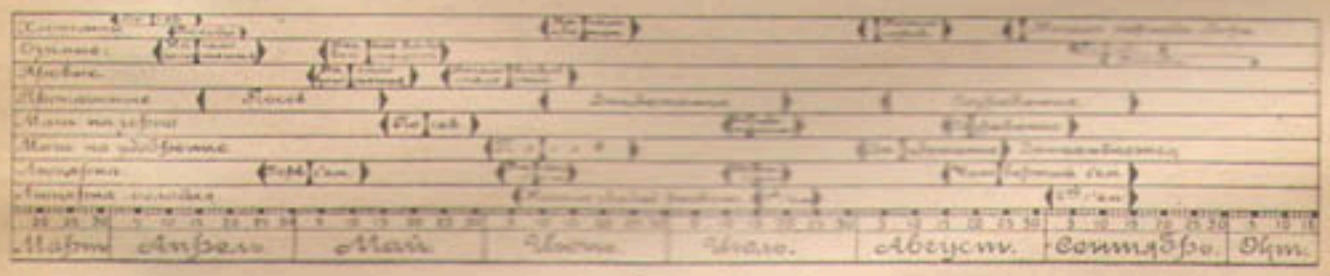
Дальнейшие фазы вегетации растений также зависят от целого ряда причин. Это очевидно, так что и не стоит останавливаться дальше на выяснении таковой зависимости.

Когда материал наблюдений по фитофенологии будет получен и из него будут выбраны случаи с наиболее удовлетворительным урожаем,

тогда выясняют интересующие нас данные о сроках вегетации и наносят их, отдельно для каждой культуры, на специальные графики, отнесенные к одному и тому же масштабу времени. Для иллюстрации вышеизложенного, в качестве примера прилагается графическое определение шкал вегетации хлопчатника в условиях Голодной Степи (см. черт. 71).

Сюда же, пользуясь той же абсциссой времени, следует нанести также данные, характеризующие главнейшие метеорологические факторы (температуру, осадки и проч.) для освещения причин расхождения различных фаз вегетации одних и тех же культур в разные годы, после чего, путем тщательной проверки надежности каждого нанесенного на график наблюдения и по исключении всех ненадежных точек, легко установить пределы возможного (так сказать, нормального) растяжения отдельных фаз. Кроме того, пользуясь методом математической статистики, можно установить наиболее часто встречавшиеся сроки наступления отдельных фаз вегетации, в результате чего получится шкала, характеризующая жизнь интересующего нас растения, которую можно назвать „шкалой вегетации" данной культуры. Проделав аналогичную работу для всех культур, мы получим серию „шкал вегетации", дающую картину жизни всего комплекса растений, предполагаемых к культивированию в данном районе. Сопоставление этих шкал показывает, что для наступления той или иной фазы данного растения не имеется строго определенного срока и что точки, отмечающие моменты фактического наступления отдельных фаз для различных культур в разные годы, ложатся на некотором протяжении, охватывающем сравнительно значительный период времени.

Для иллюстрации всего сказанного, ниже приводится сводный график шкал вегетации основных сельско-хозяйственных культур для Голодной Степи (см. черт. 72) и таблица предельно-нормальных сроков вегетации основных сельско-хозяйственных культур для ряда орошаемых районов Туркестана (см. таблицу 20).



Черт. 72. Шкалы вегетации основных сельско-хозяйственных культур в Голодной Степи).

Задача орошения заключается в восполнении разницы между потребным для растений содержанием влаги в почве и наличным содержанием в ней этой влаги. Ввиду того, что поливы, для возможности доступа воздуха в почву, должны производиться не непрерывно, а через некоторые промежутки времени, приходится за один полив давать не только разницу между потребным и наличным содержанием влаги в почве в момент

ТАБЛИЦА 20.

Предельно-нормальные сроки вегетации основных сельско-хозяйственных культур в различных районах Туркестана.

Название рода культур.	С какого по какое время наступает или происходит:				
	Посев.	Всходы	Цветение, колошение или выметывание.	Созревание, восковая спелость или раскрытие коробочек.	Уборка.
Голодная степь [1].					
Озимые (пшеница, ячмень)	5/IX—20/IX	10/IX— 5/X	8/IV—25/IV	5/V—25/V	10/V—30/V
Яровые (пшеница, ячмень, овес)	8/II—20/II	1/III—10/III	3/V—20/V	25/V—15/VI	1/VI—20/VI
Хлопчатник	1/IV—15/IV	10/IV—22/IV	10/VI—25/VI	1/VIII—15/VIII	25/VIII—30/X
Пропашные (кукуруза, джугара, сорго, арбузы, дыни, подсолнечник)	15/IV—15/V	—	10/VI—20/VII	5/VIII—15/IX	—
Свекловица	23/III—10/IV	—	—	—	—
Маш на свободном поле и по озимым	15/V—30/V	—	10/VII—22/VII	15/VIII—5/IX	—
Маш на свободном поле и по яровым	1/VI—25/VI	—	1/VIII—25/VIII	Запахивается	—
Люцерна 2-х-летняя	25/IV—12/V	3/VI—15/VI	10/VII—20/VII	15/VIII—15/IX	—
„ первогодняя	15/VII—25/VII	1/IX—15/IX	—	—	—
Ферганa [2].					
Хлопчатник	5/IV—20/IV	14/IV—29/IV	10/VI—25/VI	21/VII—10/VIII	20/VIII
Озимые (ячмень и пшеница)	25/IX—8/X	5/X—20/X	20/IV—5/V	29/V—5/VI	31/V—8/VI
Яровые (ячмень, пшеница и овес)	15/II—1/III	22/II—10/III	4/V—20/V	25/V—15/VI	28/V—18/VI
Люцерна	1-й съем	2-й съем	3-й съем	4-й съем	—
при 3-х съемах	18/V—6/VI	2/VII—18/VII	15/VIII—31/VIII	—	—
при 4-х съемах	8/V—20/V	25/VI—5/VII	27/VII—13/VIII	1/IX—30/IX	—
Маш на зерно	25/IV—15/V	30/IV—20/V	15/VI—5/VII	21/VII—10/VIII	—
Маш на удобрение	1/VI—20/VI	6/VI—25/VI	26/VII—14/VIII	Запахивается	—
Пропашное поле (кукуруза)	20/IV—10/V	25/IV—20/V	5/VI—30/VI	—	20/VII—25/IX
Зеравшанская долина [3].					
1-й район.					
Хлопчатник	21/IV—15/V	—	26/VI—15/VII	—	11/VIII—10/IX
Озимые	1/IX—20/X	—	21/IV—5/V	11/VI—25/VI	—
Люцерна	1-й съем	2-й съем	3-й съем	4-й съем	—
	26/IV—15/V	11/VI—30/VI	21/VII—5/VIII	1/IX—20/IX	—

[1]) По данным проекта орошения 500.000 дес. Голодной Степи.
[2]) Изыскания по орошению в Ферганe. Записка агронома Г. Джолова.
[3]) Изыскания по орошению в долине р. Зеравшана.

Название рода культур.	С какого по какое время наступает или происходит:				
	Посев.	Всходы.	Цветение, колошение или выметывание.	Созревание, восковая спелость или раскрытие коробочек.	Уборка.
2-й район.					
Хлопчатник	11/IV—5/V	—	16/VI—5/VII	—	6/VIII—29/VIII
Озимые	1/IX—20/X	—	11/IV—25/IV	26/V—10/VI	—
Люцерна.	1-й съем	2-й съем	3-й съем	4-й съем	5 съем
	16/IV—5/V	1/VI—20/VI	11/VII—31/VII	24/VIII—10/IX	—
3-й район.					
Хлопчатник	6/IV—30/IV	—	11/VI—30/VI	—	26/VII
Озимые	1/IX—20/X	—	6/IV—25/IV	16/V—30/V	—
Люцерна	1-й съем	2-й съем	3-й съем	4-й съем	5 съем
	6/IV—25/IV	16/V—4/VI	26/VI—14/VII	6/VIII—25/VIII	15/IX—5/X
Чимбайская степь.					
Хлопчатник	11/IV—5/V	—	16/VI—5/VII	—	6/VIII—31/VIII
Озимые	1/IX—20/X	—	11/IV—25/IV	26/V—10/VI	—
Люцерна	1-й съем	2-й съем	3-й съем	4-й съем	—
	16/IV—5/V	1/VI—20/VI	11/VII—31/VII	21/VIII—10/IX	—
Бикесарийский район [1]).					
Озимая пшеница. . . .	13/VIII—16/IX	—	10/V—22/V	7/VI—24/VI	—
Яровые (овес и ячмень) .	15/III—28/III	—	30/V—4/VI	—	—
Просо	4/VI—13/VI	—	18/VII—25/VII	22/VIII—29/VIII	—
Пропашные (дыни, кукуруза)	21/IV—10/V	—	31/V—22/VI	30/VI—7/VIII	—
Подсолнух.	16/III—31/III	—	3/VI—16/VI	11/VIII—29/VIII	—
Маш на зерно	11/IV—25/IV	—	30/VI—29/VI	—	—
Люцерна	1-й съем	2-й съем	3-й съем	4-й съем	—
	15/V—25/V	18/VI—28/VI	28/VII	3/IX—11/IX	—
Отрарский район [1]).					
Хлопчатник	9/IV—4/V	—	22/VI	6/VIII	—
Озимая пшеница. . .	18/VIII—21/IX	—	26/IV—5/V	6/VI—15/VI	—
Яровые (овес, ячмень) .	11/III—25/III	—	9/V—24/V	9/VI—23/VI	—
Пропашные: кукуруза . .	10/IV—27/IV	—	20/V—29/V	4/VII—15/VII	—
„ дыни, тыквы	1/V—14/V	—	—	—	—
Люцерна	1-й съем	2-й съем	3-й съем	4-й съем	—
	12/V—22/V	16/VI—26/VI	21/VII—31/VII	28/VIII—6/IX	—

[1]) По данным Нижне-Сыр-Дарьинской изыскательской партии, обработанным и сообщенным агрономом Канчером, Е. С.

полива, но еще и то количество воды, которое будет потеряно почвой (на испарение и просачивание ниже корневой зоны растений) в течение промежутка времени от одного полива до другого или стечет с орошаемого поля в водосборные канавы. Таким образом, задача установления поливного режима для определенной культуры заключается в определении (для данных почвенных и климатических условий) сроков, числа и норм поливов, при чем все эти элементы находятся между собою во взаимной связи. Шкалы же вегетации, характеризуя жизнь растения, дают лишь главные ориентировочные вехи для установления сроков поливов.

Ниже, в целях иллюстрации, приведены основные положения, установленные при изучении оптимального поливного режима некоторых культур на туркестанских опытных сельско-хозяйственных станциях:

1. Хлопчатник. Посев хлопчатника возможен без весенней предпосевной поливки, при условии одной поливки осенью; первый полив должен быть дан после всходов, до цветения, когда взошедшие растеньица успеют достаточно окрепнуть и развиться до степени кустика; все остальные поливки хлопчатника должны распределяться между его цветением и началом созревания; после окончания всех текущих поливов, перед очисткой хлопкового поля и осенней вспашкой его, должен быть дан небольшой полив, являющийся уже как бы запасным для будущего года. Этот полив зимою может быть повторен для того, чтобы к весне почва сохранила как можно больше влаги.

2. Озимые хлеба. В виду того, что почва, вышедшая из под какой-либо летней культуры, является в достаточной степени высушенной и что ранней осенью в наших засушливых районах выпадает мало осадков, озимые требуют хорошего предпосевного полива за 4—5 дней до посева, к каковому времени поле успевает провянуть и может быть вспахано и немедленно засеяно. Следующий полив должен быть дан в период кущения до колошения хлебов. Кроме того, так как ко времени созревания почва успевает значительно высохнуть и так как в тот момент, когда происходит окончательный налив зерна, в ней оказывается недостаточное количество влаги, желателен еще полив ко времени созревания, тем более, что остающаяся в почве влага может быть полезной и для растения, высеваемого вторым в году после озимых.

3. Яровые хлеба. Предпосевного полива яровые не требуют, так как в почве с зимы сохраняется достаточно влаги, чтобы дать возможность растениям развиваться нормально до кущения. Первый полив требуется в период кущения до начала колошения. Второй полив—ко времени созревания яровых, ибо под влиянием высокой температуры почва ко времени созревания сильно высыхает и интенсивность питательных процессов ослабляется.

4. Люцерна. Эта культура требует на каждый съем два полива: один—недели за три до цветения, другой—немедленно после укоса. Полив до укоса дается, чтобы подогнать (по выражению практиков) или усилить

рост люцерны и тем увеличить урожай данного съема, что достигается надлежащим увлажнением почвы; люцерна скашивается во время наиболее интенсивного развития—цветения, в стадии которого она обладает максимумом зеленой органической массы, содержащей максимум азотистых питательных веществ. Когда же люцерна скошена и все поле сразу обнажено, следует дать второй полив, чтобы избежать затвердения и растрескивания почвы и повреждения корней и, наоборот, создать благоприятные условия для развития новых ростков растения.

Вышеприведенные примеры достаточно ясно показывают, насколько сроки поливов определяются главными моментами жизни растений, фиксируемыми в шкалах вегетации. Итак, зная шкалы вегетации культур, легко наметить общую ориентировочную схему поливов, которая должна лечь в основу проектного поливного режима культур.

Нормы поливов.

Общие положения. Поливной нормой называется то количество воды, которое должно быть единовременно подано на единицу орошаемой площади (на 1 десятину), чтобы создать и поддержать в течение известного промежутка времени требуемую степень увлажнения почвы.

Как известно, потребность растений в воде в течение вегетационного периода не остается постоянной, а изменяется в зависимости от климатических условий, от рода растений, характера и продолжительности их развития, от свойств почвы и способности ее удерживать и отдавать растению те или иные запасы воды. Естественное содержание влаги в почве также изменяется во времени по некоторой кривой, вид которой зависит от степени интенсивности и характера распределения атмосферных осадков, от величины испарения в данной местности, свойств почвы и подпочвы и проч. Разница ординат обеих этих кривых и определяет собой в каждый данный момент недостаток влаги в почве, который должен быть восполнен путем орошения. Это восполнение происходит не непрерывно, а скачками, через известный промежуток времени, отдельными поливами, при чем, как мы уже указывали, нормы поливов должны предусматривать подачу некоторого избытка воды для погашения потерь влаги из почвы в течение междуполивного периода.

Суточный расход влаги из почвы сильно зависит:

1) от абсолютного содержания влаги в почве: чем оно больше, тем при прочих равных условиях, больше интенсивность расхода влаги почвой; поэтому в начале, тотчас же после полива, а равно и при больших поливных нормах, суточный расход влаги из почвы больше, чем в конце межполивного периода или при небольших нормах;

2) от температуры воздуха и степени развития листвы растений чем выше температура и чем сильнее развиты покрывающие почву растения, тем суточный расход влаги при прочих равных условиях больше.

Высказанные положения хорошо иллюстрируются нижеприводимой таблицей, взятой из отчета И. С. Мастерова по произведенным опытам с хлопчатником в 1913 году в Голодной Степи (Материалы работ Гидромодульной Части. Вып. 2 и 9).

ТАБЛИЦА 21.

Поливная норма, в куб. саж., на десятину.	Средний суточный расход воды из почвы поля хлопчатника, в куб. саж., на десятину.		
	В июне.	В июле.	В августе.
72	4,5	5,1	4,8
128	6,4	7,1	7,2
227	9,8	11,8	12,0

	Суточный расход воды из почвы, в куб. саж., с десятины через разное число дней после полива.				
	2	4	8	12	16
72	8	—	4,0	3,5	3,0
128	9,5	9,5	7,0	5,7	3,7
227	48,0	14,5	11,2	4,5	3,4

Общее количество воды, поданное на орошение одной десятины какой-либо культуры в течение всего оросительного сезона, называется оросительной нормой данной культуры, так что оросительная норма есть суммарная величина отдельных поливных норм.

Примем в дальнейшем нижеследующие обозначения:

Величина поливной нормы x

Порядок поливов будем обозначать цифровым индексом внизу; род поливаемой культуры — буквенным индексом наверху, например, величина второго полива пшеницы получит такое обозначение . . . . . $x_2^{пшен.}$

Продолжительность поливов . . . . . τ

например, продолжительность второго полива пшеницы получит такое обозначение . . . . . $\tau_2^{пшен.}$

Величина оросительной нормы . . . . . K

так что величина оросительной нормы, например, пшеницы будет обозначаться через . . . . . $K^{пшен.}$

Следовательно:

$$K^{пшен.} = x_1^{пшен.} + x_2^{пшен.} \ldots + x_n^{пшен.}$$

Определение поливных и оросительных норм и сроков поливов представляет, как уже указывалось, одну из труднейших задач, с которыми приходится сталкиваться составителю проекта и эксплоатационному штату

существующих ирригационных систем, почему этот вопрос с давних пор и был предметом многочисленных исследований, споров и дискуссий. Попытки подойти к решению его математическим анализом оканчивались и, конечно, будут еще долго оканчиваться неудачей. Среди трудов по физиологии растений, по гидромодулю, по орошению имеются томы, написанные об идеальных условиях оптимального роста растений и прочих факторах, обусловливающих поливные и оросительные нормы, но все названные работы, освещая лабиринт сложностей, связанных с установлением названных норм, дают пока возможность подойти к явлению только с качественной стороны. Единственным надежным путем в установлении этих величин является производство опытов и наблюдений в том самом районе, для которого нужно получить необходимые материалы, при чем, однако, опыты и наблюдения должны быть поставлены надлежащим образом, чтобы можно было опираться при выводах на полученные данные. С этой точки зрения необходимо знать результаты многочисленных исследований по вопросу о количестве воды, потребном для орошения, которые и приводятся ниже.

Главные результаты исследований и наблюдений по вопросу о количестве воды, потребном для орошения. Вопрос о количестве воды, потребном для орошения, подвергался многочисленным исследованиям и наблюдениям. На основании добытых данных можно указать ряд следующих главнейших факторов, влияющих на величину поливных и оросительных норм:

1) Потери воды через просачивание ее ниже корневой зоны растений. Если количество воды, поданной за один полив, превышает способность почвы удерживать влагу (практическую капиллярную емкость почвы), то происходит потеря воды через фильтрацию ниже корневой зоны растений, вызывающая ряд вредных последствий: подъем грунтовых вод, вымывание питательных растворов из почвы, заболачивание и засоление земель в пониженных участках орошаемого района. Весьма важно знать практическую капиллярную емкость различных почв. В таблице 4 приведены результаты многолетних исследований по этому вопросу для ряда почв Южной Альберты, в Канаде (см. стр. 21).

Практически невозможно давать почве поливом только то количество воды, которое впитается растениями через их корневую систему. Кроме воды, которая испарится с поверхности почвы и будет потеряна путем поверхностного стока, часть ее неминуемо просочится глубже корневой зоны и будет питать грунтовые воды. Пока надо считаться с тем фактом, что величина подземного просачивания не может быть вполне регулируема, даже в случае применения наиболее совершенных приемов поливной техники, и что эта величина изменяется в зависимости от рода почвы. Сами растения в песчаных почвах потребляют воды не больше, чем в почвах глинистых, но передача растению через крупно-зернистые почвы необходимого количества воды при сохранении той же поливной нормы, как и в почвах глинистых, представляется крайне затруднительной.

Подземное просачивание обычно оказывается самой главной причиной потерь воды с орошаемого поля. Тщательно поставленные в некоторых округах Калифорнии опыты показали (Thomas H. Means. Transactions of the American Society of Civil Engineers vol. LXXXIII. 1919—1920—Discussion about the Duty of Water in the Pacific Northwest), что 50% воды, доставляемой на поля, проходит за корневую зону до такой глубины, откуда она не может быть извлечена действием капиллярных сил. Улучшая способы обращения с водой, можно сократить, но не уничтожить вовсе эту потерю. Даже в таких районах, как долина San Ioaquim (С. Ш. С. Америки), где оросительные нормы исключительно экономны, в ирригационную практику входит устройство насосных станций для извлечения грунтовых вод, просочившихся после орошения, с целью вторичного их использования для целей нового орошения. В двух больших ирригационных проектах последнего времени предположено вновь добывать, посредством подъема воды из колодцев 20% подаваемой на участки воды и дополнять ею то количество, которое будет забираться из реки. Измерения на различных дренажных каналах в долине реки Iaqima (С. Ш. С. Америки) показали, что 60% всей воды, отводимой из этой реки для орошения, возвращаются в нее снова по дренажным каналам (Holt. L. M.—Excessive Use of Water.—1921 г.). Характерным аналогичным примером в русской ирригационной практике является р. Зеравшан, расход которой в низовой части в зимнее время и в начале весны увеличивается за счет возвратных (дренажных) вод, поступающих с полей орошения, расположенных вдоль верховой части (в русских пределах) этой реки. Так как, на всем протяжении между пунктами измерений расходов река не имеет притоков, то указанное явление можно объяснить только значительным поступлением в нее отработанных (дренажных) вод. Нижеприводимая таблица 22, заимствованная от Предтеченского, А. А. (Сельское хозяйство и задачи ирригации в Зеравшанской долине.—1921), характеризует режим р. Зеравшана, подтверждая указанное явление.

ТАБЛИЦА 22.

Месяцы.	Средние месячные расходы реки Зеравшана в миллионах куб. саж.	
	у выхода в долину, до ответвления ирригационных каналов.	на Бухарск. границе по Ак-Дарье, Кара-Дарье, и Нарпаю.
Октябрь	21,8	33,3
Ноябрь	15,8	28,6
Декабрь	13,1	25,1
Январь	11,9	26,3
Февраль	10,1	26,2
Март	11,9	28,1
Апрель	20,2	18,1
Май	67,3	19,7
Июнь	105,5	32,1
Июль	116,4	61,1
Август	86,2	53,7
Сентябрь	43,7	34,1

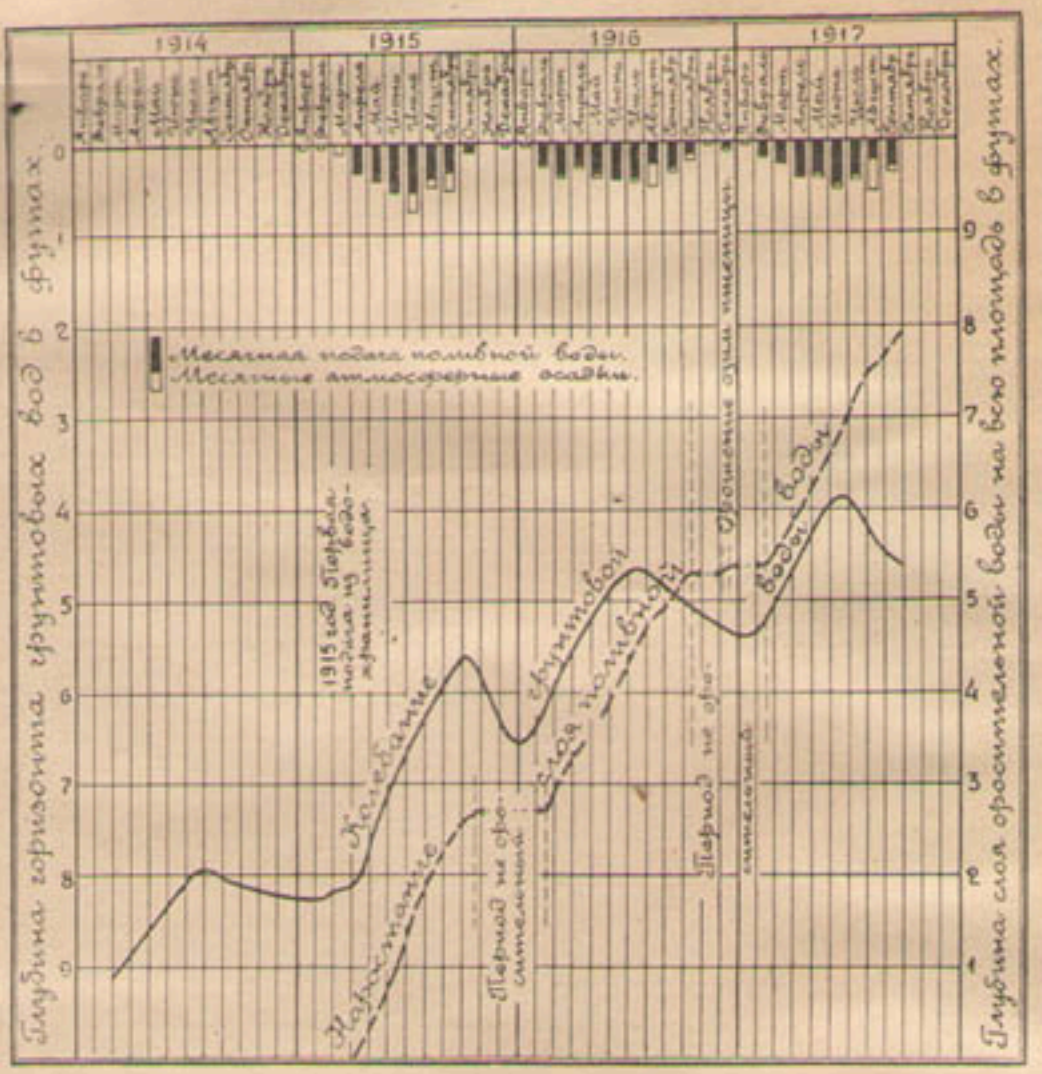
В индийских проектах мы также всегда встречаемся с отводом части орошаемой территории под орошение грунтовой водою из колодцев.

Кроме того, не надо забывать, что орошаемая территория пересекается многочисленными каналами, распределителями, оросителями, проводящими воду в течение всего почти оросительного периода; вода из них, беспрерывно, часто в значительных количествах, просачивается вниз к поверхности грунтовых вод.

Таким образом, образуются два источника питания грунтовых вод — просачивание поливной воды через почву и фильтрация из каналов. Под совокупным действием этих причин, уровень грунтовых вод во вновь орошаемых районах быстро поднимается и если для них нет свободного выхода через подпочву или через глубоко заложенную дренажную сеть, горизонт грунтовых вод при своем подъеме будет повреждать растительность, а при дальнейшем подъеме убьет всякую растительную жизнь, кроме болотных или любящих воду растений. Обыкновенно это явление начинается с низких мест, где образуются заболоченные бассейны и пруды, и затем постепенно распространяется, если не принимаются меры предосторожности или не ведется борьба с этим злом. Указанные последствия орошения имеют повсеместный характер; едва ли существует в мире какой-нибудь более или менее обширный район, который после нескольких лет орошения не пострадал бы в некоторой своей части от подъема грунтовых вод и не требовал бы специальных дренажных работ. Во многих местах эти печальные последствия орошения получают широкое развитие и носят бедственный характер. В Северо-Восточной части Голодной Степи, в долине Мургаба, в Муганской степи, многие орошенные земли были оставлены по причине поднятия грунтовых вод и появления солей. Можно было бы привести очень много аналогичных примеров и из заграничной практики, например, в долине San Luis, в Южном Колорадо, в результате орошения оказалось около 150.000 дес. земли заболоченными.

Первым признаком опасного поднятия грунтовых вод (проявляющимся внешним образом) может быть временное увеличение урожайности культур, происходящее от обильного и постоянного притока капиллярной воды в корневую зону. Бывало много случаев, когда поднятие грунтовых вод сперва приносило большие урожаи, но затем, вследствие дальнейшего подъема уровня этих вод, так размягчало почву, что к тому времени, когда наступила жатва, машины, снимавшие урожай, не могли на них работать. Обыкновенно процесс имеет медленное развитие и представляется необходимым производить систематические наблюдения за состоянием грунтовых вод с помощью колодцев, располагаемых с надлежащими интервалами по орошаемой площади. Подобные наблюдения, производившиеся на оросительных системах, показали существование ежегодного колебания горизонта грунтовых вод, повышающегося во время периода орошения и медленно опускающегося вскоре после того, как каналы перестают работать. Если опускание горизонта каждый год доходит до того уровня, на котором стояла вода в начале периода орошения и если этот уровень

не слишком высок, то можно думать, что грунтовая вода имеет свободный выход через подпочву в соседние водоприемники. Во всяком случае, за ее движением следует все-таки наблюдать. Ниже приведено несколько примеров из ирригационной практики.



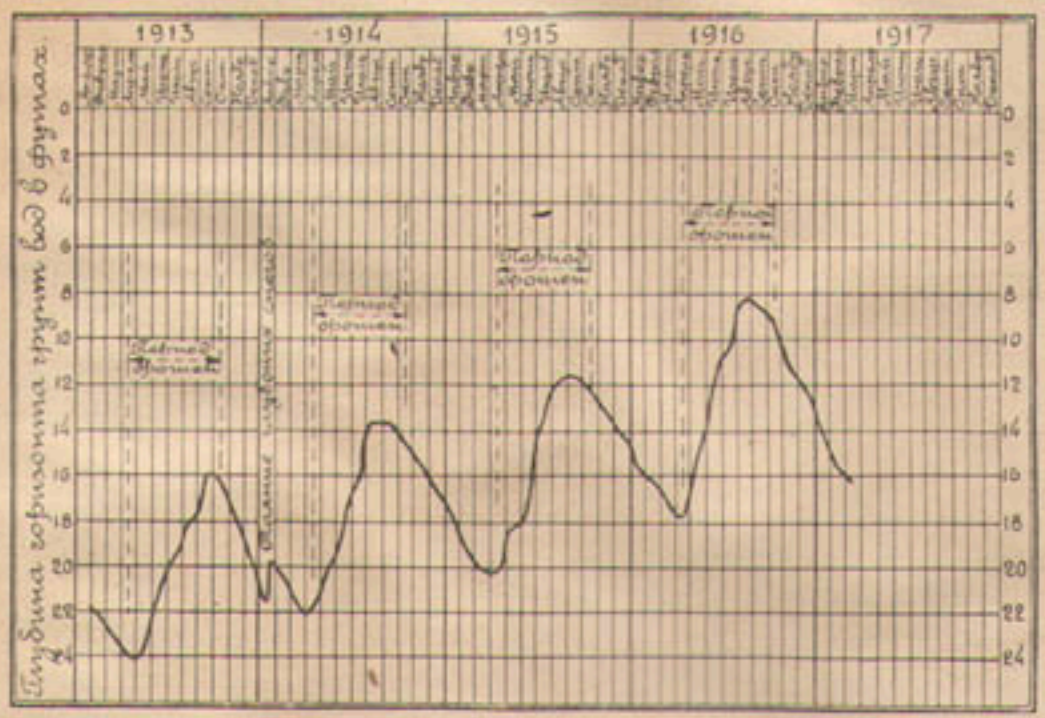
Черт. 73.—Кривая, показывающая колебания грунтовых вод и глубину поливного слоя воды в Rio Grande Valley по Бёркхолдеру (Burkholder, J. L.—Reclamation Recorb Dec. 1917 г.).

На черт. 73 показано колебание горизонта грунтовых вод в долине Rio Grande, в Новой Мексике, в зависимости от количества воды, употреблявшейся для орошения. Кривая колебания грунтовых вод составлена по средним данным двадцати наблюдательных колодцев, разбросанных по площади в 3200 десятин. Из этой площади орошалось 2000 десятин, при чем на каждую десятину давалось 1450 кб. саж. воды, так что на десятину всей площади приходилось 910 кб. саж. В общем, после трех лет орошения, горизонт воды поднялся на 4,5 фута.

Черт. 74 показывает периодические колебания и непрерывное ежегодное поднятие грунтовой воды в орошенной части Boise Valley, в штате Айдахо. Как видно из чертежа, ежегодное колебание горизонта воды достигало 8-ми фут.

Черт. 75 показывает для другого участка Boise Valley колебание горизонта грунтовых вод до и после устройства дренажа.

Влага поднимается над горизонтом грунтовых вод, благодаря действию капиллярных сил; высота, до которой доходит это поднятие, практически варьирует от одного фута в песчаных почвах и максимально до восьми фут. в илистых почвах. Когда капиллярная вода приближается к поверхности почвы, начинает действовать испарение. Производя частые и тщательные наблюдения над влажностью почво-грунтов, возможно в большинстве случаев заранее предусмотреть чрезмерное поднятие грунтовых вод и предотвратить печальные последствия, вызываемые таким подъемом.



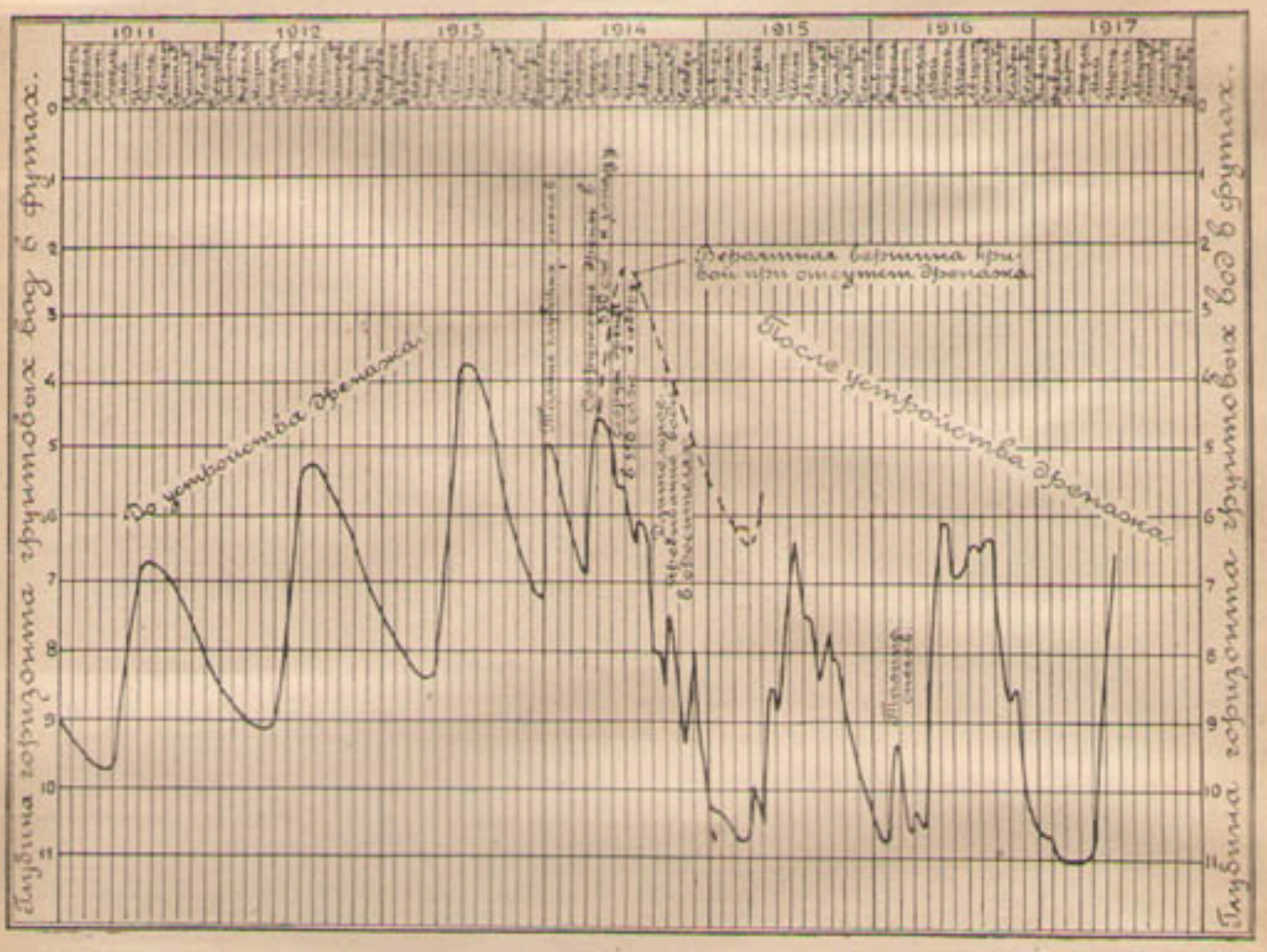
Черт. 74.—Кривая периодического колебания и поднятия грунтовых вод в Boise Valley, по Бёркхолдеру (Burkholder, J. L.—Reclamation Record, Dec. 1917 г.).

Если почва мелкозерниста и если уровень грунтовых вод держится на глубине 4—6 фут. ниже поверхности, капиллярные силы могут поддерживать достаточную влажность в корневой зоне так, что в этом случае хорошие урожаи могут быть получены без применения орошения, только благодаря одной почвенной влаге. Но в почве, содержащей вредные соли, беспрерывный приток воды снизу и испарение ее с поверхности произведет накопление солей на самой поверхности или возле нее в зоне, занятой корнями; указанное скопление солей может постепенно испортить почву и сделать ее почти совершенно бесплодной. Теперь подведем итоги:

а) в районе орошения подъем грунтовых вод практически неизбежен и весь вопрос заключается в продолжительности протекания этого явления; при больших поливных нормах и частых сроках полива, уровень грунтовых вод может очень быстро подняться до опасного горизонта; наоборот, при экономных нормах этот процесс можно затянуть на более долгий срок;

б) если бы возможно было держать горизонт грунтовых вод несколько ниже зоны распространения корней растений так, чтобы питание корневой системы могло происходить отчасти за счет капиллярной влаги, поднимающейся с поверхности грунтовых вод, то поливные нормы можно было бы довести до минимума.

в) в проекте необходимо предвидеть или использование излишне скопляющейся под почвой воды для целей орошения (путем устройства колодцев и подъема из них воды) или отвод ее при помощи водоотводной дренажной системы из района орошения.



Черт. 75.—Кривая колебания горизонта грунтовых вод до постройки дрен и после. Действие дрен, заложенных на значительном расстоянии, сказалось в понижении уровня и удержании его ниже опасного горизонта. По Дэвису (Davis, A. Irrigation Engineering, 1919 г.)

2. *Влияние величины хозяйственного тока на величину потерь на орошаемом поле.* В случае пористых почв, для уменьшения потерь на глубокое просачивание и поверхностный сток, полив должен позволять быструю подачу воды интенсивным током в небольшом количестве и через короткие промежутки времени.

3. *Причины больших потерь воды на орошаемом поле.* Факт потери больших количеств воды, благодаря просачиванию, в большинстве случаев объясняется или индифферентностью земледельца, или недостаточностью его материальных средств, не позволяющих ему

применить надлежащие методы подачи воды на поля, или, наконец, отсутствием у земледельца знаний того, каким образом следует производить полив для достижения наилучшего эффекта.

4. Влияние „длины пробега воды" на величину потерь. Экономия воды может быть достигнута уменьшением „длины ее пробега", то-есть сокращением расстояния от оросителя (подводящего воду к полям) до дальнего конца поля, при чем земли, расположенные вблизи оросителя, неизбежно успевают впитать в себя большее количество воды, чем земли более удаленные, так как они пребывают под водою в течение более долгого срока. Такое сокращение расстояния протекания воды по полю достигается увеличением числа подводящих канав, разделением поливной площади при помощи валиков на ряд мелких участков затопляемых в отдельности.

Приведем пример из опытов Дон Барка (Don Bark, С. Ш. С. А). Последний испытывал два полевых участка почти равной длины (около 336 саж.); один—находился под люцерной, другой—под клевером. Первый участок был разбит по длине при помощи валиков на семь равных площадок (каждая длиной в 48 саж.) при чем орошение этих площадок могло быть произведено независимо. Поливная вода подводилась к верхней грани участка хозяйственным током в 3 кб. ф/сек. Опыт велся таким образом, что можно было, пуская воду с верхней грани участка, оросить одну верхнюю площадку, или две и т. д. или наконец, весь участок, достигая каждый раз одной и той же степени орошенности. При этом, если длину пробега поливной воды ограничить расстоянием в 48 саж., то-есть, если орошать последовательно одну площадку за другой, то на орошение всего участка потребовалось 8,16 часов и средний слой поливной воды, которым следовало бы покрыть весь участок, оказался равным 0,10 саж. Когда же вода пускалась для затопления всего участка, следовательно при пробеге 336 саж., время полного полива определилось в 15,67 часов и средний поливной слой определился в 0,21 саж. Более подробные данные приведены ниже в таблице 23.

ТАБЛИЦА 23.

Длина „пробега" воды, в саженях.	Средняя глубина поливного слоя воды, в саженях.	Время, в часах, потребное для орошения всего участка, разбитого на отдельные площадки различной длины, как показано в столбце первом (длина отдельных площадок равна длине пробега).
48	0,10	8,16
96	0,117	8,77
144	0,125	9,40
192	0,13	9,90
240	0,16	11,80
288	0,18	14,50
336	0,21	15,67

На второй участок, разделенный на 8 отдельных площадок длиною по 46,5 саж., вода подавалась расходом в 7 кб. ф./сек. Опыты производились по той же программе. Результаты их приведены ниже в таблице 24.

ТАБЛИЦА 24.

Длина пробега воды, в саженях.	Средняя глубина поливного слоя воды, в саженях.	Время, в часах, потребное для орошения всего участка, разбитого на отдельные площадки различной длины, как показано в столбце первом (длина отдельных площадок равна длине пробега).
46,5	0,09	5,9
93,0	0,10	6.5
139,5	0,11	7.4
186,0	0,12	8,3
232,5	0,14	9,8
279,0	0,15	10,8
325,5	0,17	11,8
372,0	0,19	13,3

Из вышеприведенных двух таблиц явствует, что, уменьшая длину пробега, можно существенно (в данном случае более чем в 2 раза) уменьшить количество воды, требующееся для полива (поливную норму), и сильно сократить время, требующееся для операции полива. Кроме того, означенные опыты показывают, насколько сильно мог бы влиять водопользователь-земледелец на экономию в воде, в случае, если бы он был заинтересован в этом и ясно представлял себе сущность оросительных процессов; к сожалению, в жизни такие водопользователи встречаются далеко не часто.

5. Влияние величины поливной нормы на величину потерь от поверхностного стока. Потерю воды через поверхностный сток с полей можно уменьшить специальной подготовкой земли под орошение и смягчением уклонов поверхности почвы. Главным фактором, влияющим на величину стока, является величина поливной нормы. Чем больше количество воды, подаваемое за одно орошение, тем больше поверхностный сток. Например, опыты Израильсена и Уинзора (Israelsen, O. W., и Winsor, H. M.—Bulletin № 182, Utah Agricultural College, Logan, Utah, 1922 г.) показали, что потеря от стока с поля, занятого картофелем и сахарной свеклой, колеблется от 9% (при поливе в 57 куб. саж. на десятину) и до 28% (при поливе в 228 куб. саж. на десятину.) Аналогичные результаты получены и для других культур. Четырехлетние наблюдения (1917—1920 г.) названных исследователей в долине Sévier, показали, что, даже при бережном расходовании воды и при небольшой величине поливных норм, потеря через сток, все-таки, остается весьма существенной.

6. Постепенность уменьшения оросительной нормы. В уже существующих районах орошения, невозможно произвести сразу

ограничение поливных и оросительных норм до пределов, установленных опытными исследованиями. Необходим постепенный переход и прежде всего установление надзора за распределением воды, который поощрял бы искусное и разумное пользование водою и преследовал бы всякие небрежные методы орошения.

7. Влияние величины оросительной нормы на величину урожаев. Повышение общего количества воды, даваемой на орошение в течение всего вегетационного периода (оросительной нормы), повышает валовой урожай орошаемой культуры, но лишь до известного предела. Увеличение оросительной нормы выше этого предела не только не вызывает повышения урожая, но даже ведет к его уменьшению. Это является бесспорным фактом, установленным многочисленными опытами и наблюдениями. Ниже приведена таблица с данными Гидромодульного Отдела Голодностепской опытной станции (Кондрашев, С. К.—„Вода в орошаемом хозяйстве", 1922 г.), которая показывает, что наибольший урожай в 1913 г. получился при норме в 384 куб. саж. на десятину, в 1914 г.,— при норме в 480 куб. саж. При этом оказалось, что (при хлопчатнике по хлопчатнику без удобрения) наивысшая поливная норма опять-таки не дает лучшего урожая (см. таблицу 25).

ТАБЛИЦА 25.

Культура.	Год опыта.	Оросительная норма, в куб. саж.	Урожай, в пудах.	
			На 1 дес.	На 1 куб. саж. воды.
Хлопчатник	1913	96	196	2,04
„	„	216	206	0,95
„	„	384	232	0,61
„	„	683	205	0,30
„	„	910	199	0,22
Хлопчатник	1914	96	98	1,02
„	„	288	115	0,40
„	„	384	170	0,44
„	„	480	207	0,43
„	„	576	194	0,34

В результате работ по изучению фактического водопользования в районах Исфары и Иски-Ташкента получилась следующая зависимость между оросительной нормой и урожаем хлопчатника:

ТАБЛИЦА 26.

Район.	Средняя оросительная норма, в куб. саж.	Число наблюдений.	Урожай сырца хлопчатника на 1 дес., в пудах.	На 1 куб. саж. данной на полив воды приходится урожай сырца:	
				пуды.	проценты.
Исфара	484	13	78,1	0,161	100
„	800	36	80,9	0,101	62,7
„	1.119	4	77,6	0,069	42,8
Иски-Ташкент	548	5	84	0,153	100
„	787	19	101	0,127	83,0
„	1.304	4	81	0,062	40,0

Таким образом, на Исфаре при средней норме в 484 куб. саж. получился урожай в 78 пудов сырца, при норме же в 800 куб. саж. (то-есть почти на 70% больше) урожай повысился только, приблизительно, на 3 пуда, и, наконец, при самой большой норме в 1119 куб. саж., урожай даже немного понизился. Та же общая картина и в Иски-Ташкенте. В последних двух столбцах, как первой, так и второй таблицы, приведены удельные урожаи, то-есть урожай, приходящийся на 1 куб. саж. воды, затраченной на орошение. Легко убедиться, что удельные цифры сильно уменьшаются вместе с повышением оросительных норм. Следовательно, производительная способность оросительной воды достигает наивысшего эффекта при наинизших нормах орошения.

Подтверждение высказанных положений мы находим в многолетних и многочисленных опытах иностранных исследовательских организаций. Вот, например, средние результаты длительных опытов над орошением различных культур, произведенных Опытной станцией Сельско-Хозяйственного Колледжа, Штата Юта С.-Америки.

ТАБЛИЦА 27.

Количество воды, поданное на орошение 1 десятины (оросительная норма).	Урожай с десятины, полученный при применении различных оросительных норм.						
	Пшеница.	Кукуруза.	Люцерна.	Тимофеевка.	Овес.	Картофель	Сахарная свекла.
В куб. саж.	В	п	у	д	а	х.	
143	169	—	689	—	164	697	2.066
214	185	337	—	298	—	824	—
286	191	381	740	—	144	883	2.784
429	204	400	565	288	188	1.027	2.919
571	—	399	681	—	212	1.208	3.188
714	207	422	701	—	—	—	—
857	214	413	662	453	—	1.104	3.113
1.143	—	—	—	—	208	1.132	—
1.429	220	409	810	—	—	—	3.667
1.714	—	—	—	630	—	1.376	—
2.857	—	—	—	166	—	—	—

Данные таблицы 27 показывают некоторое увеличение урожая с увеличением оросительной нормы, но совершенно очевидно, что это увеличение урожая ни в каком случае не пропорционально количеству израсходованной воды. Если полученные урожаи отнесем на одну кубическую сажень потребленной воды, что и сделано в таблице 28, мы увидим, что количество продукта быстро уменьшается по мере возрастания норм подачи воды.

Потребление воды выше умеренных норм обеспечивает очень незначительное увеличение урожая для большинства культур, для некоторых же

растений повышение оросительных норм является причиной даже некоторого уменьшения урожая. Вместе с тем, наблюдения над всеми растениями показывают, что увеличение воды ухудшает качество продукта, уменьшая процентное содержание протеина или азотистых соединений, составляющих главные питательные элементы. Зерновые хлеба растут более в солому и зерна делаются изнеженными. Люцерна и другие корма дают в таких случаях больше деревянистого вещества, бесполезного в питательном отношении. Картофель и свекла становятся более водянистыми и деревянистыми, у хлопчатника усиленно развивается стебель и листва, а созревание коробочек задерживается.

ТАБЛИЦА 28.

Количество воды, поданное на орошение 1 десятины (оросительная норма).	Урожай различных растений, приходящийся на одну кубическую сажень воды, данной на орошение, при различных оросительных нормах.						
	Пшеница.	Кукуруза.	Люцерна.	Тимофеевка.	Овес.	Картофель.	Сахарная свекла.
В куб. саж.	В	п	у	д	а	х.	
143	1,18	—	4,72	—	1,15	4,87	14,45
214	0,86	1,57	—	1,39	—	3,85	—
286	0,68	1,33	2,59	—	0,50	3,09	9,73
429	0,48	0,93	1,32	0,67	0,44	2,40	6,80
571	—	0,68	1,19	—	0,37	2,12	5,58
714	0,29	0,59	0,98	—	—	—	—
857	0,25	0,48	0,77	0,53	—	1.29	3,63
1.143	—	—	—	—	0,18	0,99	—
1.429	0,15	0,29	0,57	—	—	—	2,57
1.714	—	—	—	0,37	—	0,80	—
2.857	—	—	—	0,06	—	—	—

В сухих районах, нуждающихся в искусственном орошении, обычно площадь требующая орошения значительно больше той, которая может быть орошена по наличию воды в источнике орошения. Весьма часто оказывается при этом, что воды в каком-нибудь источнике орошения не хватает не только для оживления всех земель его бассейна, но даже для лучших из них в почвенном и климатических отношениях, лежащих к тому же вблизи древних культурных оазисов и нуждающихся в орошенных землях для разгрузки избытка земледельческого населения. Поэтому, весьма часто, государство должно стремиться к наиболее продуктивному использованию оросительной способности воды, имеющейся в ограниченном количестве, то-есть к получению наибольшего возможного урожая и наибольшей площади орошения при данном количестве воды. Если, пользуясь данными таблиц 27 и 28, произвести подсчет, какой урожай различных культур можно получить при использовании одного и того же

же количества воды (положим, 860 куб. саж.), но распределенного по площадям различной величины, получим следующие поразительные цифры (см. таблицу 29).

ТАБЛИЦА 29.

Растения.	Урожай различных культур, который можно получить, используя на орошение 860 куб. саж. воды, в случае распределения ее по площадям разной величины.				
	1 десятина.	2 десятины.	3 десятины.	4 десятины.	5 десятин.
	В п у д а х.				
Пшеница	214	406	580	740	1.012
Кукуруза	413	800	1.141	1.345	—
Люцерна	662	1130	2.221	—	4.134
Тимофеевка	453	576	—	1.193	—
Картофель	1.105	2.055	2.648	3.296	4.183
Сахарная свекла	3.113	5.837	8.352	—	12.393
Хлопчатник	201	456	651	824	1.010

Если даже подходить к вопросу с точки зрения отдельного водопользователя, а не государства, то, все-таки, все данные говорят за выгодность применения умеренных норм орошения. Оказывается не экономичным подавать на поля даже то количество воды, которое требуется для максимального урожая. Подсчитав рыночную стоимость полученного урожая и себестоимость его, а также приняв во внимание стоимость поливной воды и те излишние расходы, которые получаются при поливе очень большим количеством воды, придём к заключению, что небольшое увеличение урожая, даваемое максимальной нормой орошения, не окупается и что выгоднее было бы — остановить увеличение поливной нормы значительно ранее достижения максимума урожая.

8. Влияние способа полива на величину оросительной нормы. Все бороздчатые способы полива (туземные джояки, борозды, листерные гряды) обеспечивают гораздо меньшие потери воды, чем поливы затоплением, а потому они требуют и меньших норм орошения для достижения одной и той же степени влажности. Если же давать одинаковую оросительную норму, то бороздчатые способы обеспечивают большие урожаи. Вот пример из опытов Гидромодульного Отдела Андижанской опытной станции (см. табл. 30):

9. Данные индийской практики о соотношении *оросительных норм различных культур. Потребность в орошении различных культур неодинакова, даже при одних и тех же* почвенных и климатических условиях.

Однако, Паркер (Parker, P.) утверждает, что, несмотря на всю пестроту оросительных норм, с которыми приходится встречаться, несмотря на то,

ТАБЛИЦА 30.

СПОСОБ ПОЛИВА.	Оросительная норма, в куб. саж.	Урожай сырца		Примечание.
		На 1 десятину, в пудах.	На 1 куб. саж. воды, в пудах.	
Затоплением	480	34	0,07	Схема поливов везде одинакова.
Листерные гряды	480	49	0,10	
Борозды	480	53	0,11	
Туземные джоляки	480	165,5	0,34	

что оросительная норма даже для одной и той же культуры сильно колеблется в зависимости от изменения сопутствующих факторов, относительные количества воды, потребляемые различными культурами, в одной и той же местности и в один и тот же год, выражаются в индийской практике довольно близкими цифрами; данные эти приведены в таблице 31, при чем оросительная норма для пшеницы принята за единицу (Parker, P.—The Control of Water.—1913).

ТАБЛИЦА 31.

РАСТЕНИЕ.	Отношение оросительных норм.	Продолжительность вегетационного периода.
Пшеница	1	5 месяцев.
Ячмень	0,8	5 „
Овощи	1,5	4— 6 „
Табак	2.5	6 „
Люцерна и другие многолетние кормовые	3,0	6 „
Сады	2,0	6 „
Сахарный тростник	4,0	10—11 „

10. Периоды водопотребления для различных культур. Для различных культур значительным колебаниям подвержено не только количество подаваемой воды, но и самое время водопотребления. Например, люцерна нуждается в постоянных поливах с ранней весны до поздней осени, тогда как яровые хлеба требуют крайнего оросительного напряжения весною; для маиса, проса, кунжута необходимы два—три полива летом, с крайними сроками расположения одного полива от другого в 50—70 дней; рис не может произрастать без постоянного затопления при постоянной проточной воде; бахчи, посевы дынь и вообще огородные растения требуют большого числа поливов, непременно по бороздам и малыми нормами.

хлопчатник (посев его в условиях Туркестана и Кавказа должен быть не позднее апреля, так как при более позднем посеве коробочки могут не вызреть и быть побиты ранними осенними заморозками в сентябре или октябре, благодаря чему может погибнуть большая часть урожая) нуждается в нескольких поливках с конца весны до конца лета.

11. Обработка почвы и ее значение для экономии оросительной воды. Умелая и своевременная обработка почвы обеспечивает значительную экономию в количестве требующейся оросительной воды. Как было сказано выше, во время поливки обычно дается воды больше, чем требуется для придания почве полезной степени влажности, что отчасти зависит от того запаса влаги, который необходимо дать почве для покрытия потерь в междуполивной период (от испарения, стока и просачивания ниже корневой зоны). Благодаря такому излишку в течение времени непосредственно после поливов почва находится в состоянии явно избыточного увлажнения. Орошенное поле в первый и даже второй день после орошения представляет собой, в случае глинистой почвы, топкое, невылазное болото, по которому невозможно ходить. Однако, подобное состояние почвы продолжается недолго. Вследствие жаркого и сухого климата орошаемых областей, орошенное поле быстро просыхает, при чем быстроте просыхания в сильной мере помогают произведенное орошением уплотнение почвы и восстановление капилляров. Сильное испарение влаги из верхних слоев почвы, иссушаемых жгучим солнцем и сухими ветрами, влечет за собой поднятие влаги по капиллярам из более глубоких слоев. Таким образом, иссушение поливаемого поля идет быстро и притом на значительную глубину. Летом уже через 2—4 дня, а осенью и весною через 4—8 дней, почва провядает настолько, что ее можно уже пахать. В это время она не липнет к отвалу плуга и хорошо крошится. Через короткое время почва пересыхает и начинает трескаться вертикальными трещинами, придающими полю мозаичный вид. Эти трещины вызывают еще более быстрое высыхание глубоких слоев почвы. Наконец, дней через 7—10 почва высыхает летом настолько, что обработка ее становится крайне затруднительной или даже невозможной. Такова в грубых чертах картина просыхания орошенного поля, не занятого посевом и не обработанного вслед за поливом.

За период в 7—10 дней от полива, почва проходит все стадии от избыточного увлажнения до почти воздушно сухого состояния, при чем влажность почвы находится в пределах полезных для роста растений лишь очень короткое время. Этот благоприятный, но короткий промежуток имеет до и после себя два крайних состояния почвенного увлажнения, которые явно вредны посевам и которые можно до известной степени сгладить путем надлежащей обработки почвы после орошения.

Поверхностное рыхление почвы после орошения нарушает капилляры и поэтому препятствует подаче влаги снизу вверх для ее бесполезного испарения почвой. Конечно, разрыхленная с поверхности почва продолжает испарять влагу, но степень этого испарения во много раз меньше, нежели

при уплотненной поверхности. Таким образом, разрыхление почвы способствует более продолжительному сохранению влаги и тем самым уменьшает число необходимых для растений поливов; кроме того, почва при разрыхленной поверхности не испытывает таких резких переходов от состояния полного насыщения до степеней, лежащих за пределами критической влажности. Поэтому при тщательной поверхностной обработке почвы создается не только лучший режим почвенной влажности, но и уменьшается расход оросительной воды, вместе с тем попутно уничтожаются сорные травы.

Поверхностное рыхление почвы более тесно связано с орошением, чем это представляется с первого взгляда. Оно органически входит в круг непременных приемов поливного земледелия. В самом деле, в громадном большинстве случаев поле, предназначенное для посева, обладает настолько малой влажностью почвы и настолько уплотнено, что распашка его без предварительного увлажнения представляется затруднительной; с этой целью и применяется, так называемый предпосевный полив, после которого, дня через три, почва успевает провянуть настолько, что распашка становится легкой. Однако, посевы большинства культур в орошаемых областях происходят в жаркое время года, когда вследствие высокой температуры и чрезвычайной сухости воздуха, просыхание почвы идет крайне ускоренным темпом, поэтому период времени, после полива, наиболее благоприятный для пахоты очень краток (продолжительность его варьирует в зависимости от почвенных и климатических условий района). При тяжелых почвах и в летнее время он продолжается день, два, при чем в начале его почва мажет отвал плуга, не крошится в пласте и засыхает твердым комом, в конце же почва успевает пересохнуть и уже не крошится, благодаря недостатку влаги. Иногда случается, что период влажности, благоприятной для пахоты, продолжается менее дня, так что вполне понятно, как сильно должно стеснять земледельца это обстоятельство: при поливе под посевы ему приходится сообразоваться не с временем своей очереди водопользования и не с количеством приходящейся ему воды, а со своими средствами обработки. Больше той площади, какую он в состоянии запахать и засеять в один, два, три дня, он не может и не должен предпосевно орошать, величина же этой площади, при обычных сельскохозяйственных орудиях наших орошаемых хозяйств, невелика (в пределах от 0,4 до 1 десятины). Таким образом, при величине хозяйства в 8—15 десятин очень трудно своевременно, после предпосевного полива, успеть произвести вспашку почвы, поэтому совершенно необходимым является поверхностное рыхление, оно требует меньше времени и фактически может быть выполнено в достаточно краткий срок после полива (как только состояние почвы допустит возможность той или иной ее обработки).

Орошенное поле в таком виде уже не теряет влагу (на испарение) с той ужасающей быстротой, какая характерна для уплотненных поливкой почв, так что можно спокойно, без опасения засушить почву, запахать силами и средствами того же хозяйства до трех—четырех десятин.

12. Значение удобрения почвы в условиях орошаемого хозяйства. Внесение в почву удобрения приобретает могущественное значение в условиях орошаемого хозяйства и способствует лучшему использованию оросительной воды. Причину этого можно легко понять, исходя из существа процессов связанных с мелиорацией. Орошение вызывает быстрое вымывание из почвы растворимых солей, с чем связано при многолетней культуре значительное обеднение почвы питательными веществами, поэтому, для постоянства высоких урожаев, старо-пахотные орошаемые поля нуждаются в удобрении в большей степени, нежели неорошаемые. Кроме того, оросительные мелиорации обычно приурочены к сухим областям, отличающимся длинным жарким летом и вообще теплым климатом, где растения получают тепло и свет в изобилии, орошение дает им воду в необходимом количестве, так что для создания гармонических условий желательна и высокая питательность почвенной среды, которую можно поддержать только постоянным удобрением.

Ряд опытов, как за границей, так и у нас (например, опыты Р. Р. Шредера на Туркестанской опытной станции) установили, что внесение удобрения в почву, во-первых, уменьшает количество оросительной воды, потребной для производства единицы сухого вещества урожая (вследствие уменьшения транспирационного коэффициента) и, во-вторых, при тех же оросительных нормах, значительно увеличивает урожай с единицы площади.

13. Зависимость величины оросительной нормы от степени обеспеченности водою источника орошения. Там где воды много, расточительное пользование ею представляет всеобщее явление; следует считать установленным фактом, что чем обильнее водный источник, тем выше нормы орошения, применяемые водопользователями. Наилучшим средством борьбы против расточительного использования воды и с неудовлетворительными условиями увлажнения орошаемой почвы, является установление платы за воду в зависимости от величины оросительной нормы.

14. Влияние атмосферных осадков на величину оросительных норм. Атмосферные осадки, выпадающие в течение вегетационного периода, замещают собой некоторое количество поливной воды, при чем, однако, дождь может заменить равное по объему количество оросительной воды только в том случае, если он выпадает во время и не носит характера ливня, при котором значительная доля его стекает по поверхности или уходит ниже корневой зоны растений. Во влажных областях одних атмосферных осадков (без орошения) бывает достаточно для созревания растений. Для полу-сухих областей орошение сильно увеличивает урожай. В сухих областях количество выпадающих осадков может колебаться за годовой период от нуля до трехсот миллиметров (12 дюмов), каковое обстоятельство в связи с временем выпадения осадков и силой отдельных дождей самым глубоким образом влияет на потребное количество оросительной воды. Осадки, выпадающие осенью и зимой также оказывают сильное влияние на количество влаги в почве, поступающее

в распоряжение растений весной и летом, особенно, если были приняты необходимые меры для сохранения этой влаги (надлежащей обработкой почвы). Таким образом, количество влаги, удерживаемой почвой в пределах зоны распространения корней растений, зависит отчасти от естественных почвенных и климатических условий и отчасти от тех условий, которые создаются (благодаря обработке почвы) для увеличения поглощения и уменьшения испарения влаги почвой. Однако, величина естественных осадков колеблется из года в год, как по количеству, так и по времени, поэтому при проектировании ирригационных систем следует учитывать лишь года с наименьшим количеством осадков и наименее выгодным распределением их с тем, чтобы орошение могло действительно обеспечить требуемое увлажнение почвы даже в самые неблагоприятные в этом отношении годы.

В заключение приведем здесь те двенадцать правил бережливого пользования оросительной водой, которые были выработаны Опытной станцией Сельско-Хозяйственного Колледжа в Юте (С. Ш. С. Америки) и широко распространены среди населения орошаемых районов:

1. Запасайте дождевую воду в почве. — Глубокая вспашка помогает почве поглощать и удерживать большую часть дождевой и снеговой воды.

2. Обрабатывайте почву чаще и лучше. — Вода легко теряется из почвы через испарение. Рыхление верхнего пласта почвы уменьшает испарение. Почва должна быть, как можно лучше, обработана весной непосредственно после полива и один или более раз в промежутке между поливами.

3. Поддерживайте плодородие почвы. — Чем плодороднее почва, тем меньше ей нужно воды на один пуд урожая. Пашите глубоко, обрабатывайте как можно лучше, применяйте удобрение и на орошение потребуется меньше воды.

4. Сейте в хорошо-увлажненную почву. — Почва, хорошо-увлажненная к моменту посева растений, позволяет корням лучше развиваться, позволяет отсрочить время первого полива и, таким образом, создает экономию в оросительной воде. Если атмосферных осадков недостаточно, чтобы можно было непосредственно производить посевы, орошайте ее осенью или ранней весной перед посевом.

5. Не орошайте слишком рано. — Чем больший срок пройдет между посевом и первым поливом, тем глубже проникнут корни, что позволит растению извлекать влагу из большей толщи почвы и на весь урожай пойдет меньше оросительной воды.

6. Орошайте правильным способом. — Где воды много, можно орошать напуском; где воды мало, там следует орошать только по способу борозд. Излишнюю воду спускайте из борозд на другие поля.

7. Орошайте в свое время. — Давайте воду только тогда, когда растение действительно будет нуждаться в ней. Орошая,

подавайте воду в таком количестве, чтобы снабдить ею растение, по крайней мере, на десять дней. Орошайте в полной мере: картофель — в цвету, кукурузу — в кисти, люцерну, когда только что появляется почка, и хлеб, когда образовывается семя.

8. Умеренно расходуйте воду. — С увеличением подачи воды урожай с десятины увеличивается только до известного предела, дальнейшее же увеличение подачи уменьшает урожай.

9. Увеличивайте орошаемую площадь за счет уменьшения оросительных норм. Урожай, приходящийся на единицу объема воды (данной на полив), всегда тем меньше, чем больше примененная оросительная норма. Чем меньшее количество воды израсходовано на орошение одной десятины, тем больший урожай можно получить на израсходованный куб воды. Там, где много земли, но мало воды, важнее получить больший урожай на каждую кубическую сажень израсходованной воды, захватывая при этом большую площадь под орошение, чем стремиться к увеличению урожая с одной десятины.

10. Уничтожайте сорные травы. — Сорные травы берут столько же воды, сколько и ценные растения. Уничтожая сорные травы, вы оставляете больше воды для ваших ценных посевов.

11. Боритесь с утечками из канав. — Огромное количество воды просачивается в почву из большинства наших каналов и канав. Боритесь с такими утечками. Часто бывает выгодным покрыть весь канал цементной или бетонной одеждой.

12. Измеряйте воду. — Земля тщательно измеряется, но вода, более ценная в орошаемых районах чем земля, измеряется редко. Можно было бы достигнуть больших успехов земледелия в орошаемых районах, если водопользователи пожелали бы тщательно измерять потребляемую воду и вести ей учет. Это одна из величайших нужд ирригации. Водослив Чиполетти может быть применен для измерения воды любым земледельцем.

Об изменении поливных норм в существующих уже системах. Местные обычаи вырабатываются в результате векового развития жизни, они сильно вкореняются в привычки населения и обладают большой инерцией. Весьма часты случаи, когда навыки местного населения весьма сильно разнятся от тех, которые могут быть рекомендованы ирригационной наукой и выводами местных опытных учреждений. Перед инженером, руководящим эксплоатацией системы или ее переустройством в целях улучшения и расширения, очевидно, встает вопрос, по какому пути следует итти и что надлежит принимать в основу своих расчетов, — советы ли опытных учреждений или фактические данные местного хозяйства? Ответ может быть только один: путь медленной эволюции, но не революции. Обязанность инженера так приспособить ирригационные сооружения и каналы, чтобы они могли удовлетворять принятым местным нормам и в то же

время позволяли постепенно вносить улучшение и экономию в поливное хозяйство. Нельзя без очень вредных экономических последствий изменить в короткий срок вековой хозяйственный уклад жизни. Поэтому в условиях существующего оросительного хозяйства необходимо, помимо исследований на опытных станциях в условиях рационального хозяйства, досконально изучить фактические поливные нормы и сроки поливов. Опытные станции дадут то, к чему надо стремиться; данные по фактическим хозяйствам установят то, от чего надо исходить и с чем надо считаться.

Сравнительно быстрое улучшение техники водопользования, то-есть сокращение поливных норм и введение правильной схемы и способа поливов, можно ожидать только в случаях применения механического подъема воды из источника орошения, ибо счета, оплачиваемые за потребляемое топливо, являются сильными аргументами для водопользователя в пользу уменьшения больших оросительных норм.

Нормы и сроки поливов, принятые в новых русских проектах орошения. Различными организациями Отдела земельных улучшений Министерства Земледелия, работавшими в период 1909—1918 гг. над составлением проектов орошения новых площадей в различных районах России, была произведена большая и кропотливая работа в целях установления норм и сроков поливов, как принятых в местной жизни, так и наиболее рациональных по достигаемым результатам. Были учтены в той или иной степени данные местных опытных учреждений, изучено местное водопользование и проделана аналитическая работа по сводке, увязке всех данных и по определению в конечном итоге проектных поливных и оросительных норм и сроков поливов. Эти данные легли затем в основания проектов орошения новых районов и переустройства старых оросительных систем. Они сведены в таблице 32.

Построение главного графика полива или графика отдачи воды из ирригационной системы на поля орошения.

Указанными выше способами определились те основные элементы, из которых складывается *главный поливной график*, то-есть график, показывающий когда и на какую культуру, в течение какого промежутка времени и какое количество воды должно быть подано системою. В конечном итоге, график должен показать, какой расход воды должна отдавать на поля орошения ирригационная система в каждый данный момент, поэтому этот график можно еще назвать *графиком отдачи воды из ирригационной системы*.

Указанные выше составные элементы поливного графика являются в свою очередь сложнейшими функциями многих переменных, точное установление коих не представляется возможным, поэтому определение каждого отдельного элемента следует производить в его вероятных предельных значениях, что, как выше указывалось, является вполне

достаточным для практических целей. Подчеркнем еще раз, что проектное установление названных величин не должен брать на себя инженер, проектирующий или руководящий эксплоатацией ирригационных систем. Эту задачу может решить только коллектив специалистов с участием соответствующих представителей государственной власти. Роль инженера ограничивается тем, что он должен поставить и подготовить вопрос.

Итак, будем считать определенными:

1. Площадь, действительно отводимую под орошение, $\Omega_д = \xi \times \Omega_{нет}$

2. Состав растений, предполагаемых к культивированию в данном районе; будем называть их культурой А, культурой Б и т. д.

3. Проектное распределение культур:

а) Нормальное:

под культурой А . . . . $p^{А}_{норм}$% и, следовательно,
общая площадь, занятая культурой А . . . . . $\Omega^{А}_{нор.} = \frac{\Omega_д \times p^{А}_{нор}}{100}$,

под культурой Б . . . . $p^{Б}_{нор.}$% и, следовательно,
общая площадь, занятая культурой Б . . . . . $\Omega^{Б}_{нор.} = \frac{\Omega_д \times p^{Б}_{нор.}}{100}$

и т. д.

б) предельно-интенсивное:

под культурой А . . . . $p^{А}_{инт.}$% и, следовательно,
общая площадь, занятая культурой А . . . . . $\Omega^{А}_{инт.} = \frac{\Omega_д \times p^{А}_{инт.}}{100}$,

под культурой Б . . . . $p^{Б}_{инт.}$% и, следовательно,
общая площадь, занятая культурой Б . . . . . $\Omega^{Б}_{инт.} = \frac{\Omega_д \times p^{Б}_{инт.}}{100}$

и т. д.

в) Предельно-экстенсивное:

под культурой А . . . . $p^{А}_{экст.}$% и, следовательно,
общая площадь, занятая культурой А . . . . . $\Omega^{А}_{экст.} = \frac{\Omega_д \times p^{А}_{экст.}}{100}$,

под культурой Б . . . . $p^{Б}_{экст.}$% и, следовательно,
общая площадь, занятая культурой Б . . . . . $\Omega^{Б}_{экст.} = \frac{\Omega_д \times p^{А}_{экст.}}{100}$

и т. д.

Некоторые культуры идут вторым посевом (после съема первой культуры), так что общая площадь, находящаяся под всеми культурами может быть больше $\Omega_д$, то есть площади действительно отводимой под орошение.

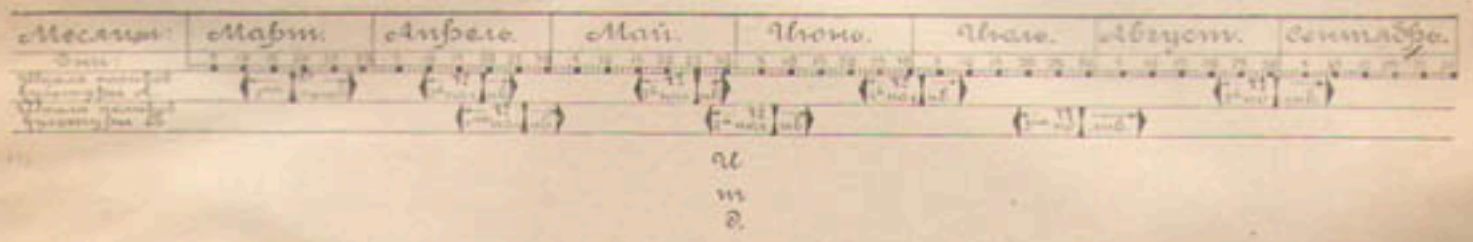
$$\Omega^{А} + \Omega^{Б} + \ldots\ldots\ldots\ldots \Omega^{Н} > \Omega_д$$

4. Нормы и сроки поливов.

		1-й полив.	2-й полив.	3-й полив.
Культура А	а) нормальные поливные нормы, в куб. саж.	x_1^A	x_2^A	x_3^A
	б) практически минимальные нормы (при интенсивном хозяйстве, умелом водопользователе, рациональной поливной сети), в куб. саж.	$x_{1,\ min.}^A$	$x_{2,\ min.}^A$	$x_{3,\ min.}^A$
	в) практически максимальные нормы (при экстенсивном хозяйстве, при неумелом водопользователе и нерациональной поливной сети), в куб. саж.	$x_{1,\ max.}^A$	$x_{2,\ max.}^A$	$x_{3,\ max.}^A$
	г) возможное растяжение поливов (время в днях)	τ_1^A	τ_2^A	τ_3^A
Культура Б	а) нормальные поливные нормы, в куб. саж.	x_1^B	x_2^B	x_3^B
	б) практически минимальные нормы, в куб. саж.	$x_{1,\ min.}^B$	$x_{2,\ min.}^B$	$x_{3,\ min.}^B$
	в) практически максимальные нормы, в куб. саж.	$x_{1,\ max.}^B$	$x_{2,\ max.}^B$	$x_{3,\ max.}^B$
	г) растяжение поливов (в днях)	τ_1^B	τ_2^B	τ_3^B

и другие.

5. Шкалы поливов: шкалы поливов устанавливаются на основании опытов и наблюдений в местных условиях. Они тесно связаны со шкалами вегетации и ориентируются по ним. Для каждой культуры, как выше указывалось, составляется отдельная шкала, на которой указываются наиболее желательные, а также предельные сроки поливов. Затем все шкалы устанавливаются одна под другой, опираясь на одну и ту же базу времени. (См. черт. 76).



Черт. 76. Шкалы поливов сельскохозяйственных культур.

Зная все вышеприведенные данные, мы прежде всего можем определить:

1. Общее количество воды, которое нужно дать в течение каждого полива каждой культуре по всему району орошения:

		За 1-й полив.	За 2-й полив.
Культуре А	Случай нормального хозяйства, в куб. саж.	$\Omega^{A}_{нор.} \times \varkappa^{A}_{1}$	$\Omega^{A}_{нор.} \times \varkappa^{A}_{2}$
	Случай предельно-интенсивного хозяйства, в куб. саж	$\Omega^{A}_{инт.} \times \varkappa^{A}_{1.\,min.}$	$\Omega^{A}_{инт.} \times \varkappa^{A}_{2\,min.}$
	Случай предельно-экстенсивного хозяйства, в куб. саж	$\Omega^{A}_{экст.} \times \varkappa^{A}_{1.\,max.}$	$\Omega^{A}_{экст.} \times \varkappa^{A}_{2.\,max.}$
Культуре Б	Случай нормального хозяйства, в куб. саж.	$\Omega^{Б}_{нор.} \times \varkappa^{Б}_{1}$	$\Omega^{Б}_{нор.} \times \varkappa^{Б}_{2}$
	Случай предельно-интенсивного хозяйства, в куб. саж . . .	$\Omega^{Б}_{инт.} \times \varkappa^{Б}_{1.\,min.}$	$\Omega^{Б}_{инт.} \times \varkappa^{Б}_{1.\,min.}$
	Случай предельно-экстенсивного хозяйства, в куб. саж . . .	$\Omega^{Б}_{экст.} \times \varkappa^{Б}_{1.\,max.}$	$\Omega^{Б}_{экст.} \times \varkappa^{Б}_{2.\,max.}$

И т. д.

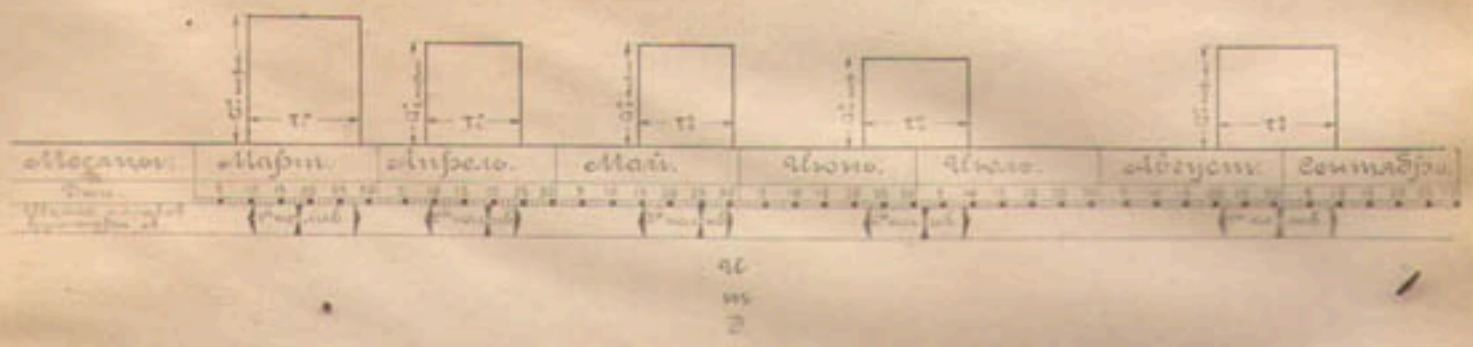
2. Секундный расход воды, который должен подаваться на поля орошения в течение известного промежутка времени, для орошения каждой культуры.

		В течение 1-го полива.	В течение 2-го полива.
Культура А	Случай нормального хозяйства, в куб. саж., в секунду	$\frac{\Omega^{A}_{нор.} \times \varkappa^{A}_{1}}{\tau^{A}_{1}} = Q^{A}_{1,\,нор.}$	$\frac{\Omega^{A}_{нор.} \times \varkappa^{A}_{2}}{\tau^{A}_{2}} = Q^{A}_{2,\,нор.}$
	Случай предельно-интенсивного хозяйства, в куб. саж., в секунду.	$\frac{\Omega^{A}_{инт.} \times \varkappa^{A}_{1.\,min.}}{\tau^{A}_{1}} = Q^{A}_{1,\,инт.}$	$\frac{\Omega^{A}_{инт.} \times \varkappa^{A}_{2.\,min.}}{\tau^{A}_{2}} = Q^{A}_{2.\,инт.}$
	Случай предельно-экстенсивного хозяйства, в куб. саж., в секунду.	$\frac{\Omega^{A}_{экст.} \times \varkappa^{A}_{1.\,max.}}{\tau^{A}_{1}} = Q^{A}_{2.\,экст.}$	$\frac{\Omega^{A}_{экст.} \times \varkappa^{A}_{1.\,max.}}{\tau^{A}_{2}} = Q^{A}_{2\,экст.}$

И т. д.

В дальнейшем будем рассматривать построение главного графика поливов только для случая нормального использования предполагаемого к орошению района. Для других случаев (предельно-интенсивного и предельно-экстенсивного) построения будут аналогичными.

Пользуясь шкалой поливов и только что определенными величинами секундных расходов, строим графики поливов для каждой культуры, как показано на чертеже (см. черт. 77), где приведен график полива только для культуры А. Для остальных культур построение графиков полива будет аналогичным.



Черт. 77. График полива культуры А.

На графике каждый полив какой-либо культуры представляется в виде прямоугольника с основанием, равным величине допустимого растяжения поливов и высотою, равной секундному расходу, требуемому для полива данной культуры во всем районе. Например, график полива для культуры А выражается в виде 5-ти прямоугольников, поставленных на абсциссу времени. Первый прямоугольник имеет основание, равное $\tau^{A}_{1.}$ (допустимому растяжению первого полива в днях) и высоту, равную $Q^{A}_{1\text{ вор.}}$ (секундному расходу в куб. саж., потребному для первого полива культуры А на всей площади, занятой данной культурой $\Omega^{A}_{1\text{ вор.}} = \frac{\Omega_{\text{к.}} \times p^{A}_{\text{вор.}}}{100}$). Таким образом, ординаты на графике выражают секундные расходы в куб. саж. Площадь первого прямоугольника равная $Q^{A}_{1\text{ вор.}} \times \tau^{A}_{1.} \times 86400$, очевидно выражает общее количество воды в куб. саж., которое необходимо подать на поля орошения, занятые культурой А, в течение первого полива. Аналогично построение и значение остальных прямоугольников, показанных на том же графике.

Проделав такую же работу для всех остальных культур, получим для каждой культуры свой своеобразный график полива. Перенеся на одну шкалу времени поливные графики всех культур или же, с самого начала ведя построение поливных графиков всех культур на одной и той же абсциссе времени, мы получим суммарный поливной график, дающий полную проектную картину распределения воды по времени, по количеству и по культурам. Такой график мы назвали главным поливным графиком или графиком отдачи воды на поля орошения (см. черт. 78).

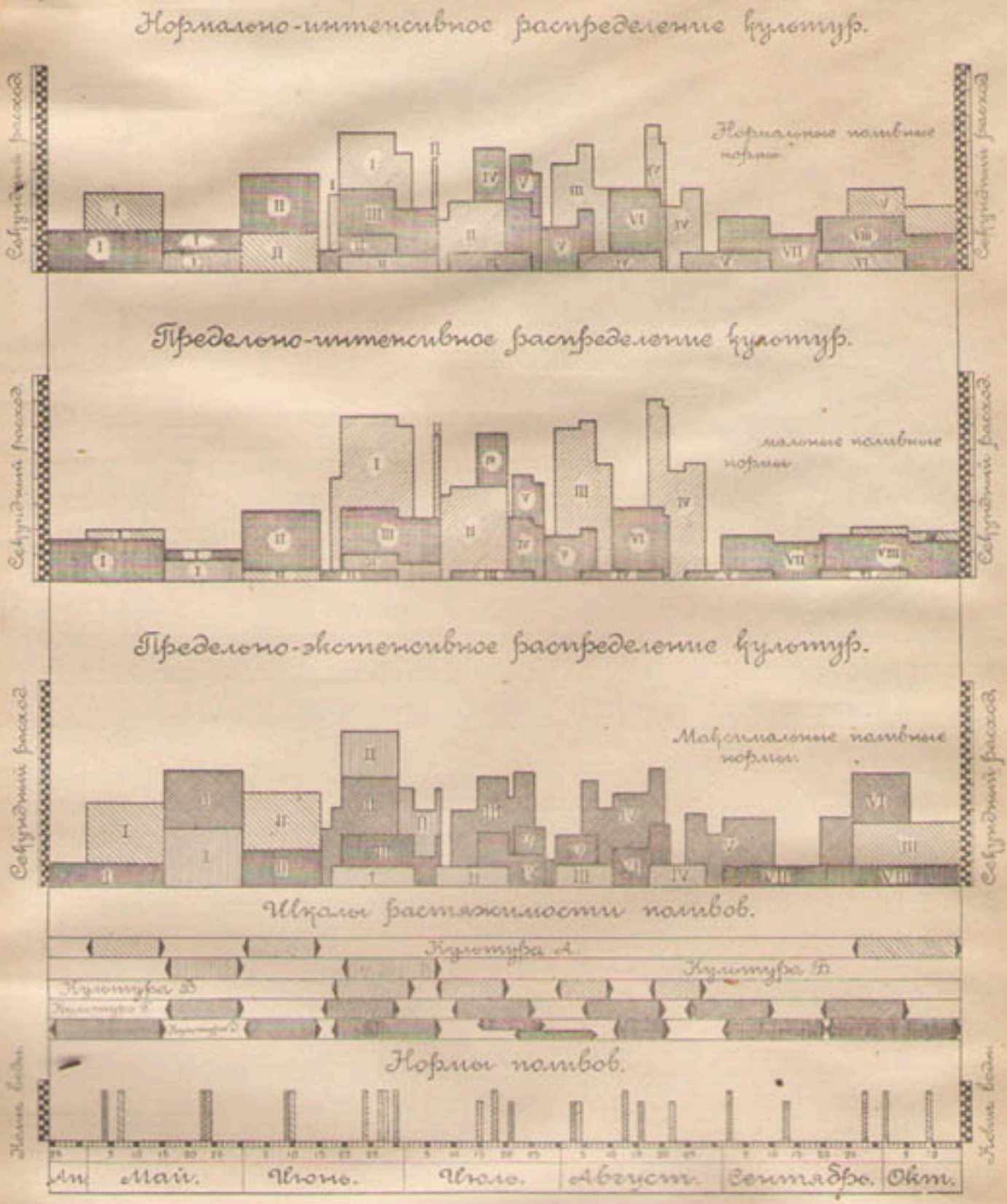
Оперируя с расходами:

$Q^{A}_{1.\text{ нит.}}$ $Q^{A}_{2.\text{ нит.}}$ . . . . ; $Q^{B}_{1.\text{ нит.}}$, $Q^{B}_{2.\text{ нит.}}$ . . . . ; $Q^{B}_{1.\text{ нит.}}$ . . . . и т. д.

$Q^{A}_{1.\text{ зер.}}$ $Q^{A}_{2.\text{ зер.}}$ . . . . ; $Q^{B}_{1.\text{ зер.}}$, $Q^{B}_{1.\text{ зер.}}$ . . . . ; $Q^{B}_{1.\text{ зер.}}$ . . . . и т. д.

и произведя построения, аналогичные только что указанным, получим главные графики полива также и для предельно-интенсивного и экстенсивного использования предназначенного к орошению района (см. черт. 78).

Таким образом, в результате будем имѣть три проектных графика, отвѣчающих различным предположениям и отражающих возможные измѣнения совокупности факторов, опредѣляющих водно-хозяйственную жизнь



Черт. 78. Графики отдачи воды на поля орошения при нормальном, предельно-интенсивном и предельно-экстенсивном распределении культур.

будущего культурного района. Очевидно, рационально спроектированная ирригационная система должна быть в состоянии отдавать воду на поля по любому из указанных графиков, то есть обладать достаточной гибкостью

в пропускной своей способности. В районах, в которых культивируются ценные технико-промышленные растения, иногда в период острой нужды государства в этих растениях, приходится отводить под них значительные площади, предусматриваемые случаем предельно-интенсивного распределения культур, хотя навыки земледельцев и техника водопользования могут еще не получить должного развития и поливные и оросительные нормы еще не достигают практически минимальных пределов. Такое преждевременное форсирование района орошения может длиться в течение нескольких лет (например, в период войны). Желательно, чтобы ирригационная система могла бы удовлетворить и этому случаю, но при условии что общая стоимость ее устройства повысится очень мало или же не изменится вовсе. Итак, это — случай предельно-интенсивного распределения культур ($\Omega^{A}_{вост.}$, $\Omega^{Б}_{вост.}$ . . .) и нормальных поливных норм (z^{A}_{1} z^{A}_{2} . . . $z^{Б}_{1}$ $z^{Б}_{2}$ . . . и т. д.). Для него может быть построен специальный главный график полива, который нужно будет сопоставить с тремя предыдущими и вместе с ними положить в основу расчета ирригационной системы.

До сих пор речь шла о новых проектах. Очевидно, что для уже орошенных районов составление главного графика поливов или, вернее, получение для его построения необходимых данных является делом уже более простым. Такие графики имеют чисто-эксплоатационное назначение—(так как сооружения и каналы уже построены) и целью их является составление плана водораспределения на предстоящий ороси-тельный сезон. Предполагаемое распределение культур определяется, как уже указывалось, на основании заявлений водопользователей (или опроса их), а поливные нормы и сроки устанавливаются практикой предыдущих лет. На основании данных опытных станций и рационально поставленных хозяйств следует в существующие нормы и сроки постепенно вводить некоторые модификации в сторону экономии и рационализации водопользования.

Потери воды в ирригационной системе и коэффициент полезного действия.

Виды потерь воды в системе. Понятие о коэффициенте полезного действия системы. Ординаты графика отдачи воды показывают величину секундного тока, который должна передавать водопользователям, то-есть на поля орошения, ирригационная система в данный момент времени ($Q_{пол.}$). Если бы ирригационная система представляла собой идеальное водопередаточное и водораспределительное сооружение, работающее с коэффициентом полезного действия равным единице, то очевидно, что из источника орошения необходимо было бы забирать только то количество воды, которое следует передать на поля орошения, то-есть — $Q_{пол.}$. Однако, ирригационная система, как и всякое сооружение не работает идеально и передача воды по каналам,—

магистральному, распределителям и оросителям, общей длиной в несколько десятков верст, а в больших системах и свыше сотни верст, не может конечно, обойтись без потерь.

В зависимости от различных причин происхождения потерь в системе, мы будем различать прежде всего следующие виды их:

1) на фильтрацию через дно и откосы каналов;

2) на испарение капиллярно-поднимающейся воды с поверхности фильтрационнаго потока, протекающаго через тело дамб, назовем этот вид потерь—потерей через всасывание;

3) на испарение с поверхности воды в каналах, а в случае, если в ирригационную систему входит водохранилище, то и с поверхности последнего.

Далее, разделение потока воды, взятого из источника орошения, на громадное количество отдельных струек, которыми вода подается отдельным водопользователям, не может также обойтись без соответствующих потерь:

4) благодаря неправильному учету воды и недосмотру при ее распределении;

5) в связи с необходимостью (вследствие несовершенства системы) пропуска по каналам излишняго расхода воды для поддержания в них горизонта, обеспечивающего командование местностью;

6) на утечку через шлюзы, благодаря неплотному закрытию затворов.

Сумма потерь по водопередаче и водораспределению (ΣQ_i) в обычных системах (без бетонной одежды в каналах) достигает весьма больших размеров, так что обычно коэффициент полезного действия ирригационной системы бывает невысоким.

Очевидно, что $Q_{гол.}$ (т. е. расход воды, забираемой головным сооружением из источника орошения для обеспечения подачи на поля водопользователям расхода, $Q_{пол.}$) должен быть равен:

$$Q_{гол.} = Q_{пол.} + \Sigma Q_i.$$

Таким образом, коэффициент полезного действия системы (как водопередаточного и водораспределительного сооружения)

$$\eta = \frac{Q_{пол.}}{Q_{гол.}} = \frac{Q_{пол.}}{Q_{пол.} + \Sigma Q_i} = \frac{1}{1 + \frac{\Sigma Q_i}{Q_{пол.}}} = \frac{1}{1+\Theta},$$

где

$$\Theta = \frac{\Sigma Q_i}{Q_{пол.}}$$

Из простого перечня потерь, приведенного выше, уже легко заключить, что в связи с усовершенствованием системы, величина их будет уменьшаться, а, следовательно, коэффициент полезного действия будет увеличиваться, ибо потери по пунктам 4, 5 и 6 в сильной степени зависят от опытности эксплоатационного штата, находятся до известной степени в его руках и с течением времени могут быть в сильной степени сокращены. Величина η изменяется не только из года в год, но и в те-

чение одного и того же года, достигая наивысшего значения в период наибольшего напряжения оросительного сезона. Это будет ясно при анализе сущности отдельных потерь.

Потери на фильтрацию через дно и откосы каналов. Потери на всасывание. Эти два вида потерь тесно между собою связаны и не могут быть каждый в отдельности обнаружены и выражены в числовой форме. Вода, теряемая вследствие фильтрации, движется вниз к подпочве под действием силы тяжести. В противоположность капиллярной воде эта гравитационная вода не удерживается почвой, но, просачиваясь вниз, достигает уровня грунтовых вод и путем подземного стока попадает в естественные и искусственные дренажные коллекторы. В случае, если в подпочве имеется слой hardpan'a, не дающий возможности просачивающейся воде соединиться с естественными грунтовыми водами, образуется так называемый висячий горизонт грунтовых вод, при чем подземный сток в этом случае определяется уклоном поверхности hardpan'a и его направлением.

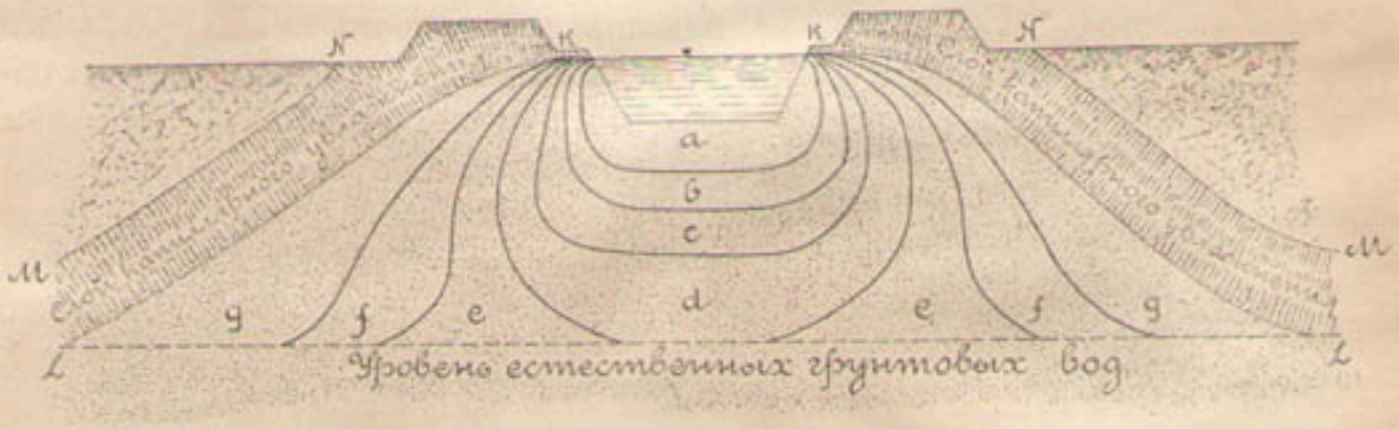
Под потерями через всасывание подразумеваются потери, вызываемые действием капиллярных сил. Вода из каналов будет впитываться в дамбы и бермы и по законам капиллярности будет распространяться от мокрого слоя к окружающей его сухой почве, двигаясь по всем направлениям, вверх, горизонтально и вниз, и остановится тогда, когда будет достигнут предел влияния капиллярных сил, различный для разных почв. Благодаря капиллярному всасыванию, вода сможет подниматься из каналов через тело дамбы на ее поверхность и отсюда будет испаряться.

Потери на всасывание достигают максимальных размеров, когда сухой канал наполняется в первый раз водою, но, затем, во время работы канала они имеют весьма малое значение. Потери на фильтрацию продолжаются все время, пока работает канал и пока уровень грунтовых вод, постепенно повышаясь, не поднимется выше уровня дна канала.

Нарисуем теперь схематически картину явлений, сопровождающих просачивание воды из действующего канала и возьмем наиболее простой случай, когда канал проходит по пологому водоразделу прорезаемый им грунт на значительную глубину более или менее однороден и водопроницаем (например, представляет средней плотности суглинок или супесь), уровень же грунтовой воды залегает на некоторой глубине, ниже дна канала. Когда канал только что открыт и начинает работать, грунт, окружающий канал, начинает насыщаться водою. Каждая, просачивающаяся в грунт частица воды, подвержена, во-первых, действию собственной силы тяжести, направляющей ее вертикально вниз, во-вторых, действию давления (водяного столба, находящегося над нею), направляющего ее вниз и в стороны и, в-третьих, капиллярному притяжению, действующему вверх, вниз и в стороны. Общая картина просачивания показана на чертеже 79.

В первый промежуток времени после начала действия канала насыщается водою зона *a*, во второй—насыщение доходит до зоны *b*, в третий—до *c* и т. д., пока, наконец, не наступит момент, когда просачивающаяся вода коснется горизонта грунтовой воды. После этого дальнейшее просачи-

жение вниз будет невозможным и движение просачивающейся из канала воды, как будто, должно само собою остановиться в каком-то поясе вокруг него или, по крайней мере, стать менее всякой уловимой величины. Последняя кривая *KL* на чертеже схематически ограничивает ту зону, которая насыщается просачивающейся из канала водой и далее которой просачивание, в случае, если горизонт грунтовых вод не будет подниматься (то-есть если отток фильтрующейся воды, вследствие движения грунтовой воды, обеспечен), не распространится. Чертеж 79 показывает, что на поверхности естественных грунтовых вод, вследствие фильтрации из канала, образуется водяной гребень, вершиной своей соприкасающийся со смоченной



Черт. 79. Схематическая картина фильтрации воды из канала и капиллярного всасывания ее с поверхности фильтрующегося потока к сухим слоям почвы и к поверхности земли.

поверхностью канала. Вода, фильтруясь через дно и откосы, протекает вниз все более и более широким слоем и, наконец, достигая поверхности грунтовых вод и сливаясь с ними, уносится общим движением подземного потока к естественным или искусственным водоприемникам. Наконец, под действием капиллярных сил вода проникает в слой *KLMN*, пропитывает его и, поднимаясь на поверхность дамб и берегов, испаряется. Взамен испарившейся воды поступает новая, подводимая теми же капиллярными силами.

На величину потерь через фильтрацию и всасывание из каналов существенно влияют следующие факторы:

а) характер грунта, в котором пролегает канал (его структура, величина отдельных зерен, водопроницаемость, капиллярность и проч.);
б) глубина горизонта грунтовых вод и условия подземного тока, дренирующего почву;
в) величина смоченной поверхности работающих каналов;
г) скорость движения воды в них;
д) мутность воды и размеры частиц взвешенных наносов;
е) возраст канала;
ж) глубина воды в канале;
з) температура воды и почвы;
и) род одежды смоченной поверхности каналов;
к) прохождение канала в дамбе или выемке.

Остановимся несколько подробнее на каждом из перечисленных факторов.

а) Характер грунта, в котором пролегает канал. Величина фильтрации значительно больше в гравелистом и крупнопесчаном грунте, чем в суглинистом, а в последнем больше, чем в глинистом. Происходит это, главным образом, вследствие уменьшения скорости протекания воды через грунт при уменьшении величины частиц (зерен) последнего (уменьшение величины зерен вызывает увеличение общей поверхности частиц, заключенных в единице объема, что создает для фильтрующейся воды большую поверхность трения). Таким образом, чем больше величина зерен грунта, в котором проложен канал, тем больше будут и потери на фильтрацию. Что же касается величины потерь через всасывание, то последняя увеличивается с уменьшением зерен, то-есть с увеличением капиллярности; но так как потери через всасывание значительно меньше потерь через фильтрацию, то общая сумма потерь будет больше в крупно-зернистых грунтах, чем в суглинках и глинистых грунтах.

б) Глубина горизонта грунтовых вод. Усиленная фильтрация воды из каналов может легко вызвать подъем грунтовых вод, с чем, обыкновенно, связано уменьшение потерь на просачивание. Уровень грунтовых вод может даже подняться выше дна канала и вместо потерь создать приток. Благодаря этому каналы, расположенные по верхней границе орошаемой площади или по водоразделу, теряют большее количество воды, чем проведенные по пониженным местам, так как в последние могут поступать дренажные воды с вышерасположенных орошаемых земель.

в) Величина смоченной поверхности каналов. Все наблюдения и опыты указывают на прямую зависимость между количеством теряемой воды и величиной смоченной поверхности каналов. Наибольшие потери происходят через дно; потери на откосах уменьшаются с уменьшением глубины воды.

г) Скорость движения воды в каналах. Влияние скорости течения различно. Большая скорость может произвести размывание канала и смыть тонкий наносный слой, обнажив при этом пористое дно и откосы канала, что вызовет усиление фильтрации. Вместе с тем большие скорости не допускают отложения ила, переносимого водой во взвешенном состоянии и несколько препятствуют проникновению в поры грунта вместе с фильтрационной водой мельчайших частичек ила, то-есть противодействуют закупорке пор. С другой стороны теоретически возможно ожидать, что увеличение скорости воды, текущей под прямым углом к направлению линий просачивания, будет действовать в сторону уменьшения величины потерь, в результате чего этот эффект может оказаться выше предыдущего. И действительно, опыты, произве-

денные Департаментом Земледелия Соед. Штат., показали, что потери на просачивание из каналов больше при неподвижной воде в них, чем при воде, находящейся в движении. При очень малых скоростях разница почти незаметна, но уже донные скорости в 1,5 фута в секунду и выше для мелких каналов и несколько большие для глубоких каналов оказывают влияние на уменьшение потерь. Увеличение донных скоростей выше указанных пределов вызывает дальнейшее уменьшение просачивания, но не в той степени, как в случае, когда вода от состояния покоя переходит к движению со скоростью 1,5 фута в секунду.

Следующие измерения, произведенные в 1909 году Bailey'ем на 33-х верстном участке главного канала Modesto и на 27-ми верстном участке главного канала Turlock, показывают совместное влияние увеличения глубины воды в канале и соответствующего увеличения скорости на величину потерь.

ТАБЛИЦА 33.

Наблюдения на главном канале Modesto (длина 33 версты).

Расход, в куб. фут. в секунду.	Глубина воды, в футах.	Средняя скорость, в футах в секунду.	Общее количество потерь, в куб. фут. в секунду.	ПРИМЕЧАНИЕ.
44	0,62	1,00	15,9	Наименьший рабочий расход канала.
77	0,90	1,25	9,0	Расход, соответствующий абсолютным наименьш. потерям в канале.
522	3,29	2,7	35,0	Наибольший рабочий расход в канале.

Увеличение глубины воды и соответствующее увеличение смоченной поверхности способствует увеличению количества потерь на просачивание, но так как вместе с увеличением глубины возрастает и донная скорость, с чем связано уменьшение потерь, то в конечном итоге общая величина потерь уменьшится.

Приведенные выше соображения о действии скорости течения на величину просачивания показывают, что, в известных пределах, пока не начнется размывание маловодопроницаемых илистых пленок, отложившихся на дне и откосах канала, большие скорости течения обусловливают меньшую потерю на просачивание. Отсюда можно заключить, что из двух участков канала, имеющих одни и те же размеры, но различные уклоны, тот участок, который обладает большим уклоном и вследствие этого большей скоростью

ТАБЛИЦА 34.

Наблюдения на главном канале Turlock (длина 27 верст).

Расход, в куб. фут. в секунду.	Глубина воды, в футах.	Средняя скорость, в футах в секунду.	Общее количество потерь, в куб. фут. в секунду.	ПРИМЕЧАНИЕ.
70	0,6	1,2	29,2	Наименьший рабочий расход канала.
400	3,0	2,8	15,0	Расход, соответствующий абсолютным наименьш. потерям в канале.
865	6,0	3,5	30,5	Наибольший рабочий расход в канале.

(но до известного предела), будет иметь не только большую пропускную способность, но и меньшие потери на просачивание.

Действие растительности в каналах на размеры просачивания тесно связано с действием скорости. Растительность уменьшает скорости, особенно у дна и откосов канала, в результате чего потери увеличиваются. Однако, здесь имеет место и обратное явление, так как вследствие уменьшения скоростей увеличивается отложение взвешенных частиц, с чем связано понижение потерь на просачивание. Окончательный результат в каждом частном случае, очевидно, будет зависеть от превалирующего значения того или иного процесса.

д) Мутность воды. Чем больше мутность воды, то-есть чем больше взвешенных наносов несет оросительная вода, тем вероятнее отложение их на дне и откосах каналов и образование таким образом мало водопроницаемой пленки. Действительно, вода, фильтрующаяся через смоченную поверхность канала, уносит с собой мельчайшие илистые частицы, отлагает их вследствие уменьшения скорости в порах грунта и в конце концов закупоривает все поры в верхнем слое грунта, окружающем русло канала. Таким образом, создаются условия, благоприятствующие уменьшению потерь воды на фильтрацию из каналов.

е) Возраст канала. Всякий канал со временем, обыкновенно, становится менее водопроницаемым, вследствие отложения ила по его смоченной поверхности и закупорки пор грунта, за исключением случаев, когда в канале допущены размывающие скорости.

ж) Температура воды и почвы. Температура воды и почвы имеет так же некоторое влияние на величину потерь через просачивание. Повышение температуры уменьшает вязкость воды и тем

увеличивает фильтрацию. Формулы, выражающие скорость движения грунтовых вод, имеют согласно закону Дарси общий вид:

$$\mathfrak{B} = K \,.\, J$$

где $\mathfrak{B}$ — количество воды, фильтрующееся в единицу времени через единицу площади или так наз. скорость фильтрации;

K — коэффициент фильтрации;

J — гидравлический градиент;

Коэффициент фильтрации K представляется обычно в виде двух множителей:

$$K = K_0 \,.\, \tau,$$

из которых τ выражает влияние температуры воды, так что

$$\mathfrak{B} = K_0 \,.\, \tau \,.\, J.$$

Температурный коэффициент обычно выражается в виде двучлена:

$$\tau = a + b\,t,$$

где t — температура по Цельсию.

Например, по Хазену (Hazen, Al.) и Балдуин Уайзмену (Baldwin-Wiseman).

$$\tau = 0\,.\,7 + 0\,.\,0\,3\,t.$$

Таким образом скорость фильтрации до некоторой степени пропорциональна температуре. Повышение температуры с 10° по Цельсию до 20° должно увеличить скорости течения грунтовой воды, а следовательно, и потери на просачивание на 30%. Кеннеди (Kennedy, K. G.) на основании наблюдений утверждает, что в Пенджабе, в Индии, величина потерь на просачивание для 6-ти теплых месяцев (с апреля до сентября) на 50% больше, чем для 6-ти холодных месяцев (с октября по март), а для 3-х наиболее жарких летних месяцев потери более чем вдвое выше, чем для 3-х наиболее холодных. Факт уменьшения потерь при уменьшении температуры воды заставляет стремиться при проектировании придавать каналам большие глубины, потому что в глубоких каналах, имеющих меньшую величину водной поверхности, температура воды сохраняется всегда ниже, чем в мелких.

3) Глубина воды в канале. Влияние глубины воды в канале на величину просачивания обыкновенно сильно переоценивается. По последним наблюдениям признается, что величина просачивания изменяется пропорционально корню кубическому из глубины. Однако, пока еще нельзя утверждать, что именно такая зависимость существует. Потери должны зависеть не только от глубины воды, но так же и от толщи грунта, через который воде приходится просачиваться, а также от целого ряда других условий.

В тех случаях, когда просачивающаяся вода принуждена проходить через очень большую толщу грунта, глубина воды в канале имеет очень малое влияние на потери; но если фильтрующейся воде приходится проходить сравнительно тонкий слой грунта до смыкания с горизонтом грунтовых вод, то величина потерь будет сильно зависеть от глубины воды. Ниже в таблице 35 приведены результаты опытов, произведенных Отделением Ирригационных Исследований Департамента Земледелия Соед. Штатов. Обыкновенный тяжелый суглинок (ordinary clay loam) был уложен в ящики слоем в 3 фута толщиною и поддерживал снизу проволочной сеткой. Над поверхностью грунта находился слой воды различной глубины; просачивающаяся вода собиралась и измерялась.

Опираясь на приведенные и аналогичные опыты, крупнейшие американские гидротехники делают неправильные выводы, напр., Этчеверри (Etcheverry) полагает, что потери на просачивание могут быть приняты пропорциональными квадратному корню из глубины, Дэвис же (Davis, A.) указывает на пропорциональность величины потерь корню кубическому из глубины. Между тем, вышеприведенные опыты только лишний раз подтверждают правильность закона Дарси, по которому скорость фильтрации $\mathfrak{V}$ (расход фильтрующейся воды через единицу площади) пропорциональна гидравлическому градиенту J, то-есть отношению напора воды к толщине слоя грунта, через который происходит фильтрация ($\Delta h = \mathfrak{V} = KJ$).

В самом деле, если обозначим толщину грунта через d, то $J = \frac{d+h}{d}$ подставляя в это выражение вместо d и h цифровые значения опыта (см. таблицу 35), получим величины J для каждого случая, при чем не трудно убедиться, что Δh прямо пропорционально J (коэффициент фильтрации K остается постоянным).

ТАБЛИЦА 35.

Глубина слоя воды, находившейся над грунтом, в футах (h).	Глубина слоя воды, просочившейся через грунт за 24 часа, в футах (Δh).	Отношение потери к корню кубическому из глубины	Отношение потери к корню квадратному из глубины.	Гидравлический градиент $J = \frac{d+h}{d}$	$\frac{\Delta h}{J} = \frac{\mathfrak{V}}{J} = K$
3,0	0,98	0,68	0,57	2,000	0,49
2,5	0,88	0,65	0,56	1,833	0,48
2,0	0,76	0,60	0,54	1,667	0,46
1,5	0,68	0,59	0,56	1,500	0,45
1,0	0,58	0,58	0,58	1,333	0,44
0,5	0,52	0,66	0,73	1,167	0,45

и) Род одежды смоченной поверхности каналов.

Так как потери на фильтрацию и всасывание происходят через

смоченную поверхность, то, очевидно, всякая искусственная защита последней,—покрытие ее облицовкой из тонкого слоя цемента или бетона, или из плотной утрамбованной глины, или хотя бы только поливка слоем нефти и маслянистых веществ,—может значительно уменьшить величину потерь.

к) Потери на участках в дамбах и выемках. Основным принципом устройства дамб является создание плотного, по возможности маловодопроницаемого тела, с каковой целью обращается внимание, как на качество грунта, из которого возводится дамба, так и на способ производства работ; насыпка дамбы должна производиться тонкими слоями с тщательной утрамбовкой, укаткой и поливкой каждого отдельного слоя. Фильтрующаяся вода встречает в искусственно возводимых дамбах большее сопротивление своему движению, чем в выемках Поэтому на участках канала, проходящих в дамбах, потери воды должны быть при прочих равных условиях меньше, чем на участках в выемках.

Обширные опыты, произведенные Дон Барком в 1911—1912 гг. на каналах в Айдаго с разными расходами (от 0,03 до 91 кб. метра в секунду), на общей длине в 430 верст, при разных условиях, дали ему основание утверждать, что величина потерь, если ее выражать толщиной того слоя воды, который сможет просачиваться в течение суток через 1 кв. метр смоченной поверхности, может максимально достигать до 1,90 метра и в среднем выражается высотой слоя в 0,36 метра. Дон Барк находит, что можно установить следующий критерий для определения состояния канала

Канал находится в плохом состоянии, если в среднем потери превышают 0,45 метра в сутки на 1 кв. метр.

Канал находится в посредственном состоянии, если в среднем потери меньше 0,45 метра и больше 0,30 метра в сутки.

Канал находится в хорошем состоянии, если в среднем потери меньше 0,30 метра и больше 0,15 метра в сутки.

Канал находится в превосходном состоянии, если в среднем потери меньше 0,15 метра в сутки.

При потерях свыше 0,45 метра слоя воды в день уже следует взвешивать вариант покрытия смоченной поверхности каналов водонепроницаемой одеждой в виде отложения слоя ила, глины или покрытия бетонной облицовкой той или иной толщины, ибо, если вода дорога и вред причиняемый просачивающейся водой значителен, может оказаться выгодным применение водонепроницаемой одежды.

Из вышеприведенного анализа потерь на просачивание из каналов видно, от какого большого количества факторов зависит величина потерь, поэтому совершенно очевидно, что облечение этой зависимости в точную математическую форму дело безнадежное. Однако, в силу необходимости как-то оценивать (при проектировании каналов) возможную приблизительную величину потерь, многие исследователи старались создать экспериментальные формулы, как можно ближе отвечающие имеющимся много-

численным наблюдениям по потерям воды. К этому вопросу мы еще вернемся в одной из следующих глав.

3. Потери на испарение. По сравнению с потерями на фильтрацию, потери воды через испарение с водной поверхности каналов являются ничтожно малыми и редко достигают 10% от общей величины потерь, обычно же они не превышают 5%. В виду этого, для каналов выражение „потери на просачивание" часто употребляется в смысле „потерь в пути", „потерь при передаче воды", то есть потери на испарение особо не выделяются. Малая величина потерь на испарение может быть объяснена тем, что водная поверхность в каналах (с которой происходит испарение) ничтожно мала по сравнению с объемом воды протекающим по ним. В водохранилищах, где вода находится в покое и отношение водной поверхности к объему воды значительно больше, величина потерь на испарение сильно возрастает.

4. Потери в связи с недосмотром и неправильным учетом воды при распределении. Вода, забираемая из источника орошения, проносится главным каналом в орошаемый район и там распределяется через шлюзы в распределительные каналы, а затем, опять таки через шлюзы, в оросители. При водообороте вода должна передаваться в каждый из распределителей и оросителей в течение определенного промежутка времени, поэтому, если шлюзы-распределители и шлюзики-оросители будут открыты раньше времени или закрыты позже, часть общего количества воды истратится вне намеченной программы. Кроме того, вполне возможны случаи, когда степень открытия щитов в названных шлюзах будет, по недосмотру или вследствие злой воли заинтересованных водопользователей, несколько большей, чем это требуется для пропуска определенного по плану количества воды. В общей сложности, указанные потери при неумелом эксплоатационном штате могут вырасти в солидную величину.

По наблюдениям Кеннеди, произведенным на Индийских системах, на 12 распределителях совокупной длиной до 375 верст с расходами от 2 до 5,5 куб. метров в секунду, помимо потерь в пути (величина коих приведена ниже в таблице 37) еще теряется на непроизводительные утечки через шлюзы на мелких выпусках и распределителях около 8% от максимального рабочего расхода каналов.

5. Потери в связи с необходимостью пропускать излишний расход для поддержания горизонта командования в каналах. Большинство существующих ирригационных систем было запроектировано и построено без заранее разработанного плана водооборота. При переходе их в эксплоатацию сплошь и рядом оказывалось, что, когда главный канал должен работать неполной нагрузкой, горизонт воды в нем недостаточен для питания распределителей тем расходом, который требуется по плану водораспределения. Поэтому возникала необходимость в искусственном подъеме горизонта воды в каналах или при помощи специально устрои-

ваемых в соответствующих местах поперечных преграждений, подпирающих воду до требуемого горизонта, или пропуском излишнего количества воды. Так как для устройства поперечных преграждений необходимы новые затраты денежных средств, а пропуск излишнего количества воды, если источник орошения достаточно обилен, не вызывает никаких прямых дополнительных расходов, то вполне естественно, что большею частью для подъема горизонта воды в каналах пользуются вторым методом. Только острый недостаток воды в источнике орошения (в связи с потребностью орошения новых земель) или установление платы за каждый куб воды, поступающий в оросительную систему, могут послужить стимулом для возведения необходимых поперечных преграждений с целью уменьшения потерь воды на поддержание достаточно высоких горизонтов.

Коэффициент полезного действия. Заканчивая этим характеристику различных видов потерь, в дальнейшем, для лучшего понимания сущности работы ирригационной системы, как водопередаточного и водораспределительного сооружения, вернемся снова к вопросу о коэффициенте полезного действия. Кривую потребления воды приходится устанавливать в самом начале проектной работы, когда еще не запроектированы и не протрассированы ни главные каналы, ни распределительная и оросительная сеть, следовательно не может быть и речи о какой-либо возможности более или менее точно учесть величины потерь по отдельным вышеперечисленным видам. К вопросу можно подойти только с весьма грубым приближением, учитывая сразу всю совокупность потерь в целом, то-есть устанавливая приближенно коэффициент полезного действия проектируемой системы на основании сходства данной системы с какой-либо из существующих по роду грунта, по предполагаемой длине каналов, по типу рельефа, по глубинам залегания грунтовых вод, по характеру предполагаемой эксплоатации и прочее. Метод определения искомых величин в их возможных пределах может и в этом случае оказать существенную помощь и упрощение, так как определять точную величину η не потребуется, а нужно лишь будет установить максимальный и минимальный пределы, в которых может колебаться коэффициент полезного действия то-есть $\eta_{мин.}$ и $\eta_{макс.}$

Такой метод тем более уместен, что коэффициент полезного действия для одной и той же системы не остается постоянным, но изменяется с течением времени, так как каналы постепенно заиляются, фильтрация из них (благодаря покрытию смоченной поверхности каналов на участках с усиленной фильтрацией водонепроницаемой одеждой) уменьшается, эксплоатационный штат научается экономному водораспределению и прочее. В результате получается уменьшение потерь и возрастание коэффициента полезного действия, что можно видеть из приводимых ниже в таблице 36 примеров из отчетов Отдела Ирригационных Исследований Департамента Земледелия Соед. Штат.

Таблица 36.

Наименование ирригационной системы.	Штат Сев. Ам.	Годы наблюдений.	Коэффициент полезного действия.
I. Санривер (Sunriver) . .	Монтана.	1910	0,31
„ „ . . .	„	1911	0,48
II. Юматилла (Umatilla) . .	Орегон.	1910	0,59
„ „ .	„	1911	0,62
III. Соннисайд (Sunnyside) . .	Вашингтон.	1901	0,41
„ „ . .	„	1910	0,62
„ „ . .	„	1911	0,71

Новые системы (с необлицованными каналами) редко имеют коэффициент полезного действия больше 0,40; в старых же системах, находящихся в хороших условиях, этот коэффициент может подниматься до 0,65—0,70. Таким образом, по самому своему существу, коэффициент полезного действия есть величина переменная; следовательно, при составлении проекта необходимо учитывать возможные пределы его изменения. Вместе с тем надо помнить, что заселение орошенного района происходит не сразу, что новые системы не имеют полной нагрузки и что пройдет много лет, пока система будет загружена хотя бы до 70% полной загрузки; часть воды, предназначенной для орошения всей территории, временно будет оставаться свободной. В первые годы эксплоатации, следовательно, коэффициент полезного действия будет низким. Но за то и загрузка системы будет далеко не полной, так что в конечном итоге в воде не будет недостатка.

До сих пор мы говорили об изменении с годами коэффициента полезного действия системы, но, совершенно очевидно также, что он должен изменяться и в течение каждого отдельного эксплоатационного года, так как факторы, определяющие потери в системе, сами изменяются весьма сильно. Так, например, хотя весною и осенью по каналам протекает в несколько раз меньший расход воды, чем летом во время наиболее интенсивной работы системы, однако, смоченная поверхность изменяется сравнительно немного (см. черт. 80) и нет прямой пропорциональности между уменьшением расхода, протекающего по каналам и величиною потерь в пути и при распределении. Коэффициент η достигает своей максимальной

Черт. 80.

величины (в течение оросительного сезона) при полной работе системы, когда каналы работают максимальным расходом и когда относительный процент потерь на просачивание сильно уменьшается. В это же время умень-

РАЙОНЫ.	Наименование ирригационной системы.	Год наблюдений.	Потери при распределении, в процентах
Фергана	Исфаринская	—	—
Сыр-Дарьинская обл.	Иски-Ташкентская	—	—
Самаркандская обл.	Дам-Арыкская (Катта-Курганский уезд),	—	—
Фергана	Гур-Тепинская	—	—
Самаркандская обл.	Голодностепская, на участке Алексеевского поселка (первые годы эксплоатации)	—	—
Фергана	Система Янги и Зурек	—	—
Штат Монтана С. Ш. С. А.	Сан-ривер (Sun River)	1910	56
Тоже	Тоже	1911	32,4
Тоже	Тоже	1912	22,6
Штат Айдаго С. Ш. С. А.	Миндока. Северная часть	1910	—
Тоже	Миндока. Южная часть	1911	—
Тоже	Миндока. Северная и Южная части.	1912	13,5
Штат Орегон С. Ш. С. А.	Кламате (Klamath)	1911	4,2
Тоже	Тоже	1912	—
Штат Новая Мексика С. Ш. С. А.	Карлсбад	1911	—
Тоже	Карлсбад	1912	6,5
Штат Небраска	Норсплат	1911	1,3
Штат Юта	Бир-ривер (Bear River)	1905	2
Штат Вашингтон	Оканоган	1910	—
Тоже	Тоже	1911	—
Тоже	Тоже	1912	0,6
Тоже	Саннисайд (Sunnyside)	1909	4,2
Тоже	Тоже	1910	14
Тоже	Тоже	1911	18
Тоже	Тоже	1912	10,6
Калифорния	Гэйдж (Gage)	1899—1901	—
Индия	Баридоабская	—	—
Тоже.	Система Гангского канала	—	—
Египет	Система Нижняго Египта (в среднем).	—	—
Тоже	Система Верхнего Египта	—	—

Потери при передаче: в главном канале, в процентах.	Потери при передаче: в распределителях, в процентах.	Потери при передаче: в оросителях, в процентах.	Всего.	Потери при распределении и передаче, в процентах.	Коэффициент полезного действия.	ПРИМЕЧАНИЕ.
—		26	—	—	—	Отч. Гид. Ч. Вып. VIII, стр. 76.
—		39	—	—	—	
—		41	—	—	—	Отч. Гид. Ч. Вып. XIII, стр. 142.
—		46	—	—	—	Отч. Гид. Ч. Вып. II, стр. 54.
—	—	58	—	—	—	Отч. Гид. Ч. Вып. VIII, стр. 227.
—	—	—	66	—	—	Отч. Гид. Ч. Вып. II.
—	—	—	13	69	0,31	
—	—	—	20	52,4	0,48	
—		—	20	42,6	0,57	
29		—	—	—	—	
47		—	—	—	—	
—	—	—	26,7	40,2	0,60	
30,9		9,8	40,7	44,9	0,55	Etcheverry, Irrig. Practice and Engineering, Vol. I, p. 84.
—		—	36	36	0,64	
45		10	55	55	0,45	
—		—	48	54,5	0,45	
24,7		9,9	34,6	35,9	0,64	
—	—	—	19	21	0,79	
—	—	—	45	—	—	
—	—	—	52	—	—	
—	—	—	47,2	47,8	0,52	
16,9		10,9	27,8	32	0,68	
22,5		9,5	32	46	0,54	
14		10	24	42	0,58	
—	—	—	36,8	37,2	0,63	Etcheverry, Irrigation Practice and Engineering, Vol. I, p. 84.
—	—	—	—	—	0,92	Весь главный канал покрыт цементной штукатуркой в 1 дм. толщиной, распределители представляют трубопроводы.
20	6	21	47	—	—	
15	7	22	44	—	—	
—	—	—	23	—	—	
—	—	—	30	—	—	

шаются и потери при распределении, так как, во-первых, отпадают утечки в шлюзах, ибо все или большинство их открыты, во-вторых, нет необходимости поддерживать высокий горизонт в каналах пропуском излишнего (для орошения) расхода воды, в-третьих, благодаря острой потребности в воде, в течении этого периода устанавливается более тщательный надзор за открытием и закрытием шлюзов, почему затрудняется и излишняя подача воды против намеченного плана водораспределения. Таким образом, при переходе от графика отдачи воды из системы на поля орошения (ординаты $Q_{пол.}$) к графику потребления ($Q_{гол}$) мы должны исходить из переменной величины $\eta\left(\frac{Q_{пол.}}{\eta} = Q_{гол.}\right)$. Весьма благоприятным следует считать то обстоятельство, что максимальная ордината графика потребления (выражающая максимальный расход $Q_{гол.}^{max.}$) ложащаяся в основание расчета пропускной способности головного шлюза-регулятора и главного канала, падает на тот период оросительного сезона, когда η достигает своей максимальной величины. К сожалению, те немногие данные, которые имеются относительно величины η, относятся к средним величинам, то-есть они показывают средний коэффициент полезного действия системы за весь оросительный сезон; применяя их, надо помнить, что мы преуменьшаем значение η для той части графика потребления, которая выражает потребность системы в воде в наиболее жаркие и сухие месяцы, и преувеличиваем его для некоторых других периодов оросительного сезона. В виду отсутствия специальных наблюдений над изменением величины η в течении оросительного сезона, к сожалению, приходится пользоваться только средними значениями этого коэффициента. В таблице 37 сведены данные о коэффициенте полезного действия и о распределении потерь для некоторых индийских, американских и русских ирригационных систем (по многим системам имеются только частичные сведения).

Если принять еще во внимание остальные категории потерь, которые наблюдениями не учитывались, но которые обязательно должны иметь место, то можно утверждать, что в среднем действительная величина η для большинства систем вряд ли больше 0,40—0,50.

С другой стороны, несомненно, что, в случае применения водонепроницаемой одежды (на всей сети каналов или хотя бы на той части ее, где потери имеют наибольшую величину), можно значительно поднять коэффициент полезного действия, вследствие доведения до минимума величины потерь в пути.

Несомненно также, что и потери при распределении могут быть сильно уменьшены, если проект новых систем предусматривает тщательно разработанный водооборот и если затем при эксплоатации системы ежегодно на общем фоне проектного водооборота будет разрабатываться и упорно проводиться в жизнь рабочий водооборот. Чрезвычайно важно также устройство надежных шлюзов (с рациональными затворами) в голове распределителей и оросителей, наличие коих дает эксплоатационному штату возможность действительно, по программе, регулировать водораспределение.

Здесь будет уместно вспомнить, что стоимость устройства надежных шлюзов в голове распределителей и оросителей ложится очень небольшой суммой на орошенную десятину и что расходы на шлюзы окупятся весьма быстро, если в источнике не хватает воды на орошение свободных и годных под культуру земель.

Таким образом, можно значительно повысить величину η, что подтверждает пример системы Гейдж (Gage) в Калифорнии ($\eta=0{,}92$). Однако, проектирующий не должен упускать из виду и некоторые другие серьезные факторы жизни, направленные к уменьшению коэффициента полезного действия, борьба с которыми представляется весьма затруднительной, а именно:

1. Ненасытную жадность населения к воде, толкающую водопользователей на всякие, иногда даже незакономерные, действия, с целью получения возможно большого количества оросительной воды.

2. Постоянное стремление, как населения, так и государства и частных обществ уменьшить до минимума основные расходы по устройству ирригационной системы и по ее эксплоатации, вследствие чего рационально составленные проекты чрезвычайно редко получают полное осуществление, так что, обычно, постройка многих сооружений, необходимых для правильного водораспределения и учета воды, откладывается в долгий ящик.

Поэтому, намечая коэффициент полезного действия для проектируемой системы, не следует останавливаться на исключительно высоких коэффициентах η даже для систем с облицованными каналами, а именно, величину η надо принимать не свыше 0,80 для больших систем и не свыше 0,90— для малых. В случае необлицованных каналов нормальной величиной η после того как система установится надо считать:

а) для больших систем $\eta = 0{,}40 - 0{,}45$
б) для средних „ $\eta = 0{,}50 - 0{,}55$
в) для малых „ $\eta = 0{,}60 - 0{,}65$

Покрывая водонепроницаемой одеждой не все каналы, а только часть их (напр., только главный канал или только оросители и проч.) и применяя типы одежд, обладающие различными степенями водонепроницаемости, можно, очевидно, достигнуть любого коэффициента в указанных выше пределах, то-есть,

для больших систем в пределах $0{,}40 - 0{,}80$
„ средних „ „ „ $0{,}50 - 0{,}85$
„ малых „ „ „ $0{,}60 - 0{,}90$

Когда в источнике орошения воды недостаточно и приходится прибегать к регулированию стока и к устройству водохранилищ, к вышеперечисленным категориям потерь необходимо прибавлять еще потери на испарение и просачивание в водохранилищах и на пути от водохранилищ до головы оросительной системы. Эти потери могут быть весьма большими,

даже в случае, если ложе водохранилища совершенно водонепроницаемо, так как через испарение теряются огромные массы воды, в особенности, если поверхность зеркала водохранилища обширна. В американских водохранилищах потери на испарение колеблются большею частью в пределах от 9% до 15%, в исключительных случаях поднимаясь даже до 39% (Clear Lake). Относительная величина потерь уменьшается с увеличением глубины водохранилища, так как на единицу поверхности в этом случае приходится больший объем воды. Наиболее выгодным с точки зрения потерь на испарение является глубокое водохранилище с относительно небольшой площадью зеркала воды.

Величина потерь на просачивание в водохранилище зависит от глубины воды, от степени водопроницаемости ложа и от ряда других факторов, следовательно она может колебаться в очень больших пределах. Сравнительно небольшое количество данных, собранных по вопросу об испарении и просачивании из водохранилищ, не позволяет пока вывести каких-либо средних цифр и расчетных формул. Поэтому при приступе к проектированию водохранилищ необходимо в первую очередь поставить наблюдения над испарением на месте будущего водохранилища, связав их с обычно имеющимися метеорологическими наблюдениями. Пользуясь прочими местными данными, можно приблизительно подойти и к учету потерь на просачивание.

До сих пор речь шла о вновь проектируемых системах. Когда приходится вырабатывать эксплоатационный график потребления, также представляется необходимым устанавливать величины η, чтобы по величине $Q_{воз.}$ можно было бы определять $Q_{год.} = \frac{Q_{воз.}}{\eta}$ то-есть, ординаты графика потребления. В данном случае вопрос обстоит значительно проще, так как, поставив наблюдения над потерями воды в различных каналах системы, можно определить потери в них, а, поставив учет над тем количеством воды, которое поступает в систему через головное сооружение в различные периоды оросительного сезона и над тем, которое система отдает на поля орошения, можно установить и реальные величины коэффициента полезного действия. Так как коэффициент полезного действия η постепенно изменяется, то необходимо производить систематические наблюдения из года в год, что даст возможность не только всегда правильно учитывать величину η, но и наблюдать насколько умело ведется эксплоатация системы, во время принимая необходимые меры для уничтожения или ослабления причин больших потерь воды. В круг задач эксплоатационного штата, в части касающейся увеличения коэффициента полезного действия системы, входит: определение на каналах всех зон усиленной фильтрации, учет величины потерь в пределах этих зон, составление проектных предположений по ликвидации указанных потерь, определение мест на каналах, где необходимо возведение дополнительных подпорных сооружений, чтобы не приходилось поддерживать требующийся горизонт воды пропуском лишнего расхода и проч. Для осуществления всего этого необходима п р а-

вильная постановка эксплоатационной гидрометрии, то-есть оборудование ирригационной системы сетью водомерных постов (в голове главного канала, при переходе канала из мало водопроницаемого грунта в сильно фильтрующий грунт и обратно, в конце холостой части главного канала, в голове всех распределителей и ветвей, у поперечных преграждений на главном канале и на распределителях, у начала и у концов зон фильтрации, в головах распределителей, в головах оросителей и проч.), а также определение кривой зависимости между высотой наполнения и расходами каналов для всех участков, где поставлены водомерные рейки.

Постановка эксплоатационной гидрометрии требует незначительных средств, так как водомерные наблюдения можно возложить на уже имеющийся персонал, обслуживающий систему (то-есть на техников, заведывающих искусственными сооружениями и живущих непосредственно вблизи них, на водных надзирателей и водных стражников), стоимость же изготовления водомерных реек—ничтожная.

Итак, на существующих ирригационных системах, величина η может быть определена достаточно точно. Кроме того, простыми наблюдениями легко установить наиболее целесообразные мероприятия по увеличению на требуемую величину коэффициента полезного действия системы.

Построение графика потребления воды в различных вариантах.

Указанными выше способами определились четыре варианта главного поливного графика (графика отдачи воды из ирригационной системы), а именно:

I. Для случая нормального распределения культур и нормальных поливных норм.

II. Для случая предельно-интенсивного распределения культур и нормальных поливных норм.

III. Для случая предельно-интенсивного распределения культур и практически минимальных поливных норм.

IV. Для случая предельно-экстенсивного распределения культур и практически максимальных поливных норм.

Эти графики дают картину потребности воды на полях орошения, как в предельных случаях, так и для некоторых особо характерных этапов развития орошаемого района, а также картину возможных изменений в водопотребности при различных хозяйственных конъюнктурах и в связи с постепенным усовершенствованием техники водопользования.

Для построения графика потребления воды ирригационной системой из источника орошения необходимо, как уже указывалось, установить коэффициент полезного действия системы η. В случае новых проектов, величину η лучше всего определять в пределах $\eta_{min.} - \eta_{max.}$ Применяя для каждого из вышеперечисленных четырех поливных графиков, предельные значения η, мы могли бы получить 8 вариантов графика потребления. Но нужно ли строить все 8 графиков?

Очевидно, для случая предельно-экстенсивного нет основания применять $\eta_{макс.}$ ибо вряд ли возможно ожидать, чтобы в случае экстенсивного использования орошаемого района и максимальных поливных норм, коэффициент полезного действия системы мог бы достигнуть высшего предельного значения. Наоборот, для предельно-интенсивного случая нельзя применять $\eta_{мин.}$ так как, очевидно, вся система находится уже в таком состоянии, что коэффициент полезного действия должен быть близок к $\eta_{макс.}$ и ни в каком случае не ниже $\eta_{опрм.}$ Наконец, и по существу анализа, нас могут интересовать чистые предельные случаи экстенсивного и интенсивного орошаемого хозяйства, когда системы требуют предельных расходов.

Для случаев I и II также нет оснований прибегать к минимальному коэффициенту полезного действия, так как последний имеет тенденцию расти вместе с возрастом системы; хотя в первые годы эксплоатации величина η и очень мала, воды в системе будет все-таки достаточно, так как загрузка ее долгое время будет небольшой.

Итак, будем принимать:

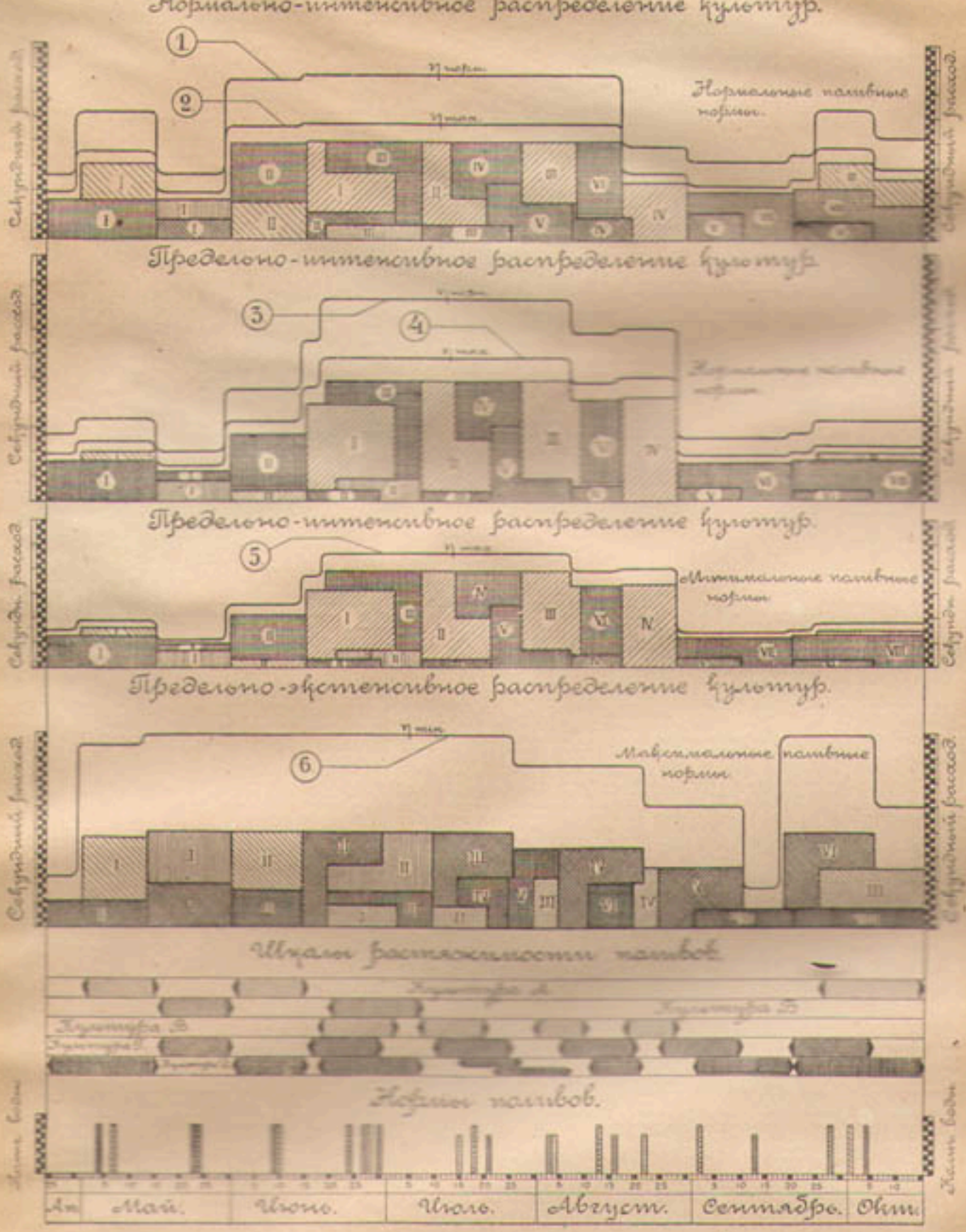
а) для I-го случая— $\eta_{норм.}$ и $\eta_{макс.}$
б) для II-го случая— $\eta_{норм.}$ и $\eta_{макс.}$
в) для III-го случая— $\eta_{макс.}$
г) для IV-го случая— $\eta_{мин.}$

Установив тип системы, а также разрешив вопрос о том, будут ли проектируемые каналы покрываться водонепроницаемой одеждой или нет, наметив в согласии с предыдущим коэффициенты полезного действия, можно, пользуясь главными поливными графиками, легко построить и графики потребления, ординаты коих $Q_{пот.} = \frac{Q_{вод.}}{\eta}$. Таких графиков будет шесть. При построении их надо учесть время, ΔT, необходимое для того, чтобы вода, вступив из источника орошения в систему, могла дотечь до полей орошения, то-есть надо помнить, что, если в данный момент—T требуется подать на поля из источника орошения расход $Q_{вод.}$ кб. саж/сек, он должен быть забран головным шлюзом раньше, в момент $T - \Delta T$. Таким образом график потребления должен быть несколько сдвинут во времени по оси абсцисс по отношению к графику отдачи воды.

Если система большая и холостая часть канала длинная, величина предварения может равняться даже нескольким суткам (например, в условиях Голодностепского проекта от 1 до 3 суток), для мелких же систем эта величина выражается в долях суток.

На чертеже 81 приведены типовые примеры построения графиков потребления. Из этих шести графиков три — а именно, 1, 3 и 6 определяют, какую максимальную пропускную способность надо придать головным сооружениям и главному каналу в его холостой части, а график 5 устанавливает предел возможного в будущем уменьшения ординат графика потребления, для чего нужно все шесть графиков наложить друг на

друга. Во многих случаях, можно выбросить из рассмотрения график 6, касающийся экстенсивного использования земельной территории и



Черт. 81. Графики отдачи воды на поля и графики потребления воды из источника орошения при различном распределении культур и разных коэффициентах полезнаго действия.

экстенсивных форм водопользования, ибо орошаемое хозяйство по самому существу своему, чтобы выдержать расходы по

мелиорации земель и наилучшим образом использовать влияние нового могучего фактора—воды, должно носить интенсивные формы. Целый ряд обстоятельств агрономического и экономического характера обуславливает необходимость значительной интенсификации орошаемого земледелия по сравнению с обычным неорошаемым хозяйством.

Таковы, необходимость возмещения первоначальных затрат на сооружение ирригационной системы и поливной сети, ограниченность орошаемых площадей вообще, незначительная величина орошаемых хозяйств и высокая плотность населения орошаемых областей, необходимость планировки местности и разбивки ее на орошаемые площадки; тщательная поверхностная обработка, обилие сорняков и усиленная борьба с ними, обычность усиленного удобрения, сокращение площади паровых полей или полное их отсутствие в некоторых районах и проч.

Итак, обычно подлежат построению и анализу только пять графиков полива и потребления воды.

Графики, построенные на основании вышеуказанных принципов, будут иметь, в большинстве случаев, резко выступающие „пики" и „ямы". Если вспомнить, что максимальные ординаты графика потребления определяют собою проектную пропускную способность головного шлюза и холостой части магистрального канала, то необходимость специальной аналитической работы по выравниванию графиков водоотдачи и водопотребления станет очевидной. Надо уменьшить высоту резко выступающих пик и создать плавность очертаний графика потребления с длительным постоянным максимумом в период наибольшего спроса на воду, чтобы пропускная способность сооружений (рассчитанных по максимальной потребности в воде) могла бы быть использована в течение продолжительного промежутка времени. Для этого приходится сокращать или удлинять те или иные поливные периоды и поступаться намеченными, так сказать, „идеальными" сроками поливов, допуская небольшое их изменение.

Подобную работу по выравниванию каждого графика водоотдачи и водопотребления приходится проделывать по несколько раз, пока не будут использованы все возможности для уничтожения пик и создания длительного постоянного максимума. По своему характеру она напоминает работу по составлению графиков движения по железным дорогам, где также необходимо пропустить известное количество грузов и пассажиров (в нашем случае воды), в известные сроки, стремясь при этом к наименьшим затратам, а, следовательно, и к наименьшим размерам сооружений.

На чертеже 81 показаны выравненные графики водоотдачи и водопотребления для всех рассмотренных выше случаев. Из сравнения этих графиков с первоначальными (см. черт. 78) легко увидеть, насколько уменьшаются после выравнивания максимальные ординаты и удлиняется продолжительность периода максимума. В конце главы мы вернемся снова к дальнейшему анализу графиков потребления и отдачи. Теперь же рассмотрим дополнительные потребности системы в воде.

Дополнительные потребности системы в воде.

Мелиорация окрестностей. Как уже указывалось в начале настоящей главы, проектирующий должен учесть не только водопотребность района, для которого составляется проект, но и всей той территории, которая тяготеет к нему и которую легко будет мелиорировать остаточными, сбросными и дренажными водами из ирригационной системы, обслуживающей основной район. Самостоятельная мелиорация таких земель (неудобных по рельефу, второкачественных по почвам, занесенных песками, очень отдаленных от источника орошения, речных пойм, галечных предгорий и т. д.) часто бывает невыгодной по экономическим соображениям, но попутно с мелиорацией основного района, орошение их может оказаться весьма выгодным. Вокруг орошаемого района, как очага весьма интенсивной жизни, постепенно образуется более или менее широкая зона жизни менее интенсивной; если планомерная организация ее не предвидена проектом, развитие жизни принимает хаотические формы и наоборот, она может быть уложена в рациональное русло, если при составлении проекта орошения основного района, были учтены возможные потребности тяготеющих к нему окрестностей. Например, направляя излишнюю, всегда имеющуюся зимой в системе, воду на соседние засоленные земли, можно постепенно выщелочить вредные соли и привести солонцы в состояние доступное культуре. Сбрасывая избытки воды из системы в граничащие с орошенным районом пески, можно поднять в них уровень грунтовых вод и облегчить процесс облесения полосы песков, окаймляющей степь. Кроме того, общий подъем грунтовых вод создаст повышение горизонта воды в колодцах и увеличение дебета в них, что позволит обосновать в этих местах стоянки кочевников и даст возможность улучшить и развить скотоводство. Направляя часть мутных паводочных вод из ирригационных каналов на соседние галечниковые пространства, можно постепенно, в течение ряда лет, закальматировать значительную площадь и создать на ней богатые почвы. Используя сбросные и дренажные воды (поступающие из орошенного района) на орошение пойменных и вообще низколежащих земель, возможно дополнительно приобщить к культуре значительные площади с почвами, хотя и второсортными по качеству, но все же годными для земледелия.

Предварительный анализ будущей потребности в воде окрестных земельных площадей дает возможность проектирующему установить величину запаса, который должен быть положен в основание графика потребления воды. Очевидно, что для района не имеющего окрестностей, которые нуждались бы в мелиорации, график потребления воды должен составляться более экономно, чем в противоположном случае, ибо избыток воды, если таковой получится в связи с улучшением системы и усовершенствованием техники водопользования, нельзя будет полезно использовать; преувеличенная пропускная способность каналов и сооружений, не получит в жизни оправдания, так что излишние денежные расходы всегда будут лежать бременем на системе.

Наоборот, для противоположного случая всякий избыток воды может быть с выгодой использован (до известного предела), при чем учет будущей водопотребности окрестных земель позволит или установить в графике потребления степень необходимого запаса или предвидеть в водопроводящих сооружениях возможность легкого и дешевого их расширения.

Утилизация гидравлической энергии. Ирригационные каналы, по самому существу дела, должны командовать над местностью и потому горизонт воды в них должен быть выше окружающей местности. Вода в подводящих каналах несет в себе запас потенциальной энергии; рациональный план водного хозяйства должен не только предвидеть использование воды, как поливного материала, но также предусмотреть и утилизацию ее потенциальной энергии.

В самом начале проектирования ирригационной системы должно быть твердо установлено положение, что утилизация гидравлической энергии в надлежащих местах оросительных каналов не только возможна, но и совершенно необходима в целях полного и рационального использования поступившей в систему воды. Гидроэлектрические станции должны являться неотъемлемыми элементами оросительной системы. Пора отбросить устаревший взгляд, что гидроэлектрические станции на оросительных каналах возможны; они не только возможны, они—необходимы.

По характеру работы и по положению в оросительной сети можно наметить два главных типа станций: станции на сбросах и станции на перепадах магистрального канала. Каждый тип станций имеет свой характерный режим.

Станции первого типа, во время оросительного периода, когда вся пропускная способность каналов используется в целях орошения, могут, очевидно, работать только за счет тех излишков воды, которые почему либо окажутся в системе и подлежат удалению через сбросы. Однако, излишки воды во время орошения обычно бывают незначительны; величина их зависит:

а) от многих случайностей, например, отказа некоторых водопользователей от своего права на получение воды, от обильного выпадения осадков, вследствие чего некоторые поливы делаются излишними, благодаря преуменьшенному в проекте (против оказавшегося в действительности) коэффициенту полезного действия, вследствие чего в пропускной способности каналов остается запас, который можно использовать, пропуская избыток воды в сброс через гидроэлектрическую станцию;

б) от специально принятых мер в порядке эксплоатации системы по уменьшению потерь в каналах, по уменьшению поливных норм, в результате коих может освободиться некоторое количество воды и в случае надобности может быть использовано на гидроэлектрических станциях.

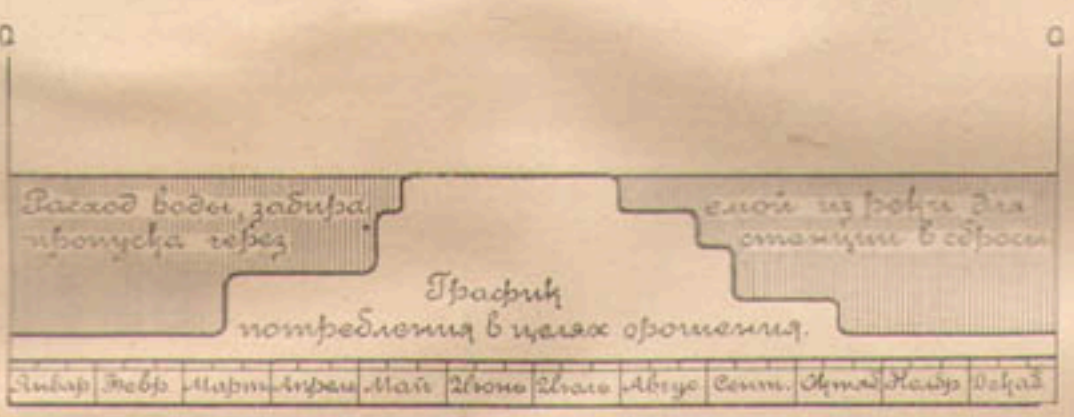
В те периоды времени, когда водопотребность орошаемого района уменьшается (осенью и в начале весны), в пропускной способности каналов, очевидно, остается запас, который и может быть использован для получения гидравлической энергии, если, конечно, это позволит сделать режим источника орошения, то-есть наличие в нем необходимого количества

воды. Наконец, в зимний период, когда ирригационная система удовлетворяет только питьевые хозяйственные нужды своих абонентов, или, даже, совсем перестает подавать воду своим водопользователям, каналы, поскольку это допускает режим источника орошения, могут быть загружены почти целиком утилизационным расходом.

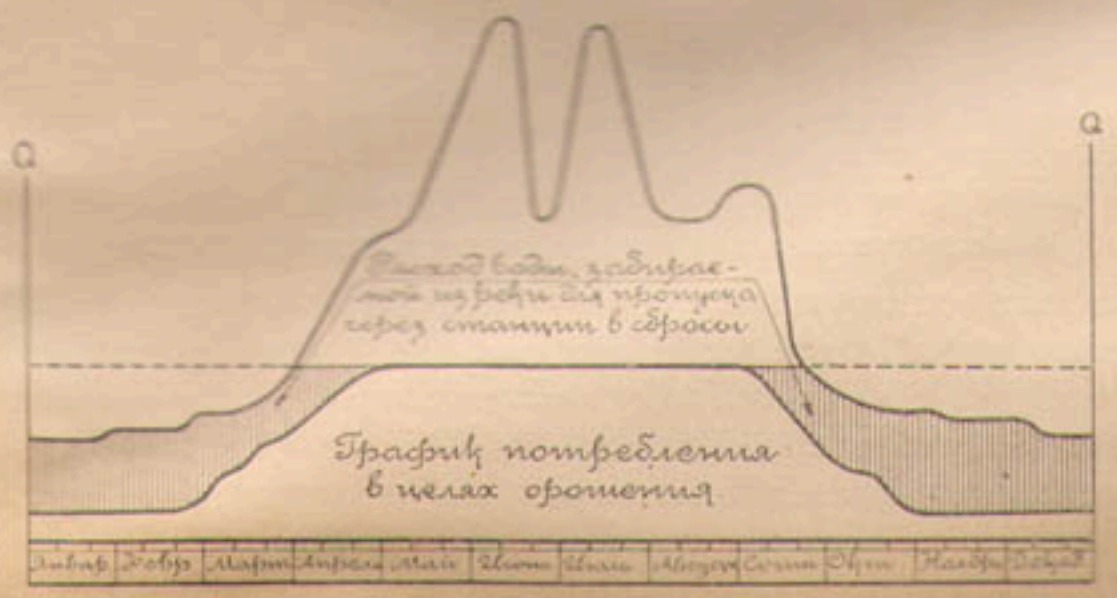
Наконец, если это представляется экономичным, возможен случай устройства канала с преувеличенной пропускной способностью с тем, чтобы избыток воды против кривой потребления постоянно использовался бы на гидроэлектрических станциях.

Как видно из изложенного, кривая работы гидроэлектрических станций на сбросах имеет в общем характер обратный главной поливной кривой системы, и служит как бы дополнением последней до максимальной пропускной способности магистрального канала.

В соответствии с этим, самыми подходящими потребителями энергии гидроэлектрических станций, расположенных на сбросах, будут предприятия и заводы, занятые обработкой продуктов сельского хозяйства, так как существенная нагрузка их получается как раз по окончании вегетационного периода после сбора урожая. В остальное же время станции могут работать только на усиление общей электро-сети района.



Черт. 82. Использование пропускной способности главного канала для работы гидроэлектрических станций на сбросах в случае избытка воды в источнике орошения.



Черт. 83. Тоже в случае недостатка воды в источнике орошения.

Гидроэлектрические станции, расположенные на перепадах магистрального канала, наиболее обеспечены непрерывной работой, ибо магистральный канал всегда (за исключением кратковременных периодов ремонта и переустройства) несет для тех или иных целей некоторый расход. В оросительный период существенную часть расхода канала составляет вода, идущая на орошение; в невегетационное же время канал, наоборот, может подавать воду специально для гидроэлектрических станций, для мелиорации окрестностей орошаемого района, для поддержания по каналу судоходства и т. д. Кроме того, в начале и конце оросительного сезона, когда график полива еще не достиг своего максимума, магистральный канал может помимо орошения также обслуживать частью своего расхода указанные потребности в воде. В результате, при умелом комбинировании и удовлетворении спроса на воду для целей орошения основного района, для мелиорации окрестностей и для питания гидроэлектрических станций, магистральный канал всегда может иметь нагрузку близкую к полной, поскольку, разумеется, это допускает режим источника орошения. Станции на перепадах магистрального канала могут вырабатывать наибольшее количество энергии в период наибольшей потребности орошаемого района в воде, поэтому они очень удобны для питания энергией насосных установок, поднимающих воду в каналы верхних зон для орошения высоколежащих земель, расположенных вне командования самотечного канала. График потребной мощности насосных установок подобен графику потребления воды машинными каналами, последний же, при прочих равных условиях, конформен графику потребления всей системы; следовательно, потребная мощность насосных станций должна изменяться по тому же закону, что и график потребления воды системы. В этом и заключается удобство использования энергии, получаемой на таких станциях, для машинного орошения.

В общем, устройство гидроэлектрических станций вызывает некоторое увеличение водопотребления системы (в особенности, в зимнее время), выравнивает нагрузку магистрального канала и головного шлюза, доводя ее почти до максимальной расчетной (поскольку это допускает режим источника орошения), а главное, дает уверенность в возможности полного и рационального использования той воды, которая может освободиться в результате увеличения коэффициента полезного действия, уменьшения поливных норм и малого коэффициента загрузки системы.

Коэффициент загрузки ирригационной системы.

При составлении плана водного хозяйства и окончательного графика потребления воды из источника орошения необходимо учесть еще одно, обыкновенно упускаемое из виду, обстоятельство, а именно, **степень загрузки системы.**

Долголетняя ирригационная практика показывает, что фактическая площадь использования земель бывает значительно меньше той, которая по проекту действительно пригодна для орошения и может быть орошена. Значительная часть площади остается ежегодно неиспользованной в силу

самых разнообразных причин, например, медленности заселения, уничтожения вредителями части посевов (вследствие чего их приходится на данный год бросать), прорывов в оросительной сети, тяжелого засоления земель, болезни и маломощности водопользователей и пр. Отношение площади, фактически используемой и орошаемой в данном году ($\Omega_{исп}$), ко всей площади земель, пригодных по проекту к использованию (то есть к площади, на которую расчитана вся система, называемой площадью действительного орошения) назовем коэффициентом загрузки системы:

$$\frac{\Omega_{исп.}}{\Omega_{д.}} = \mu$$

Процесс заселения происходит обычно в течение длительного периода времени. Профессор Луиджи (Luigi Luiggi, Италия) в своем докладе на Международном Инженерном Конгрессе в 1915 году в Сан-Франциско указывал, что в Италии (при лучших условиях) оросительное предприятие начинает полностью функционировать только через 10 – 20 лет, а очень большие системы и через 30 лет; так, например, оросительная система канала Marzano, орошающего провинции Кремона (где орошение применялось еще в средние века), начала полностью функционировать через 30 лет. Канал Villoresi, также расположенный в области, где орошение применялось с XII века, не имел полной нагрузки и через 40 лет своего существования. Тиль (Teele) в своей книге „Irrigation in the United States" указывает, что по данным официальной статистики процент фактически орошаемых земель (по отношению к количеству включенных в проект, то-есть к валовой площади орошения) может быть выражен следующей средней цифрой, считая от времени приступа к постройке:

к концу 5 года	30%	к концу 30 года	68%
„ 10 „	48%	„ 40 „	71%
„ 15 „	57%	„ 50 „	72%.
„ 20 „	63%		

Если принять, что валовая площадь орошения ($\Omega_{вал.}$) превосходит действительную ($\Omega_{д.}$) в условиях тех американских проектов, по которым даны вышеприведенные данные, даже на 20%, то все-таки, величина μ оказывается небольшой, а именно:

к концу 5 года . .	$\mu = 0.36$	к концу 30 года . .	$\mu = 0.82$
„ 10 „ . .	$\mu = 0.58$	„ 40 „ . .	$\mu = 0.85$
„ 15 „ . .	$\mu = 0.68$	„ 50 „ . .	$\mu = 0.86$.
„ 20 „ . .	$\mu = 0.76$		

Таким образом и по итальянским и американским данным, коэффициент загрузки системы растет очень медленно. Даже тогда, когда система вся заселена, все-таки, ежегодно по тем или иным причинам (хозяйственным, экономическим, политическим) значительная часть площади не будет обрабатываться, а, следовательно, и не будет требовать поливной воды. В обычных русских условиях, загрузка новой системы должна расти в общем еще медленнее, соответственно чему величина μ будет еще меньше.

Однако в областях интенсивного земледелия и перенаселенных, например, в некоторых из наших хлопковых районов, загрузка новых систем в России будет происходить, весьма вероятно, даже быстрее, чем в условия Западных Штатов Северной Америки.

Благодаря отсутствию у нас соответствующих исследований, трудно подойти к количественной оценке величины μ. Однако, все-таки, из всего сказанного можно заключить, что в первые годы эксплоатации новой системы коэффициент загрузки не превышает 0,30—0,40, а через несколько десятков лет он не больше 0,85—0,90. Но несмотря на это, всякий избыток воды, остающийся в основной системе в виду небольшой величины коэффициента загрузки, все-таки фактически бывает в конце концов использован, благодаря тому, что валовая площадь, охватываемая системой, постепенно и неуклонно увеличивается за счет неудобных и окрестных земель, требующих мелиорации. Также используются и все сбережения воды, получаемые в результате целого ряда мероприятий по уменьшению потерь в системе и по уменьшению поливных норм; таким образом, старые установившиеся системы оказываются не только загруженными, но и перегруженными.

Однако следует помнить, что указанная догрузка и перегрузка системы происходит за счет той воды, которая идет на орошение земель, не предвиденных проектом.

Определение величины μ и ее изменений во времени на существующих системах не представляет особых трудностей — нужно только поставить ежегодный учет фактически орошаемых земель.

Экскурсия в область коэффициента загрузки системы показывает нам, что для получения величин ординат графика потребления — $Q_{год.}$ надо величины ординат графика отдачи воды — $Q_{вод.}$ не только разделить на коэффициент полезного действия системы η, но и умножить на коэффициент загрузки μ, то-есть:

$$Q_{год.} = Q_{вод.} \frac{\mu}{\eta}$$

при чем величины как μ, так и η растут до известного предела вместе с возрастом системы.

Установление расчетного графика потребления.

Имея перед глазами шесть графиков потребления (см. чертеж 81), охватывающих возможные изменения основных факторов (распределения культур, поливных норм, коэффициента полезного действия) и учитывая факт изменения коэффициента загрузки и темп этого изменения, необходимо произвести окончательный анализ для установления расчетного графика потребления. Особенный интерес для проектирующего представляет расчетный максимум потребления воды, то-есть тот максимальный расход ($Q^{max.}_{год.}$), на который необходимо запроектировать пропускную способность головного шлюза-регулятора и холостой части маги-

стрального канала. Для удешевления стоимости ирригационной системы и уменьшения расходов, приходящихся на 1 десятину, очевидно, надо стремиться к уменьшению, по мере возможности, указанного расчетного расхода $Q_{\text{расч.}}^{\text{max.}}$ в особенности, если не предвидится полезное и выгодное использование могущих получиться избытков воды в системе на мелиорацию окрестностей основного района и для получения дешевой водной энергии. В этом случае, если есть основания предполагать что жизнь во вновь орошаемом районе примет интенсивные формы, было бы правильно остановиться на пятом графике потребления, предполагающем предельно-интенсивное распределение культур, практически минимальные поливные нормы, максимальный коэффициент полезного действия системы, но за то и полную нагрузку системы ($\mu = 1$). Такая картина водопотребления может установиться в результате многолетней эксплоатации системы; обычно же развитие района проходит через экстенсивные формы к нормальным и от нормальных к интенсивным. Однако, надо помнить, что экстенсивное распределение культур, максимальные поливные нормы и минимальный коэффициент полезного действия (шестой график потребления) могут иметь место только в первые годы эксплоатации, то есть тогда, когда коэффициент загрузки системы μ бывает небольшим, так что если умножить ординаты графика потребления 6 на величину μ (равную в этом случае, примерно, 0,30—0,40), то потребный максимальный расход воды в это время может оказаться меньшим, чем пропускная способность сооружений, предусматриваемая по пятому графику, при $\mu = 1$. В дальнейшем экстенсивные формы постепенно уступят место нормальным и коэффициент загрузки поднимется от 0,30—0,40 до 0,70 и более. Расходы, требующиеся в это время для питания системы, будут определяться ординатами первого графика потребления, умноженными на соответствующую величину μ.

Так как величина μ растет, то может наступить момент, когда потребный максимальный расход окажется равным пропускной способности сооружений, предусматриваемой по пятому графику. Дальнейшее увеличение коэффициента загрузки системы, очевидно, будет возможно только в том случае, если будут приняты специальные меры или по увеличению коэффициента полезного действия или по уменьшению поливных норм или по тому и другому вместе. Таким образом, если система будет запроектирована по пятому графику потребления, может случиться, что принятая пропускная способность главных сооружений или положит предел дальнейшему увеличению загрузки системы или же потребует уменьшения потерь воды и поливных норм, то-есть побудит перейти к более экономному использованию водных ресурсов. Последнее обстоятельство нельзя не рассматривать, как положительное явление.

Если основной район, для которого составляется проект орошения, имеет окрестности, мелиорация которых может оказаться в дальнейшем выгодной или необходимой, а также, если предполагается устроить на сбросах проектируемой системы гидроэлектрические станции, то в основ-

ние расчета не следует класть пятый график потребления, ибо, как мы уже указывали, необходимо иметь некоторый запас в пропускной способности главных сооружений, который можно было бы использовать в дальнейшем для снабжения водой мелиорируемых окрестностей и для обеспечения в течение оросительного сезона гидроэлектрических станций, работающих на сбросах. В данном случае рационально остановиться или на первом или на третьем графике (в зависимости от того, какой из них дает больший максимум), приняв при этом коэффициент использования $\mu = 1$. Несомненно, что с течением времени, когда коэффициент полезного действия возрастет от $\eta_{\text{норм.}}$ до $\eta_{\text{макс.}}$ и поливные нормы уменьшатся, график потребления будет приближаться ко второму или четвертому, а затем и к предельному — пятому типу. Разница между ординатами пятого графика и принятого в основание расчета (положим, первого или третьего) покажет тот максимальный избыток воды, который в будущем может быть использован для пропуска через гидроэлектрические станции на сбросах и на мелиорацию окрестностей.

График потребления, который в результате анализа кладется в основание расчета, будем называть расчетным графиком потребления.

Режим источника орошения, предъявляемые им требования к графику потребления и их взаимное согласование.

Все вышеразобранные факторы, влияющие на выработку графика потребления, освещают вопрос лишь с точки зрения потребности ирригационной системы в воде в различные моменты ее жизни. Очевидно, что еще необходимо установить, может ли источник орошения удовлетворить этой потребности. Для выяснения этого вопроса нужно знать режим источника орошения, располагать данными по многолетним наблюдениям за изменением его расхода, облечь их в форму ежегодных кривых расхода и построить кривые максимальных, средних и минимальных расходов. Кроме того, надо знать, должен ли данный источник орошения служить в настоящем или в будущем источником питания других оросительных систем. Если из того же самого источника орошения предполагается снабжение водою нескольких систем, необходимо установить права на воду рассматриваемого района. Эти права определяются или в частях расхода реки в течение целого года или оросительного сезона (в виде коэффициента уменьшения или приведения, выражающего долю расхода источника, на которую имеет право данный район) или же каким нибудь другим образом. Умножая величины ординат кривой расхода реки на вышеуказанный коэффициент, получим ординаты „приведенной" кривой расхода, выражающей, таким образом, права на воду данного района. Сопоставляя предварительно построенный график водопотребления с кривыми расхода реки за ряд лет, а также с кривыми средних и минимальных расходов, и учитывая права района на воду, можно выяснить, какие изменения желательно внести в график потребления для целесообраз-

ного использования наличных водных ресурсов и, наоборот, как следовало бы изменить режим источника орошения, чтобы наилучшим образом согласовать его с предъявляемыми системой требованиями на воду.

Вполне естественно поставить вопрос, всегда ли нужно стремиться к конформности между графиком потребления и кривой расхода источника орошения?.

В практике могут встретиться следующие три случая:

1) расход источника орошения в каждый момент времени не только на много превышает потребность в воде района, для которого составляется проект орошения, но его с избытком достаточно и для остальных, намеченных или могущих быть намеченными к орошению районов в бассейне данного источника;

2) хотя источник орошения и обладает расходом значительно большим чем требуется для орошения интересующего нас района, однако, этот расход может оказаться недостаточным для орошения в будущем всего имеющегося в бассейне запаса земель без специального регулирования стока воды особо устроенными водохранилищами;

3) расход источника орошения в некоторые моменты очень ограничен, так что для удовлетворения потребности в воде даже того района, для которого составляется проект орошения, требуются специальные меры по регулированию расхода источника.

В первом случае, конечно, можно и не стремиться к конформности кривых потребления воды с кривыми режима источника тем более, что увязка этих двух кривых совершается все-таки за счет некоторого отступления от идеальных условий полива. Только при машинном орошении,— то-есть в случае, когда воду нельзя подавать в оросительную систему самотеком, когда приходится поднимать ее насосами или другими водоподъемными снарядами,—следует при формировании графика потребления воды так или иначе считаться с режимом источника орошения, но уже с точки зрения изменения горизонта воды в источнике, а не кривой расхода. При механическом подъеме воды (для орошения интересующего нас района) необходимо стремиться к подаче минимальных расходов в течение того периода времени, когда горизонт в источнике орошения принимает наиболее низкое положение (следовательно, когда высота качания делается наибольшей) и, наоборот,—к подаче наибольших расходов при наивысшем стоянии горизонта. Вообще форма графика потребления должна быть так приспособлена к графику изменения горизонта воды в реке, чтобы потребная мощность силовых установок насосных станций и расход топлива и энергии были бы, по возможности, наименьшими. При проектировании ирригационных систем с механическим подъемом воды, не следует жалеть времени на установление „экономической кривой потребления". К сожалению приходится констатировать, что до последнего времени на составление кривой потребления воды „экономически увязанной" с кривой изменения горизонта

воды в источнике орошения не обращалось должного внимания, хотя труды проектирующего в этом направлении щедро окупились бы.

Потребная мощность силовой установки наносной станции определяется по формуле:

$$N = \frac{QH \cdot 1000}{75\,\eta} \text{ лош. сил,}$$

где η—есть общий коэффициент полезного действия.

Как видно из этой формулы, мощность является функцией от двух переменных: количества воды (Q) и высоты подачи (H). Высота подачи (H), в свою очередь, зависит от колебания горизонта воды в реке, а количество воды (Q) зависит от площади орошения, от распределения культур и от норм поливов и т. д. и определяется „графиком потребления" ирригационной системы; таким образом на мощность насосной станции влияет как колебание горизонта воды в реке, так и характер графика потребления. Насколько сильно может быть это влияние видно из того, что на специально проделанных примерах машинного орошения из реки Сыр-Дарьи и Мургаба, при отметке поверхности орошаемой местности на одну саж. выше наивысшего уровня реки, мы получили для трех различных форм графика потребления количества годового потребления энергии насосной станции, отличающиеся друг от друга на 40%; отсюда можно видеть, какое большое значение имеет при машинном орошении надлежащая форма графика потребления и согласование его с изменениями горизонта воды в источнике орошения.

Как во втором, так и в третьем случае, формируя графики потребления воды, надо стремиться к установлению конформности между ними и кривыми расхода воды в источнике орошения, ибо всякое отклонение от этого принципа уже ведет к хищническому использованию водных запасов, уменьшает (во втором случае—в будущем, а в третьем случае—и в настоящем) площадь земель, которую возможно будет оросить без дополнительных работ по регулированию стока воды в источнике орошения или по увеличению коэффициента полезного действия ирригационной системы (бетонирование каналов и сети) или, наконец, без понижения доходности орошенных земель, вследствие уменьшения, в наиболее острые периоды маловодия, поливных норм для некоторых культур.

Режим источника орошения (положим, какой-нибудь реки) из года в год меняется и там, где в кривой расхода одного года была „яма", на другой год может появиться „пика". Возникает вопрос, какие же очертания кривой источника должны быть приняты за основание для построения конформного графика потребления. Для второго случая, (то-есть, когда источник орошения обладает расходом значительно большим, чем требуется для орошения интересующего нас района, но недостаточным для орошения в будущем всего имеющегося запаса земель в данном бассейне) может быть применен нижеследующий метод выяснения тех очертаний кривой расхода источника, конформно которым следует строить кривую потребления.

Строим график, в котором за ось абсцисс примем годовую шкалу времени с обозначением каждых суток, а за ось ординат—секундные расходы

источника орошения, из которого мы предполагаем взять воду для орошения интересующего нас района (положим, какой-либо реки). Для каждого дня в году строим ординату, на которой отмечаем в виде отдельных точек все расходы реки, имеющие место в данный день в течение всего периода наблюдения.

Главная масса наблюдений падает на какую-нибудь часть ординаты, исключительно же высокие и низкие расходы, если они не характерны для данного момента времени, спроектируются на ординату в виде одиноких и далеко отстоящих от главной массы наблюдений точек. Не считаясь с отдельными, далеко выступающими единичными наблюдениями, ограничиваем главную массу построенных точек объемлющей и объемлемой кривыми, в зоне между которыми и будут заключены возможные вероятные расходы для каждого дня в году.

Если, согласно плану использования всего водного запаса бассейна реки, вопрос о регулировании желательно отложить на возможно долгий срок, то необходимо при формировании графика потребления проектируемой системы подгонять его очертание к изгибам *объемлемой* кривой расхода источника орошения, насколько это позволят без ущерба для рентабельности сельского хозяйства нормы и сроки поливов.

Если окажется, что, вследствие недостаточности срока гидрометрических наблюдений, объемлемая кривая не получает резко выраженных очертаний, следует прибегнуть к методу построения минимум-миниморных кривых, который приведет второй случай к третьему.

Наиболее сложным представляется третий случай, когда расход источника орошения в некоторые периоды очень ограничен, вследствие чего подвергается сомнению сама возможность удовлетворения потребности в воде даже того района, для которого составляется проект орошения. В данном случае, более чем в каком-либо другом, должно быть понятно стремление проектирующего создать полную конформность между поливным режимом системы и фиктивной минимальной (минимум-миниморной) кривой режима источника орошения, ибо подобная конформность дала бы возможность максимально использовать водные ресурсы реки без применения хотя бы частичного ее регулирования. Под фиктивной минимальной или минимум-миниморной кривой расхода источника орошения понимается такая кривая расхода, которая для каждого дня дает наименьший из всех тех расходов воды (средний секундный расход за день), который наблюдался за все годы. Редко, однако, бывает возможно построить без ущерба для хозяйства кривую потребления, которая с одной стороны была бы конформна кривой расхода реки, а с другой обеспечивала бы подачу на орошаемые поля, в требуемое время и допустимый срок, практически оптимальных количеств воды. В большинстве случаев приходится или не додавать какой-нибудь культуре в тот или иной полив полную поливную норму, необходимую для максимальной ее урожайности, или, в лучшем случае, не выдерживать оптимальных сроков поливов.

Указанная задача может быть разрешена только путем экономического сопоставления трех мыслимых решений:

а) режим потребления воды из источника орошения устанавливается при условии соблюдения всех рациональных требований поливного хозяйства, т. е. соблюдаются все оптимальные сроки и нормы, недостающее же в источнике орошения количество воды подается из специально для сего устраиваемых в бассейне источника орошения водохранилищ, регулирующих в необходимой степени его водный сток;

б) как и в первом случае режим потребления воды устанавливается при условии удовлетворения всем рациональным требованиям хозяйства, но недостающее количество воды для полного удовлетворения потребностей проектируемой ирригационной системы восполняется не из водохранилищ, а путем увеличения коэффициента полезного действия системы (например, бетонированием главных каналов и самой сети);

в) никаких особых работ по устройству водохранилищ или увеличению коэффициента полезного действия не предпринимается. В годы многоводья главные каналы работают согласно рациональному поливному режиму и весь район может жить самой интенсивной жизнью, в периоды же маловодья снабжение района водой ограничивается только тем ее количеством, которое имеется в источнике орошения; следовательно, в эти промежутки времени поливные нормы будут сокращены, урожайность некоторых культур должна будет упасть, а вместе с тем понизится и рентабельность всего района.

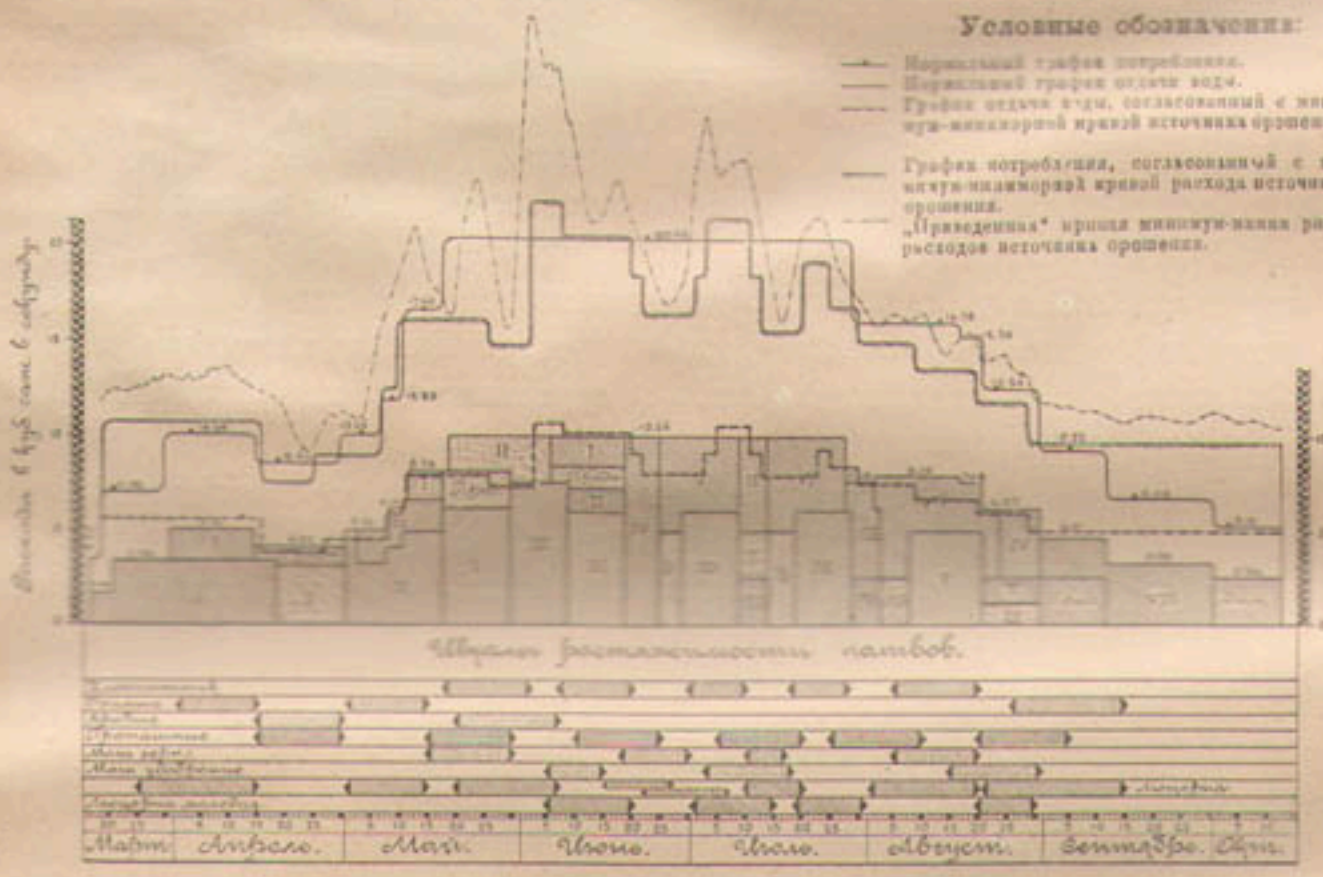
Ниже дается общий метод решения интересующей нас задачи.

Установленный согласно предыдущему расчетный график потребления наносится на кривую минимальных расходов источника орошения. Тщательное сравнение двух указанных кривых дает возможность определить, какие вообще могут встретиться изменения в поливной жизни района, какой культуре придется иногда не додавать воду, какой полив придется задержать или перенести на другое время и т. п. Раз подобный анализ этих двух кривых будет произведен на всем, так-сказать, их протяжении, то тем самым будет уже вполне выяснено значение и последствие каждой нехватки и каждого избытка воды для каждого из прежних годов, для которых имелись гидрометрические наблюдения. Очевидно, если взять какой-либо реальный год, то различие между рациональной кривой потребления и той, которая может быть допущена по наличию воды в реке, будет значительно меньше, чем для фиктивного минимального (или, как его иногда называют, минимум-миниморного) года, ибо кривая расхода этого последнего года является в сущности объемлемой линией совмещенных кривых расходов реки за все годы наблюдений.

Поясним на примере нашу мысль. Ниже приведены график рационального поливного режима для Северной части Голодной Степи при хлопковом клине в 30% и необходимый для сего график потребления Северной Голодностепской системы при коэффициенте полезного действия $\eta = 0{,}50$. На этот график наложен другой, показы-

вающий какой режим потребления должен был бы иметь место в случае, если бы кривая фиктивных минимальных расходов Сыр-Дарьи была бы ее постоянной фактической кривой расхода. (см. черт. 84).

Сопоставление вышеуказанных кривых показывает, что при выбранной системе севооборота и при коэффициенте полезного действия $\eta = 0{,}50$ выполнение рационального поливного режима было бы невозможным. Недостаток воды ощущался бы почти в течение всего вегетационного периода фиктивного минимального года. Специальное исследование, которое мы тут не приводим, показало, что, в случае, если бы было решено обеспечить хлопок (как основную культуру района) рациональным поливным режимом, более всего должна была бы пострадать люцерна. Действительно, все нехватки можно разделить на:



Черт. 84. График потребления воды, „подогнанный" под кривую расхода реки.

1. Весеннюю нехватку (апрельскую), которую можно покрыть, уменьшив первый полив каждой десятины люцерны на 10 куб. саж. (оптимально требуется 100 куб. саж.).

2. Майскую нехватку, покрываемую уменьшением второго полива каждой десятины люцерны на 40 куб. саж. при оптимуме (в 100 куб. саж.).

3. Июньскую нехватку, покрываемую уменьшением третьего и четвертого полива десятины люцерны на 17 куб. саж. (при оптимуме 100 и 80 куб. саж.).

4. Июльскую нехватку, покрываемую уменьшением пятого и шестого полива десятины люцерны на 41 куб. саж. (при оптимуме 80 куб. саж.).

5. Осеннюю нехватку (августовскую), для покрытия которой необходимо уменьшить седьмой полив десятины люцерны на 17 куб. саж. (при оптимуме 80 куб. саж.) и четвертый полив подсевной люцерны на 15 куб. саж. (при оптимуме 100 куб. саж.)

Следовательно, весенняя нехватка влияет на урожай 1-го укоса люцерны.

Майская нехватка влияет на урожай 2-го укоса люцерны.

Июньская нехватка влияет на урожай 2-го и 3-го укосов люцерны.

Июльская нехватка влияет на урожай 3-го и 4-го укоса люцерны.

Осенняя нехватка влияет на урожай 4-го укоса старой люцерны и 2-го укоса новой.

На урожайности остальных культур недостаток в воде вовсе не отразится. На вышеприведенном графике легко можно было бы показать поливной режим, приспособленный под минимум-миниморную кривую и, следовательно, не вызывающий дополнительного питания из водохранилищ или увеличения коэффициента полезного действия системы.

Проанализировав, в чем собственно может выразиться в водообороте каждая отдельная нехватка и как она отразится на сельском хозяйстве, следует приступить к дальнейшему исследованию и прежде всего к выяснению потребной емкости водохранилища в том случае, если бы мы, с одной стороны, не пожелали бы пожертвовать рациональным поливным режимом, а с другой, не приняли бы особых мер к увеличению коэффициента полезного действия системы.

В этих целях на годовой график ежедневных расходов источника орошения (или на „приведенный“ график расходов), для каждого года в отдельности, следует нанести кривую потребления проектируемой системы, пересечения коей с кривой расхода реки обусловливают начало и конец необходимого дополнительного питания реки из водохранилищ в данном году. Вместе с тем площади, ограниченные сверху кривой потребления, а снизу кривой расхода источника орошения (см. черт. 85, 86 и 87), определяют тот объем воды V, который необходимо источнику орошения, положим реке, дополнительно получать из водохранилища.

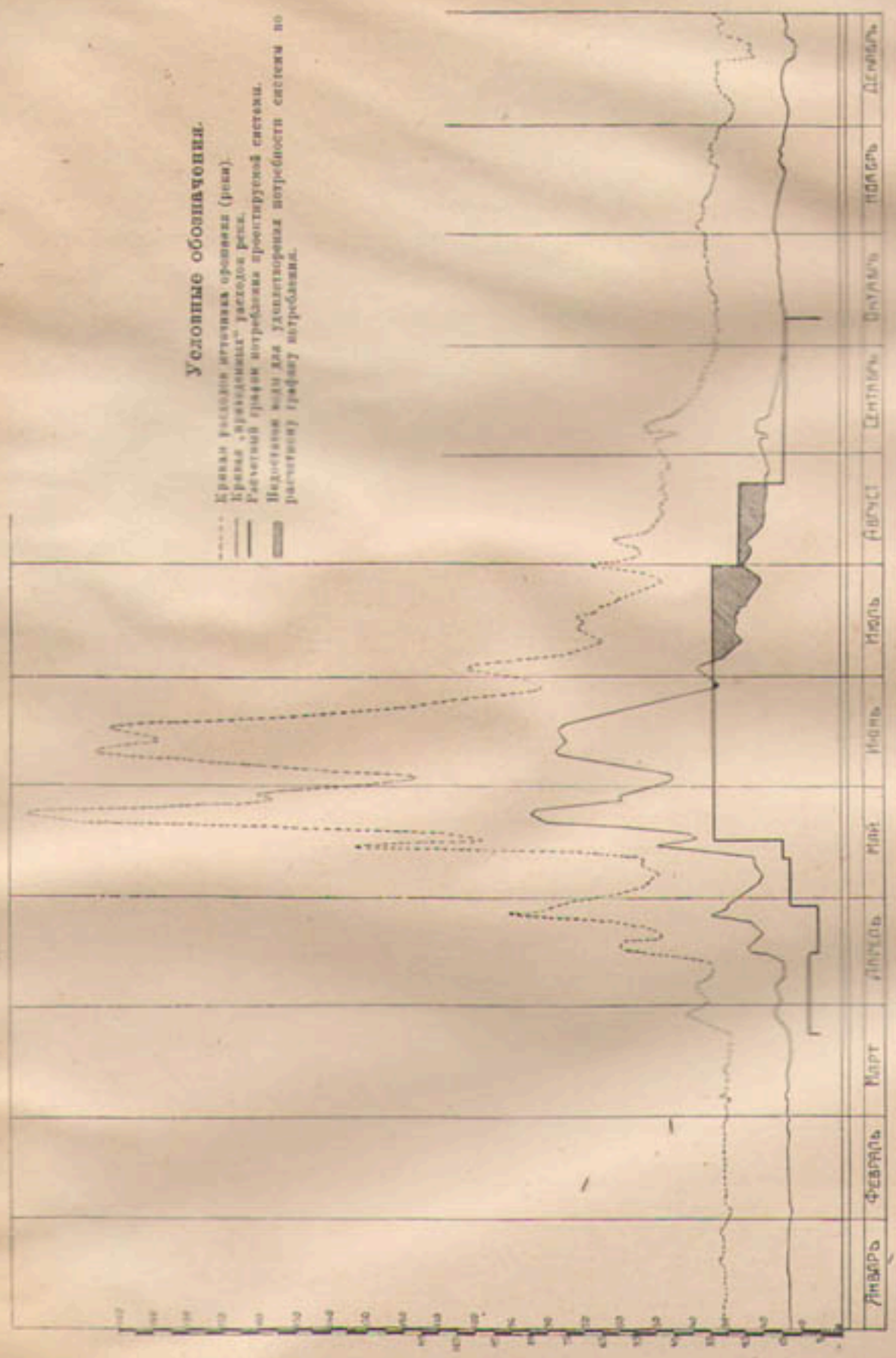
Далее, для определения необходимой проектной емкости водохранилищ V_0, необходимо еще принять во внимание те неизбежные потери на фильтрацию и испарение, которые будут иметь место, во-первых, в самом водохранилище, а, во-вторых, в пути от водохранилища до рассматриваемого пункта на реке. Следовательно, $V_0 = \frac{V}{\eta_h \times \eta_s}$, где

η_h коэффициент полезного действия самого водохранилища,

η_s — коэффициент полезного действия подводящего русла от водохранилища до головного шлюза-регулятора рассматриваемой ирригационной системы.

Определив указанным путем, для каждого года в отдельности, тот объем воды, который должен быть сбережен в водохранилище, а также число тактов работы последнего, следует установить его расчетную емкость.

Обратимся, наконец, к третьему способу решения вопроса о водном питании ирригационной системы в случае недостатка воды в источнике орошения. В двух предыдущих способах мы не принимали никаких особых

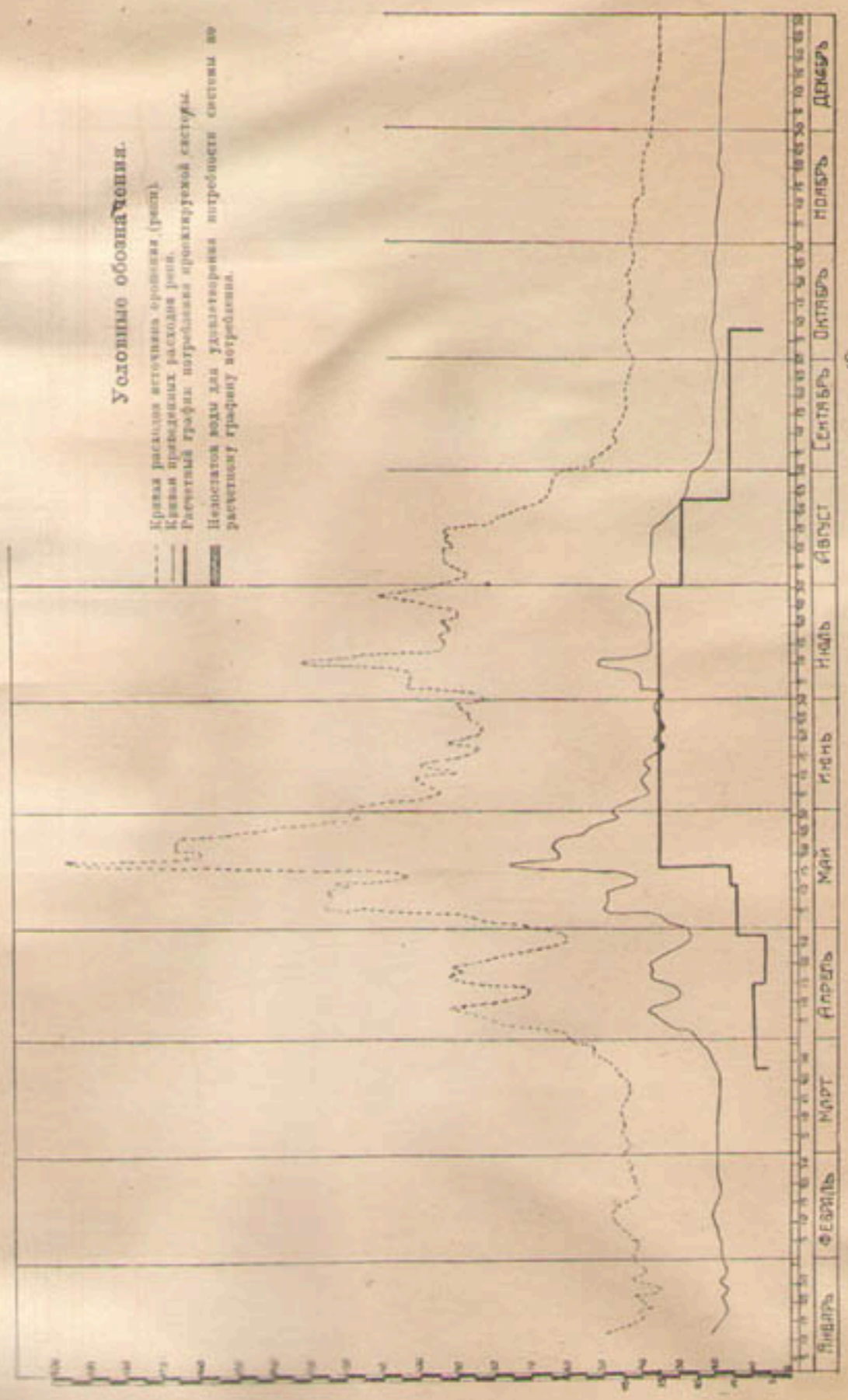


Черт. 85. Сопоставление графика потребления с кривой расходов реки.

Примечание. На графике „минимум-миниморной" кривой „приведенных" расходов реки следует понимать ту часть от общего расхода реки, на которую имеет право площадь орошения проектируемой системы, т. е. $\frac{Q}{n}$ — площадь орошения проектируемой системы, то q — „приведенный" расход реки — будет равен $Q : \frac{\Omega}{n}$.

мер к увеличению коэффициента полезного действия, между тем часто могут иметь место случаи, когда график отдачи воды на поля орошения целиком умещается в пределах минимум-миниморной кривой расходов исто-

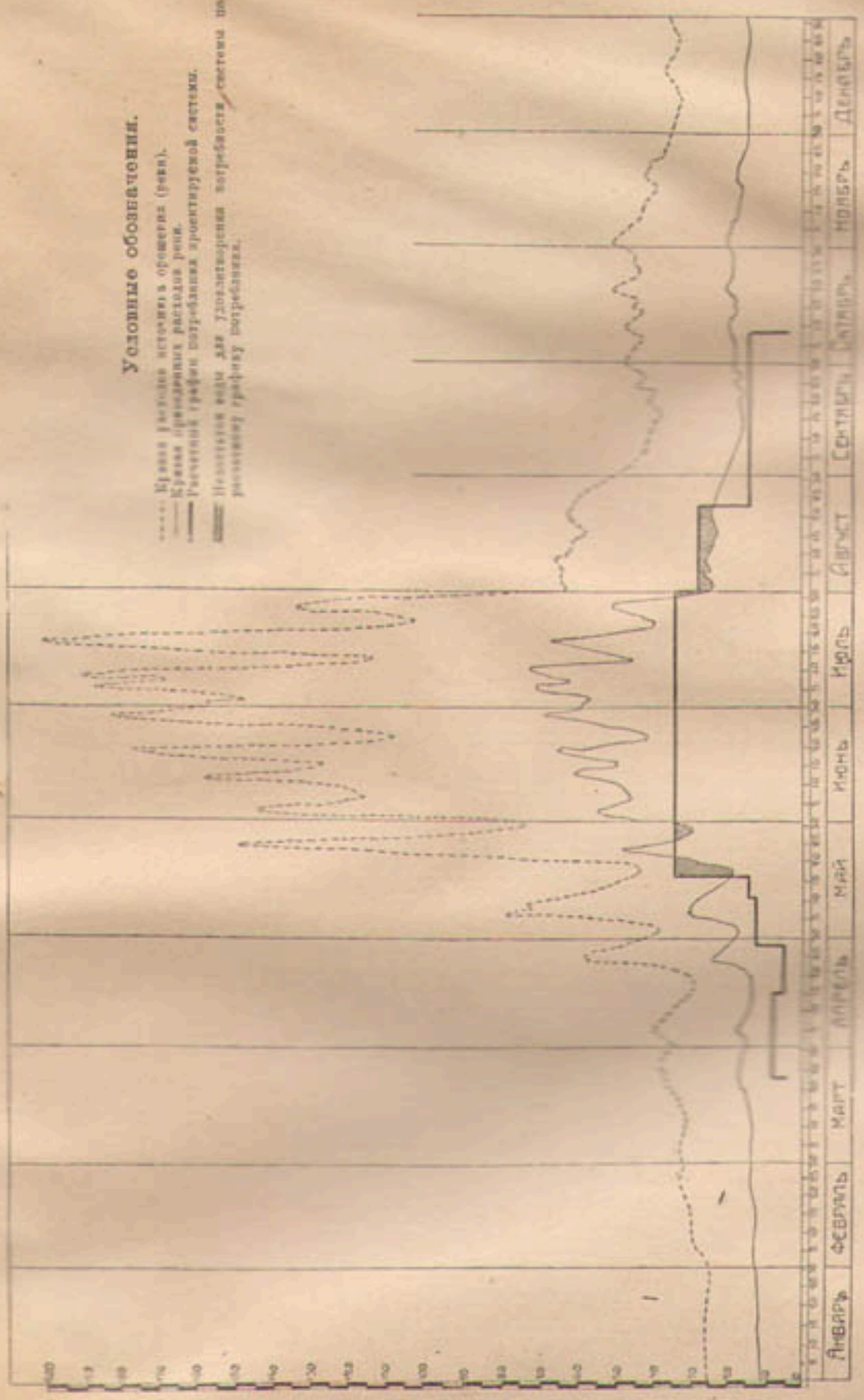
ника (см. черт. 88), так что, если бы величину потерь в главных каналах, распределителях и оросителях можно было бы понизить до такой степени, чтобы график потребления воды тоже нигде не пересекал бы кривую мини-



Черт. 86. Сопоставление графика потребления с кривой расходов реки.

мальных (минимум-миниморных) расходов, например, имел бы очертание ABCDEGK (см. черт 88), можно было бы и обойтись без водохранилищ и не жертвовать урожайностью тех или иных культур.

Чтобы взвесить целесообразность подобного решения вопроса и сопоставить его с двумя раньше указанными способами решения, необходимо прежде всего определить максимальный, требующийся в этом



Черт. 87. Сопоставление графика потребления с кривой расходов реки.

случае, коэффициент полезного действия системы. Очевидно, что график потребления не должен нигде выходить за минимум-миниморную кривую, в пределе он может только частично сливаться с последней, оставаясь

все-таки в значительной своей части ниже минимум-миниморной кривой. Линия ABCDEGK на чертеже 88 показывает такое предельное положение кривой потребления. Отношение ординаты графика отдачи воды на поля к соответствующей ординате кривой ABCEDGK и дает тот максимальный коэффициент полезного действия, который должна иметь система.

Черт. 88. Установление коэффициента полезного действия системы (η_{ix}), при котором график потребления не выходит за пределы минимум-миниморной кривой расхода.

Узнав требующуюся величину коэффициента полезного действия (η_{ix}) и с другой стороны зная, что проектируемая ирригационная система без особых мер по сбережению воды в канале должна иметь коэффициент полезного действия, положим,—$\eta_{iнор.}$ легко определить, что потери воды в системе надо понизить в

$$\frac{1-\eta_{iнорм.}}{1-\eta_{ix}} \times \frac{\eta_{ix.}}{\eta_{iнорм.}} \text{ раз.}$$

В самом деле, при нормальном коэффициенте полезного действия

$$\frac{Q_{пол.}}{Q_{гол.}} = \eta_{iнорм.}$$

Потери в этом случае равны:

$$Q_{гол.} - Q_{пол.} = \frac{Q_{п.х.}}{\eta_{iнорм.}} - Q_{пол.} = Q_{пол.}\left(\frac{1-\eta_{iнорм.}}{\eta_{iнорм.}}\right)$$

Для коэффициента полезного действия η_{ix}

$$\frac{Q_{пол.}}{Q^{x}_{гол.}} = \eta_{ix},$$

а потери:

$$Q^{x}_{гол.} - Q_{пол.} = \frac{Q_{пол.}}{\eta_{ix}} - Q_{пол.} = Q_{пол.}\left(\frac{1-\eta_{ix}}{\eta_{ix}}\right).$$

Отношение потерь в первом и во втором случае и даст искомую величину. Выше были приняты следующие условные обозначения:

$Q_{п-л.}$ — полезный расход воды, то-есть количество воды, подаваемое из ирригационной системы на поля орошения.

$Q_{гол.}$ — расход в голове главного канала в случае если не приняты особые меры по сбережению потерь.

$Q^{1}_{гол.}$ — расход в голове главного канала в случае принятия мер по сбережению потерь воды на фильтрацию из каналов.

Далее, на основании особых дополнительных подсчетов, сообразно с местными условиями и данными практики, требуется установить, какие элементы ирригационной системы будет выгоднее покрыть бетонной одеждой с точки зрения уменьшения потерь—главный ли канал, распределительную ли или мелкую сеть, или части их в особой комбинации, а затем, хотя бы приблизительно, необходимо выяснить дополнительные расходы S_2 [1]), вызываемые бетонированием намеченных элементов системы.

Подготовив, таким образом, необходимый материал по каждому из трех вышеуказанных вариантов решений вопроса об обеспечении ирригационной системы водой в случае недостатка ее в источнике орошения, необходимо приступить к их экономическому сравнению.

Исследование вопроса о влиянии недостатка воды (для каждого года по которому имеются гидрометрические наблюдения) на урожайность культур сельско-хозяйственного района, обслуживаемого проектируемой ирригационной системой, дает возможность определить причиненный неполным поливом убыток по формуле:

$$Д = \Sigma (Ω \times K_i \times M_i \times N_i \times P_i),$$

где

Д — общий убыток данного года, получившийся вследствие уменьшения поливных норм,

Ω — действительно орошаемая сельско-хозяйственная площадь района, захватываемая проектом,

K_i — часть общей сельско-хозяйственной площади, занимаемая каждой из тех культур, которым вода давалась уменьшенными нормами,

M_i — средний урожай культуры при нормальном поливе,

N_i — дробь, показывающая, на какую часть понизился урожай каждой культуры вследствие уменьшения поливных норм,

P_i — средняя стоимость единицы урожая каждой культуры, получившей воду по уменьшенной норме.

---

[1]) Для получения надежных данных требуются довольно кропотливые подсчеты, при чем следует учесть, что бетонирование каналов не только уменьшает потери воды, но также позволяет строить каналы меньших сечений и предохраняет в будущем систему от заболачивания. Для районов с близкими грунтовыми водами, в особенности если следует ожидать быстрого засоления почв, последнее обстоятельство может иметь столь важное значение, что оно одно может перетянуть чашку весов в пользу третьего способа решения вопроса.

Определив для каждого года убыток, причиняемый недостатком воды, берем среднее арифметическое из полученных цифр и получаем как бы убыток среднего года, капитализируя который, устанавливаем тот общий убыток S_1, который принесет системе неполная подача воды.

Точно также — вычислив, согласно предыдущему, емкость потребных водохранилищ и пользуясь статистическими данными о стоимости устройства их при различных условиях, учтя при этом, по возможности, коррективы, которые должны быть внесены по местным условиям, определяем стоимость водохранилищ, требующихся для обеспечения ирригационной системы потребным количеством воды, а также ежегодные эксплоатационные расходы по капитальному и текущему ремонтам и по содержанию водохранилищ. Капитализируя эксплоатационные расходы и прибавив их к основной стоимости водохранилища, установим тот общий расход S_2, который придется произвести в случае разрешения вопроса при помощи устройства водохранилищ. Сопоставление S_1, S_2 и S_3[1] даст требуемое решение вопроса.

В большинстве случаев даже весьма приблизительный подсчет величин S_1, S_2 и S_3 дает уже проектирующему руководящие указания, так как цифры отдельных решений обыкновенно сильно разнятся друг от друга. Но, конечно, в тех случаях, когда эти цифры будут мало разниться, расчет надо вести очень осторожно и следует перейти со средних цифр (напр., понижения урожайности, стоимости единицы урожая культур, нормы среднего урожая, стоимости устройства водохранилища, стоимости бетонирования и др.) на предельные (минимальные и максимальные), т. е. необходимо исследовать все явления в их вероятных пределах В этом случае для каждой величины S_1, S_2 и S_3 мы будем иметь два предельных значения (ограничивающих возможные колебания денежных затрат по каждому варианту решения вопроса об обеспечении ирригационной системы потребным количеством воды), т. е.

$$S_1^{\text{мин.}} \text{ и } S_1^{\text{мак.}},\ S_2^{\text{мин.}} \text{ и } S_2^{\text{мак.}},\ S_3^{\text{мин.}} \text{ и } S_3^{\text{мак.}}$$

Выше были указаны три „чистых" решения вопроса; могут имет место, конечно, и смешанные решения, например, водохранилище устраивается не на все недостающее количество воды, а только на часть (положим на весеннюю или осеннюю нехватку), все же остальные нехватки остаются, так что поливы некоторых культур соответственно уменьшаются; или, например, увеличением коэффициента полезного действия системы погашается только часть нехваток воды, а остальные нехватки берутся на водохранилища и т. д.

Для смешанных решений требуется та же методология, необходимо пройти весь намеченный путь, однако, часто при исследовании „чистых" решений выясняется та комбинация указанных способов, которая является в данном случае наиболее целесообразной.

---

[1]) S_3 — есть стоимость бетонирования плюс капитализированные эксплоатационные расходы по поддержанию бетонной одежды в порядке.

Гидромодуль.

Если площадь, фактически используемую под сельско-хозяйственные культуры—$\Omega_{всп.}$, разделить на численное значение ординаты графика потребления, взятой для какого-нибудь момента, т.-е. на $Q_{год.}$,

$$\frac{\Omega_{всп.}}{Q_{год.}} = \frac{\Omega_{д.} \times \mu}{Q_{год.}} = \lambda_{год.},$$

мы получим, очевидно, величину той площади, которая может быть в данный момент оросительного сезона орошена единицей расхода воды, забираемой из источника орошения. Величину $\lambda_{год.}$ будем называть гидромодулем у головного шлюза или в голове системы или еще иначе, гидромодулем brutto.

Если ту же площадь разделить на численное значение ординаты графика отдачи воды на поля, взятой для того же момента,

$$\frac{\Omega_{всп.}}{Q_{пол.}} = \frac{\Omega_{д.} \times \mu}{Q_{пол.}} = \lambda_{пол.}$$

мы получим, очевидно, величину той площади, которая может быть орошена в тот же момент оросительного сезона единицей расхода воды, отдаваемой из оросителей на поля орошения. Величину $\lambda_{пол.}$ будем называть гидромодулем у полей орошения или гидромодулем netto.

В русских условиях, обыкновенно, принято определять площадь в десятинах, а расход воды или в кубических саженях в секунду или в кубических футах в секунду. Таким образом, гидромодуль будет выражать число десятин, которые могут быть орошены в данный момент одной кубической саженью или куб. футом в секунду. При метрической системе гидромодуль будет выражать число гектаров, орошаемых одним кубическим метром в секунду.

Можно выразить гидромодуль так же и в объемном измерении, т. е., в виде количества воды (например, в куб. саж. или в куб. метр.), которое требуется израсходовать на полив одной десятины в течение оросительного периода.

За границей имеет распространение выражение гидромодуля толщиной слоя воды (в футах), подаваемого на единицу площади (акр), соответственно чему у нас можно было бы выражать гидромодуль в десятинофутах воды, а при метрической системе—в гектаро-сантиметрах.

При пользовании первым способом выражения гидромодуля, для возможности определения объема воды, требующегося для орошения одной десятины, необходимо знать также длину периода, в течение коего производится орошение. Этим выражением очень удобно пользоваться в тех случаях, когда требуемое количество воды определяется секундным ее расходом, например, при расчете пропускной способности каналов и сооружений.

Второй способ выражения гидромодуля прямо определяет объем воды, приходящийся на каждую десятину.

Одно выражение гидромодуля можно легко обратить в другое:

1 десятина-фут (то-есть десятина, покрытая слоем воды глубиною в 1 фут) = 117600 кб. фут. = 33,30 гектаро-сантиметра.

1 кб. фут. в секунду в течение 1 часа = 0,03 десятинофута = 1 гектаросантиметру.

1 кб. фут. в секунду в течение суток = 0,73 десятинофута = 24 гектаросантиметрам,

1 гектаросантиметр (то есть 1 гектар, покрытый слоем воды глубиною в 1 сантиметр) = 100 куб. метр.

1 кб. метр. в секунду в течение одного часа = 33 гектаросантиметрам = = 1,08 десятинофута.

1 кб. метр в секунду в течение суток = 864 гектаросантиметрам = = 25,92 десятинофут.

Так как ординаты графика потребления и графика отдачи воды изменяются в течение оросительного сезона, то, очевидно, должна меняться и величина гидромодуля.

Особенный интерес представляет величина гидромодуля для того периода оросительного сезона, когда водопотребность района достигает максимальной величины, то-есть

$$\frac{\Omega_{\text{д.}} \times \mu}{Q_{\text{гол.}}^{\text{мак.}}} = \lambda_{\text{гол.}}^{\text{мин.}}$$

и

$$\frac{\Omega_{\text{д.}} \times \mu}{Q_{\text{пол.}}^{\text{мак.}}} = \lambda_{\text{пол.}}^{\text{мин.}}$$

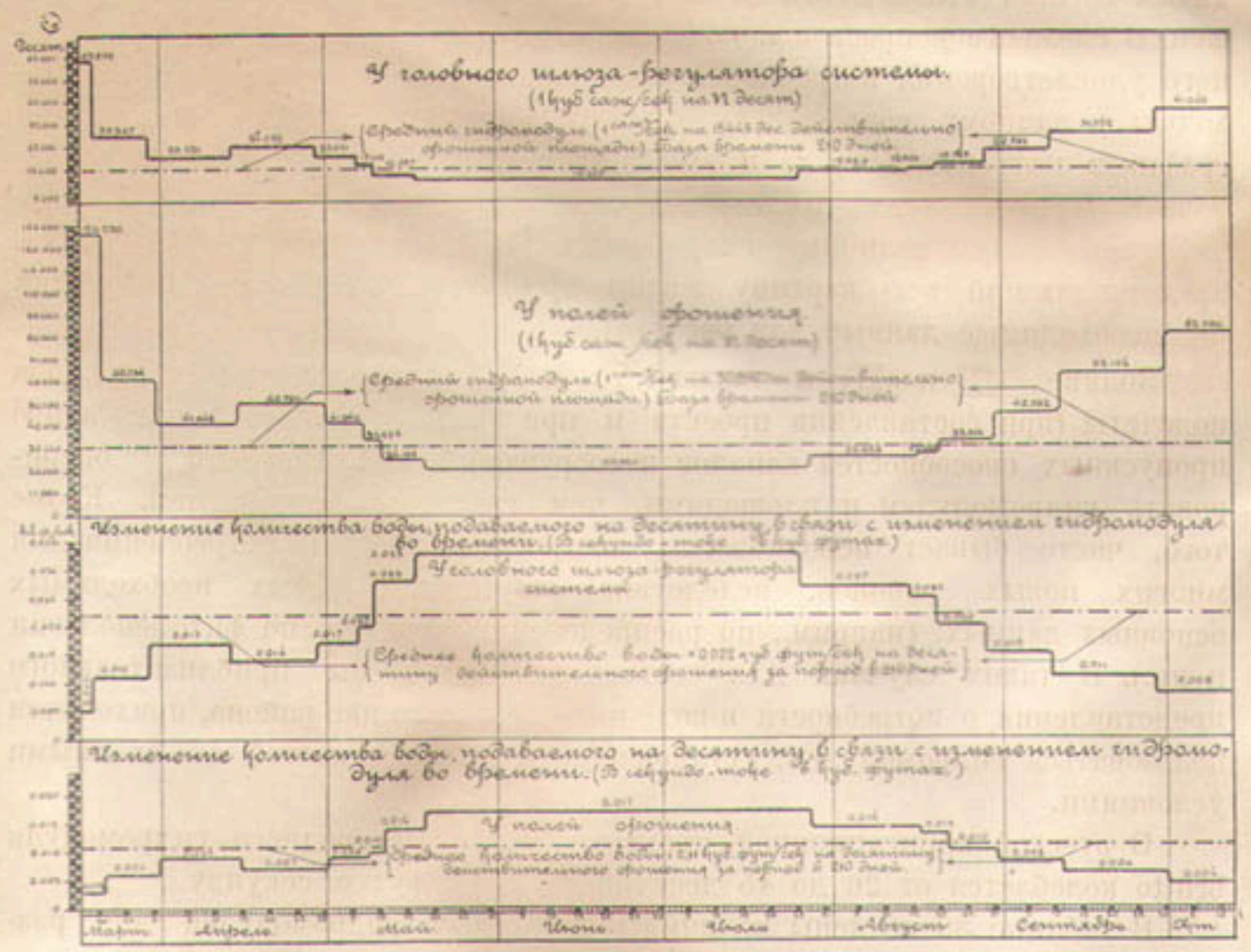
Действительно, если бы мы знали эти величины, а также площадь предполагаемого использования $\Omega_{\text{исп.}} = \Omega_{\text{д.}} \times \mu$, можно было бы произвести обратное вычисление и найти величины $Q_{\text{гол.}}^{\text{мак.}}$ и $Q_{\text{пол.}}^{\text{мак.}}$, определяющие пропускную способность головного шлюза и холостой части главного канала, не прибегая к тому сложному анализу и тем построениям, которые мы выше описали.

Величина гидромодуля очень сильно изменяется в течение периода орошения, так что обычно употребляемое понятие о средней величине гидромодуля не может дать никакого представления ни о режиме главных ирригационных сооружений, ни о максимальной пропускной способности, на которые надо расчитывать эти сооружения, ни о характере водооборота.

Для примера, на черт. 89 показано изменение гидромодуля в течение оросительного сезона для Северной Голодностепской системы. Из чертежа легко усмотреть, что средний гидромодуль ($\lambda_{\text{г. д.}}^{\text{ср.}}$), за период в 210 дней, выражается в 15445 действительно орошенных десятин на единицу расхода в 1 кб. саж. воды в секунду, что в марте гидромодуль поднимается до 63.295 десятин, а в разгаре лета падает до 10.260 десятин.

Величина $\frac{1}{\lambda}$, обратная среднему гидромодулю, показывает, какое количество воды должно подаваться в данный момент на одну десятину, если предпо-

ложить, что вся площадь постоянно орошается непрерывным током. На том же чертеже приведен график изменения этой величины, показывающий, что понятие о постоянном среднем токе воды, подаваемом на одну десятину, тоже не имеет никакой практической ценности.



Черт. 89. Изменение гидромодуля в течение оросительного сезона (условия Голодной Степи).

Ток воды на 1 десятину не может оставаться постоянным, он должен значительно изменяться в течении оросительного сезона соответственно с общим режимом главного поливного графика. Кроме того, если подавать воду непрерывным током, величина его, приходящаяся на одну десятину, становится столь ничтожной, даже в своем максимуме, что, очевидно, вода будет просто теряться в оросительных канавках, не доходя по назначению. Из графика видно, что при непрерывном токе воды на каждую десятину орошаемой земли должно подаваться (в условиях Голодной Степи) в марте—0,006 куб. фута в секунду, в июне—0,017 куб. фута в секунду, и что средний фиктивный ток воды (в течение 210 дней) должен быть равным—0,011 куб. фут. в секунду (на черт. 89 ошибочно указано 0,11 кб. фут. в сек.).

Величина гидромодуля, очевидно, зависит от совокупности всех тех факторов, от которых зависит и график потребления. Гидромодулем, установленным для одного какого-нибудь района, обыкновенно невозможно воспользоваться даже для района расположенного по соседству, ибо несходство, хотя бы в одном из факторов, может существенно изменить его

величину, (например, несходство в почво-грунтах или в распределении культур или в заселении района и пр.). Поэтому мы не находим нужным загромождать данный труд обильным статистическим материалом по гидромодулю различных стран, обычно приводимым в курсах ирригации. Таким слепым статистическим методом невозможно подходить к разрешению сложного вопроса о количестве воды, необходимом для рационального удовлетворения потребности орошаемого района. Надо всегда подходить к данному вопросу через анализ всех факторов, путем построения графиков потребления, так что величина гидромодуля может быть определена только в конце исследования. Может возникнуть вопрос, для чего же нужно знать величину гидромодуля раз имется график потребления, представляющий всю картину жизни проектируемой системы и дающий все необходимые данные для расчета?

Знание $\lambda_{нет.}^{мин.}$ и $\lambda_{вал.}^{мин.}$, а также $\lambda_{год.}^{сред.}$ и $\lambda_{вод.}^{сред.}$ облегчает всякого рода подсчеты (при составлении проекта и при эксплоатации) по определению пропускных способностей каналов и сооружений, так как легче оперировать гидромодулем и площадями, чем графиком потребления. Кроме того, часто бывает невозможным построение графика потребления для многих новых районов, вследствие отсутствия самых необходимых основных данных, (наприм., по распределению культур, по фитофенологии и пр.). В таких случаях для составления хотя бы приблизительного представления о потребности в воде интересующего нас района, приходится пользоваться гидромодулем, установленным для местностей со сходными условиями.

В русской ирригационной практике величина среднего гидромодуля brutto колеблется от 26 до 45 десятин на 1 кб. фут в секунду.

В таблице 38 сведены величины проектных гидромодулей для различных районов (орошаемых и предполагаемых к орошению) России, причем приведены как средние, так и минимальные их величины.

Таблица 38.

Район.	Величина гидромодуля (число десятин, орошаемых 1 куб. футом в секунду).			
	Среднего.		Минимального.	
	netto	brutto	netto	brutto
Голодная степь	90	45	60	30
Зеравшанская долина:				
1-ый район . . .	60	—	45	—
2-ой район . . .	84	—	58	—
3-ий район . . .	74	—	54	—
Чимбайская степь	95	—	57	—
Отрарский район	88	44	54	27
Бикесарийский район	84	42	50	25
Койбальская степь	56	36	31	20
Материковые уезды Таврической губернии	110	55	70	35

Герберт Вильсон, (Wilson, H. M.) в своем труде „Irrigation Engineering“ дает следующую интересную таблицу колебаний средних величин гидромодуля brutto для различных местностей.

Таблица 39.

МЕСТНОСТЬ.	Средний гидромодуль brutto. Число десятин на один куб. фут в секунду.
Северная Индия	22,2 — 55,5
Италия	24,0 — 25,9
Колорадо	29,6 — 44,4
Ута	22,2 — 44,4
Монтана	29,6 — 37,0
Вайоминг	25,9 — 33,3
Айдаго	22,2 — 29,6
Новая Мексика	22,2 — 29,6
Южная Аризона	37,0 — 55,5
Долина Сан-Иохим, Калифорния	37,0 — 55,5
Южная Калифорния, поверхн. орошение	55,5 — 111,0
Южная Калифорния, подпочвенн. орошение	111,0 — 185,0

Значительное количество материалов по вопросу о фактическом гидромодуле накопилось за последние десять лет в С. Ш. С. Америки, что явилось следствием закона 1914 года—Extension Act'a, согласно которому величина всех эксплоатационных сборов на ирригационных системах должна исчисляться в зависимости от количества израсходованной воды. Указанные данные приведены в таблице 40 и, в силу самой цели их получения, повидимому, эти данные можно считать имеющими достаточную степень точности.

Таблица 40 дает интересные цифровые данные об изменении с течением времени величины гидромодуля на одних и тех же системах и притом за довольно продолжительный срок—в 8 лет. Из рассмотрения таблицы можно притти к заключению, что величина гидромодуля, будучи подвержена из года в год колебаниям в ту и другую стороны, все же в большинстве случаев имеет тенденцию уменьшаться с течением времени, что вполне совпадает со всеми вышеприведенными рассуждениями.

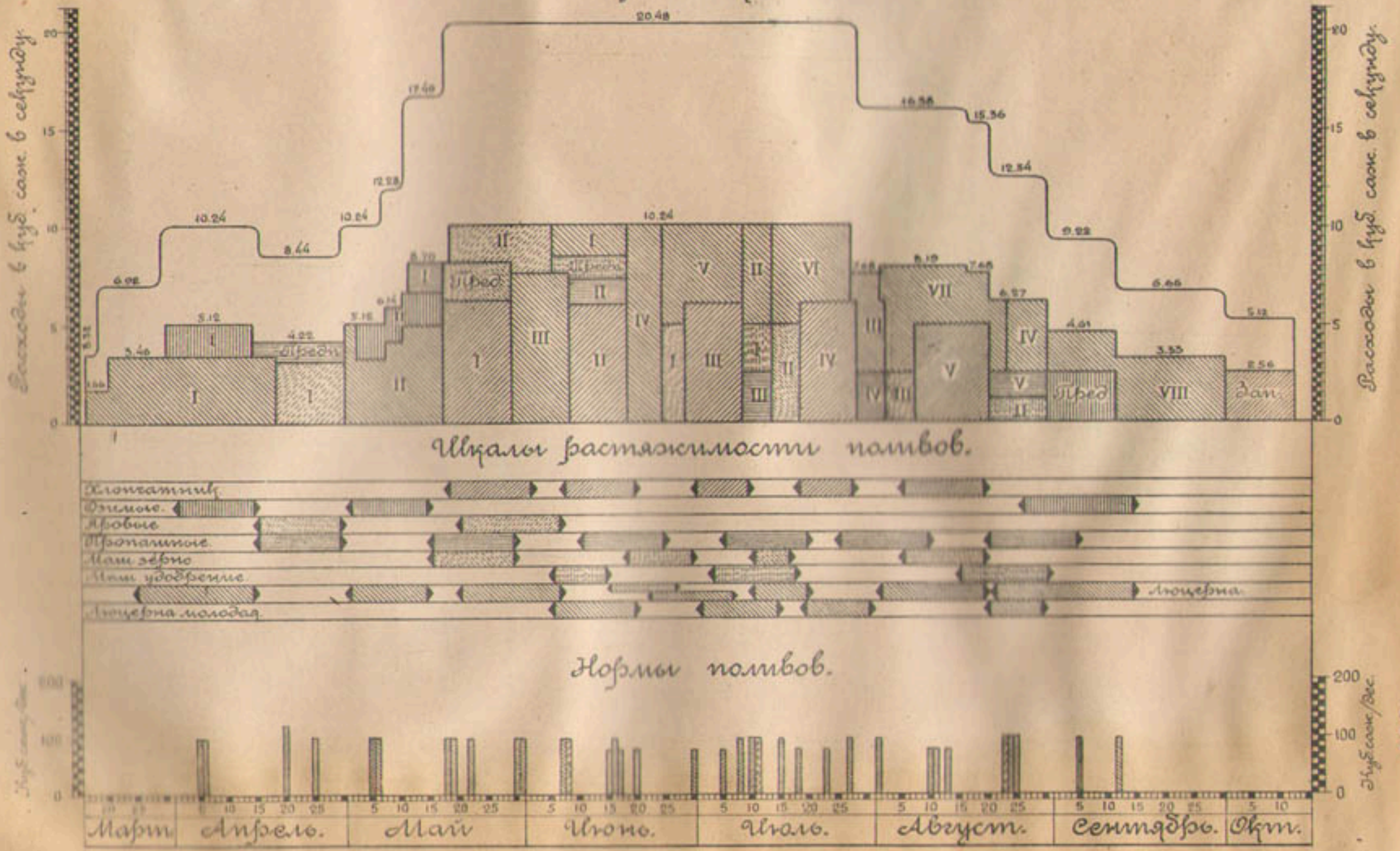
Таблица 40.

Название района орошения.	Среднее количество годов. осадков, в дюймах.	Характер почвы.	Длина оросительного сезона.	Главные культуры.	Гидромодуль netto, выраженный глубиною слоя воды, поданной на десятину за оросительный сезон, в футах.							
					1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917
Salt River. Arizona. . .	8	Легкий суглинок.	365	Фрукты, хлопок, кормовые травы.	3,60	3,53	3,94	2,97	2,62	2,66	2,58	2,67
Juma, Arizona	2,9	гравелистые пески.	365	Фрукты, кормовые травы, хлопок.	3,10	5,43	4,60	4,36	3,69	3,34	3,20	3,70
Uncompahgre, Colorado.	9,5	Песчано-гравелистая и тяжелый суглинок.	214	Фрукты, кормовые травы, овощи.	6,25	5,44	4,81	5,09	5,06	5,56	6,08	5,96
Boise, Idaho	12,8	Тяжелый и легкий суглинок.	214	Фрукты, кормовые травы, овощи и зерновые культуры.	1,67	1,79	1,93	2,38	2,62	2,81	3,56	3,10
Minidoca, Idaho	12,6	Легкий суглинок.	214	Фрукты, кормовые травы, овощи и зерновые культуры.	7,30	5,90	4,30	5,00	4,30	3,90	3,70	3,10
Huntley, Montana. . . .	13,8	От плотной глины до легкого суглинка.	153	Кормовые травы, зерновые культуры и сахарная свекла.	2,03	1,88	1,50	1,53	1,43	0,97	1,13	1,10
Sun River, Montana. . .	11,2	Легкий суглинок, глина.	148	Кормовые травы, зерновые культуры и овощи.	2,30	1,65	1,71	1,50	1,73	1,10	1,22	1,40
North Platte, Nev.-Wyo.	14,4	Суглинок.	183	Кормовые травы, зерновые культуры и овощи.	3,93	4,26	2,25	2,49	2,92	1,38	2,17	2,13
Truckee-Carson, Nevada .	4,0	Песок, легкий суглинок, глина.	198	Кормовые травы, зерновые культуры и овощи.	4,65	4,46	2,50	2,26	3,28	2,94	3,32	3,10
Carlsbad, New-Mexico.	15,2	Легкий суглинок.	260	Фрукты, кормовые травы, зерновые культуры и хлопок.	2,40	2,20	2,90	2,30	2,40	2,14	2,43	2,30
Rio Grande, New-Mexico—Texas.	10,6	Легкий суглинок.	274	Фрукты, кормовые травы и зерновые культуры.	4,40	6,00	5,40	4,34	5,68	5,90	6,73	8,40
Klamath, Oregon-California.	14,2	Легкий суглинок.	153	Фрукты, кормовые травы и овощи.	0,88	1,23	1,13	1,17	1,05	1,12	1,02	0,97
Belle Fourche, S. D . .	15,0	Легкий суглинок.	152	Кормовые травы, зерновые культуры и овощи.	1,95	1,64	1,10	1,44	1,45	0,37	0,81	1,21
Lower Yellowstone Mon.—N. D	16,2	Легкий суглинок и плотная глина.	163	Кормовые травы, зерновые культуры и овощи.	1,44	1,41	1,19	1,34	1,59	1,42	1,25	1,77
Okanogan, Wash	12,5	Легкий суглинок.	123	Кормовые травы, зерновые культуры и овощи.	2,46	1,27	1,24	1,57	2,59	2,38	2,50	2,50
Tieton, Wash.	7,0	—	153	Фрукты и зерновые культуры.	1,73	1,91	2,27	2,27	2,09	1,83	2,15	2,30
Sunnyside, Wash. . . .	6,7	Легкий суглинок.	214	Фрукты и зерновые культуры.	3,29	3,08	3,06	3,10	3,31	3,03	2,53	3,16
Schoshone, Wyo.	5,9	Легкий и тяжелый суглинок.	175	Кормовые травы, зерновые культуры и овощи.	2,05	2,20	1,66	2,08	2,38	2,12	2,34	2,10
Orland, California . . .	17,0	Легкий суглинок.	270	Фрукты и кормовые травы.	—	3,90	3,97	3,00	4,08	3,40	4,07	3,50

Черт. 90.

График потребления воды из источника орошения и график отдачи воды на поля для Голодной степи при нормально-интенсивном распределении культур.*)

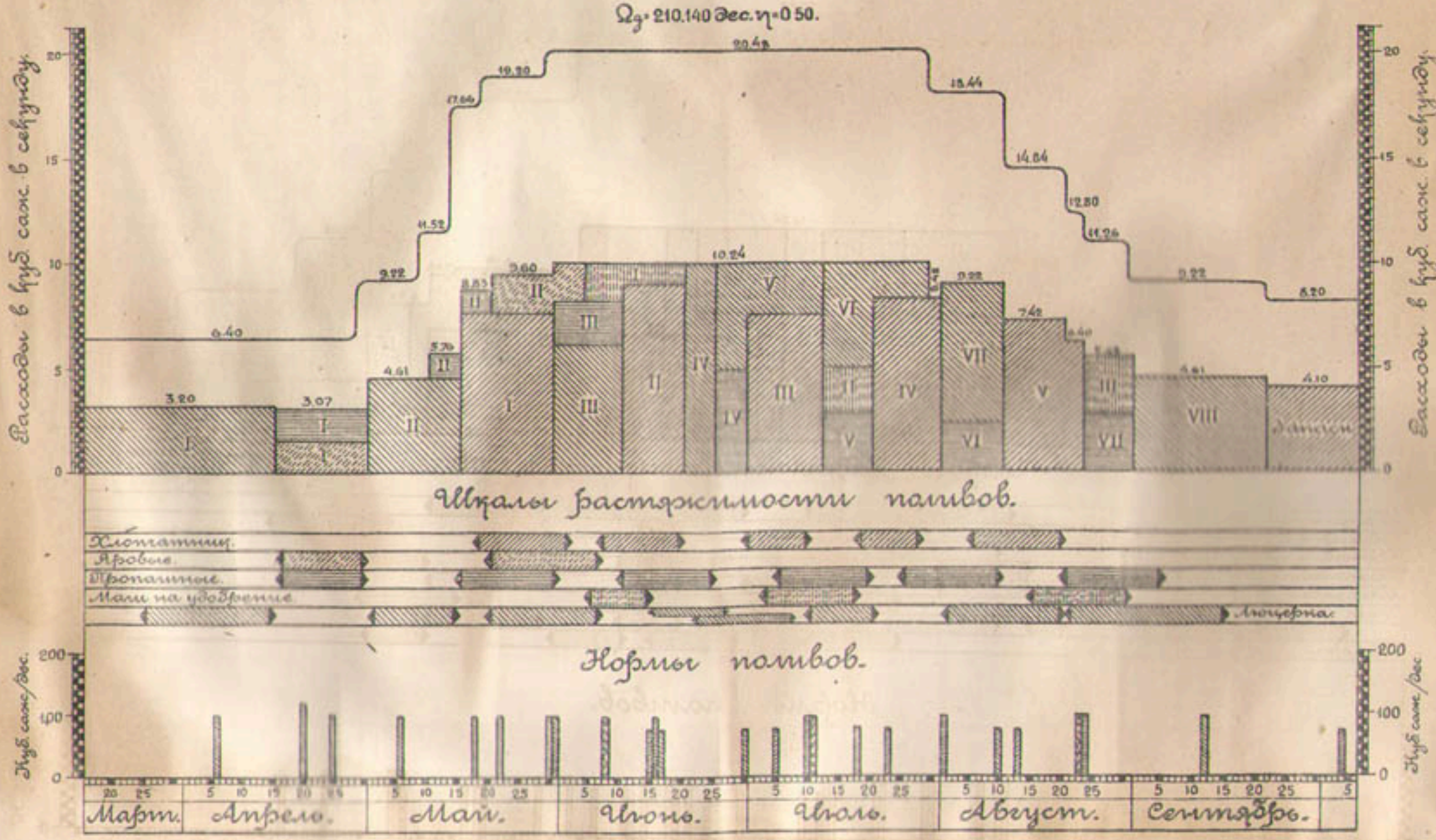
Ω_g = 210.140 дес. η = 0.50.



*) Проектное распределение культур в районе см. черт. 70.

Черт. 91.

График потребления воды из источника орошения и график отдачи воды на поля для Голодной степи при предельно-интенсивном распределении культур.*)



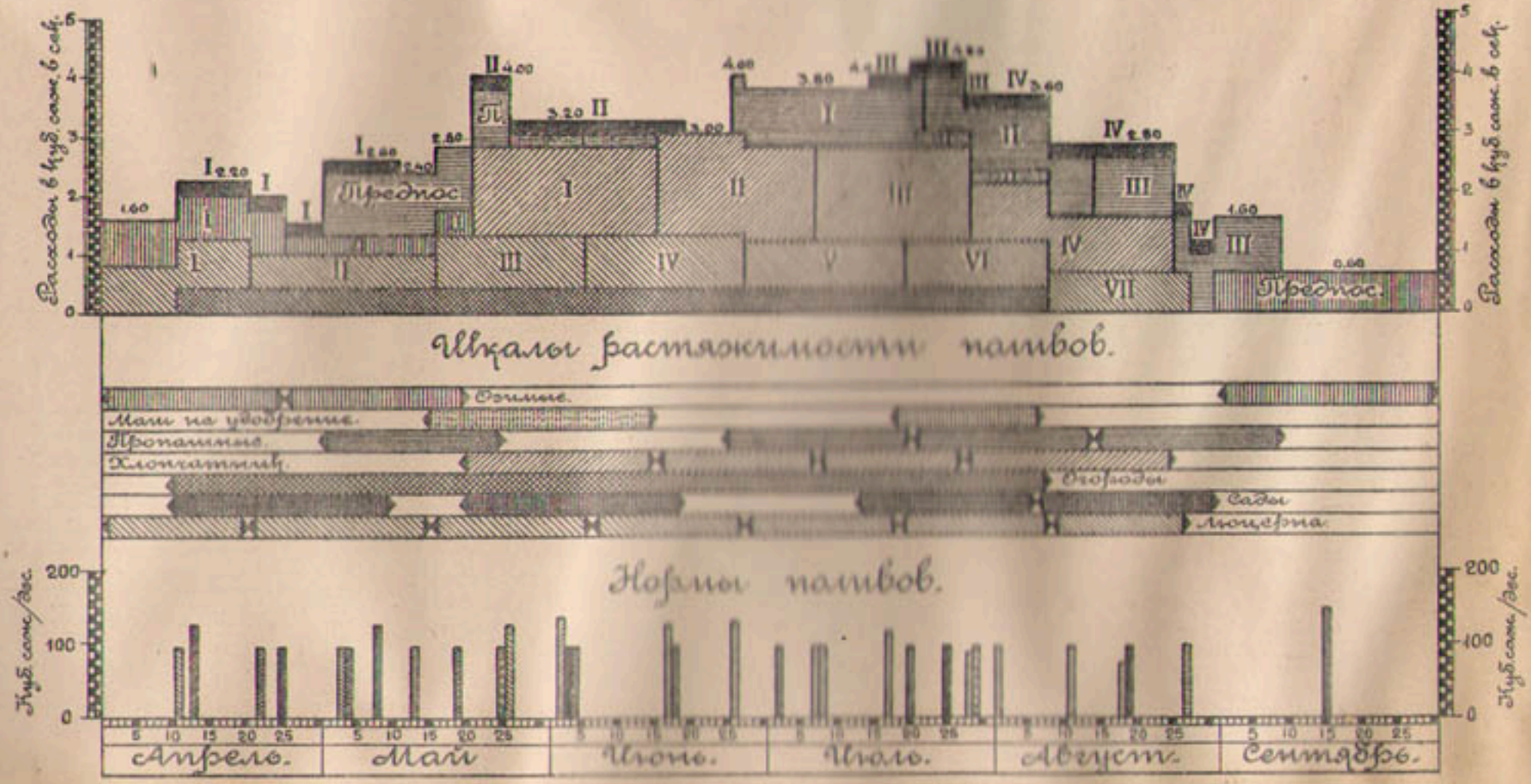
Проектное распределение культур в районе см. черт. 70.

*) По данным проекта орошения Голодной степи.

Черт. 92.

График отдачи воды на поля для Чимбайской степи Зеравшанской долины при условии полного регулирования р. Зеравшана.*)

Q_g = 81.400 десятин.



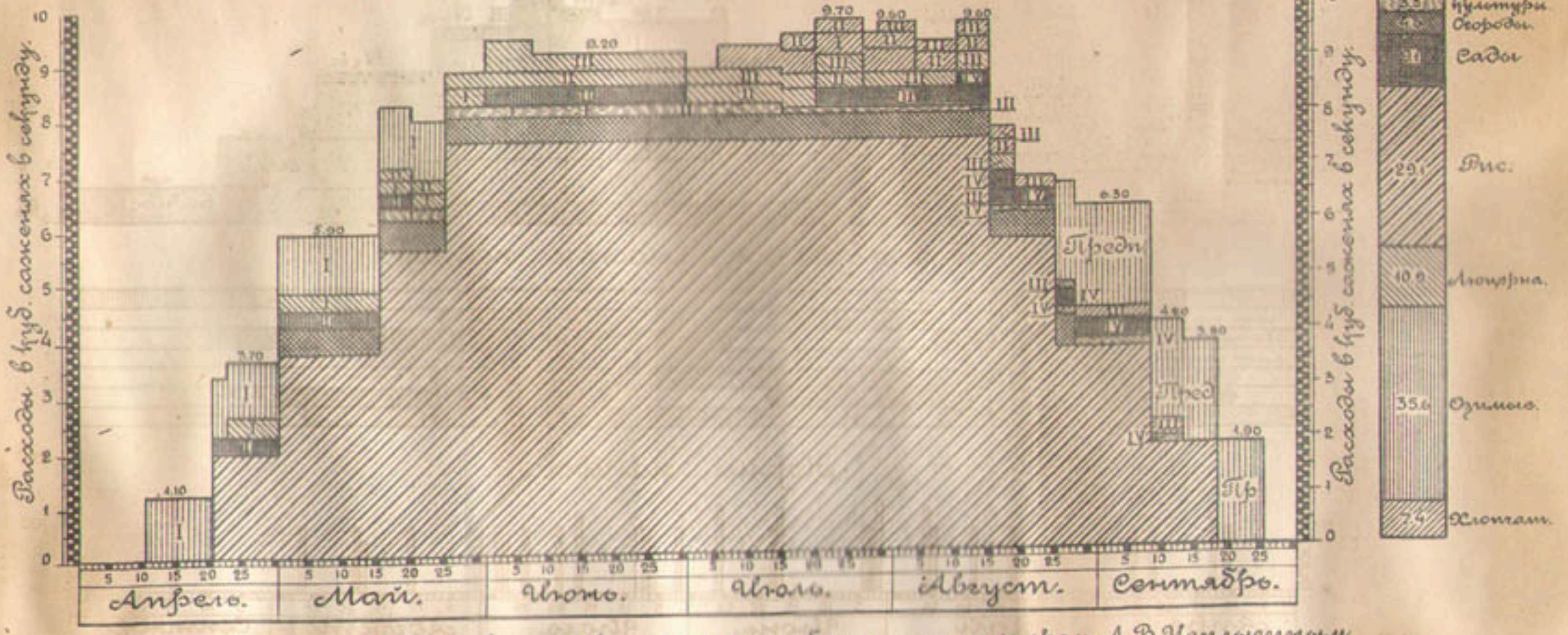
Просветное распределение культур в районе см. черт. 70.

*) По данным Зеравшанской изыскательской партии, сообщенным инженером А. В. Чаплыгиным.

Черт 93.

График отдачи воды на поля
для 1го района Зеравшанской долины при существующих условиях.*)

Q_g = 91.600 десятин.

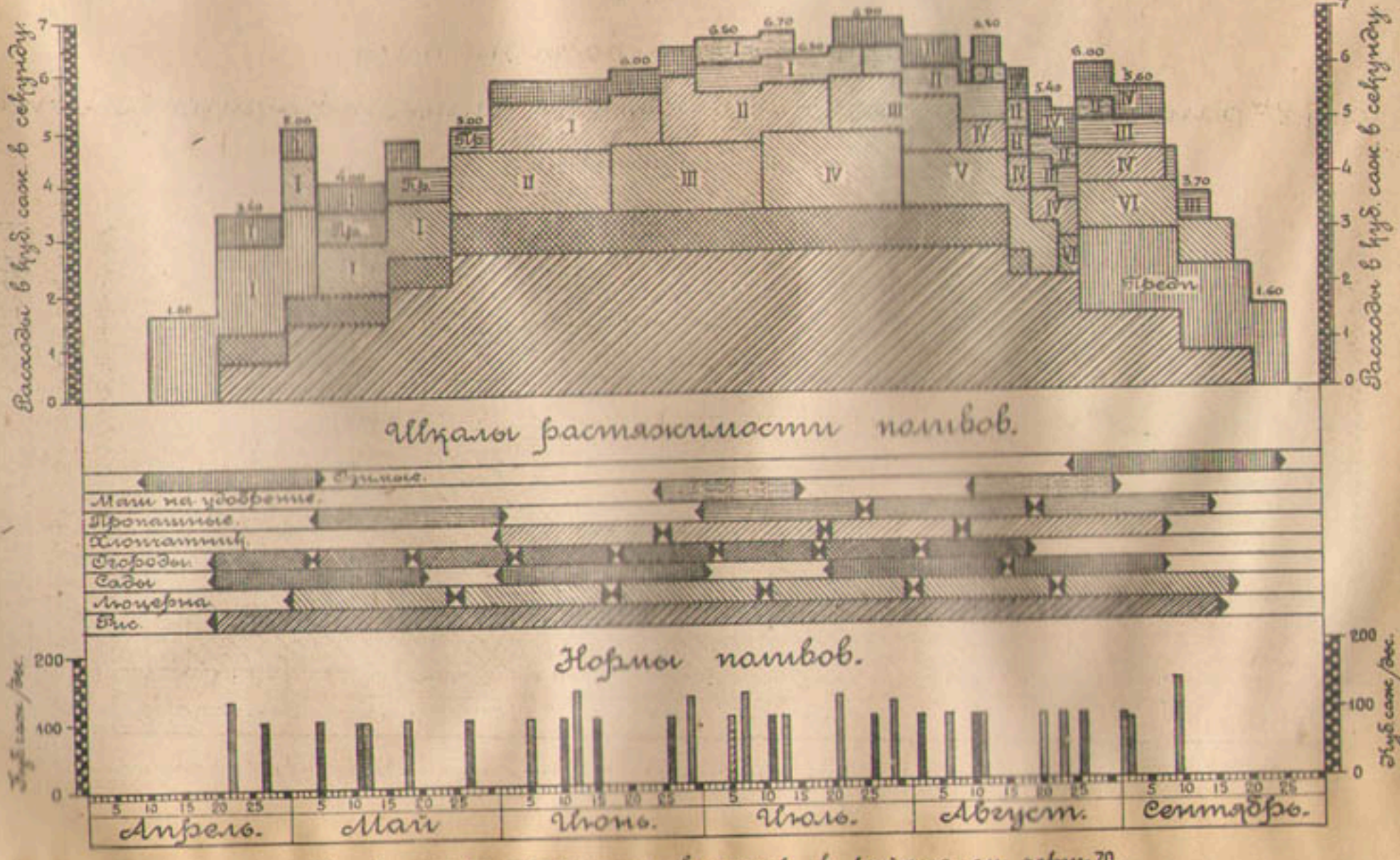


*) По данным Зеравшанской изыскательской партии, сообщенным инженером А.В. Чаплыгиным.

Черт. 94.

График отдачи воды на поля для 1го района Зеравшанской долины при условии полного регулирования р. Зеравшана.*)

Q_3 - 106.100 десятин.



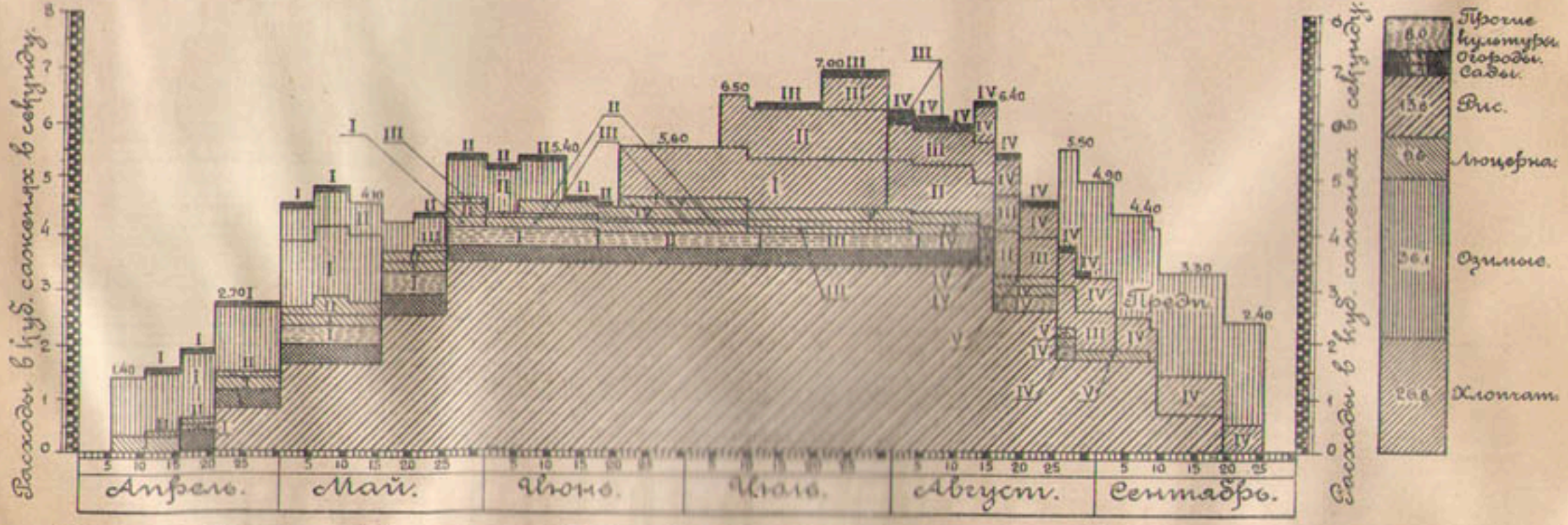
Процентное распределение культур в районе см. черт. 70.

*) По данным Зеравшанской изыскательской партии, сообщенным инженером А.В. Чаплыгиным.

Черт. 95.

График отдачи воды на поля для 2го района Зеравшанской долины при существующих условиях.*)

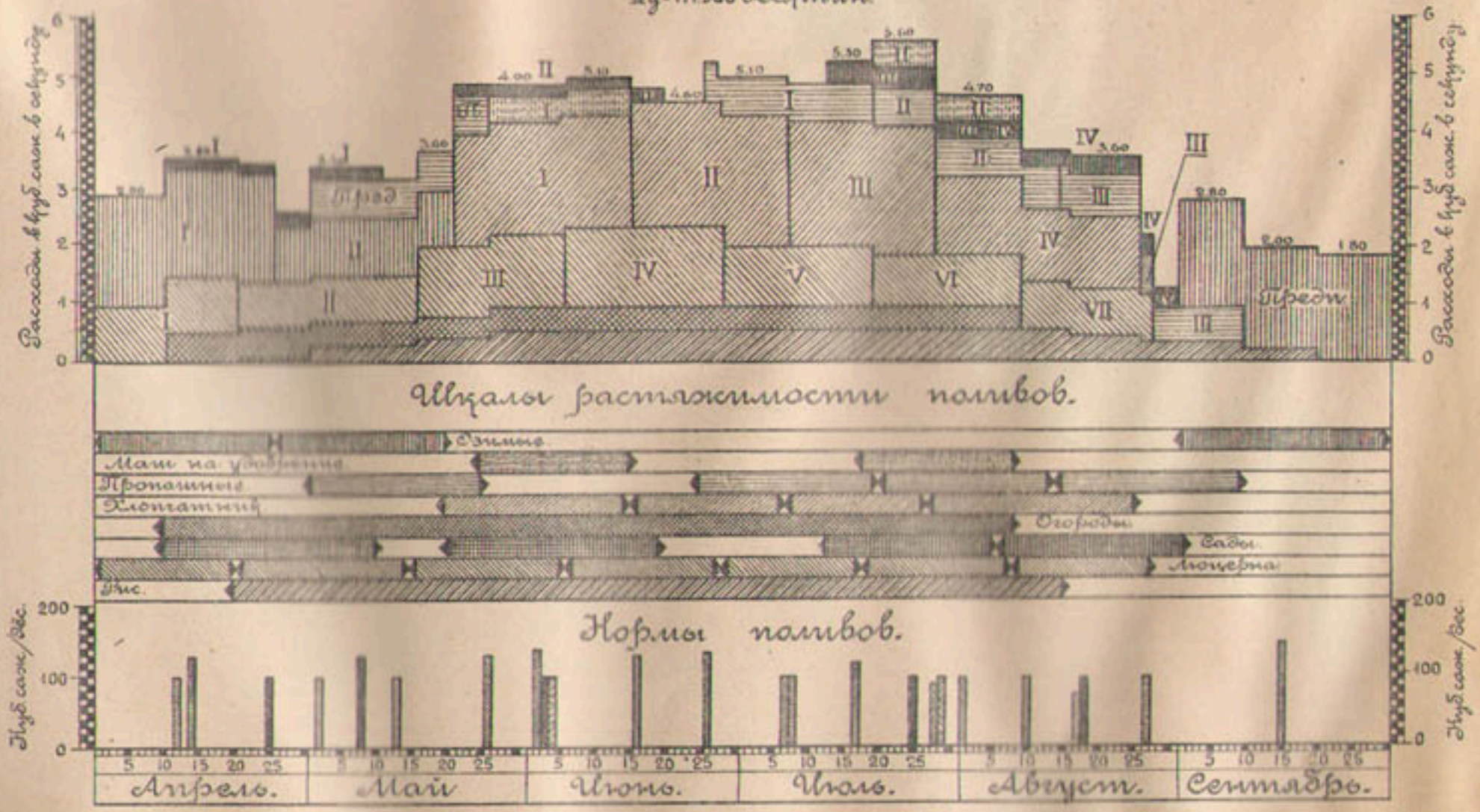
$Q_д$. 88200 десятин



*) По данным Зеравшанской изыскательской партии, сообщенным инженером А.В. Чаплыгиным.

Черт. 96.

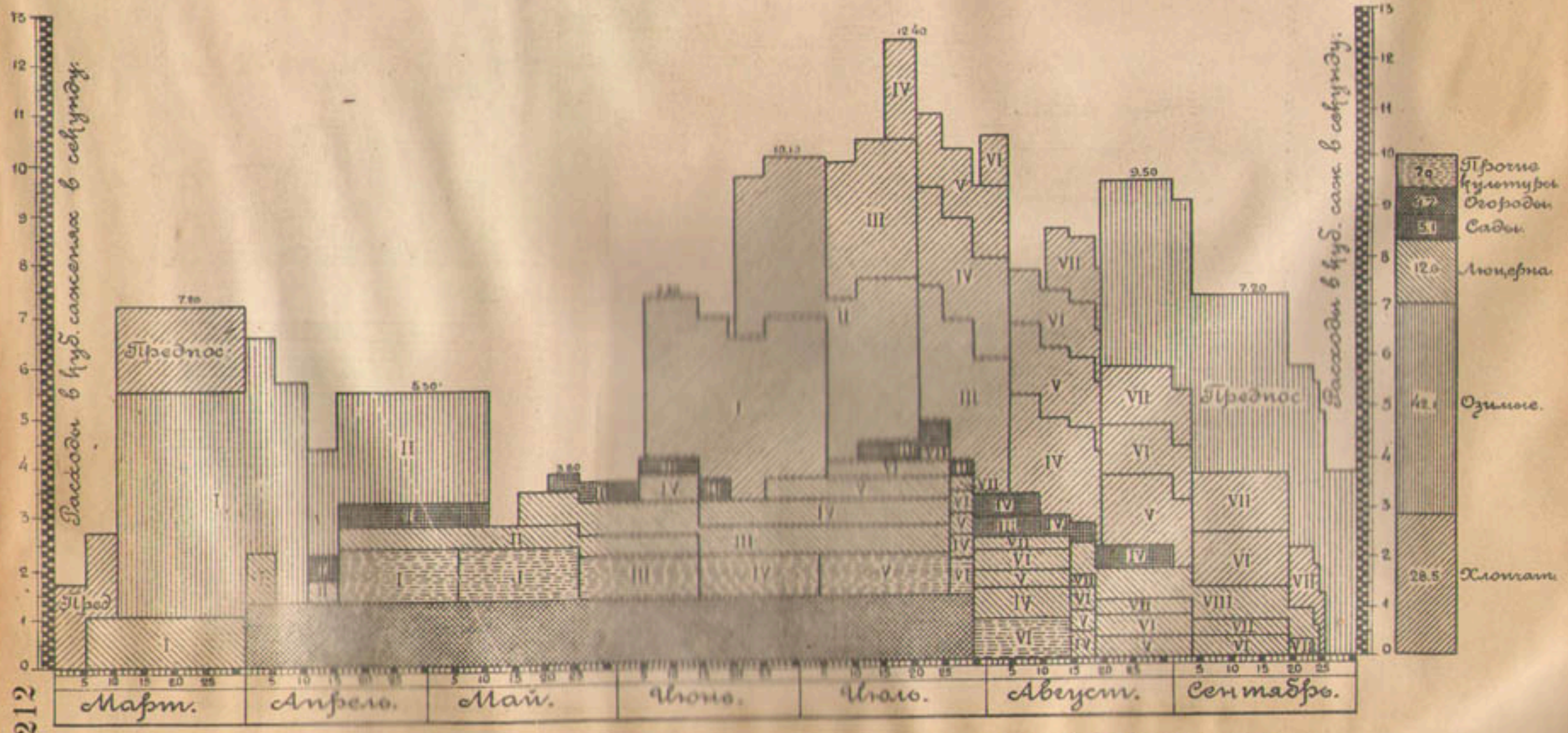
График отдачи воды на поля для 2го района Зеравшанской долины при условии полного регулирования р. Зеравшана.*)


Ωд=111300 десятин.
Расходы в куб. саж. в секунду
Посев
Пар
Посев
Пар
Посев
Пар

Черт. 97

График отдачи воды на поля для 3го района Зеравшанской долины при существующих условиях.*)

Ω_3. 213400 десятин

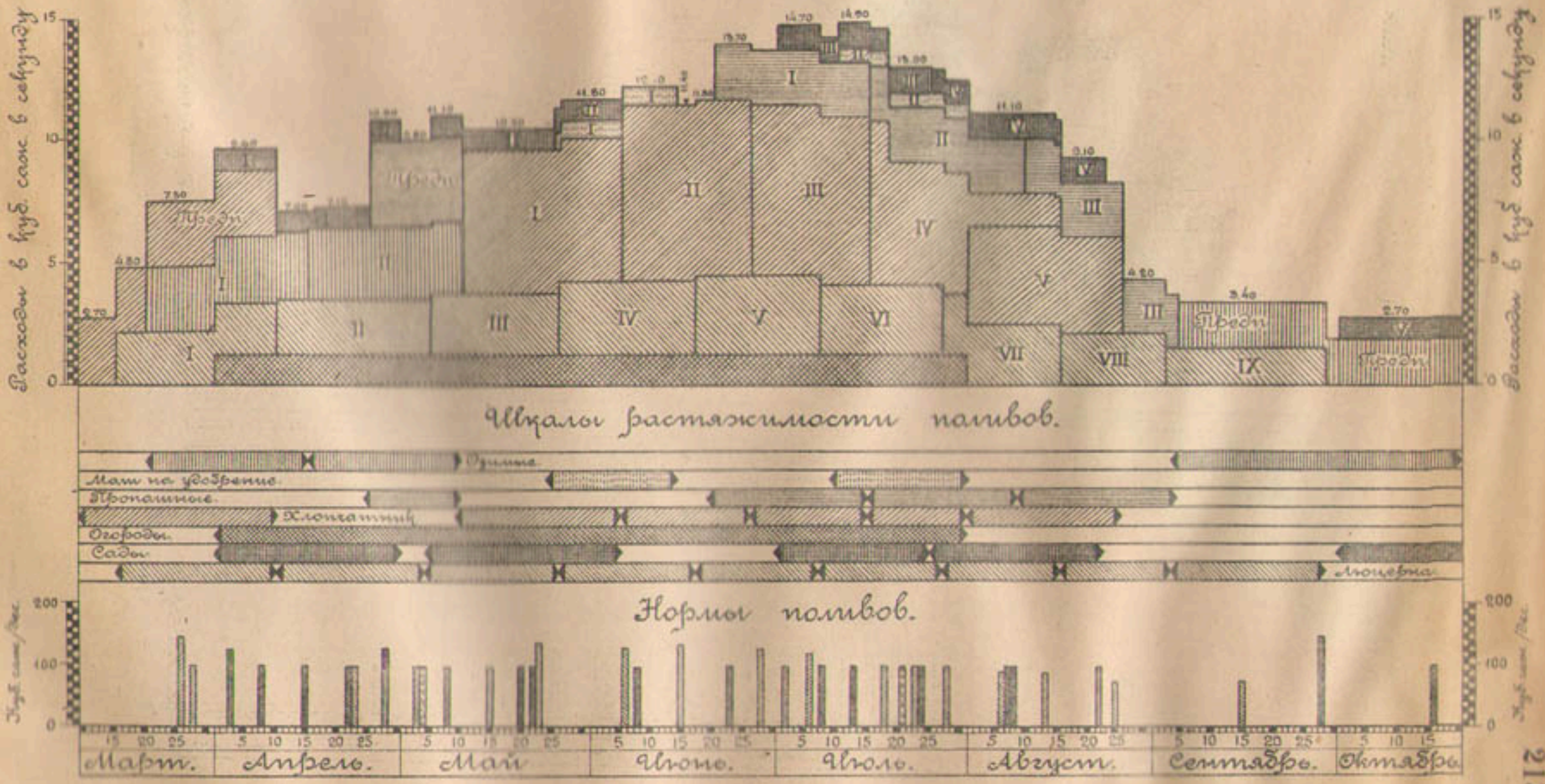


*) По данным Зеравшанской изыскательской партии, сообщенным инженером А.В. Чаплыгиным.

Черт. 98.

График отдачи воды на поля для 3го района Зеравшанской долины при условии полного регулирования р. Зеравшана.*)

Ω_g = 111300 десятин.



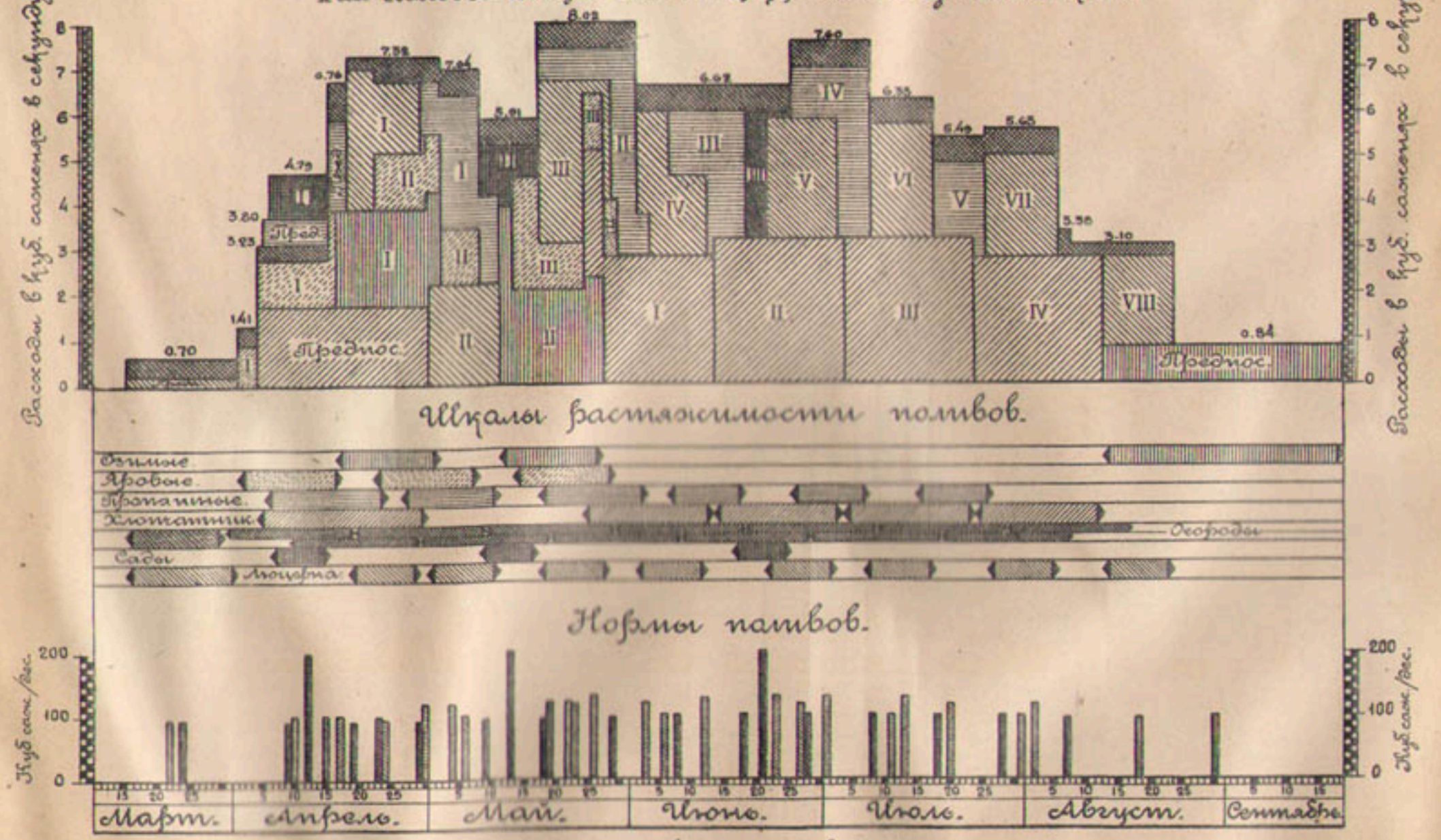
Проектное распределение культур в районе см. черт. 70.

*) По данным Зеравшанской изыскательской партии, сообщенным инженером А.В. Чаплыгиным.

Черт. 99.

График отдачи воды на поля для Отрарского района*)

Ω бас. = 200.000 дес. Ω отчуж. = 24.000 дес. Ω резер. = 29.000 дес. Ωд = 146.400 дес. η = 0.50.

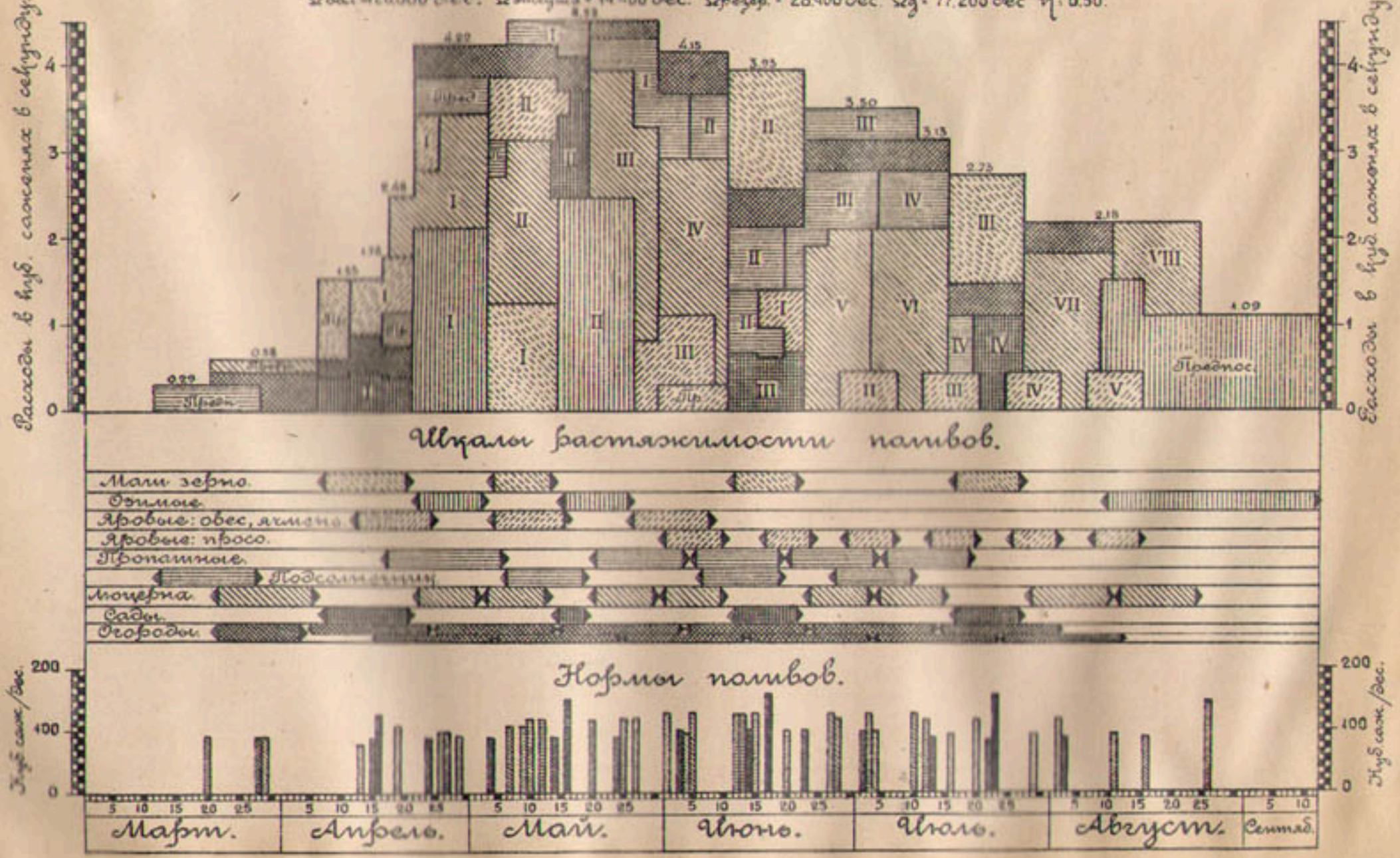


Проектное распределение культур в районе см. черт. 70.

*) По данным Низовье-Сыр-Дарьинских изысканий, обработанным агрономом изыск. Кангером Е.С.

Черт. 100.

График отдачи воды на поля*) для Бикесарийского района.



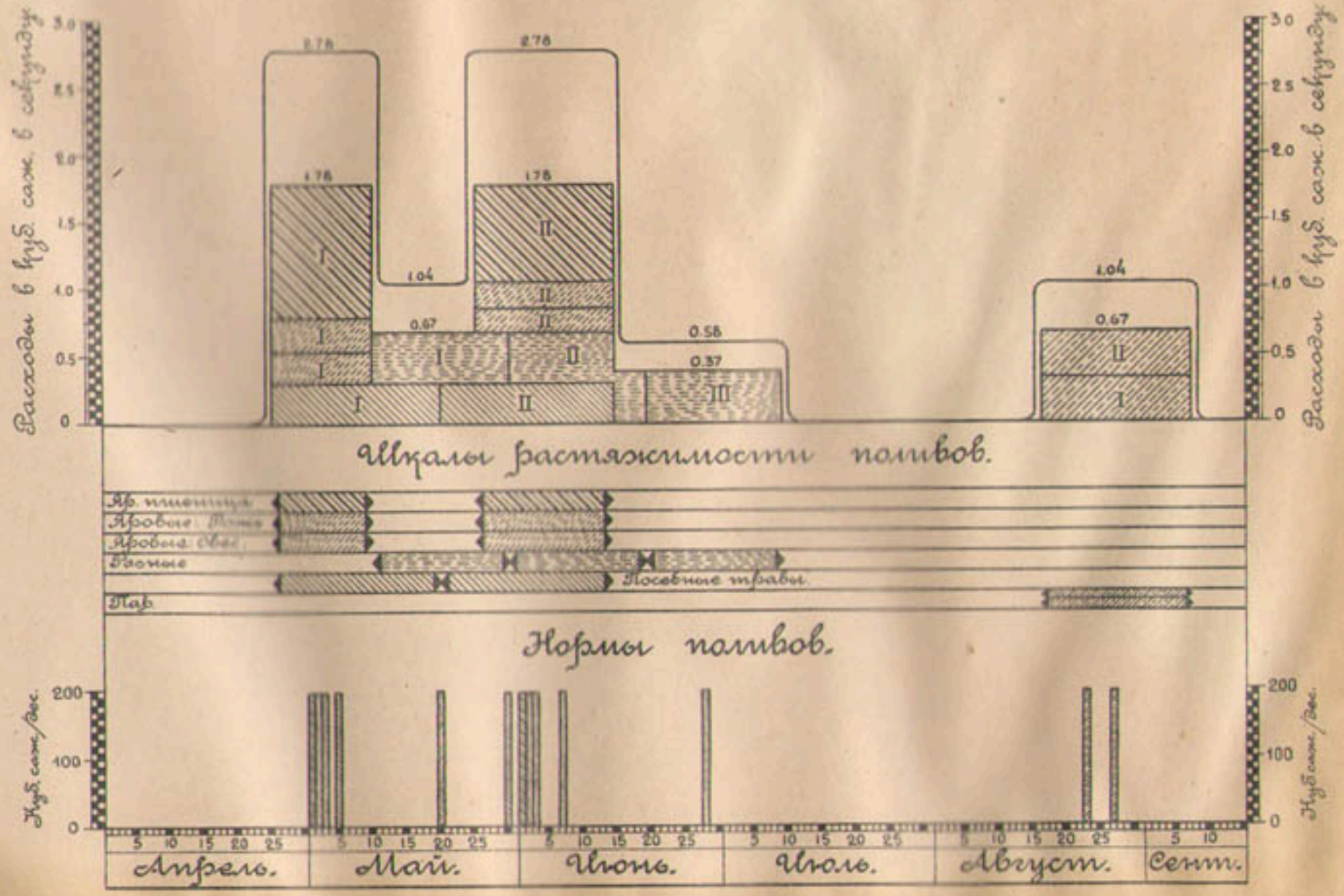
Проектное распределение культур в районе см. черт. 70.

*) По данным Нижне-Сыр-Дарьинских изысканий, обработанным агрономом изысканий Кангеран Е.С.

Черт. 101.

График потребления воды из источника орошения и график отдачи воды на поля для Койбальской степи.*)

Q_g = 19213 лес. η = 064.



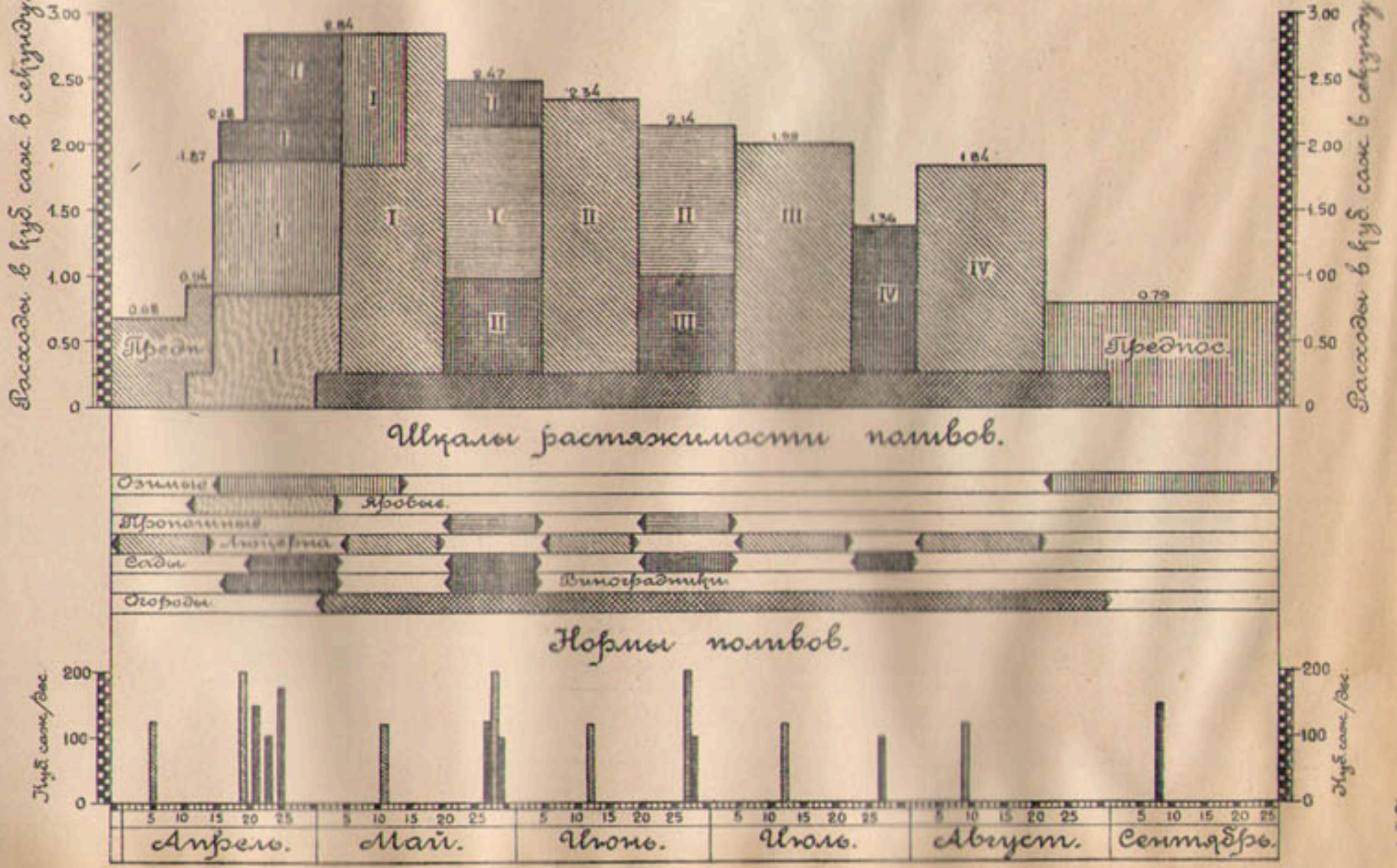
Проектное распределение культур в районе см. черт. 70.

*) По данным проекта орошения Койбальской степи, сообщенным инж. Г.В. Рудницким.

Черт. 102.

График отдачи воды на поля для нижней зоны материковых уездов Таврической губ.*)

Q_g = 68.000 десятин.



Проектное распределение культур в районе см. черт. 70.

*) Составлен по данным инженера В. В. Чикова: „Орошение материковых уездов Таврической губернии водами реки Днепра."

ЛИТЕРАТУРА.

1. Kanthack, Fr. E.—The Principles of Irrigation Engineering. 1924.
2. Bellasis, E. S.—The Irrigation Works. 1913.
3. Etcheverry, B. A.—The Irrigation Practice and Engineering. 1919.
4. Davis, A. P. and Wilson, H. M.—Irrigation Engineering. 1919.
5. Fleming, B. P.—Practical Irrigation and Pumping. 1915.
6. King, F. H.—Irrigation and Drainage. 1922.
7. Buckley, R. B.—Irrigation Works of India. 1905.
8. Brown, H.—Irrigation. 1907.
9. Parker, P. M.—The Control of Water. 1913.
10. Ronna, A.—Les irrigations. 1889.
11. Moritz, E. A.—Working Data for Irrigation Engineers.
12. Means, T. H.—Transactions of the American Society of Civil Engineering, vol. LXXXIII. 1919—1920. Discussion about the Duty of Water in the Pacific Northwest.
13. Holt, L. M.—Excessive Use of Water. 1921.
14. Mead, E.—The Use of Water in Irrigation. 1899. Bull. 86, Office of Experim. St., U. S. Dep. of Agric.
15. Mead, E.—Reports on Irrigation Investigations for 1900—1904. Bull. 104, 119, 133, 158 Office of Exp. St.
16. Fortier, S.—The Quantity of Water used in Irrigation. Bull. 29, Montana Agr. Exp. St. 1900.
17. Hopson, C. G.—The Economic Aspect of Seepage and other Losses in Irrigation Systems. Proceed. of the A. S. C. E. Oct. 1912.
18. Widtsoe, I. A. and Merril, L. A.—Methods for Increasing the Crop Producing Power of Irrigation Water. Bull. 118, Utah Agr. Coll. 1912.
19. Israelsen, O. W. and Winsor, L. M.—Bull. № 182, Utah Agricultural Coll. 1922.
20. Burkholder, J. L.—Reclamation Record, Dec. 1917.
21. Bark, Don H.—Losses and Waste of Water. 9-th Report of the State Engineer of Idaho. 1911—1912.
22. Fortier, S.—Evaporation Losses in Irrigation and Water Requirements of Crops. Bull. 177, Office of Exper. St. U. S. Depart of Agric.
23. Steward, W. G.—Duty of Water Investigations on the Boise Project. Rep. of the Boise Conference of Operating Engineers, U. S. Reclamation Service.
24. Teele, R. P.—Review of ten Years of Irrigation Investigations. Annual. Rep. of Exp. Stat. for 1908.

25. Bark, Don H.—Duty of Water Investigation in Idaho. 8-th and 9-th Report of State Engineer of Idaho. 1910—1912.
26. Кондрашов, С. К.—Вода в орошаемом хозяйстве. 1922.
27. Костяков, А. Н.—Основные элементы расчета оросительных систем. 1920.
28. Отчеты гидромодульной части Отдела Земельных Улучшений в Туркестанском крае.
29. Журнал Технического Комитета при Отделе Земельных Улучшений № 1377 о проектном гидромодуле в связи с планом водного хозяйства в проектируемой системе орошения Голодной степи.
30. Нормы и сроки вегетации, принятые в проекте орошения полумиллиона десятин Голодной степи (Пояснительная записка). 1913.
31. Поливной режим культур. Пояснительная записка к Голодностепскому проекту. 1913.
32. Потери воды в ирригационных системах. Пояснительная записка к Голодностепскому проекту. 1913.
33. Пояснительные записки к проектам орошения: Кайбальской степи, Кальджирской степи, Зеравшанского района, Уч-Курганской степи и др.
34. Вестник Ирригации, издаваемый Средне-Азиатским Управлением Водного Хозяйства за 1923, 1924 и 1925 г.г.
35. Предтеченский, А. А.—Сельское хозяйство и задачи ирригации в Зеравшанской долине. 1921.
36. Отчеты Туркестанских и Закавказских опытных сельско-хозяйственных станций.

Глава IX.

Установление линии раздела между самотечным и машинным орошением, определение на реке пункта, откуда вода может поступить самотеком и без подпружи-вающих сооружений в систему, разделение площади машинного орошения на отдельные ярусы.

До приступа к проектированию отдельных элементов ирригационной системы необходимо установить общую ее схему и, прежде всего, трассы главных каналов (самотечных и машинных), их высотное расположение и месторасположение головных сооружений.

В главе VI нами было показано, что, несмотря на все кажущееся разнообразие рельефов земельных площадей, возможно произвести их классификацию и уложить рельефы большинства районов орошения в сравнительно небольшое количество основных типов. Для каждого типа рельефа была показана общая схема расположения главных каналов ирригационной системы, при чем (как легко усмотреть из чертежей 48, 50, 57 и 59) площади, подлежащие орошению, следует в большинстве случаев разделять на две зоны: низкую по рельефу, которую возможно орошать из самотечнаго канала, и высокую, для орошения которой выгоднее поднимать воду механическим путем.

Об установлении линии раздела между самотечным и „машинным" орошением.

Для разрешения указанного вопроса может быть принята нижеследующая методология:

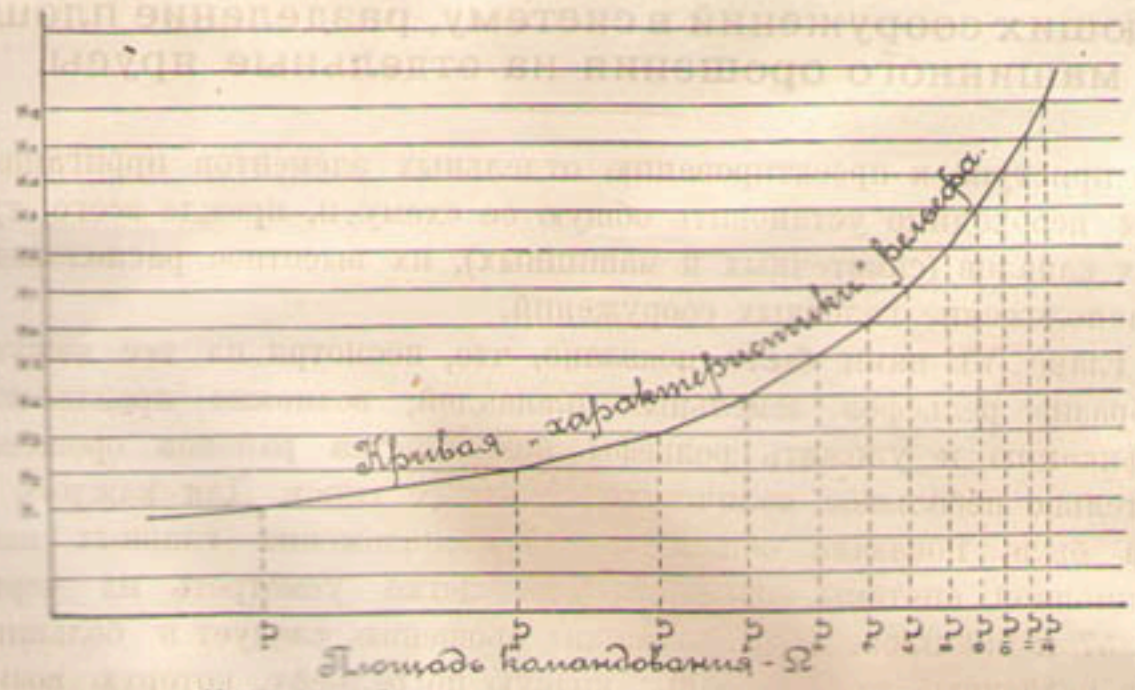
Приступая к проекту, прежде всего надо исследовать рельеф местности, подлежащей орошению, и как то количественно и качественно учесть его. Этой цели может помочь построение кривой, называемой мною „кривою характеристики рельефа". Сущность построения заключается в следующем:

Примерно по середине площади, предназначенной к орошению, параллельно линии наибольшого ската, проводится (на плане) линия $a\delta$ (см. черт. 105). Затем на этой линии, в дальнейшем будем называть ее „срединой",

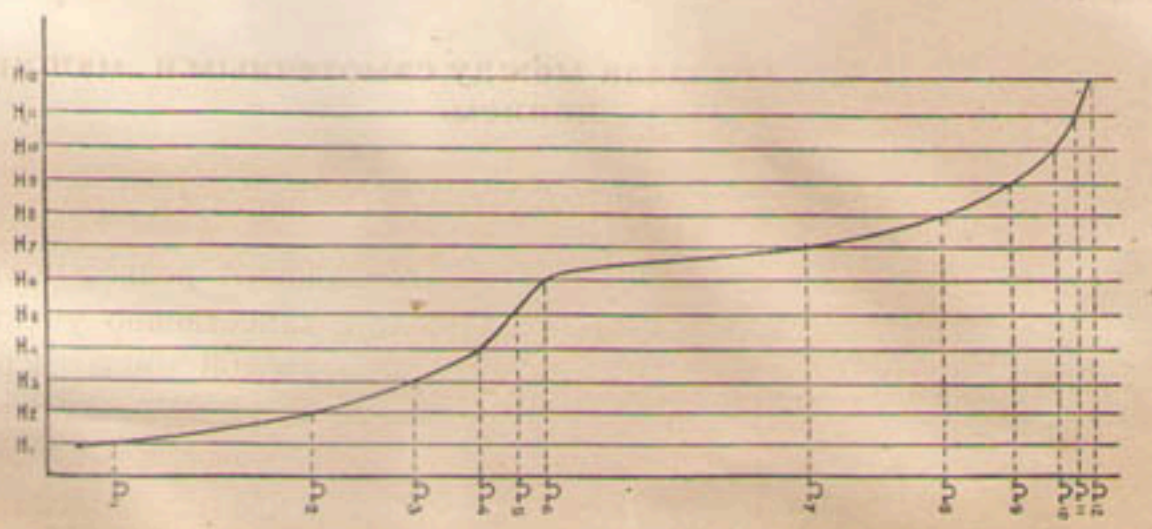
берем точки с отметками H_1, H_2, H_3... (желательно, чтобы они совпадали с пунктами характерного изменения склона местности). Через них проводим, в пределах подлежащего орошению района, трассы каналов с тем, чтобы они могли командовать орошением нижележащей местности.

Зная примерную площадь командования, можно определить по минимальному гидромодулю для данной местности, установленному согласно изложенного в главе VIII, наибольший рабочий расход, а следовательно и подобрать примерный уклон каждого канала.

Далее, определяем площади Ω_1, Ω_2... Ω_n, лежащие ниже трассы каждого из нанесенных на план каналов. Затем, строим график (см. черт. 103 и 104), на ординатах которого откладываем отметки тех точек (H_1, H_2, H_3...) прямой ab, через которые проведены вышеуказанные трассы каналов, а на абсциссы соответственные площади командования тех же каналов (Ω_1, Ω_2...). В резуль-



Черт. 103. Кривая „характеристики" рельефа.

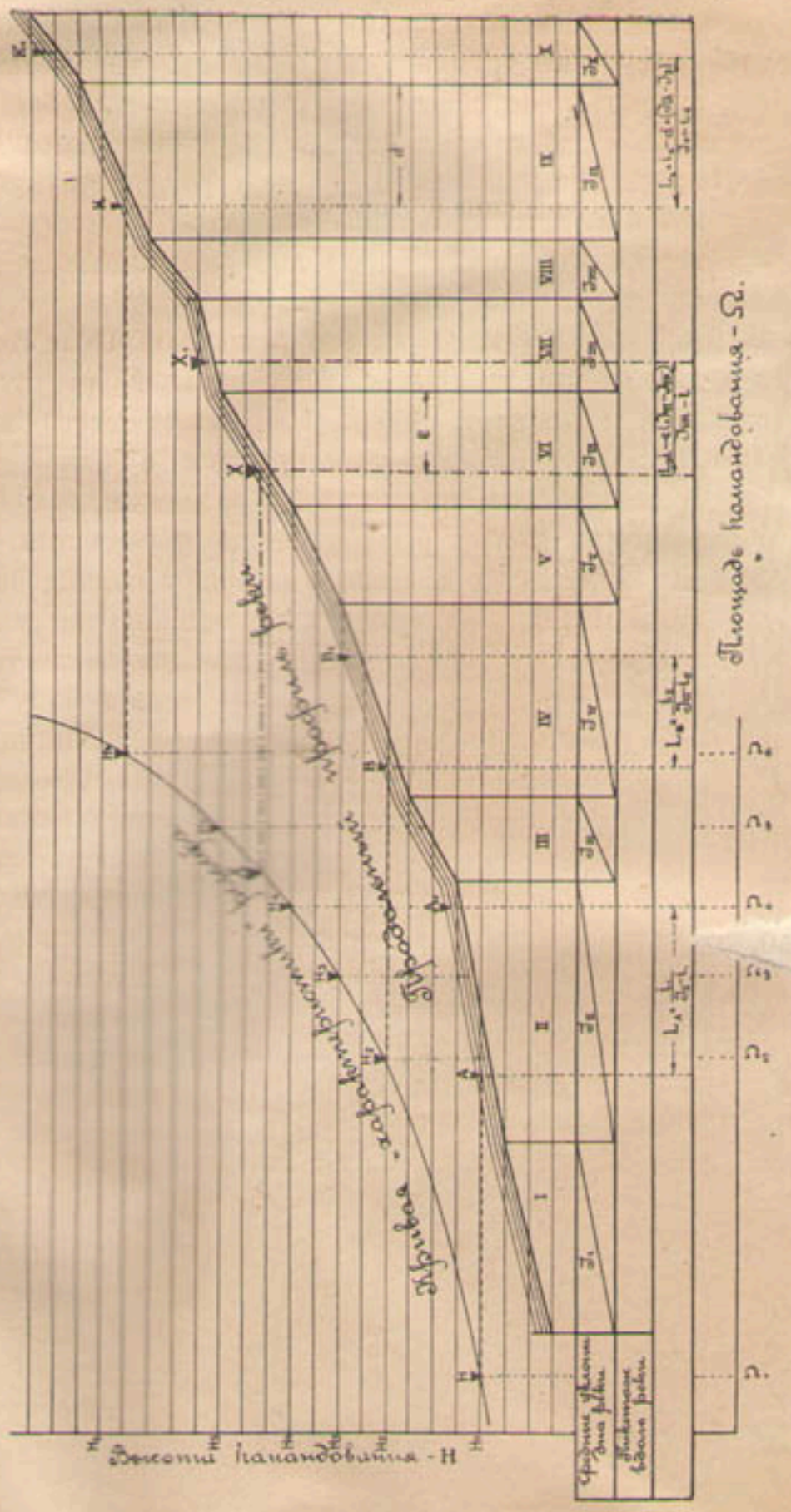


Черт. 104. Кривая „характеристики" рельефа (ярусная степь).

тате получаем кривую, которая будет характеризовать рельеф данной местности и качественно и количественно. Любой точке на этой кривой соответствует, с одной стороны, определенная высота командования (т. е. отметка по „срединной линии"), а с другой стороны, общая площадь командования. Тщательно рассматривая эту кривую, не трудно будет заметить те места, в которых существенное повышение отметок командования главного канала дает сравнительно незначительное увеличение площади орошения, и, кроме того, все те пункты, начиная с которых увеличивается „крутизна" кривой рельефа. Найдя эти точки, переносим их на план и отмечаем на „срединной" линии рельефа, в дополнение к прежде взятым точкам. Через эти дополнительные точки проводим также трассы главных каналов (в примере, указанном на черт. 105 и 106, взято всего шесть точек $H_1 \ldots H_6$). Каналы трассируются с одной стороны до границ района, подлежащего орошению, а с другой стороны до поймы реки, т. е. до того места, где канал, как бы, входит в степь и начинает командовать. В дальнейшем задача сводится к нахождению на реке тех мест, в которых вышенамеченные каналы могли бы захватывать воду из реки без устройства подпружи-вающих приспособлений и без механического подъема воды (т. е. откуда вода могла бы поступить самотеком). Для этого строим продольный профиль соответственного участка реки (см. черт. 106), наносим дно реки, горизонты средних зимних вод, наинизших вод оросительного сезона и наивысших паводков, пикетаж, средние уклоны отдельных участков, затем ищем на этом профиле те пункты на реке, которых горизонты наинизших водооросительного сезона будут иметь со-

Черт. 105. План реки и прилегающей местности с нанесенными вариантами трасс главных каналов.

ответственно отметки H_1, H_2, ... H_6 и определяем по пикетажу местоположение этих пунктов, отмечая их на плане (на черт. 105). Первой трассе канала, с отметкой H_1, соответствует на реке пункт A, второй трассе—пункт B,



шестой—пункт K. Для облегчения этой работы можно построить кривую рельефа на том же чертеже, пользуясь той же ординатою высоты (см. черт. 106).

Однако, каналы должны иметь определенный уклон, чтобы вода могла поступать по ним из реки в степь. На протяжении (по плану) от точки A до „срединной" линии (обозначим это расстояние через L_A) мы должны предвидеть падение горизонта воды в канале на $\Delta H_1 = L_A \cdot i_1$, если через i_1 обозначим уклон канала первой трассы. Таким образом, в точке A канал должен был бы иметь отметку не H_1, а $H_1 + \Delta H_1$, а, следовательно, вода из реки в канал самотеком поступать не сможет, канал необходимо протянуть еще выше по реке на длину ΔL_A до горизонта $H_1 + \Delta H_1 + \Delta L_A \cdot i_1$

Очевидно, на величину ΔL_A будут влиять уклоны J участка реки, где предполагается устройство головных сооружений. Длина ΔL_A, как легко вывести, должна равняться (см. черт. 106), в случае, если уклон реки на всем протяжении ΔL_A не меняется,

$$\Delta L_A = \frac{L_A \cdot i_1}{J_{II} - i_1}$$

(из уравнения $\Delta H_1 + \Delta L_A \cdot i_1 = \Delta L_A \cdot J_{II}$, подставляя вместо $\Delta H_1 = L_A \cdot i_1$, получим: $L_A \cdot i_1 = \Delta L_A \cdot J_{II} - \Delta L_A \cdot i_1$). Для случая, например, канала шестой трассы, когда уклон реки на протяжении ΔL_K ломается и принимает в расстоянии d от точки K значение, равное J_X вместо J_{IX}

$$\Delta L_K = \frac{L_K \cdot i_6 - d \cdot (J_{IX} - J_X)}{J_X - i_6}$$

[из уравнения $\Delta H_6 + \Delta L_K \cdot i_6 = d \cdot J_{IX} + (\Delta L_K - d)\, J_X$: подставляя вместо $\Delta H_6 = L_K \cdot i_6$ и произведя перестановки, получим $L_K \cdot i_6 - d\,(J_{IX} - J_X) = \Delta L_K\,(J_X - i_6)$].

Зная, таким образом, величины ΔL_A, ΔL_B ..... ΔL_K и отложив их на продольном профиле реки по пикетажу (см. черт. 106), мы найдем положение точек A_1, B_1 ..... K_1, в которых вода из реки сможет самотеком поступать соответственно в каналы первой, второй .....и шестой трассы.

Определив, таким образом, начало каналов на продольном профиле, переносим их на план. В этих пунктах реки могут быть устроены головные регуляторы или захватные шпоры.

В дальнейшем будем рассматривать только длины холостых частей каналов b_1, b_2 ..... b_6, то-есть от начала K до тех мест, где они, по выходе в степь, начинают командовать местностью.

Зная потребную пропускную способность главных каналов Q_1, Q_2, ... Q_6 (на основании заранее построенных главных поливных кривых или на основании подсчета по площади командования Ω и минимальному гидромодулю $\lambda_{мин}$, $Q = \frac{\Omega}{\lambda_{мин}}$), а также зная рельеф местности, по которой проложены вариантные трассы холостых частей главных каналов, можно сравнительно легко, наметив нужные поперечные сечения, приблизительно исчислить общее потребное количество земляных работ и среднюю стоимость единицы протяжения каналов.

По расходам Q_1, Q_2 ..... Q_6, которые должны проходить через головные шлюзы различных трасс каналов, можно (на основании имеющихся литературных данных о стоимости (t_1 ..... t_6) устройства головных регуляторов, приходящейся на 1 куб. саж. пропускной способности) определить стоимость головных шлюзов. В виду невозможности точно установить цифры, лучше вести исследование в пределах, захватывая как бы зону явления.

Введем нижеследующие обозначения:

$И_{1, кан.}$ — стоимость холостой части канала первой трассы.

$И_{2, кан.}$ — стоимость холостой части канала второй трассы.

. . . . . .

$И_{1, кан.}^{мак.}$ — максимальная стоимость холостой части канала первой трассы.

$И_{1, кан.}^{мин.}$ — минимальная " " " "

. . . . . .

$И_{1, рег.}$, $И_{2, рег.}$ ..... $И_{6, рег.}$ — стоимость головного регулятора канала первой, второй ..... шестой трассы.

$И_{1, рег.}^{мак.}$, $И_{1, рег.}^{мин.}$ — максимальная и минимальная стоимость головных регуляторов, при чем

$$И_{1, рег.}^{мак.} = Q_1 \; t_{1, мак.}$$

$$И_{1, рег.}^{мин.} = Q_1 \; t_{1, мин.}$$

Тогда выражение

$S_1 = \frac{И_{1, кан.} + И_{1, рег.}}{\Omega_1}$ определит расход, приходящийся на 1 валовую десятину орошения (в случае командования площадью Ω_1) от устройства головных сооружений и холостой части магистрального канала.

Применяя исследование в пределах, получим

$$S_1^{мак.} = \frac{И_{1, кан.}^{мак.} + И_{1, рег.}^{мак.}}{\Omega_1}$$

Таким же образом можно определить величины $S_2^{мак.}$, $S_2^{мин.}$ ..... $S_6^{мак.}$, $S_6^{мин.}$, например, $S_6^{мак.} = \frac{И_{6, кан.}^{мак.} + И_{6, рег.}^{мак.}}{\Omega_6}$

При проведении канала по второй трассе площадь командования увеличивается на $\Omega_2 - \Omega_1$, а расход по устройству регулятора и холостой части канала на $И_{2, кан.} + И_{2, рег.} - И_{1, кан.} - И_{1, рег.}$

Следовательно, расход, приходящийся на 1 десятину вновь полученной площади (между первой и второй трассой канала)

$$S_{2,1} = \frac{И_{2, кан.} + И_{2, рег.} - И_{1, кан.} - И_{1, рег.}}{\Omega_2 - \Omega_1}$$

а в пределах

$$S_{2,1}^{\text{маш.}} = \frac{H_{2,\text{кан.}}^{\text{маш.}} + H_{2,\text{рег.}}^{\text{маш.}} - H_{1,\text{кан.}}^{\text{маш.}} - H_{1,\text{рег.}}^{\text{маш.}}}{\Omega_2 - \Omega_1}$$

$$S_{2,1}^{\text{маш.}} = \frac{H_{2,\text{кан.}}^{\text{маш.}} + H_{2,\text{рег.}}^{\text{маш.}} - H_{1,\text{кан.}}^{\text{маш.}} - H_{1,\text{рег.}}^{\text{маш.}}}{\Omega_2 - \Omega_1}$$

Произведя подобное же исчисление для более высоких зон, получим $S_{3,2}^{\text{маш.}}$, $S_{3,2}^{\text{мин.}}$ ..... $S_{6,5}^{\text{маш.}}$, $S_{6,5}^{\text{мин.}}$

Как уже упоминалось, вполне естественно поставить вопрос не выгоднее ли будет, вместо того, чтобы проводить длинные самотечные каналы, орошать высокие земли механическим подъемом воды из реки или же из самотечного канала, командующего над нижними землями?

Такой вопрос следует поставить, как для земель, расположенных между шестой и пятой трассой, пятой и четвертой и т. д., так и для площади, командуемой каналом первой трассы.

Ход рассуждения лучше всего можно проследить на примере: положим вода поступает самотеком в канал пятой трассы, проходящий через отметку H_5 на „срединной" линии *ab* (см. черт. 105). Вся площадь степи, заключенная между этой и шестой трассой (проходящей через отметку H_6), берется на машинное орошение. Вода поднимается насосной станцией из самотечного канала пятой трассы в шестой и оттуда поступает на орошение вышеуказанной зоны.

В этом случае по каналу пятой трассы придется пропускать весь расход необходимый для орошения не только площади Ω_5, но и $\Omega_6 - \Omega_5$, то есть расход Q_6, поэтому поперечное сечение и стоимость канала должны соответственно увеличиться, что приблизительно очень не трудно подсчитать. Обозначим расход, вызываемый этим увеличением через $\Delta H_{6,5\,\text{кан.}}$

Кроме того, потребуется устроить специальную насосную станцию и принять во внимание не только расходы по устройству станции, но также и эксплоатационные, для того чтобы, капитализируя их и складывая с основными затратами, можно было определить во что в конце концов обойдется „машинное" орошение.

Так как „машинным" путем потребуется оросить площадь $\Omega_6 - \Omega_5$ то, следовательно, придется качать насосами $\frac{\Omega_6 - \Omega_5}{\text{м}^2} = q_{6,5}$ куб. м./сек. на высоту приблизительно $h_{6,5} = H_6 - H_5$ метров. Зная q и h, легко определить потребный тип механических водоподъемных снарядов и мощность силовой установки, снабжающей насосную станцию необходимой энергией.

$$N_{6,5} = \frac{q_{6,5}\, h_{6,5} \times 1000}{75 \times \eta} \text{ лош. сил,}$$

где под η подразумевается полный коэффициент полезного действия всей установки и передачи от силовой станции (принимая во внимание потерю при входе в насосную камеру, самого насоса, напорной трубы,

электродвигателя, трансформатора и электропередачи, или просто от трансмиссии, если при насосной станции имеется своя силовая установка и т. п.).

Пользуясь данными практики, определяем в пределах, применительно к местным условиям, возможную стоимость одной установленной силы насосной станции $n^{\text{мак.}}$ и $n^{\text{мин.}}$. Тогда стоимость всей станции выразится

$$И^{\text{мак.}}_{6,5\ \text{стан.}} = N_{6,5} \times n^{\text{мак.}}$$

$$И^{\text{мин.}}_{6,5\ \text{стан.}} = N_{6,5} \times n^{\text{мин.}}$$

Далее определяем, также в пределах, стоимость эксплоатации 1 лош. силы насосной установки $m^{\text{мак.}}$ и $m^{\text{мин.}}$. В эксплоатационные расходы включаем: а) $^0/_0$ на капитал, вложенный в устройство станции; б) расходы на амортизацию насосной станции (насосов, электродвигателей, гидро- и электро-механического оборудования, здания станции и т. д.); в) оплату потребляемой энергии; г) текущие эксплоатационные расходы по станции (смазка, содержание личного состава, текущий ремонт). Стоимость годовой эксплоатации всей станции выразится в

$$N_{6,5} \cdot m^{\text{мак.}} \text{ и } N_{6,5}\ m^{\text{мин.}} \text{ рублей.}$$

Капитализируя этот расход, получим:

$$\frac{N_{6,5} \times m^{\text{мак.}}}{p} \times 100.$$

$$\frac{N_{6,5} \times m^{\text{мин.}}}{p} \times 100.$$

Прибавляя его к основной стоимости станции и к дополнительному расходу, вызываемому расширением холостой части канала и головного регулятора, получим ту цифру, с которой надо считаться при оценке целесообразности устройства станции

$$\Delta И_{5,\ \text{нак.}}^{\text{м. к.}} + \Delta И_{5,\ \text{рег.}}^{\text{мак.}} + И_{6,5\ \text{стан.}}^{\text{мак.}} + \frac{N^{\text{мак.}}_{6,5} \times m^{\text{мак.}}}{p} \times 100 = P^{\text{мак.}}_{6,5}$$

$$\Delta И_{5,\ \text{нак.}}^{\text{мин.}} + \Delta И_{5,\ \text{рег.}}^{\text{мин.}} + И_{6,5\ \text{стан.}}^{\text{мин.}} + \frac{N^{\text{мин.}}_{6,5} \times m^{\text{мин.}}}{p} \times 100 = P^{\text{мин.}}_{6,5}$$

Разделяя $P_{6,5}$ на $\Omega_6 - \Omega_5$ определим расход $C_{6,5}$, приходящийся на 1 десятину площади, заключенной между шестой и пятой трассой каналов, в случае варианта „машинного" орошения:

$$\frac{P^{\text{м. к.}}_{6,5}}{\Omega_6 - \Omega_5} = C^{\text{м.к.}}_{6,5};\quad \frac{P^{\text{мин.}}_{6,5}}{\Omega_6 - \Omega_5} = C^{\text{мин.}}_{6,5}$$

Проделывая аналогичную работу для трасс, находящихся между нижележащими зонами (между пятой и четвертой, четвертой и третьей и

т. д.), мы получим максимальные и минимальные величины для $C_{5,4}$, $C_{4,3}$, $C_{3,2}$ и $C_{2,1}$.

Наконец в случае, если *à priori* нельзя было бы установить, что выгоднее, устраивать ли самотечный канал для орошения земель, лежащих ниже трассы, проходящей через отметку H_1 „срединной" линии, или просто поднимать механическим подъемом воду из реки в те места главного канала, где он близок к выходу в степь, следовало бы также определить величину $C_1^{\text{мак.}}$ и $C_1^{\text{мин.}}$.

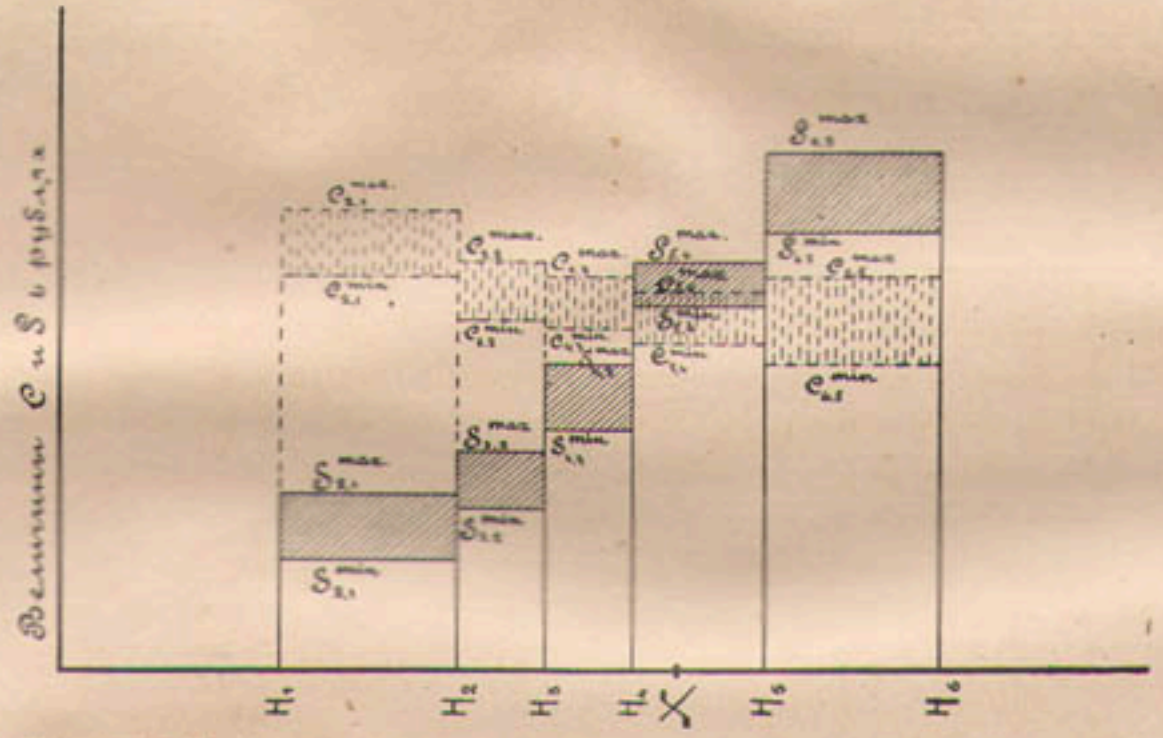
Таким образом мы знаем величины

$$S_1^{\text{мак.}} \text{ и } S_1^{\text{мин.}};\ C_1^{\text{мак.}} \text{ и } C_1^{\text{мин.}}$$

. . . . . .

$$S_{6,5}^{\text{мак.}} \text{ и } S_{6,5}^{\text{мин.}};\ C_{6,5}^{\text{мак.}} \text{ и } C_{6,5}^{\text{мин.}},$$

остается только сопоставить их, что и сделано на чертеже 107. На ординате отложены величины S и C, на абсциссах указаны отметки трасс каналов в местах пересечения ими „срединной" линии (участки абсциссы H_1 H_2, H_2 H_3, ... H_5 H_6 обозначают как бы отдельные зоны, для которых установлены соответствующие значения S и C). Величины C показаны пунктиром, величины S сплошными линиями, при чем площади, ограниченные предельными значениями C и S заштрихованы.



Черт. 107. График сопоставления стоимости орошения единицы площади при установлении линии раздела между самотечным и машинным орошением.

Для зоны H_4 H_5 мы имеем частичное совпадение „площадей" S с „площадями" C, при чем $S^{\text{мак.}}$ здесь больше $C^{\text{мак.}}$ и $S^{\text{мин.}}$ больше $C^{\text{мин.}}$ Следовательно, можно утверждать, что граница раздела между самотечным и машинным орошением должна пройти между четвертой и пятой трассой.

Для более точного установления линии раздела следует произвести подобный же анализ еще для одной или нескольких точек кривой харак-

теристики рельефа на участке между отметками H_3 и H_4. Перед выбором их следует внимательно изучить эту часть кривой рельефа. Стоимость сооружений надо учесть уже на основании эскизного проекта этих сооружений, так как примерных данных о стоимости головного регулятора, насосной станции и земляных работ по каналу будет уже недостаточно.

Существенным слагаемым в сумме эксплоатационных расходов по содержанию насосной установки является расход по оплате энергии, потребляемой насосами. Чем дешевле энергия, тем сильнее, на большой зоне, может бороться „машинное" орошение с самотечным, поэтому использование гидравлической энергии на оросительной системе надо считать одной из органических, неотъемлемых задач проектирования ирригационных систем.

Обычная ошибка большинства проектов заключается в том, что в них не предусматривается возможность „машинного" орошения и что трассу самотечного канала, в силу психологически понятного желания проектирующего захватить под орошение как можно большее количество хороших в почвенном отношении земель, располагают на более высоких отметках, чем это следовало бы сделать в силу экономических соображений.

Между тем по качеству почвы, по глубине залегания грунтовых вод, благодаря пропускной способности, высокие земли являются в большинстве случаев значительно более ценными, чем те, которыми может командовать самотечный канал.

При наличии дешевой энергии „машинному орошению открываются широкие перспективы.

Вышеприведенная методика установления линии раздела между самотечным и „машинным" орошением применима для районов с самыми разнообразными рельефами. Кривая характеристики рельефа является надежным орудием исследования во всех случаях, когда приходится иметь дело с оценкой рельефа площади, предназначенной к орошению, главным образом, при разделении ея на зоны или ярусы, требующие устройства отдельных водоподводящих каналов и отличающихся по способу подачи воды в эти последние (самотеком, механическим подъемом воды на разную высоту и проч.).

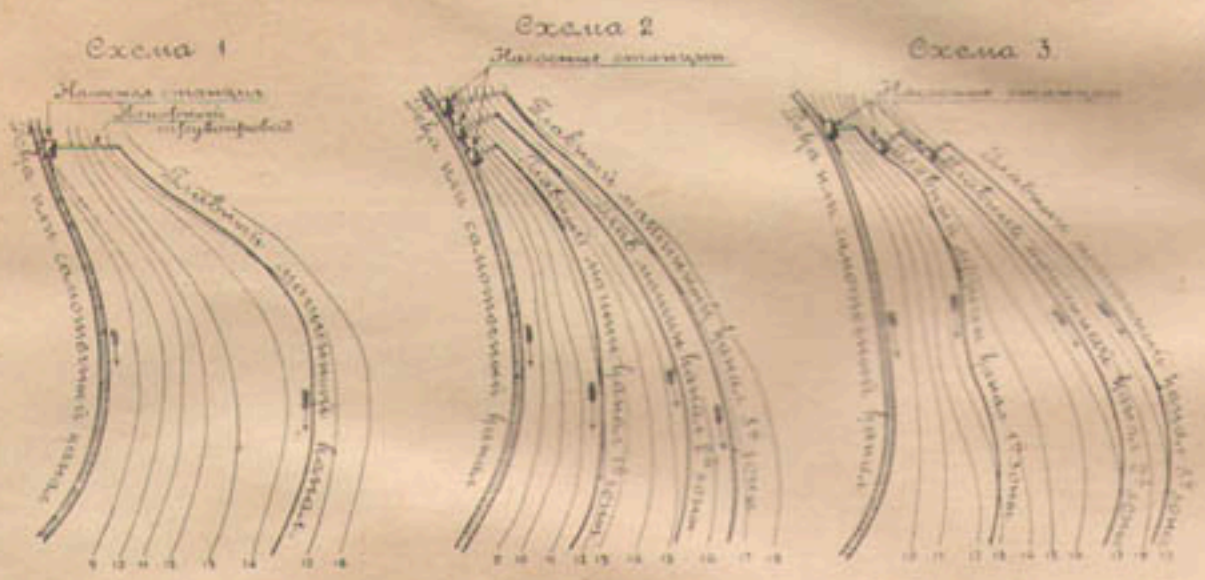
О разделении зоны, отведенной под машинное орошение, на отдельные ярусы.

Земли, лежащие выше сферы командования самотечного канала, то есть, выше линии раздела, установленной согласно предыдущему, могут быть орошены механическим подъемом воды. Орошение указанной полосы земли возможно произвести различными способами (см. черт. 108).

1. Одним каналом, протрассированным по верхней границе этой полосы. Вода, потребная для орошения всей полосы, подается в канал механическим подъемом или из нижележащего самотечного

канала (проложенного по линии раздела) или прямо из источника орошения, в зависимости от конфигурации местности (схема 1).

2. Несколькими каналами, протрассированными на различной высоте и разделяющими всю полосу на ряд отдельных ярусов. Таким образом каждый канал командует отдельным ярусом и вода в него подается (механическим подъемом) только в количестве, необходимом для орошения его яруса (схема II).



Черт. 108. Схемы орошения машинными каналами.

3. Также, как и в предыдущем случае, несколькими каналами, протрассированными на различной высоте и разделяющими всю зону машинного орошения на ряд ярусов, но с той разницей, что в канал, командующий первым ярусом подается вода, необходимая для орошения всех ярусов и затем из канала первого яруса вода поднимается в канал второго яруса в количестве необходимом для орошения всех остальных ярусов, за исключением первого и т. д. (схема III).

Прежде всего необходимо отметить, что общая мощность насосных станций, потребная для орошения всей зоны машинного орошения, а также количество потребляемой энергии падает с увеличением числа ярусов, на которые разделяется полоса машинного орошения.

Предположим, что площадь Ω, подлежащая машинному орошению, разделена на n ярусов с площадями $\Omega_1, \Omega_2 \ldots\ldots \Omega_n$ и что каждый ярус орошается самостоятельным каналом, при чем высоты качания обозначим для первого яруса через H_1, для второго через H_2 ..... и т. д.

Установив величину гидромодуля $\lambda_{\text{мин.}}$ (расчетную), мы можем определить расход, потребный для орошения каждого яруса и мощность станций, а именно:

$$Q_1 = \frac{\Omega_1}{\lambda_{\text{мин.}}}, \quad Q_2 = \frac{\Omega_2}{\lambda_{\text{мин.}}}, \ldots\ldots\ldots Q_n = \frac{\Omega_n}{\lambda_{\text{мин.}}}$$

$$N_1 = KQ_1H_1, \quad N_2 = KQ_2H_2, \ldots\ldots\ldots N_n = KQ_nH_n$$

где K есть числовой коэффициент, зависящий от коэффициента полезного действия насосной установки.

Таким образом, суммарная мощность N насосных станций, потребная для орошения всех n ярусов, то-есть, всей полосы машинного орошения будет равна

$$N = N_1 + N_2 + \ldots N_n = KQ_1H_1 + KQ_2H_2 + \ldots + KQ_nH_n.$$

В случае, если орошение всей полосы машинного орошения производится из одного канала, затрассированного по верхней границе этой полосы, когда все количество воды Q, потребное для орошения всей площади, необходимо было бы поднимать на высоту H_n, мощность насосной станции

$$N = KQH_n = K\,(Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n)\,H_n$$

Очевидно, что

$$Q_1\,H_1 + Q_2\,H_2 + \ldots + Q_n\,H_n < (Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n)\,H_n$$

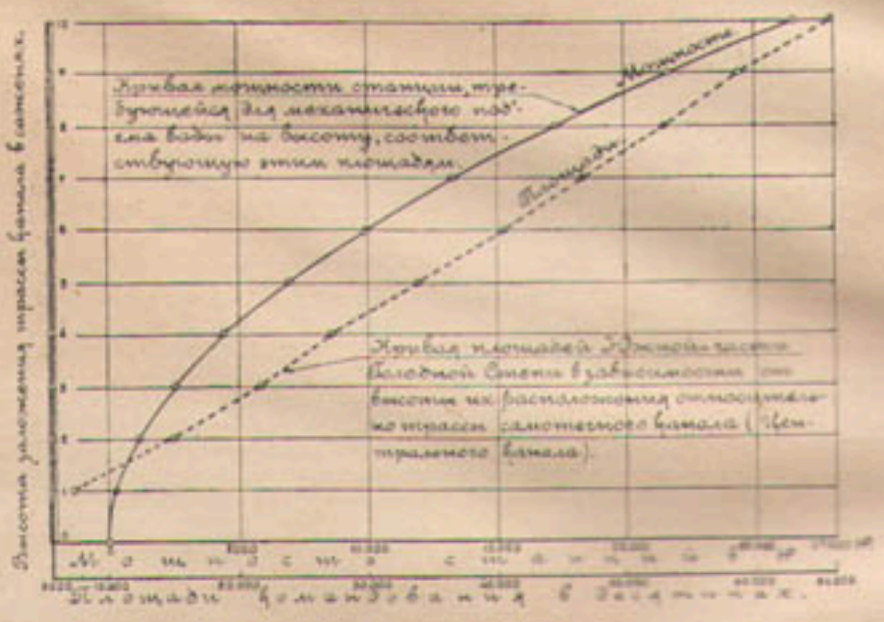
Чем на большее число ярусов будет разбита полоса машинного орошения, чем меньше будет разница в отметках командования соседних каналов, проведенных по верхним границам отдельных ярусов, тем меньше будет расходоваться энергии на подачу воды для орошения всей площади и—наоборот. Это легко понять, ибо воду, потребную для орошения низколежащих земель, приходится поднимать на высоту, соответствующую более высоко лежащим землям.

Однако, надо иметь в виду, что для орошения каждого яруса необходимо устраивать самостоятельные главные каналы и насосные станции, а чем больше число их, тем дороже будет обходиться эксплоатация и тем выше единичная стоимость насосных станций. Поэтому необходимо выбрать такое число машинных каналов (с соответствующим числом насосных станций, при которых расходы как по устройству орошения, так и по эксплоатации были бы наименьшие.

Общий ход анализа должен быть следующим:

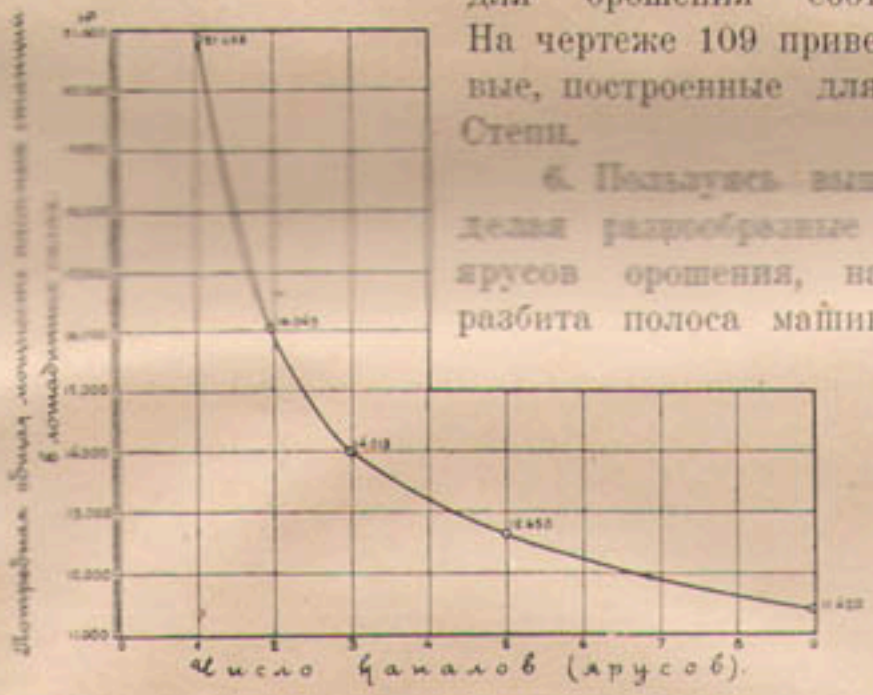
1. Проводим для всей площади, лежащей выше „линии раздела", то есть выше трассы самотечного канала, „срединную линию" (см. начало главы).
2. Проводим затем через отдельные точки „срединной линии", расположенные друг от друга на одинаковой высоте (положим, через 1 сажень), а также через точки перегиба местности, трассы фиктивных машинных каналов.
3. Определяем площадь командования каждого канала и строим кривую характеристики рельефа.
4. Устанавливаем расчетный гидромодуль ($\lambda_{\text{мин}}$), определяем расходы воды Q, которые необходимо подавать в каждый из фиктивных каналов для орошения их площади командования и потребные мощности станций для подъема указанных расходов в соответствующие каналы.
5. На кривую характеристики рельефа наносим кривую потребных мощностей станций. Сопоставление этих кривых дает ясное пред-

ставление о тех площадях, которые захватываются каналами при расположении их на различной высоте относительно трассы само-



Черт. 109. Сопоставление кривой характеристики рельефа с кривой зависимости мощности станций от площади орошения.

течного канала, и о той мощности станций, которая требуется для орошения соответствующих площадей. На чертеже 109 приведены для примера кривые, построенные для южной части Голодной Степи.



Черт. 110. Кривая зависимости между числом машинных каналов (ярусов) и общей мощностью насосных станций.

6. Пользуясь вышеуказанными кривыми и делая разнообразные предположения о числе ярусов орошения, на которые должна быть разбита полоса машинного орошения, а, следовательно, и о числе и высоте расположения отдельных каналов, можно построить кривую зависимости между числом отдельных машинных каналов (ярусов) и общей мощностью насосных станций, обслуживающих подъем воды в эти каналы. На чертеже 110 приведена для примера кривая, построенная для Южной части Голодной степи.

7. Приняв во внимание стоимость каналов и насосных станций при различных предположениях, выбирают наиболее экономическое решение, при котором сумма основных затрат и капитализированных эксплоатационных расходов получится минимальной.

Вместе с этим разрешится вопрос о количестве энергии, которое будет потребляться насосными станциями. В самом деле, установив число и расположение каналов и затем построив графики потребления воды этими каналами, мы, очевидно, можем для любого момента оросительного периода определить, как расходы воды, которые нужно будет подавать в каждый из намеченных каналов, так и высоты качания, то-есть, следовательно, будем знать все элементы, необходимые для построения графика потребления энергии всеми насосными станциями.

Таким образом, проектирующий устанавливает задание относительно количества водной энергии, которое надо получить ирригационной системе. Для питания насосных станций, расположенных, в большинстве случаев, вблизи головных сооружений системы, то-есть, вблизи головного шлюза-регулятора, плотины и начального участка главного самотечного канала, очевидно, необходимо стремиться к использованию водной энергии на этих, по соседству находящихся, сооружениях. Следовательно, при проектировании головных сооружений и начальной части главного самотечного канала надо иметь в виду указанное обстоятельство.

Такова предварительная работа по разделению полосы машинного орошения на отдельные ярусы и установлению трасс отдельных машинных каналов. В последующем, когда получится возможность установить более точно, как количество водной энергии, так и место ее получения, а также когда определится стоимость единицы энергии (киловатт-часа), необходимо снова и уже окончательно пересмотреть вопрос о машинном орошении, то-есть вопрос о величине общей площади, которую следует захватить (при наличном количестве энергии) под машинное орошение и о разделении этой площади на отдельные ярусы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ризенкампф, Г. К. Мысли по методике проектирования ирригационных систем.—1922 г..
2. Ризенкампф, Г. К. Проект орошения южной части Голодной Степи. Атласы чертежей и журналы Технич. Комитета Отд. Земельн. Улучшений.

Глава X.

Основные схемы землеустройства и организации жизни во вновь орошаемых районах.

Создание оросительной сети не должно представляться самодовлеющей, независимой целью, оно есть часть общего целого—оживления втуне лежащих засушливых земель, от которого должно получать основные задания и с которым должно быть органически связано. Практикуемый до сего времени способ разбивки ирригационной сети в зависимости только от рельефа местности должен быть оставлен. Неправильно было бы только после устройства оросительной сети приступать к разработке вопросов о схеме заселения района орошения, о месте устройства поселков и других населенных центров (городов, торгово-промышленных и заводских центров), о направлениях железных, шоссейных и грунтовых дорог и пр. Основным требованием надо ставить наиболее целесообразное устроение всей жизни, а не только оросительной сети, достижение максимального эффекта в целом, а не в части. Из совокупных технических и экономических требований, (предъявляемых как ирригационной, так и колонизационной, дорожной и пр. сетями), надо удовлетворить те, которые поведут к лучшей организации всей жизни. Поэтому, одновременно с составлением проекта ирригационной системы, надо разработать план заселения и землеустройства рассматриваемого района, составить схему дорог, оставить места под промышленные, торговые и административные центры, исследовать вопрос об использовании водной энергии на системе и вообще надо доказать, что запроектированная ирригационная система органически связана с будущим устройством жизни и составляет правильную и хорошо сконструированную часть общего целого.

Само собой понятно, что разработка вышеперечисленных вопросов не может вестись только одними инженерами—мелиораторами; необходимо к ней привлечь экономистов и агрономов и, вместе с ними, установить общие принципы, которые должны быть положены в основание проекта. Техника и экономика организации жизни на новых землях должна составить в будущем предмет специальной научно-практической дисциплины, до настоящего времени, к сожалению, почти не разработанной.

Здесь полагаем полезным наметить, хотя бы, главные этапы и основные ориентировочные вехи для мелиораторов в этой работе. Прежде всего необходимо остановиться на типах землеустройства и заселения в орошаемом районе.

Типы землеустройства и заселения.

Классификация и общая характеристика. Заселение всякой местности мыслимо в трех главных видах: а) отдельными разбросанными хуторами, в которых усадьба и полевой отруб являются одним целым; б) сосредоточенными поселками, окруженными сельско-хозяйственными поясами; в поселках сосредоточены все усадьбы, а в окружающем сельско-хозяйственном поясе—расположены полевые участки и в) „полосами жизни"; усадебные участки располагаются вдоль линий распределителей и дорог, сплошь примыкая один к другому, а полевые участки расположены параллельно сзади усадеб.

Формы организованной жизни, по мере развития ее, приводят все к большему и большему скоплению людей в отдельных сосредоточенных центрах, что облегчает и удешевляет создание культурных условий жизни, как-то: водоснабжения, медицинской помощи, школьного образования электрического освещения, развития общественных учреждений и пр. В примере современных городов мы видим прямое подтверждение этой тенденции. Полной противоположностью указанной эволюции жизни является хуторская форма заселения, которая приводит к фактической невозможности организовать какую-нибудь форму общественной жизни и крайне удорожает и затрудняет создание культурных условий.

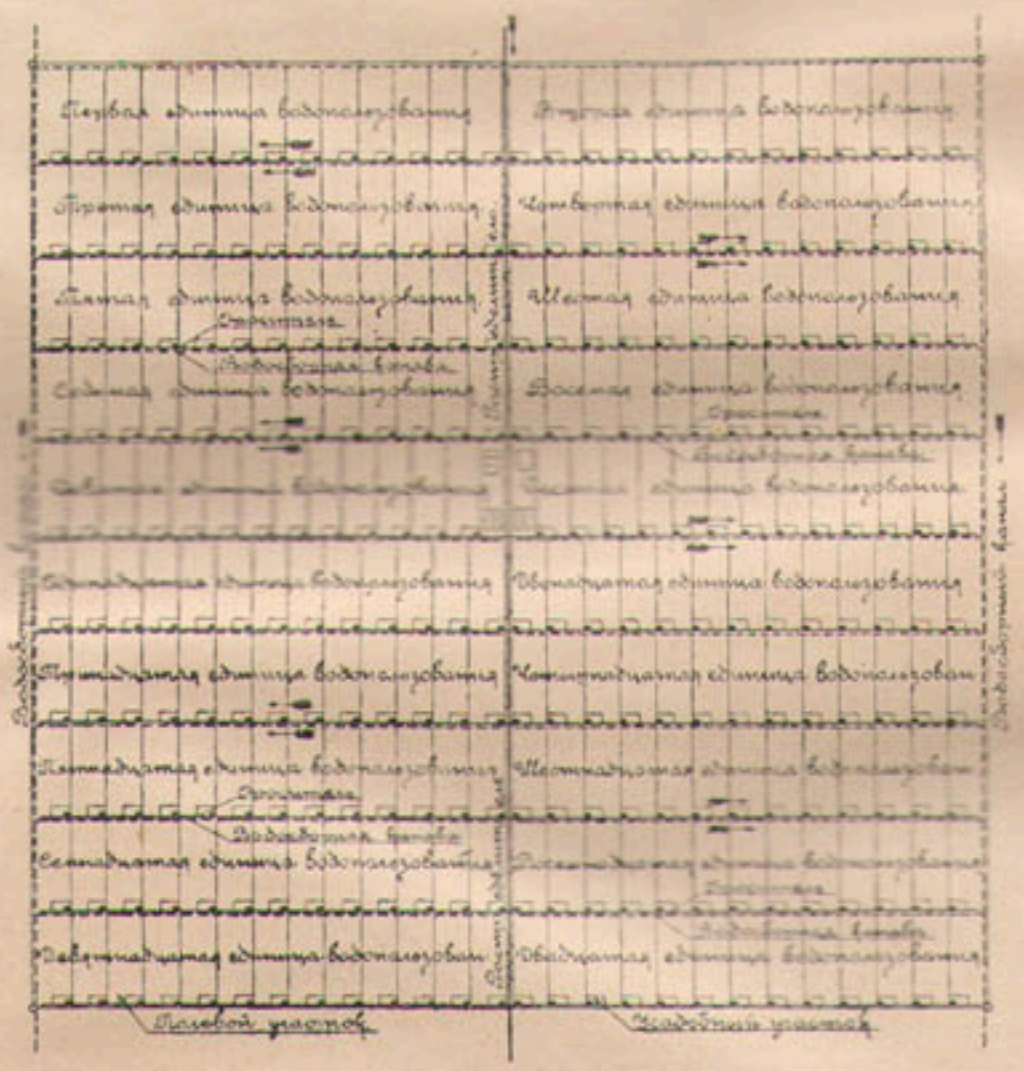
При расселении поселками весь район разделяется на площади, в центре которых располагаются поселки. Величина этой площади зависит от числа хозяев, объединенных одним поселком; при уменьшении числа отдельных дворов, площадь, занимаемая как самим поселком, так и прилегающим к нему сельско-хозяйственным поясом, будет также уменьшаться. В пределе число хозяйств, объединенных в одном поселке, можно довести до одного и тогда, очевидно, получится хуторская форма заселения.

При расселении „полосами жизни" вся степь разделяется на ряд отдельных полос, по середине которых вдоль распределителя и параллельных ему дорог вьется все время полоса усадеб, охватываемая с двух сторон полевыми участками. В этом случае поселок, как бы, развертывается в одну длинную улицу и дальность езды до полей определяется расстоянием от оси этой улицы.

В условиях искусственного орошения вопрос о выборе формы заселения получает еще большее значение, так как появляется новый фактор, а именно привод и отвод искусственно доставляемой воды, как для целей орошения, так и для питья. Современные ирригационные системы не рассчитываются на одновременную подачу воды всем водопользователям, их проектируют на очередное пользование водою, т. е., другими словами, вводится, так

называемый, водооборот, дающий возможность наивыгоднейшим образом распределять воду (о водообороте см. гл. XI). При установлении же водооборота, конечно, необходимо стремиться к уменьшению холостого пробега воды и числа отдельных сооружений для уменьшения потерь воды до возможного минимума, так как запасы воды ограничены и вода сама по себе представляет капитал, использование которого требует крайней экономии.

На нижеприводимых чертежах показана разбивка ирригационной сети и землеустройство на площади квадрата со стороною в пять верст (обычная колонизационная единица) согласно вышеуказанным трем основным типам землеустройства, при чем, для того чтобы особенности рельефа местности не затеняли сущности основных схем, приводится, так сказать, „идеальная" разбивка, не связанная с рельефом местности. Остановимся на особенностях различных типов землеустройства и заселения.



Черт. 111. Идеальная разбивка 5-верстного квадрата при хуторском типе заселения.

Хуторской тип. Положительными сторонами хуторского варианта (см. чертеж 111) является близость полевых участков от усадьбы, позволяющая крестьянам совершенно не затрачивать времени на езду от усадьбы на поля, а также. позволяющая принять участие в полевой работе всем членам семьи, не отрывая их в то же самое время от домашнего хозяйства. В этом

заключается главное и весьма существенное преимущество хуторской системы, но и единственное. Отрицательных же сторон много:

1) Прежде всего, невозможно устроить какое-либо гигиеническое водоснабжение, ибо при хуторской системе заселения участки земли, принадлежащие отдельным поселенцам, расположены большею частью вдали от главных линий водотоков (распределителей и магистральных каналов), из которых вода, просачиваясь, питает грунтовые воды. Усадьбы можно устроить только вдоль оросителей, которые несут незначительный расход воды—несколько кубических футов в секунду и притом с большими перерывами. Поэтому нельзя рассчитывать на получение хорошей воды и в достаточном количестве из колодцев, заложенных вдоль оросителей. Вследствие малого дебета и сравнительно большого количества солей в почве, вода может оказаться сильно минерализованной и негодной для питья.

   Остается другой способ водоснабжения состоящий в том, что поселенец, во время подачи воды для полива из оросителя на его участок, отводит часть ее в специально выкопанные в земле водохранилища. Из последних он поит скот и берет воду для питья, пищи и прочих хозяйственных надобностей в течение всего междуполивного периода времени. С санитарной точки зрения подобное водоснабжение надо считать недопустимым, потому что стоячая вода быстро загрязняется, способствует развитию малярийных заболеваний и т. д. Кроме того, вода и в самих оросителях всегда будет загрязненной, ибо она протекает на большом протяжении в открытых каналах и поступает в оросители тонким слоем (в 0,10—0,15 саж.) и с очень малыми скоростями. Если даже поселенец решится устроить очистительные приспособления для получения здоровой питьевой воды, то все-таки присутствие водоемов со стоячей водой явится постоянным источником малярийных и других заболеваний, особенно опасным в годы эпидемий.
2) Будет экономически невозможно создать удобное соединение всех усадеб с железнодорожными, торговыми и промышленными центрами посредством шоссированных или как нибудь иначе укрепленных дорог. Общая длина дорог делается чрезмерно большой; укрепить грудь дорог какой-либо одеждой не представляется возможным, а между тем, при обычной лессовой почве районов орошения, дороги без сильного укрепления делаются через короткий промежуток времени неудобными и даже невозможными для проезда. В зимнее время грунт превращается в непролазную грязь, а в летнее время под действием копыт образуется толстый слой тончайшей пыли; последняя обращается в жидкую грязь, когда случайно заливается водою.
3) Также весьма будет затруднена организация культурной и общественной жизни. Поселенцы, отдаленные друг от друга большими

расстояниями, обречены в течение пяти зимних месяцев влачить одинокое существование. Детям придется проходить из дома в школу и обратно большие расстояния и тратить на ходьбу много времени. Телефонное сообщение хуторян с внешним миром и друг с другом, не только в начале заселения района, но и в будущем при интенсивном развитии жизни, становится невозможным вследствие чрезмерной длины телефонной сети. То же самое можно сказать и относительно организации общественных складов, скорой медицинской помощи и проч.

4) Общение поселенцев с общегражданской администрацией, с персоналом, обслуживающим ирригационную систему, с инструкторами — становится весьма затруднительным; невозможно быстро созвать поселенцев и быстро дать им необходимую информацию или инструкцию.
5) Удаленность поселенцев от головного шлюзика, через который подается вода из распределителя в их ороситель, практически лишает их возможности наблюдать за отпуском им воды, что приводит ко многим недоразумениям по водопользованию.
6) Подача медицинской помощи также будет весьма затруднена, вследствие разбросанности усадеб по всей площади колонизационного квадрата.

Перечисленные выше недостатки показывают, что хуторской тип заселения особенно непригоден для орошаемых районов с интенсивными формами сельского хозяйства.

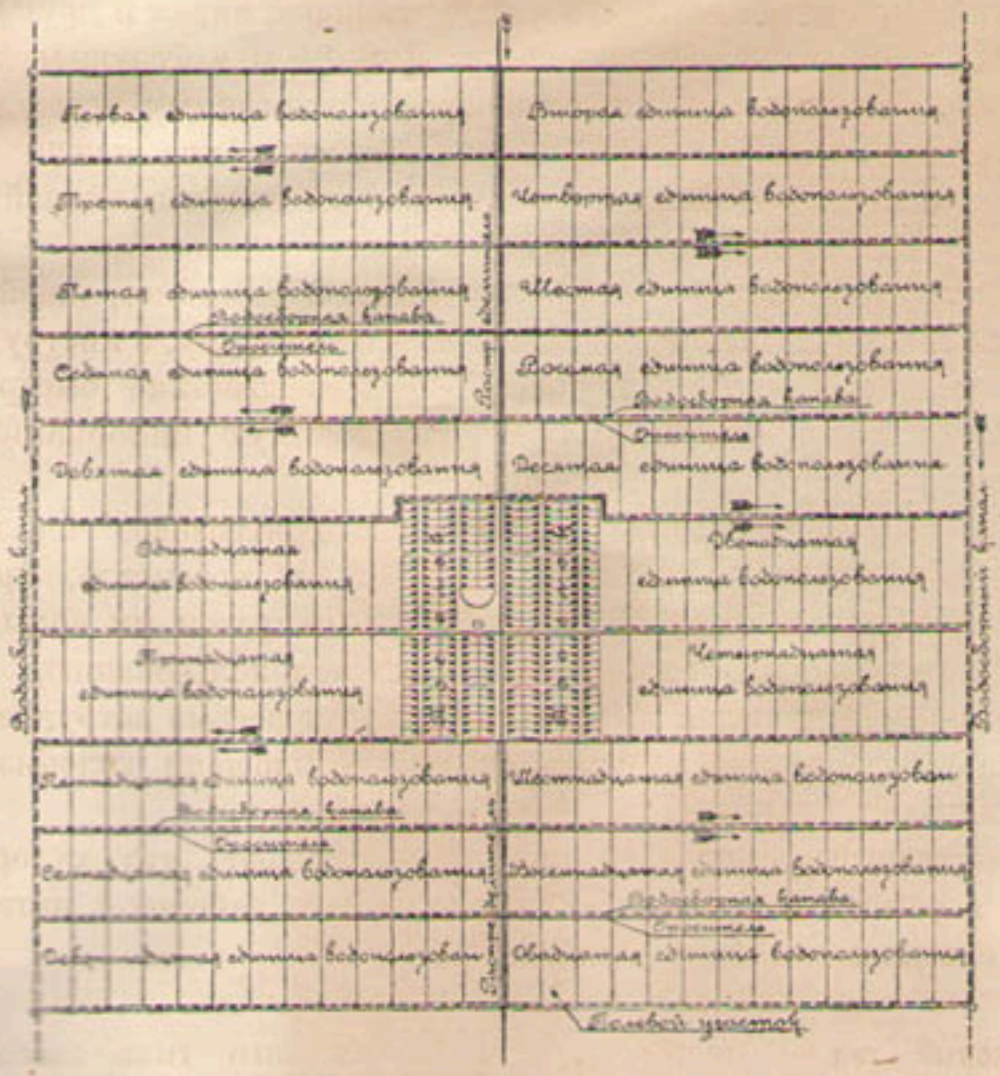
Поселковый тип. К преимуществам поселкового типа заселения (см. черт. 112) надо отнести:

1) Благоприятные условия для развития общественных форм жизни: при наименьших затратах население может создать больницы, потребительские магазины, школы, сельско-хозяйственные склады и проч.
2) Удобство общения администрации с поселенцами-водопользователями.
3) Сильное сокращение длины дорожной сети, необходимой для соединения усадеб с внешним миром.

Отрицательными сторонами данного типа заселения являются:

1) Дальность расстояния усадеб от полевых участков, не позволяющая участвовать всем членам семьи в полевой работе без ущерба для домашнего хозяйства.
2) Удаленность водопользователей от головного шлюзика—оросителя, через который подается вода из распределителя, и отсутствие, вследствие этого, возможности следить за его работой.
3) Малая связь между водопользователями, получающими воду из одного и того же оросителя.

4) Отсутствие возможности, для удаленных от распределителя частей поселка, получать здоровую питьевую воду из колодцев, вырытых в пределах усадеб.



Черт. 112. Идеальная разбивка 5-верстного квадрата при поселковом типе заселения.

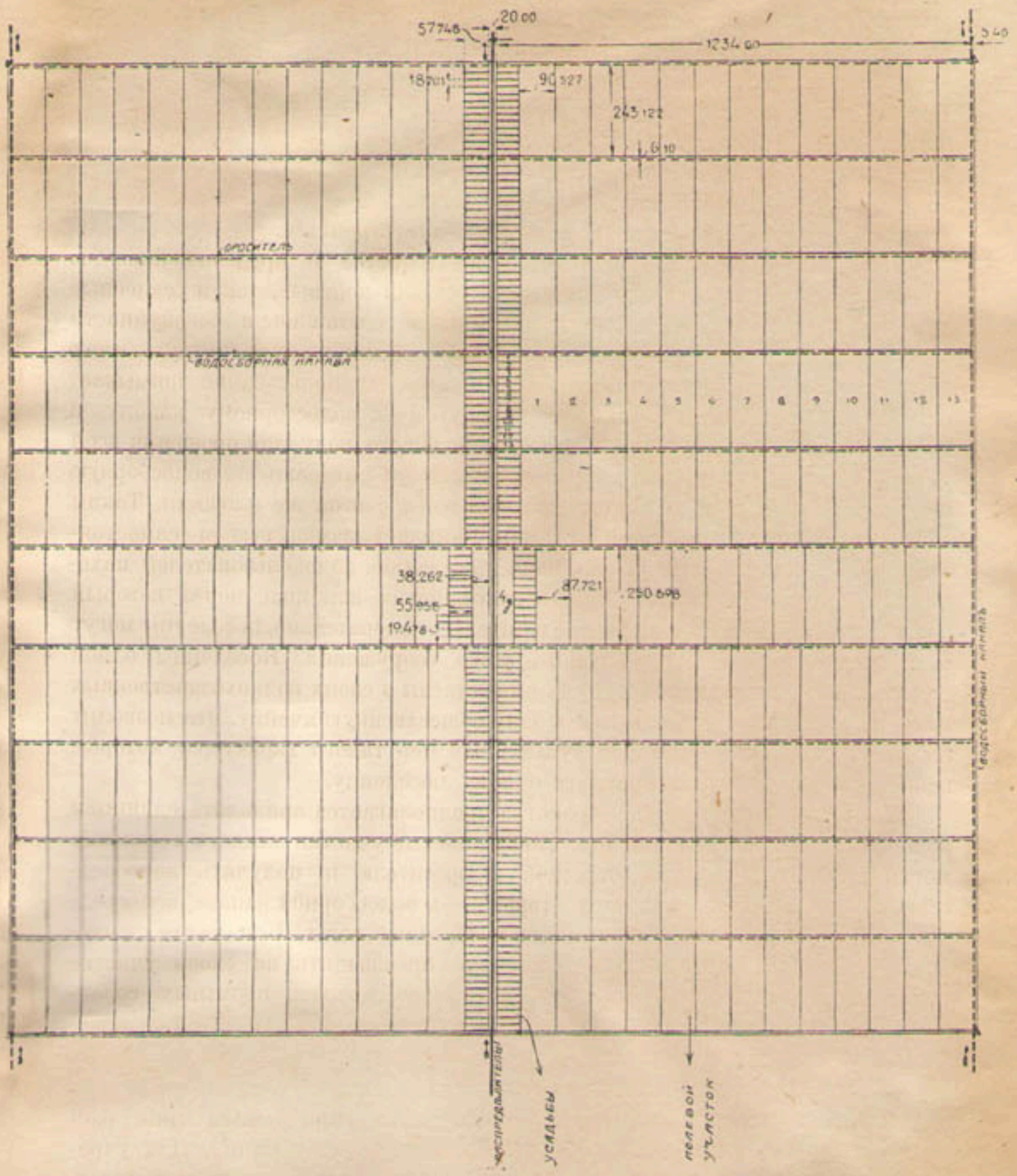
Заселение „полосами жизни“. Ни один из рассмотренных типов заселения не удовлетворяет полностью требованиям, предъявляемым интенсивным сельским хозяйством на орошаемых землях. Ближе всего отвечает им третий тип—заселение „полосами жизни“, так как, обладая всеми преимуществами поселкового типа, он, в то же самое время, значительно, а в некоторых случаях даже совсем, ослабляет его отрицательные стороны. Основной характерной чертой этого типа заселения является устройство усадеб вдоль распределителя по обеим его сторонам (см. черт. 113). Поселок как бы вытягивается в одну улицу. За усадьбами поселенцев тянутся по направлению от распределителя к водосборному каналу их полевые участки. Следовательно, в этом типе землеустройства усадьбы значительно ближе отстоят от своих полевых участков. Вдоль распределителя по обоим его сторонам оставлены полосы земли для будущих дорог. Одна из них, при развитии большого грузооборота, может быть превращена в обыкновенную дорогу с укрепленной грудью, другая останется в качестве проселочной дороги. Усадьбы расположены за дорогами (примыкая к ним), они нахо-

дятся в расстоянии 10 — 20 сажен от оси распределителей, несущих сравнительно большой расход и обильно питающих грунтовые воды, поэтому вопрос о получении доброкачественной питьевой воды может быть разрешен в данном случае легко, путем устройства в пределах каждой усадьбы колодцев, в которые вода будет поступать очищенной и пресной. Ирригационные каналы, проложенные даже в засоленных грунтах, через короткое время создают вокруг себя полосу с пресными грунтовыми водами, благодаря вымыванию солей фильтрующимся из канала током воды. Такого благоприятного решения вопроса о водоснабжении не дает ни один из указанных выше вариантов землеустройства.

По данному типу заселения и землеустройства в пределах площади командования каждого оросителя находятся как полевые, так и усадебные участки одной и той же группы поселенцев, составляя в совокупности отдельную воднохозяйственную и земельную единицу, называемую мною „единицей водопользования". Единица водопользования примыкает одной стороной к распределителю, а другой—к водосборному каналу и имеет помимо отдельного оросителя, подводящего воду для орошения всей площади единицы водопользования, также и отдельную водосборную канаву, отводящую сбросные, дренажные воды с этой же площади. Таким образом, единица водопользования представляет замкнутую и самостоятельную отдельную ячейку. Жилища поселенцев-водопользователей находятся в непосредственной близости от головного шлюзика, через который ороситель получает воду из распределителя, следовательно, поселенцы могут быть всегда осведомлены о работе этого сооружения. Поселенцы одной единицы водопользования, будучи объединены в своих воднохозяйственных интересах, постепенно вольются в одну общественную ячейку, что позволит им предпринимать целый ряд культурных мер такого характера, которые невозможно было бы осуществить одному поселенцу.

По данному типу землеустройства предполагается придавать единицам водопользования такую ширину, чтобы полевые участки каждого поселенца могли примыкать одной стороной к оросителю и получать непосредственно из него воду, а другой стороной—к водосборной канаве, непосредственно спуская в нее отработанные и сбросные воды. При таком землеустройстве поселенец может независимо производить на своем участке какие угодно мелиоративные работы, например, дренаж, промывку солончаков и пр., не затрагивая чужих интересов.

Заселение полосами лучше разрешает и дорожный вопрос, так как при минимуме протяжения дорог, получается полное обслуживание всех населенных пунктов. Как уже указывалось выше, при данном типе расположения усадеб поселок, как-бы, вытягивается в одну улицу. Для учреждений общего назначения, как-то: школ, больниц, аптек, магазинов, складов, базаров и пр., оставлены по распределителю площади на известном расстоянии друг от друга. Эти площади общественного назначения являются центрами поселков, которые расположены не в обычной форме квадрата или круга, а вытянуты в одну линию.



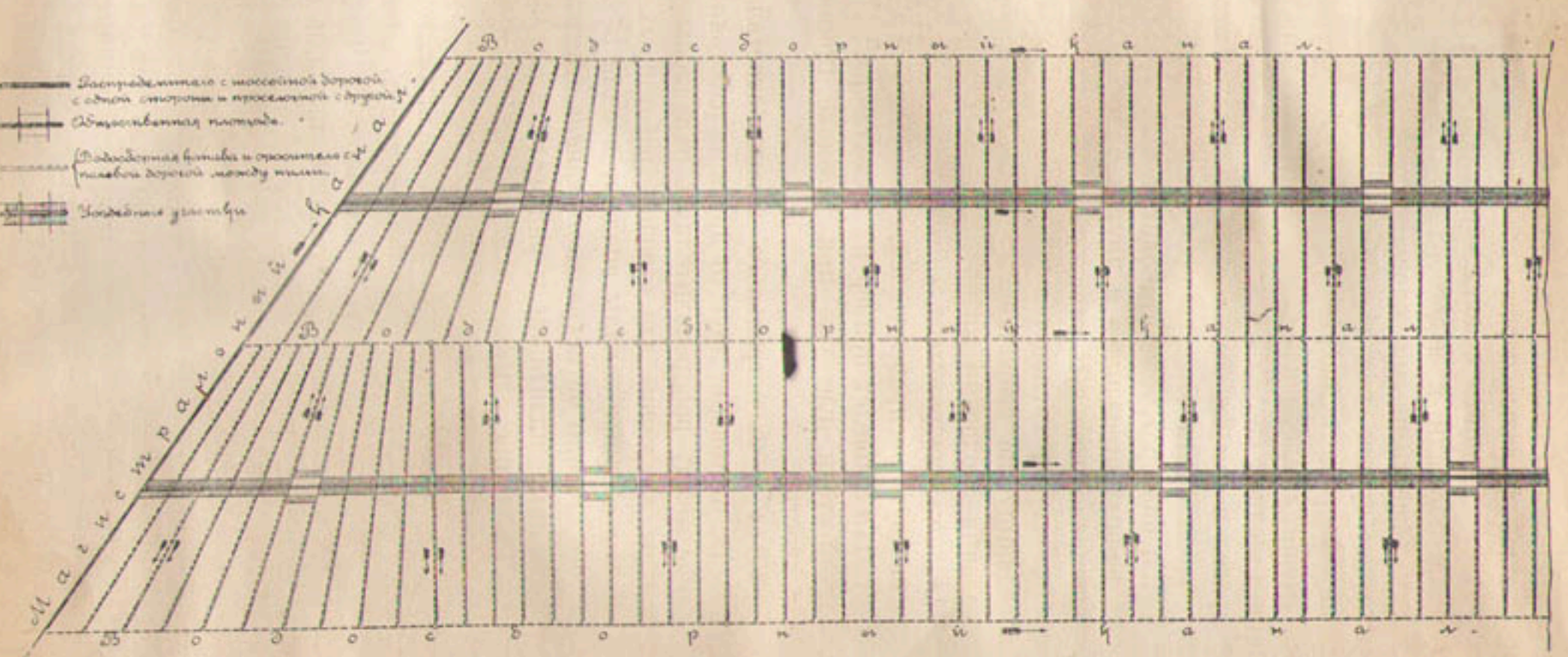
Черт. 113. Идеальная разбивка 5-верстного квадрата при заселении полосами жизни.

От главных дорог, идущих вдоль распределителя, ответвляется в перпендикулярном направлении целая сеть полевых дорог; эти дороги проходят вдоль оросителей. Полевые дороги обслуживают лишь полевые участки в пределах одной „единицы водопользования", но две из них, идущие от общественной площади к водосборным каналам, служат для сообщения с соседними общественными площадями, расположенными по другую сторону от водосборного канала. Организовать удобную связь поселян с внешним миром чрезвычайно легко, так как вдоль распределителей всегда прокладывается телефонная сеть для обслуживания эксплоатационного штата ирригационной системы; достаточно для нужд населения подвесить лишний провод к тем же самым столбам и несколько усилить телефонные станции, чтобы иметь общественный телефон. Сообщение населения с администрацией и наоборот, тоже становится легким, так как объезд водных надзирателей, водных стражников и других чинов администрации производится вдоль распределительных каналов, вдоль которых тянутся и все усадьбы поселян; всегда, следовательно, имеется возможность заехать к любому поселянину, не сворачивая с пути. Таким образом, все говорит в пользу заселения „полосами жизни".

Ниже на черт. 114 показана разбивка, согласно данной схеме землеустройства, на площади двух распределителей, без учета рельефа местности, а затем на черт. 115 приведен пример из проекта орошения Северо-Западной части Голодной степи, где уже при разбивке принимался во внимание и рельеф местности.

Как видно из черт. 114 от магистрального канала ответвляются под углом два распределителя, отстоящие друг от друга на расстоянии равном 5-ти верстам. По средине между распределителями, параллельно им, проходят водосборные каналы, служащие для отвода отработанных вод. Как распределители, так и водосборные каналы впадают в один общий водосборный коллектор. По обе стороны магистрального канала отведены полосы земли под правительственные плантации и рядом с каналом проходит обыкновенная дорога. На распределителях, как на геометрических осях, расположены пятиверстные колонизационные квадраты, граничащие друг с другом. Таким образом, усадьбы, расположенные вдоль каждого распределителя по обе стороны его, образуют как бы цветущую аллею жизни, объединенную общим водным источником и общей дорогой. Через каждые пять верст по этой аллее расположены общественные площади, объединяющие поселенцев каждого колонизационного квадрата в один самостоятельный поселок.

Однако, не все колонизационные единицы могут иметь правильную форму квадрата. Как видно из чертежа 114, при ответвлении распределителей от магистрального канала под углом получаются участки земли в виде трапеций, но это не мешает выдержать принятую идею землеустройства. Такие участки, если их величина близка к величине колонизационного квадрата, могут составлять самостоятельные единицы, при чем иногда, сообразно рельефу местности, такие участки будут

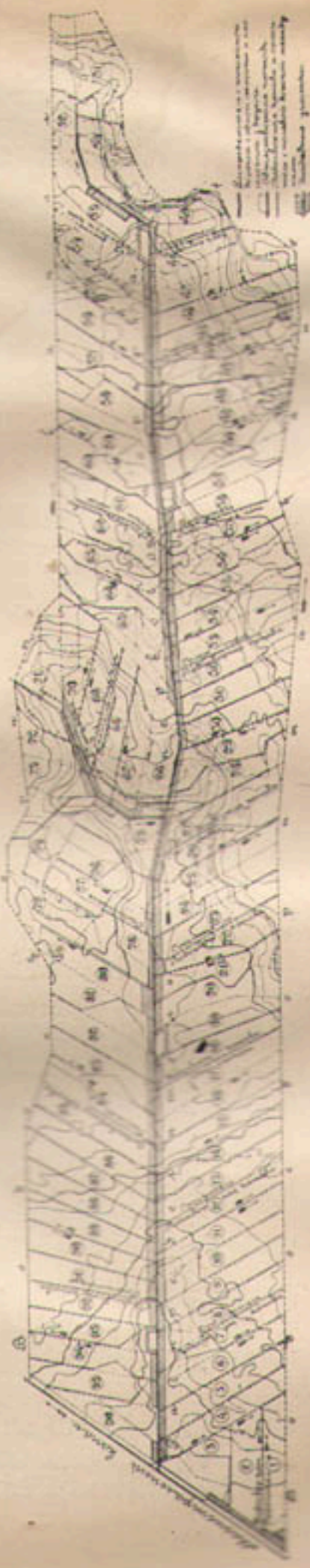


Черт. 114. Идеальная разбивка при заселении полосами жизни площади командования двух распределителей без учета рельефа.

иметь и самостоятельные (второстепенные), распределители. Если участки неправильной формы по своей величине значительно меньше колонизационного квадрата, то их можно группировать по несколько в одну колонизационную единицу. Встречаются еще и полевые участки, не соответствующие принятой системе землеустройства, то-есть, находящиеся не на одной единице водопользования с усадьбами и вдали от оросителя последнего. Это осложнение можно разрешить, устроив оросители с ответвлениями, а усадьбы сгруппировав у распределителя. Если же подобные участки не велики, их можно отводить под кладбища, свалочные места и пр.

Следует отметить, что частичные уклонения от основной схемы, которые будут встречаться, всегда возможно устранить не нарушая общих принципов.

На чертеже 115 показана аналогичная разбивка, но уже принимая во внимание рельеф местности, при чем сравнивая эти два чертежа, легко заметить, что хотя линии распределителей приняли ломаное направление, согласно господствующим водоразделам, однако, основная идея принятой системы землеустройства сохранилась полностью. Оросительные полосы разбиты на равновеликие единицы водопользования, заключающие одинаковое количество участков, получающих воду из одного оросителя и имеющих усадьбы, расположенными вдоль распределителей. Отличие заключается лишь в том, что форма единиц водопользования разнообразная и редко прямоугольная, но это отклонение от идеала не вызывает серьезных неудобств. Часто вследствие неправильности формы единиц водопользования, ширина их превышает нормальную, что затрудняло бы проведение воды из оросителей в места, более удаленные от них; во избежание этого неудобства, достаточно изогнуть ороситель и повести его внутри единицы водопользования (см. ед. водополь. № 48). Встречается также, что небольшой, частичный водораздел проходит между двумя основными водоразделами и таким образом перебивает стройность схемы, тогда приходится по этому водоразделу про-

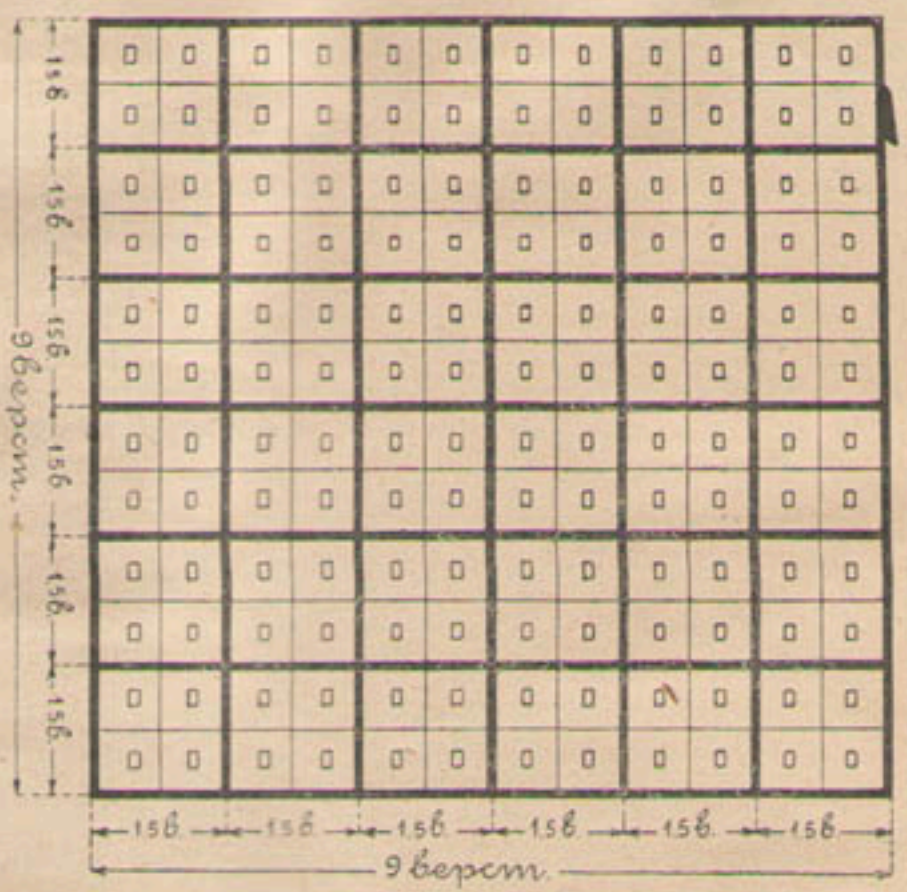


Черт. 115. Разбивка мелкой сети и землеустройство на площади, обслуживаемой одним распределителем (условия северо-западной части Голодной Степи).

водить самостоятельный распределитель и всю его площадь командования разбивать на единицы водопользования, соответственно группируя их в отдельные, самостоятельные поселки.

Иногда небольшой водораздел проходит поперек главных водоразделов, тогда приходится вести ответвление от главных распределителей, но опять-таки основная идея принятой системы землеустройства от этого не страдает, ибо, как видно из чертежа, в каждом таком случае основные принципы можно сохранить полностью.

План землеустройства, принятый в Канаде. Для иллюстрации того, как мало до сего времени разработан вопрос землеустройства орошаемых земель, опишем способ землеустройства, принятый на обширном пространстве (свыше 1 миллиона десятин) орошаемых земель в Канаде, в Альберте, Обществом Тихоокеанской железной дороги. Такая же схема проводится и на остальной площади в 12 миллионов десятин, полученных Обществом от Канадского правительства. Заключается она в следующем: пригодные для заселения районы разбиты на квадраты (черт. 116) по 9-ти верст в стороне, с площадью 8.640 десятин. Эта



Черт. 116. Схема колонизации и заселения в Канаде.

площадь, в свою очередь разбита на 36 клеток по 1,5 версты в стороне с площадью в 240 десятин и, наконец, каждая из указанных клеток разбивается на 4 участка, по 60 десятин. Участок в 60 десятин представляет площадь одного хутора. Система землеустройства, таким образом, хуторская. Стороны квадратов направлены с запада на восток и с севера на юг. Между сторонами клеток, длиною в 1,5

версты, оставлены дороги, шириною в 66 фут.; таким образом, каждый хутор двумя своими гранями выходит на указанные дороги. Той же ширины дороги разделяют и большие квадраты (со стороною в 9 верст) друг от друга. Оросители доведены до каждого хуторского участка.

Такая „механическая система" землеустройства может быть удобна и дешева только в период разбивки больших пространств на участки, но не более. И с точки зрения устройства и эксплоатации ирригационной системы, и с точки зрения устройства и эксплоатации дорожной сети и, наконец, с точки зрения создания условий, при которых культурные формы жизни могли бы быть легко осуществлены, канадская система землеустройства не выдерживает критики. А между тем она проводится на громадной площади и притом частной компанией.

Величина наделов.

Установление величины надела, то есть той площади, которая будет отводиться в районе предполагаемого орошения одному поселенцу с его семьей, представляет весьма сложную задачу, зависящую от очень многих факторов, из которых главнейшими являются: климатические условия, тип почвы и состояние ее поверхности, опыт и развитие поселенцев и их денежные рессурсы, возможный импорт рабочей силы, расстояние надела от рынка сбыта продуктов сельского хозяйства, пути сообщения и, наконец, земельная политика государства. Очевидно, задача определения величины надела выходит из сферы компетенции инженера-мелиоратора, в разрешении ее должен принять участие широкий круг специалистов и государственных деятелей. Кроме того, правильно запроектированная ирригационная система должна быть гибкой и не зависеть от величины надела, так как в течении долгаго срока существования системы могут в сильной степени измениться земельная политика государства, пути сообщения и многие другие факторы. Система должна правильно работать при самых разнообразных нормах надела. Это положение должно быть в полной мере учтено проектирующим. Проектирующему нужно знать только минимальный предел величины надела, так как этой последней величиной, в некоторой степени, корректируется разбивка мелкой сети.

В условиях сухих районов все продукты, необходимые для питания семьи, включая и мясо, могут быть получены при орошении с весьма небольшого участка земли. Продукты с остальной площади, сырые или переработанные, должны итти в продажу для обеспечения семьи одеждой и удовлетворения других ее нужд. Площадь земли, потребная для получения нужного количества продуктов, зависит от характера этих продуктов. Характер обработки почвы и возделывания растений определяется в значительной мере площадью надела и денежными рессурсами владельца. Если, например, поселенец имеет маленькую площадь, он должен возделывать более ценные культуры и проводить формы интенсивного земледелия, так как дешевый продукт

и небольшие урожаи с малой площади не дадут ему возможности существовать. Денежные средства переселенцев обычно невелики и недостаточны для культивирования больших участков земли. При больших наделах формы земледелия почти всегда становятся экстенсивными. Большие платежи за землю истощают средства владельца и он не имеет возможности тратить что-либо на улучшение участка, а с другой стороны необходимость обрабатывать слишком большую площадь заставляет прибегать к наиболее простым и дешевым культурам. В таких условиях с первого же года начинается не улучшение, а истощение почвы. Практика сухих штатов Северной Америки показывает, что на больших фермах (площадью до 65 десятин) только незначительная часть надела приведена в культурный вид, она не превосходит 15 десятин для 50% ферм и 23 десятин для 80% ферм. Во всей стране наиболее распространены фермы площадью меньше 19 десятин. На орошенных участках земледелие должно быть интенсивным, а, следовательно, и очень трудоемким, поэтому (принимая во внимание условия труда) наделы не должны быть большими. Наблюдения показали, что урожаи (на 1 десятину) на малых фермах больше, чем на средних и больших.

Опыт Службы Мелиорации (Reclamation Service) С. Ш. С. Америки приводит к следующим выводам:

а) мелкие наделы орошаемых земель всегда занимаются раньше других;
б) они более привлекают недостаточно богатых переселенцев, а таких всегда большинство;
в) мелкие наделы всегда раньше приводятся в культурное состояние и раньше начинают давать доход;
г) отчеты отмечают большое количество случаев, когда в больших наделах значительная часть площади оставалась неиспользованной и заброшенной;
д) департаменту земледелия предъявляются требования об увеличении числа мелких наделов для удовлетворения потребности в них;
е) большая часть требований на большие наделы предъявляется лицами, неспособными вести хозяйство на большой площади, но желающими заниматься земельной спекуляцией. Продавая или сдавая в аренду большую часть полученного ими надела, они выручают при этом некоторую сумму денег для культивирования остающегося у них небольшого участка земли;
ж) большие наделы задерживают усвоение орошенной площади. Поселенцы в северных и центральных орошенных участках улучшают в среднем по 4,5—5,5 десятин земли в год, таким образом, только на третий год большая часть хозяев заканчивает разработку своих 15 десятин. В юго-западных сухих областях семьи фермеров хорошо живут на наделах в 1,9—7,6 десятин, культивируя фрукты и овощи; для содержания семьи в этой местности достаточен надел в 5,7 десятины. Нельзя создавать твердых норм для величины наделов даже в одном и том же проекте, ввиду различных по-

чвенных, топографических условий, условий транспорта и индивидуальных различий поселенцев в их способностях и средствах. Общее мнение американских практиков—мелиораторов склоняется в пользу небольших наделов.

Практика орошения и заселения Сухих Штатов С. Америки дает возможность установить следующие обобщения:

а) от 15 до 22 десятин орошенной земли достаточно в холодном климате, где главным образом возделываются зерновые хлеба и травы;

б) от 11 до 17 десятин орошенной земли в умеренном климате, где главными растениями являются травы и зерновые хлеба одновременно с некоторыми фруктами и овощами;

с) от 7 до 14 десятин орошенной земли в сухом и жарком климате (Юго-Западные Штаты), где, главным образом, разводятся фрукты и овощи с некоторым количеством зерновых хлебов и трав.

Таковы результаты американскаго опыта заселения орошенных земель. Переходя к русской практике, можно также отметить тенденцию к уменьшению величины наделов. Например, в хлопковых орошенных районах в начале принималась норма надела в 10 десятин (Старожильческие поселки в Голодной степи), затем эта норма была уменьшена до 9 десятин (Муганская степь), потом до 8 десятин (Северо Восточная часть Голодной степи) и, наконец, в проекте орошения 500.000 десятин Голодной степи предполагалась норма надела в 7,5 десятин. В том же хлопковом районе, трудовая норма туземной семьи, привыкшей к интенсивным формам земледелия на поливных землях, падает до 3—6 десятин. В районах нехлопковых предусматривались большие величины наделов, например, в проекте орошения долины реки Чу от 8 до 12 десятин, в Кальджирской степи 21 десятина и проч.

Отвод территории под города и населенные пункты. Скотопрогонные дороги.

Можно весьма сильно повысить экономический эффект ирригационного предприятия, если при составлении проекта не жалеть времени на разработку вопроса об оборудовании орошаемого района торгово-промышленными и городскими центрами и о соединении их удобными для перевозки грузов дорогами с остальным миром. Правильно предугадав места будущих населенных центров, оставив для них свободные площади, мы тем самым создаем источник новых доходов, ибо земля расценивается в таких районах значительно выше, чем „аграрная" территория. В хлопковых районах необходимо оставлять под города и прочие населенные центры, до 3% общей площади района орошения. В районах с менее интенсивными формами земледелия, с менее трудоемкими культурами, величина площади, отводимой под населенные пункты, соответственно уменьшается Города надо располагать в наиболее удобных для того местах, в пунктах схождения распределителей, а, следовательно, и „полос жизни", на

линиях прохождения будущих железных или транзитных шоссейных дорог и т. п.; по возможности надо размещать города на высоко-лежащих землях, не смущаясь тем, что орошение их из самотечных каналов будет невозможно, так как городские земли выдержат машинный подъем воды совершенно свободно. Но использование таких высоко-лежащих земель под города возможно только в том случае, если они удовлетворяют основному условию центрального расположения. Весьма важно, чтобы территория населенных центров имела свою независимую распределительную сеть и была отделена от остальной площади водосборными каналами, позволяющими городу производить какие угодно работы по водоснабжению и канализации, не входя ни в какие соглашения и конфликты с окружающими соседями и поселенцами. Уже при разбивке распределительной сети необходимо принимать во внимание месторасположение будущих населенных центров для того, чтобы можно было подвести к ним по возможности большее количество „полос жизни", т. е. распределителей и параллельно идущих дорог.

Еще одно обстоятельство не надо упускать из виду: орошая какой нибудь район, пересекая местность каналами, мы часто разобщаем пойму реки от предгорьев и перерезываем пути прогона скота, поэтому в проекте надо предусматривать оставление особых широких полос земли под скотопрогонные дороги; проектирующий должен иметь полное представление о жизни кочевников в том районе, который предполагается изъять из их пользования для орошения, а также в его окрестностях для того, чтобы как можно меньше нарушить интересы кочевого населения и скотоводства.

В заключение еще раз считаем необходимым отметить, что методика землеустройства и организации жизни на орошаемых землях должна составить содержание специальной научно-практической дисциплины, которая, к сожалению, до настоящего времени весьма мало разработана.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Риженкамиф, Г. К. — Пояснительная записка к выбранной системе землеустройства при колонизации 500.000 десятин Голодной степи.—1916 год.
2. Епанчин, Н. Н. — Орошение и колонизация Канады.—1913 г.
3. Предтеченский, А. А.—Сельское хозяйство и орошение в Зеравшанской долине.—1922 г.
4. Волжин, Д. А. — Задачи восстановления русского хлопководства. Москва.—1921.
5. Караваев, В. Ф. — Голодная степь в прошлом и в настоящем. Петроград,—1914 г.
6. Журнал Технического Комитета Отдела Земельных Улучшений по вопросу об орошении 36.000 десятин Кальджирской степи Зайсанского уезда Семипалатинской области.
7. Тоже об орошении Чуйской долины.
8. Тоже об орошении Копбальской степи.
9. Закон 28-го июня 1912 года об отводе казенных орошенных земель в Муганской степи.
10. Журнал „Вопросы Колонизации" за период 1911—1916 годов.
11. Size of Farms on Reclamation Projects.—United States Reclamation Service.—1923.

Глава XI.

Водопользование: способ непрерывной подачи, способ подачи по требованию и водооборот.

Введение.

Источники орошения имеют свою непосредственную, непрерывно изменяющуюся, жизнь. Головные сооружения ирригационной системы забирают воду из источника орошения непрерывно, но в разное время, в разных количествах, согласно установленному графику потребления: между тем, на полях орошения, то есть в тех местах, куда вода должна доставляться, потребность в воде не бывает непрерывной; каждый участок поля занят определенной культурой и требует полива определенным количеством воды и в определенное время. Таким образом, вода, поступающая в главные каналы непрерывным потоком, должна в каких-то местах ирригационной системы разделяться на отдельные, периодически действующие струи. Кроме того, общая потребность полей орошения в поливной воде часто бывает больше того количества, которое может подаваться источником орошения; тогда приходится устанавливать для водопользователей отдельные очереди пользования водой, имеющейся в наличности в главном канале.

Все виды водопользования, другими словами, все способы подачи воды из главного канала на орошаемые поля, практикуемые на ирригационных системах, имеют целью снабдить каждого потребителя (водопользователя) таким количеством воды, на которое он имеет право и в тот момент, когда он в этой воде нуждается. Достоинства каждого способа определяются тем, в какой степени удается выполнить поставленную цель. До сих пор не существует общей методики разрешения вопроса и при большом разнообразии в кривых потребления воды и в режимах источников орошения, очевидно, не может быть одного общего решения вопроса для различных ирригационных систем. На больших системах, благодаря различию условий в разных их частях, может потребоваться применение различных видов водопользования. Экономический успех ирригационного предприятия зависит от материального благополучия водопользователей-за-

сельщиков системы. Следовательно, сущность задачи заключается в том, чтобы способы подачи воды были приспособлены к нормальным потребностям в ней.

Существуют следующие главные способы отпуска воды, применяемые при эксплоатации ирригационных систем:

1. Способ непрерывной подачи.
2. „ подачи по требованию.
3. „ водооборота.

Наименование каждого способа, до известной степени объясняет принципы, положенные в его основу. Возможно применение на одной и той же системе нескольких способов отпуска воды в известной их комбинации.

Основными факторами, определяющими выбор способа подачи воды, являются характер графика отдачи воды на поля орошения и характер режима источника орошения, а также величина хозяйственного тока. Все те факторы, от которых зависит график отдачи и хозяйственный ток, очевидно, в неявной форме также влияют на установление вида водопользования, то-есть характер почвы, топография местности, род растений, распределение культур и проч.

В самом деле, характер почвы влияет на способ подачи воды с точки зрения частоты поливов и глубины слоя воды, подаваемой при каждом орошении. Топография местности влияет на величину хозяйственного тока, который может быть применен в данной местности, а, следовательно, и на быстроту, с которой может быть выполнен полив. Род растений влияет на распределение поливной воды в течение оросительного периода. Например, период роста зерновых хлебов, в течение которого они нуждаются в орошении, сравнительно короток, и если определилась потребность в воде, то полив их не может быть отсрочен без вреда на такой срок, какой допустим для других растений. Кормовые растения обычно требуют сравнительно больших оросительных норм, при чем поливы могут быть растянуты на более продолжительный период. Люцерна, обладая глубокой корневой системой, допускает большие колебания в сроках полива и лучше других приспособлена к длинным междуполивным периодам. Картофель и свекла, в течение известного периода своего роста, требуют частых поливов и т. п.

Однако, при составлении графика потребления учитываются все соображения, касающиеся норм, сроков и растяжимости поливов отдельных культур, на нем, так сказать, изображается вся картина потребного водораспределения, как по количеству, так и во времени. Поэтому нет никаких оснований снова входить в анализ всех этих факторов и надо исходить при выработке плана водопользования из графика потребления.

Величина площади надела поселенца определяет время, потребное для орошения каждой фермы, частоту открытий и закрытий затворов, через которые вода поступает из оросителя в распоряжение водопользователя, а также число отдельных водопользователей, с которыми эксплоатационному штату придется иметь дело. Продолжительность ирригационного сезона также имеет значение, так как чем сезон длиннее, тем общее количество сбереженной воды, полу-

чившееся от более совершенных методов подачи, будет больше. Имеет также значение вопрос, есть ли у поселенца привычка к определенным методам подачи воды, ибо водопользователя-новичка гораздо легче приучить к новому способу.

На ирригационной системе, имеющей разнообразные условия, должны иметь место различные способы подачи воды. Методы, принятые на малых системах с преобладанием одной какой-либо культуры, могут оказаться совершенно неподходящими для более крупных систем, обладающих разнообразием почв, топографических условий и возделываемых культур.

В практике приходится встречаться с двумя задачами. При рациональной постановке их можно формулировать следующим образом.

Первая задача: „Имеется готовая ирригационная система; число отдельных хозяйств, то-есть, следовательно, число отдельных водопользователей, величина их наделов (площади участков отдельных водопользователей), пропускные способности всех каналов, распределителей, оросителей, режим источника орошения, распределение культур, нормы и сроки поливов известны. Требуется разработать такой план водопользования для указанной системы, при котором наилучшим образом могли бы быть удовлетворены рациональные требования водопользователей, при условии, чтобы эксплоатационные расходы по содержанию системы не превысили некоторого экономического предела и чтобы общая кривая потребления воды была согласована с режимом источника орошения".

Вторая задача: „Требуется разработать водооборот для вновь проектируемой системы. Известен режим источника питания. Задача должна быть решена так, чтобы все могущие в будущем встретиться потребности в воде у отдельных водопользователей могли быть удовлетворены без переустройства системы и, по возможности, полностью, чтобы можно было ограничиться наименьшим количеством воды в те периоды, когда в источнике орошения ее мало, чтобы сумма всех первоначальных расходов по сооружению системы была минимальная, чтобы эксплоатационные расходы по поддержанию системы были тоже доведены до возможного минимума".

Вторая задача сложнее первой, ее необходимо решать совместно с разработкой общих планов ирригационной и колонизационной сетей, а также в связи с планом хозяйственного использования данного района. Установление водопользования является органической частью плана создания жизни в будущем орошенном районе.

Способ непрерывной подачи воды.

По этому способу каждый водопользователь имеет право на получение непрерывного тока воды, определенной и постоянной величины в течение оросительного сезона. Но, конечно, водопользователь не обязан непрерывно потреблять принадлежащий ему ток воды. В действительности потребление воды происходит с перерывами в зависимости от условий, существующих на участках отдельных водопользователей.

Пропускная способность оросителя должна быть достаточной для одновременного пропуска суммы всех тех максимальных расходов, на которые имеют право водопользователи, получающие воду из данного оросителя. То же самое относится и к пропускной способности распределителей,— они должны быть расчитаны на расход, равный сумме прав обслуживаемой ими площади. Что касается главного канала, то последний может быть расчитан на несколько меньший расход, чем сумма максимальных прав на воду всех водопользователей в системе. Если в районе орошения одна какая-нибудь культура занимает большую часть площади, надо принимать во внимание, что бывают периоды в течение оросительного сезона, когда вся площадь, занятая указанной культурой, может потребовать одновременно полной подачи воды.

Способ непрерывной подачи воды может иметь применение в районах с крупными наделами и в районах, где топографические условия заставляют пользоваться хозяйственным током небольшой величины. Действительно, если поселенец имеет большой участок, то приходящийся на его долю расход воды может получить размеры, близкие к хозяйственному току, то-есть размеры, удобные для полива: направляя весь получаемый расход на полив то одной, то другой части надела, поселенец фактически вводит водооборот в пределах своего участка. На участках, где условия полива требуют применения хозяйственного тока небольшой величины (в крутых и холмистых районах), требуются большие сроки для осуществления полива. Например, при токе $q_0 = 2$ кб. ф. в секунду и при площади надела в 60 десятин, потребуется 20 дней, чтобы покрыть всю площадь слоем воды в 0,5 фута; если поселенческий участок такой величины занят под хлеба и кормовые культуры с преобладанием, например, люцерны, то непрерывный полив потребуется фактически в течение нескольких месяцев в году. Приведенный пример показывает что способ непрерывной подачи следует применять там, где соотношение между величиною площади участка водопользователя и величиною хозяйственного тока такое, при котором для орошения всего участка требуется почти непрерывная подача воды. Непрерывная подача воды применима при орошении плодовых садов и ягодных культур, которые требуют очень частой подачи воды небольшим хозяйственным током.

Когда хозяйственный ток велик (для непрерывной подачи воды), по сравнению с площадью участка водопользователя, тогда следует предпочесть один из остальных способов водопользования. Управление ирригационной сетью при непрерывной подаче, обыкновенно, бывает проще, чем при водообороте или отпуске по требованию, так как потребление воды в этом случае меньше колеблется; работа по регулированию несложная, она заключается в поддержании уровня воды в оросителях на такой высоте, при которой через шлюзики на поля может проходить ток воды определенной и при том постоянной мощности; только в начале и в конце

сезона, когда потребление воды наиболее неравномерно, вследствие колебания спроса, может потребоваться регулировка горизонта воды в оросителях, а вместе с этим и в распределителях. Способ непрерывной подачи удобен в тех случаях, когда право на воду водопользователей определяется величиной близкой хозяйственному току и когда в источнике орошения достаточно воды для удовлетворения всех требований. Если ирригационная система в достаточной мере снабжена водосбросными устройствами, так что от неиспользованной воды можно легко освободиться, то способ непрерывной подачи допускает более простое управление, чем-какой либо другой.

Способ подачи воды по требованию.

Сущность этого способа заключается в том, что водопользователь имеет право на получение в течение оросительного сезона определенного количества воды, которое полностью или частями может быть им взято в любые сроки по желанию. Для этого водопользователю необходимо только послать администрации, заведывающей эксплоатацией системы, требование на подачу ему воды в таком то количестве и в такой-то срок. Данный способ—самый простой с точки зрения водопользователя, ибо не требует от него никаких предварительных расчетов и соображений о потребности культивируемых им растений в воде. Этот вид водопользования имеет всегда применение в первые годы существования системы, когда имеется большой запас в пропускной способности каналов и источники орошения достаточно обильны для удовлетворения требований на воду со стороны той части площади, которая используется в первые годы эксплоатации системы. Стремление сколько-нибудь приблизиться к принципу действительной подачи воды по требованию в то время, когда вся орошаемая площадь будет использована, поведет к необходимости чрезмерно увеличить пропускную способность оросителей, распределителей и главного канала. Поэтому должны быть введены некоторые ограничения. Требуется, чтобы заявления на воду подавались за несколько дней вперед до желаемого срока подачи; обычно за три и в крайнем случае не меньше чем за один день. Очень редко устанавливаются большие сроки. Когда требования на воду в какой-либо момент превышают ее наличность в системе, тогда срок подачи растягивают. Одним подают несколько раньше, другим — несколько позже заявленного срока требования. Подача происходит в этом случае по очереди поступления заявлений и в зависимости от пропускной способности каналов и регулирующих шлюзов. Таким образом, этот способ подачи воды сводится к способу нерегулярного водооборота. Подача водопользователям затребованного ими количества воды должна производиться хозяйственным током, то-есть, током удобным для поливных операций при данном типе почвы, рельефа и проч. Несомненно, что для водопользователя чрезвычайно удобно иметь возможность получать воду тогда, когда он захочет, так

как весь операционный план на полевом участке становится гораздо гибче, если сроки полива могут быть согласованы с другими сельско-хозяйственными работами. Однако, прежде чем решиться на такой способ водопользования необходимо тщательно взвесить вопрос о рентабельности ирригационной системы, запроектированной и построенной так, чтобы было возможно фактически ввести способ подачи воды по требованию. Очевидно, что вся сеть каналов должна в этом случае иметь значительно большую пропускную способность, чем при других способах, а, следовательно, и стоимость системы должна быть большей. Таким образом, вопрос заключается в том, превысят ли выгоды, получаемые от данного способа подачи воды, те дополнительные расходы, которые вызываются устройством каналов и сооружений с преувеличенной пропускной способностью. В б о л ь ш и н с т в е с л у ч а е в э т о т с п о с о б о к а з ы в а е т с я н е в ы г о д н ы м. Его можно применять в чистом виде только на очень небольших системах, с коротким главным каналом, забирающим воду или из водохранилища или из реки, имеющей достаточные расходы воды. Чаще всего применяют этот способ в связи с другими, например, водооборотом: в те периоды оросительного сезона, когда общие требования на воду не превышают нормальной пропускной способности каналов, например, весной или осенью и если при этом в источнике орошения воды достаточно, можно применять способ подачи воды по требованию, в остальное же время, при большом спросе на воду, вводят правильный водооборот.

Для уменьшения максимума одновременного потребления воды могут быть использованы различные методы: во-первых, можно ввести отпуск воды по очереди поступления требований, во-вторых, можно при выдаче прав на воду вводить ограничение того количества, которое может быть затребовано в течение определенного промежутка времени, например, одного месяца. Способ подачи воды по требованию подходит для тех районов орошения, в которых культивируются растения, требующие равномерного полива в течение всего оросительного сезона, например, плодовые деревья. В этих случаях можно расчитывать, что от водопользователей не будут поступать требования на подачу больших количеств воды в короткий срок.

На практике этот вид водопользования редко применяется самостоятельно, его большей частью связывают с другими видами.

Водооборот.

Определение, классификация. Р а з д е л е н и е н е п р е р ы в н о г о п о т о к а н а п е р и о д и ч е с к и д е й с т в у ю щ и е, п о с п е ц и а л ь н о в ы р а б о т а н н о м у п л а н у, п о л и в н ы е с т р у и, т. е. п л а н о в а я р а з в е р с т к а в о д ы, и м е ю щ е й с я в г л а в н о м к а н а л е м е ж д у п о т р е б и т е л я м и, н о с и т о б щ е е н а з в а н и е в о д о о б о р о т а. Сущность этого вида водопользования заключается в подаче воды каждому водопользователю определенным током, удобным для полива (т. н. хозяйственным током), в течение

коротких промежутков времени и в сроки, заранее установленные в соответствии со шкалами вегетации и поливным режимом культивируемых растений.

Типы водооборота. Разделение воды, поступающей в главный канал из источника орошения, непрерывным потоком на отдельные периодически действующие токи, возможно производить в разных местах ирригационной сети, в зависимости от чего отдельные типы или схемы водооборота могут быть следующие:

1. Разверстка на главном канале.
2. Разверстка на распределителях.
3. Разверстка на оросителях.
4. Сложная или комбинированная разверстка.
5. Частичная разверстка.

Сущность первой схемы водооборота заключается в том, что главный канал, в соответствии с общей потребностью системы, забирает воду из источника орошения непрерывно и в тех пределах, в каких источник орошения позволяет, и затем эту воду раздает отходящим от него распределителям по установленным очередям. Каждый распределитель получает воду из главного канала полностью, в размере, необходимом для одновременного удовлетворения всех водопользователей командуемого им района и разносит ее дальше по оросителям так, что каждый хозяин, живущий в районе распределителя, получает воду одновременно со всеми другими. Следовательно, данный способ водооборота предвидит распределение очередей между отдельными распределителями, и раз определенные распределители работают, то все водопользователи, живущие в районе их командования, получают воду в полном количестве, одновременно и без очереди. Водопользователи получают воду в течении всего времени, пока работает распределитель, в районе которого они находятся.

Вторая схема водооборота предусматривает постоянную работу главного канала и распределителей без всяких очередей. В зависимости от колебания расходов воды в главном канале, соответственно колеблются и расходы воды в распределителях. Установление очередей происходит между отдельными оросителями, берущими воду из распределителей; другими словами, не все оросители по каждому распределителю получают воду сразу, но все водопользователи в районе работающего оросителя получают ее одновременно и в полном количестве. В зависимости от наличности воды в распределителе, оросители получают воду из распределителя отдельными группами, которые работают по очереди.

Третья схема водооборота предусматривает постоянную работу не только главного канала и распределителей, но и оросителей, однако, при этом оросители получают такое количество воды, которое недостаточно для одновременного снабжения водой всех водопользователей, берущих воду из них. Только часть водопользователей может одновременно получать воду из одного оросителя, и чтобы все водопользователи, берущие воду из данного оросителя, получили необходимую для них воду, устанавливается между ними очередь.

Комбинированным мы называем такой водооборот, когда в системе происходит разверстка воды одновременно по двум или нескольким элементам системы, например, по главному каналу и распределителю, или по главному каналу и оросителю, или по распределителям и оросителям или, наконец, по главному каналу, распределителям и оросителям одновременно.

Частичным мы называем такой тип водооборота, когда, например, между некоторыми распределителями, берущими воду из главного канала, устанавливается очередь, а остальная часть распределителей постоянно получает воду или полным расходом, или пропорционально тем колебаниям, которые происходят в главном канале, т. е., другими словами, когда водооборот применяется не на всем районе, обслуживаемом данной ирригационой систмеой, а только на определенной части его.

Характерные признаки отдельных типов водооборота. Остановимся на характерных чертах каждого типа водообброта.

Отличительные черты первого типа водооборота — Разверстки на главном канале — следующие:

1. Одновременное доставление всем водопользователям, находящимся в районе данного распределителя, потребного для них количества воды. Поэтому расход каждого распределителя должен предусматривать одновременный пропуск поливной воды для всех водопользователей, находящихся в пределах его командования. Если обозначить через q_0 величину хозяйственного тока, m-число оросителей на каком-либо распределителе и через n число водопользователей на одном оросителе, то расход в голове распределителя будет $q_p = q_0 . m . n +$ потери на m оросителях и самом распределителе.

2. Каждый общественный ороситель должен иметь пропускную способность, при которой возможно во всех случаях подачи воды удовлетворять одновременно всех водопользователей, находящихся в пределах командования этого оросителя. При принятых выше обозначениях расход в голове каждого оросителя будет: $q_{p.} = q_0 . n. +$ потери на самом оросителе. Таким образом, этот случай водооборота предусматривает устройство распреде-

лителей и оросителей с максимальной пропускной способностью.

3. Так как все водопользователи, находящиеся в пределах данного распределителя, получают воду одновременно, то продолжительность работы распределителя, а, следовательно, и оросителя при данном типе водооборота наименьшая, т. е. равна в пределе промежутку времени, необходимому для производства поливной операции одного водопользователя. Если через P обозначить объем воды, который причитается каждому водопользователю в течение какой-либо поливной операции, то продолжительность последней в районе какого либо распределителя будет равна $\frac{P}{q_0}$ сек. + время для открывания и закрывания шлюза в голове распределителя и для наполнения самого распределителя и его оросителей.

4. Пропускная способность главного канала в средней и концевой рабочей части должна быть увеличена, так как она должна предусматривать пропуск по всем распределителям предельно максимального расхода. Иначе говоря, пропускная способность главного канала должна иметь постоянную величину на всем его протяжении до нижней группы распределителей, входящих в одну очередь (при наибольшем расходе в главном канале).

5. Все сбросы и водосборные канавы должны иметь предельно наибольшую пропускную способность, соответственно изложенному в п. п. 1, 2 и 4.

6. Все шлюзы-распределители, шлюзы-оросители, шлюзы-сбросы должны быть рассчитаны на предельно наибольшую пропускную способность, что ясно из сказанного в предыдущих пунктах.

7. Все оросители должны быть снабжены соответствующими вододелителями и водомерами для того, чтобы из общего расхода, проносимого по оросителю, каждый водопользователь получал только то количество воды, на которое он имеет право.

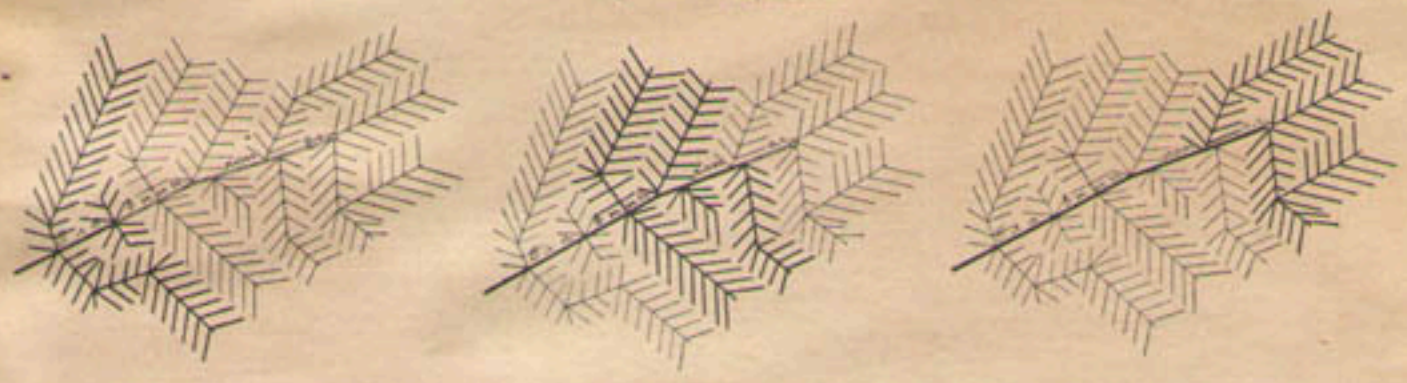
8. В виду того, что все распределители, оросители, сбросы, водосборные канавы должны иметь предельно-максимальную пропускную способность, очевидно, площадь отчуждения под ними будет в данном случае наибольшей.

9. Так как при данном виде водооборота приходится выделять воду для каждого отдельного водопользователя, то административный штат должен быть большой.

10. Горизонты воды в распределителе и в оросителях не зависят от расходов главного канала и в случае их работы всегда постоянны, а потому превышение их над поверхностью командования

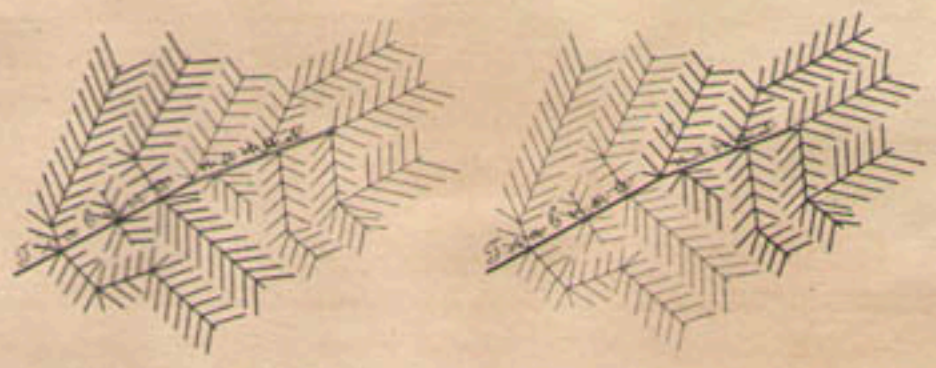
может быть минимальным (графическое изображение разверстки на главном канале представлено на черт. 116).

Первый цикл.



Действие I. Действие II. Действие III.

Второй цикл.

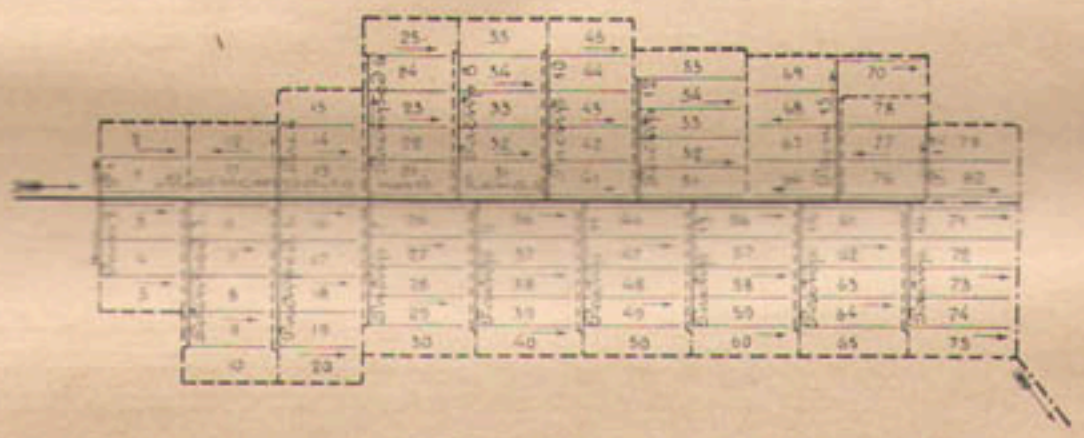


Действие I. Действие II.

Черт. 116. Водооборот по главному каналу.

Пример 1. Для пояснения приведем численный пример. Пусть район орошения охватывает 5760 дес. действительно орошаемых земель и пусть гидромодуль на полях орошения, т. н. гидромуль netto, равняется 1 кб. ф./сек. на 48 десятин; расход главного канала в период наибольшего потребления воды при этом будет $5760 : 48 = 120$ кб. ф./сек. + потери в системе. Предположим далее, что, согласно кривой потребления, расход в главном канале, за исключением потерь в системе, не падает ниже 60 кб. ф./сек. Примем размер хозяйственного тока, т. е. того тока, которым вода подается непосредственно на отдельные участки, $q_0 = 2$ кб. ф./сек. Тогда число водопользователей в системе, одновременно получающих воду, составит: в период наибольшего расхода воды в главном канале $N_{\text{наиб.}} = 120 : 2 = 60$ и в период наименьшего расхода $N_{\text{наим.}} = 60 : 2 = 30$. Если применить водооборот по главному каналу в чистом виде, то, во-первых, число хозяйств, т. е. отдельных водопользователей на каждом распределителе не должно быть более 30 и, во-вторых, разбивка системы должна быть такова, чтобы возможно было соединять все распределители в группы по 30 водопользователей в каждой, а затем пересоединять в группы по 60 водопользователей. При средней величине хозяйства водопользователя, положим, в 12 десятин во всей системе будет $5760 : 12 = 480$ водопользователей. Допустим также, что, в силу ряда соображений, на каждом оросителе

в среднем расположится 6 хозяйств. Для того, чтобы все водопользователи из такого оросителя могли получать воду одновременно, расход в начале его должен быть $q = 2 \times 6 +$ потери на самом оросителе $= 12$ кб. ф./сек. $+$ потери. Аналогично, для того, чтобы какой-либо распределитель во время своего действия мог одновременно обслуживать всех водопользователей своего района, т. е. давать полные расходы во все свои оросители, расход его должен быть равен сумме расходов всех оросителей $+$ потери на самом распределителе. Так, на представленной на черт. 117 схеме оросительной сети, расход в голове распределителя 1 будет $Q^{(1)}_{\text{рас.}} = 2 \times 2 \times 6 +$ потери на двух оросителях и распределителе $= 24$ кб. ф./сек. $+$ потери; расход в голове распределителя 2 будет $Q^{(2)}_{\text{рас.}} = 3 \times 3 \times 6 +$ потери на трех оросителях и на самом распределителе $= 36$ кб. ф. сек. $+$ потери и т. д. Указав метод определения полных рабочих расходов оросителей и распределителей при этом виде водооборота, будем во всех последующих выкладках по установлению схемы самой разверстки под расходами разных каналов сети подразумевать таковые, за исключением потерь в системе, т. е. будем во всех пунктах системы иметь в виду лишь то количество воды, которое фактически расходуется из оросителей. Равным образом, для уяснения картины разверстки—нет надобности иметь точное плановое очертание отдельных площадей командования распределителей и оросителей, а важны их величина и относительное расположение в сети; поэтому, для удобства начертания и большей простоты, будем изображать отдельные схемы ирригационной сети в виде правильных фигур. Итак, предстоит произвести разверстку воды, по типу водооборота на главном канале, между водопользователями ирригационной системы, изображенной схематически на черт. 117, при приведенных выше числовых данных. Мы знаем, что



Черт. 117. Развернутая схема ирригационной сети.

в период расхода главного канала в 60 кб. ф./сек. одновременно могут получать воду для полива полей 30 водопользователей. В системе же всего 480 водопользователей: следовательно, для удовлетворения всех водопользователей системы поливной водой в течение периода маловодия, мы должны установить $480 : 30 = 16$ очередей, для чего необходимо все распределители скомбинировать в 16 групп так, чтобы в

районе каждой группы распределителей было только 30 водопользователей. Получим следующие группы:

1-ая группа—распределители **1** и **2**, число водопользователей

$$12 + 18 = 30;$$

2-ая группа—распределитель **3**, число водопользователей

$$12 + 18 = 30;$$

3-ья группа—распределитель **4**, число водопользователей

$$12 + 18 = 30$$

и т. д.

до последняго 16 распределителя. Включаем сначала первую группу, причем первый распределитель получит 24 кб. ф./сек. + потери, второй—36 кб. ф./сек. + потери, т. е. будет разобран весь рабочий поливной расход главного канала. Покажем, как устанавливается время действия каждой группы. Пусть требуется за какую-либо поливную операцию дать воду на две десятины хозяйства по 80 кб. саж. на каждую. Так как вода подается струею в 2 кб. ф./сек., то, для получения 160 кб. саж. одним водопользователем потребуется $(160 \times 343) : 2 = 27.440$ сек. $= 7$ ч. 37,5 мин., но все водопользователи в районе работающих распределителей получают воду одновременно, следовательно, первая группа (распределители **1** и **2**) будет работать 7 час. 37,5 мин., и все ее водопользователи за это время получат на свои хозяйства по 160 кб. саж. воды. По истечении указанного срока (7 ч. 37,5 мин.) головные шлюзы распределителей 1 и 2 закрываются и одновременно открываются головные шлюзы второй группы, т. е. в данном случае распределитель **3**; весь расход главного канала поступает сюда и в течение следующих *7 ч. 37,5 мин. все 30 водопользователей, находящиеся в районе этого* распределителя, получат каждый по 160 кб. саж. воды на хозяйство и т. д. до последней 16 группы включительно. Вся операция разверстки по 160 кб. саж. на хозяйство, таким образом, совершится в течение 7 часов 37,5 мин. $\times 16 = 5$ дней 2 часов. Известная часть времени требуется на открывание и закрывание шлюзов, наполнение каналов водой и проч., но, обыкновенно, это бесполезно теряемое время учитывается при разверстках определенными потерями воды, иначе говоря, за время фактической полной работы действующих каналов, водопользователь получает столько воды, сколько он должен был бы получить по кривой потребления в течение одной поливной операции, что достигается путем фактического увеличения поливной струи. В общем, разница в размере струи ничтожна и не выходит за пределы точности водомерных устройств.

Если требуется дать на каждое хозяйство большее или меньшее количество воды, то это достигается более продолжительным или более коротким временем действия группы распределителей, определяемым каждый раз по формуле $\frac{P}{q_0}$, причем в этой формуле знаменатель q_0 равен 2 кб. ф./сек.—величина постоянная, а переменной является числитель. Что же нужно иметь для определения числителя P? Только кривую потребления: действительно, последняя дает нам, что для полива определенной культуры на всей площади должно быть разверстано за известный промежуток времени определенное количество воды между всеми водопользователями системы; деля это

количество воды, даваемое кривой потребления, на общее число водопользователей (отдельных хозяйств) в системе, получим P. Далее, деля P на величину хозяйственного тока q_0, получим продолжительность поливной операции на одном хозяйстве, которая при данном типе водооборота одновременно будет равна времени действия каждой группы распределителей.

Разберем теперь случай, когда в главном канале проходит расход в 120 кб. ф./сек. Число водопользователей, получающих одновременно воду, будет $120 : 2 = 60$. Всего в системе 480 водопользователей. Число групп—очередей $480 : 60 = 8$. Разбив распределители на 8 отдельных групп по 60 водопользователей в каждой, получим следующие группы:

1-ая группа—распределители **1**, **2** и **3**; число хозяйств

$$12 + 18 + 30 = 60.$$

2-ая группа—распределители **4** и **5**; число хозяйств

$$30 + 30 = 60.$$

3-ья группа—распределители **6** и **7**; число хозяйств

$$30 + 30 = 60.$$

4-ая группа—распределители **8** и **9**; число хозяйств

$$30 + 30 = 60.$$

5-ая группа—распределители **10** и **11**; число хозяйств

$$30 + 30 = 60.$$

6-ая группа—распределители **12** и **13**; число хозяйств

$$30 + 30 = 60.$$

7-ая группа—распределители **14** и **15**; число хозяйств

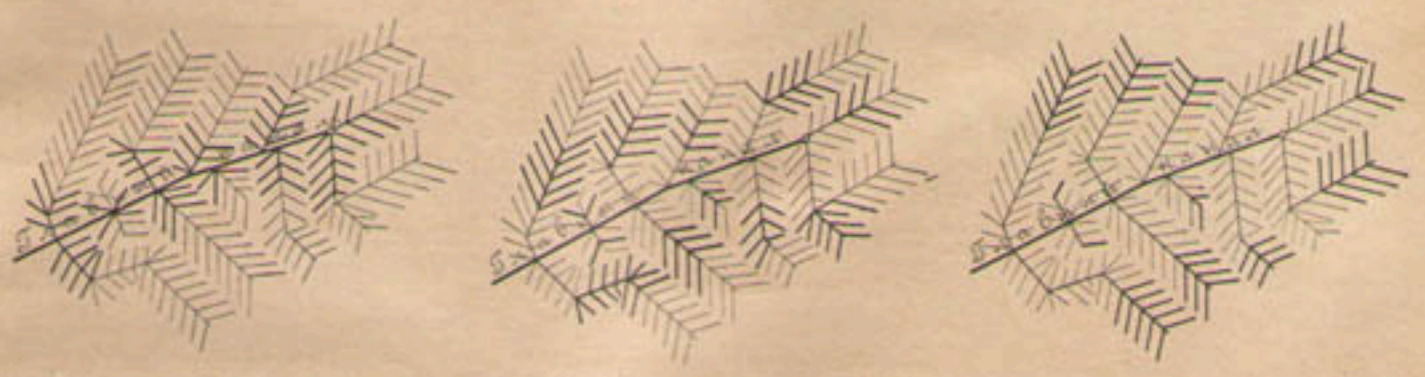
$$30 + 30 = 60.$$

8-ая группа—распределители **16** и **17**; число хозяйств

$$30 + 30 = 60.$$

Пусть требуется дать на каждое хозяйство по 160 кб. саж. воды. Продолжительность поливной операции одного водопользователя $\frac{P}{q_0} = (160 \times 343) : 2 = 7$ час. 37,5 минут, что одновременно представляет и время действия каждой очередной группы распределителей. Продолжительность всей поливной операции, (то есть продолжительность полного цикла водооборота), для удовлетворения всех водопользователей поливной водой, по 160 кб. саж. на хозяйство, будет равна 7 ч. 37,5 мин. $\times 8 = 61$ час. $= 2$ суток и 13 часов. Если потребовалось бы дать на хозяйство не по 160 кб. саж., а, например, по 94,5 кб. саж., продолжительность поливной операции каждой группы распределителей, а, следовательно, и одного водопользователя, равнялась бы $(94,5 \times 343) : 2 = 4,5$ часа. Полный цикл водооборота в этом случае завершится в течение $4,5 \times 8 = 36$ часов. Итак, при одном и том же количестве подаваемой каждому водопользователю поливной воды, продолжительность действия каждой группы распределителей в обоих случаях (т. е. при двух вышеуказанных циклах водооборота) одна и та же, но продолжительность полного цикла в первом случае в два раза больше продолжительности второго полного цикла.

Второй тип водооборота — развертка на распределителях — требует, вопервых, так же, как и в предыдущем случае, максимальной пропускной способности всех оросителей, ибо, как и в первом случае, оросители должны снабжать поливной водой одновременно всех водопользователей, находящихся на них (при принятых выше обозначениях, расход в голове каждого оросителя $q = q_0 n +$ потери на самом оросителе во-вторых, как и в предыдущем случае, устройства вододелителей и водомеров для каждого водопользователя; в третьих, как и в предыдущем случае, большого эксплоатационного штата. Распределители могут быть рассчитаны на пропускную способность, меньшую чем в первом случае, в зависимости от того, какой процент всех оросителей будет одновременно максимально участвовать в работе, но зато горизонт воды в распределителе, при



Черт. 118. Водооборот по распределителям.

самых минимальных расходах, проходящих по нему, должен быть достаточно высоким для того, чтобы имелась возможность снабжать водой все оросители. Следовательно, при данном способе водооборота распределитель приходится вести в более высоких дамбах, чем в первом случае. Пропускная способность распределителя должна быть рассчитана на наибольший расход, равный в голове $Q_{max} = m_1 q_0 n +$ потери $=$

$= \varphi\, m\, q_0\, n +$ потери, где $\varphi = \frac{m_1}{m}$, т. е. отношению числа максимально участвующих в работе оросителей (m_1) к числу всех оросителей (m), на данном распределителе (графическое изображение этого вида водооборота представлено на черт. 118).

Пример 2. Проследим на численном примере этот тип водооборота. Возьмем основные данныя предыдущего примера, т. е. площадь орошения, гидромодуль netto, величину площади одного водопользователя, число водопользователей, расположенных на одном оросителе, и величину хозяйственного тока. При расходе главного канала в 60 кб. ф./сек. число водопользователей, одновременно получающих воду, равно $60 : 2 = 30$. При 6 водопользователях на оросителе, число одновременно работающих оросителей равно пяти. Так как водооборот производится по распределителю, т. е. вода из главного канала поступает во все распределители пропорционально командуемой ими площади, то число распределителей в сети не должно быть *более* пяти, иначе придется устраивать разверстку еще на другом какомлибо элементе сети или на главном канале, или на оросителе. При расходе главного канала в 120 кб. ф./сек. число водопользователей, получающих одновременно воду, равно $120 : 2 = 60$, а число одновременно работающих оросителей $60 : 6 = 10$, т. е. на каждом распределителе число оросителей, будучи одновременно кратными $\frac{1}{\varphi_1} = 480 : 30 = 16$ и $\frac{1}{\varphi_2} = 480 : 60 = 8$, должно быть такое, чтобы сумма частных от деления числа оросителей каждого распределителя на $\frac{1}{\varphi_1} = 16$ давало бы 5, а от деления на $\frac{1}{\varphi_2} = 8$, равнялось бы 10. Общее число оросителей во всей системе будет $480 : 6 = 80$.

Наибольшее возможное при данном типе водооборота число распределителей будет 5. Если через m_1, m_2, m_3, m_4 и m_5—обовначить число оросителей соответственно на распределителях **1, 2, 3, 4 и 5**, то должны быть соблюдены следующие равенства:

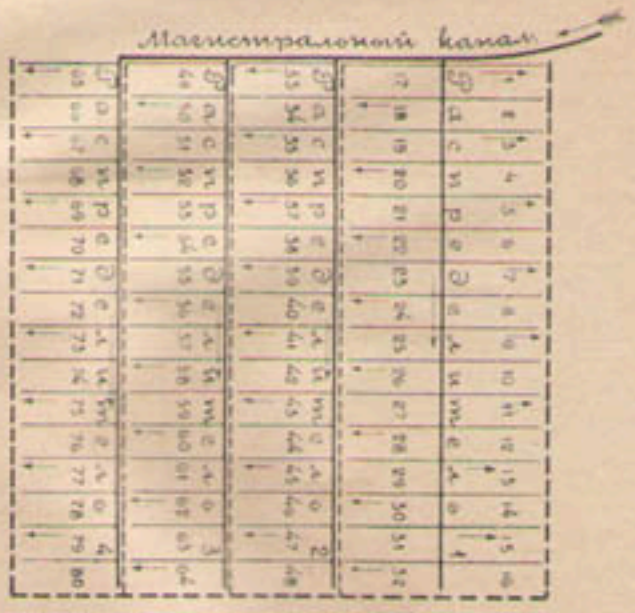
$$m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 = 80,$$

$$\frac{m_1}{8} + \frac{m_2}{8} + \frac{m_3}{8} + \frac{m_4}{8} + \frac{m_5}{8} = 10,$$

$$\frac{m_1}{16} + \frac{m_2}{16} + \frac{m_3}{16} + \frac{m_4}{16} + \frac{m_5}{16} = 5,$$

причем, вообще m может быть 0, или целым положительным числом. Очевидно, что если будет соблюдено последнее равенство, то будут иметь место и первые два. Если ни одно m не равно нулю, то $m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = 16$, т. е. при 5 распределителях на каждом из них дожно быть по 16 оросителей. Если принять $m_5 = 0$, т. е. взять 4 распределителя, то $m_1 = m_2 = m_3 = 16$ и $m_4 = 32$, т. е. на трех распределителях должно быть по 16 оросителей и на 4-ом — 32 оросителя. При $m_4 = m_5 = 0$, т. е. при 3 распределителях могут быть два решения: или $m_1 = m_2 = 32$ и $m_3 = 16$ или $m_1 = m_2 = 16$ и $m_3 = 48$; при $m_3 = m_4 = m_5 = 0$, т. е. при двух распределителях тоже два решения: или $m_1 = 64$ и $m_2 = 16$ или $m_1 = 48$ и $m_2 = 32$. Какое же число распре-

делителей из полученных многих решений принять при разбивке сети? Этот вопрос зависит от рельефа орошаемой местности, так как последним обычно обусловливаются площади командования отдельных распределителей, а также и число их. Пусть, в нашем случае по рельефу орошаемой местности необходимо устроить четыре распределителя по примерной схеме сети, приведенной на черт. 119. По этой



Черт. 119. Развернутая схема ирригационной сети.

схеме распределитель 1 имеет 32 оросителя, распределители 2, 3 и 4— по 16 оросителей, а каждый ороситель обслуживает 6 хозяйств. Расход главного канала всегда делится между указанными распределителями в отношении 2:1:1:1 [1]), т. е. пропорционально площадям их командования. В период уменьшенных поступлений воды в главный канал, расходом его в 60 кб. ф./сек. одновременно могут орошаться 60 : 2 = 30 хозяйств, из коих $\frac{30}{2+1+1+1} \times 2 = 12$ хозяйств в районе 1-го распределителя и $\frac{30}{2+1+1+1} = 6$ хозяйств в каждом из остальных районов. Для орошения всех 480 хозяйств необходимо установить 480 : 30 = 16 очередей, при чем в каждую очередь будут получать воду по первому распределителю два оросителя или 12 хозяйств и по каждому из остальных один ороситель или 6 хозяйств. В период наибольшего потребления воды одновременно вода может подаваться на 120 : 2 = 60 хозяйств или 60 : 6 = 10 оросителей. В 1-й распределитель будет поступать на $\frac{10}{5} \times 2 = 4$ оросителя, или 24 хозяйства, а в каждый из остальных, на $\frac{10}{5} \times 1 = 2$ оросителя, или 12 хозяйств. В каждом замкнутом цикле будет 480 : 60 = 8 очередей. Расход в голове оросителя будет $q = 6 \times 2$ кб. ф./сек. + потери = 12 кб. ф./сек. + потери. Наибольший расход в голове первого распределителя $Q_{\text{рас}}^{\text{наиб.}} = \varphi_2\ q_0\ m\ n = \frac{2 \times 6 \times 32}{8}$ кб. ф. + потери на самом распределителе и 4 оросителях = 48 кб. ф./сек. + потери. Наименьший расход в голове первого распределителя $Q_{\text{рас}}^{\text{наим.}} = \varphi_1\ q\ m\ n =$

[1]) Под расходом здесь понимается только та часть полного расхода канала, которая фактически подается на поля, другими словами полезный расход канала.

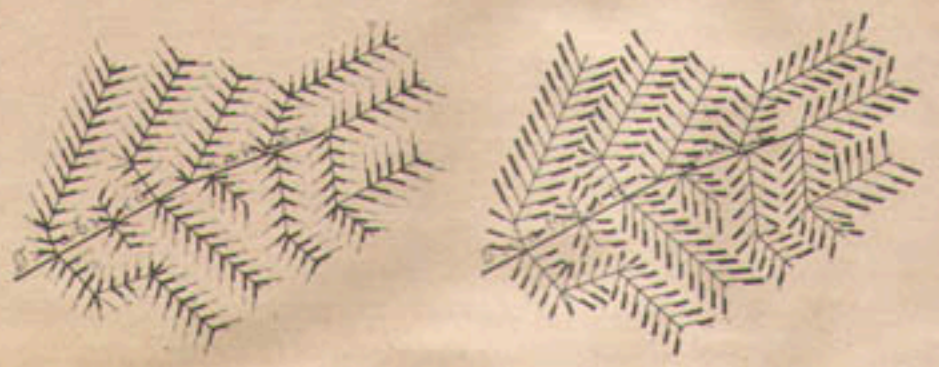
$= \frac{2 \times 6 \times 32}{16}$ кб. ф. + потери на самом распределителе и двух оросителях = 24 кб. ф./сек. + потери. Наибольший расход в голове каждого из остальных распределителей будет равен $\frac{2 \times 6 \times 16}{8} = 24$ кб. ф./сек. + + потери, и наименьший $\frac{2 \times 6 \times 16}{16} = 12$ кб. ф./сек. + потери.

Третий тип водооборота, предусматривающий развертку по оросителям, в своем предельном случае позволяет рассчитывать оросители исключительно на хозяйственный ток, т. е. на тот ток воды, который удобен хозяину для полива и который каждым водопользователем может забираться целиком из оросителя. Следовательно, при этом предельном случае водооборота по оросителю последний устраивается на пропускную способность предельно-минимальную. Вместе с тем, излишне устраивать вододелители для каждого водопользователя, потому что весь расход оросителя целиком поступает в распоряжение последнего—деление воды происходит не по количеству, а по времени пользования. Шлюзы-оросители могут быть наименьшей пропускной способности. Водомер необходим только у головного шлюзика-оросителя для всей той группы водопользователей, которые получают воду из этого оросителя. Эксплоатационный штат может быть значительно уменьшен, так как в его задачу не входит разделение воды оросителя между отдельными водопользователями. Деление

Первый цикл.

Действие I. Действие II. Действие III.

Второй цикл.



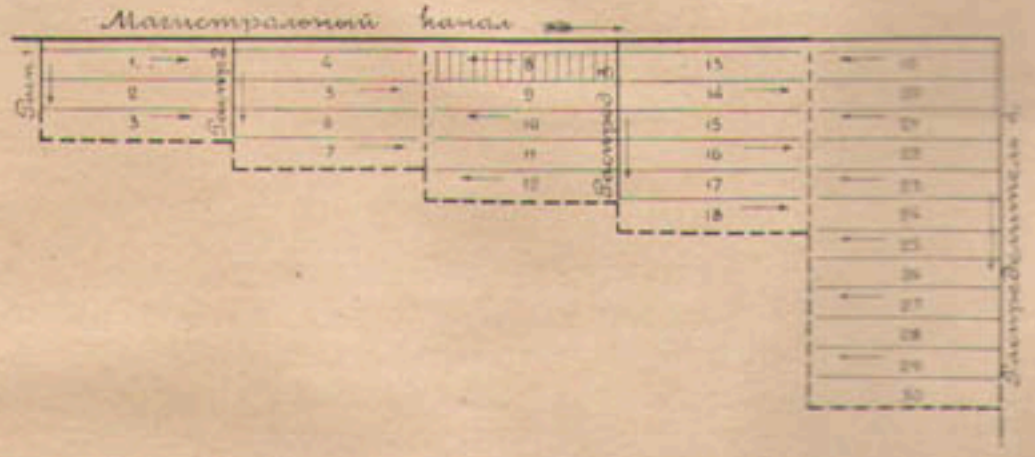
Действие I. Действие II.

Черт. 120. Водооборот по оросителям.

воды по времени пользования является простейшим, не требующим никаких сооружений и измерителей. Площадь отвода под оросители, пропускная способность водосборных канав будут тоже наименьшими. Что же касается распределителя, то он должен иметь, даже при малых расходах, проходящих по нему, достаточно высокий горизонт воды, чтобы обеспечить поступление ее в потребном количестве во все оросители. Пропускная способность его может быть меньше, чем в первом типе водооборота и близко подходит к пропускной способности распределителя при втором типе водооборота, при чем в концевой части распределителя его пропускная способность будет даже меньше, чем во втором случае, при котором предусматривается пропуск по оросителям максимального мыслимого расхода. Время работы распределителей, как во втором, так и в третьем случае, больше, чем время работы в первом случае водооборота, во столько раз, во сколько расход распределителей в последних случаях меньше расхода распределителя в первом случае (графическое изображение водооборота по оросителям представлено на черт. 120).

Пример 3. Пусть при основных данных предыдущих примеров требуется применить водооборот по оросителю. Из предыдущих примеров известно, что число водопользователей, одновременно получающих оросительную воду, равно 60 при наибольшем расходе в главном канале и 30—при наименьшем. Так как распределители и главный канал работают непрерывно с расходами, меняющимися соответственно кривой потребления, а распределение воды происходит при данном виде водооборота только на оросителях, получающих воду непрерывным током, изменяющимся пропорционально расходам, поступающим в главный канал, но в количестве, не меньшем одного хозяйственного тока, то наибольшее количество оросителей системы не должно быть выше 30; в противном случае в период уменьшенных подач воды некоторые из оросителей вовсе не получат ея, придется устраивать очередь между оросителями, что уже меняет тип водооборота. Примем число оросителей равным 30. Число водопользователей, согласно предыдущему, в системе 480. Следовательно, на каждом оросителе будет $480 : 30 = 16$ водопользователей. Число распределителей и количество оросителей на распределителе в данном типе разверстки роли не играют, а зависит исключительно от удобств разбивки сети. На схеме (см. черт. 121) взято четыре распределителя, причем четвертым распределителем фактически служит концевая часть главного канала. Распределение воды между отдельными водопользователями производится в следующем порядке. В период уменьшенных подач главный канал имеет 60 кб. ф./сек. поливной воды (за исключением всех потерь), которые поступают в распределители в размерах, пропорциональных количеству хозяйств, обслуживаемых каждым распределителем. Так как общее число оросителей в системе равно 30, каждый ороситель получит $60 : 30 = 2$ кб. ф./сек. (за исключением потерь), т. е. размер одного хозяйственного тока; между водопользователями на оросителе устанавливается 16 очередей, в каждую очередь на одном оросителе поливается только одно хозяйство. Ясно, что при таком положении дела, когда вся вода оросителя (хозяйственный ток) поступает поочередно каждому водопользователю целиком, никаких во-

доделителей для распределения воды между водопользователями не требуется. Деление воды происходит исключительно по времени пользования потребителем этим единичным хозяйственным током. В период наибольшего потребления воды при расходе главного канала в 120 кб. ф./сек. в каждый из оросителей будет поступать 120 : 30 = 4 кб. ф./сек., т. е. два хозяйственных тока. Распределение поливной воды между отдельными водопользователями можно произвести двумя способами. Первый способ — давать воду на каждом из оросителей одновременно двум водопользователям в размере одного хозяйственного тока каждому, т. е. установить 8 очередей между водопользователями, но в таком случае для разверетки воды потребуется устройство зододелителей в количестве, по крайней мере, половины общего числа водопользователей. По второму способу вся вода оросителя, в размере двух хозяйственных токов, дается каждому отдельному водопользователю, но на время в 2 раза меньшее по сравнению с первым способом, т. е. устанавливается 16 очередей. Последний способ предпочтительнее, ибо не требует установок водомеров для отдельных водопользователей и деление воды производится только по времени. Ороситель в таком случае должен быть рассчитан на расход в 4 кб. ф./сек. + потери, с тем условием, чтобы горизонт воды в нем и при уменьшенных расходах (в 2 кб. ф./сек.) был бы достаточно высоким, обеспечивающим возможность подачи воды водопользователям на их поля орошения.



Черт. 121. Развернутая схема ирригационной сети.

В редких случаях бывает возможно применить тот или иной из рассмотренных трех основных типов водооборота в чистом виде на протяжении всего поливного сезона, (по многим причинам как общего, так и чисто технического характера).

В большинстве случаев, для удовлетворительного решения задачи о разверстке воды между водопользователями, приходится прибегать к каким-либо двум или даже в исключительных случаях, ко всем трем типам одновременно, т.-е. к комбинированию основных типов.

Комбинированный тип водооборота т.-е. способ разверстки воды одновременно по двум или трем передаточным элементам оросительной системы, являясь наиболее сложным в смысле разработки плана водного

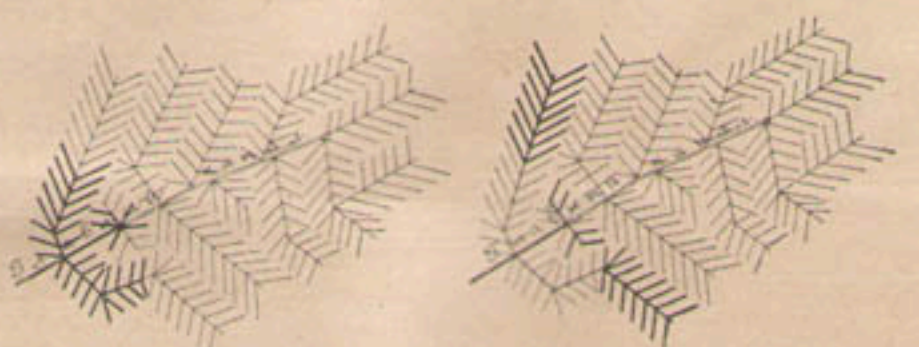
хозяйства, в то же самое время может дать наибольший эффект. Просмотрим несколько случаев комбинированного водооборота. К этому типу относятся:

Водооборот по главному каналу и распределителю,
" " распределителю и оросителю,
" " главному каналу и оросителю,
" " главному каналу, распределителю и оросителю.

Комбинированный водооборот по главному каналу и распределителю предусматривает такую разверстку воды, при которой вода дается не всем распределителям сразу, а по очереди, по отдельным группам, — сперва одной группе распределителей, потом другой, затем третьей и т. д. В свою очередь, распределитель, получив воду из главного канала, не передает ее сразу всем оросителям, находящимся в сфере его командования, а также сперва питает одну группу оросителей, потом — другую и т. д. Что касается оросителя, он подает воду сразу всем водным абонентам, находящимся на нем (графическое изображение этого типа водооборота представлено на черт. 122).

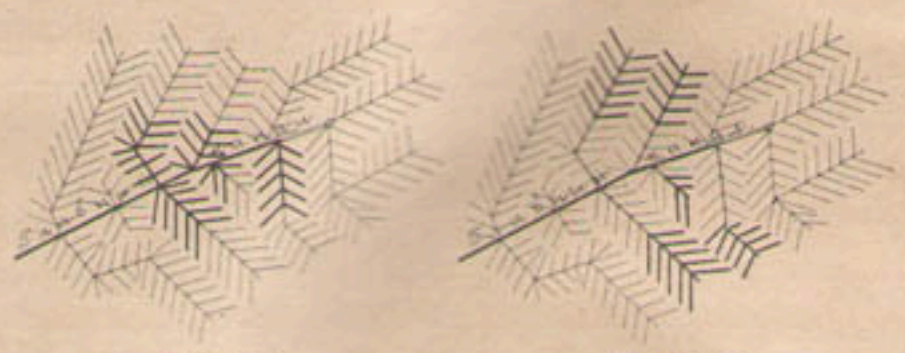
Первый цикл.

Действие I.



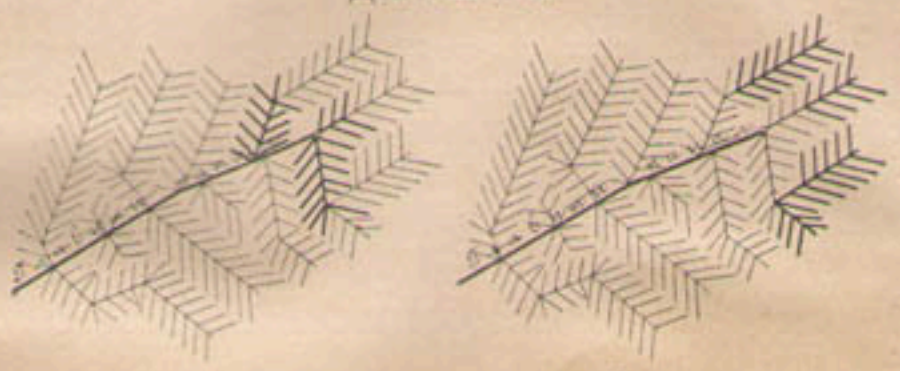
Сцена 1. Сцена 2.

Действие II.



Сцена 1. Сцена 2.

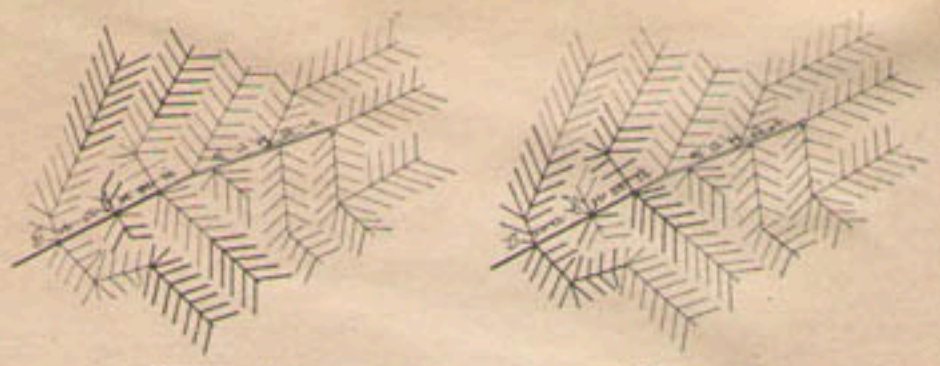
Действие III.



Сцена 1. Сцена 2.

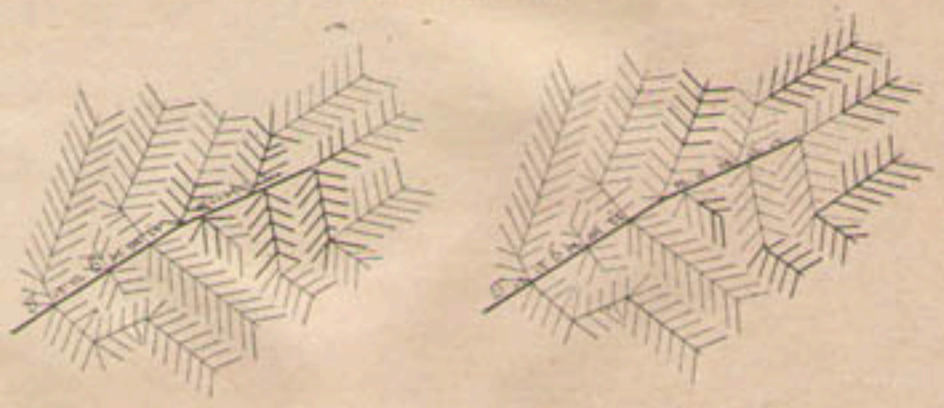
Второй цикл.

Действие I.



Сцена 1. Сцена 2.

Действие II.



Сцена 1. Сцена 2.

Черт. 122. Водооборот по главному каналу и по распределителям.

Пример 4. Положим, что во 2 примере необходимо было подавать поливную воду во все распределители одновременно лишь в период наибольшего потребления. Тогда, при прежнем общем числе оросителей в системе 80 и при числе водопользователей, одновременно получающих воду в этот период, равном 60,—число распределителей не должно быть выше $60:6=10$, где 6 есть число хозяйств на каждом оросителе. Числа распределителей и оросителей на каждом распределителе нужно так подобрать, чтобы расход главного канала во все периоды поливного сезона разбирался бы водопользователями без остатка и чтобы все водопользователи были удовлетворены поливной водой в полной мере. В данном примере примем число распределителей равным 8, при чем на двух распределителях возьмем по 16 оросителей и на шести остальных по 8 оросителей на каждом (см. схему на черт. 123). В период наибольшего расходования воды главный канал распределяет свой расход между всеми распределителями, пропорционально площадям их командования, т.-е. в распределители **1** и **2**, имеющие по 16 оросителей, поступает по 12 хозяйственных токов, а в остальные распределители **3**, **4**, **5**, **6**, **7** и **8**, имеющие по 8 оросителей, только по 6 хозяйственных токов, всего $2\times[(12\times2)+(6\times6)]=120$ кб. ф. сек. (за исключением потерь), что как раз составляет расход главного канала. Так как на каждом оросителе в рассматриваемом примере находится по 6 хозяйств, то распределители **3**, **4**, **5**, **6**, **7** и **8** весь свой расход передают то одному, то другому из своих оросителей до полного удовлетворения водопользователей всех 8 своих оросителей (в 8 очередей). Каждый из распределителей **1** и **2** делит свой расход между двумя оро-

сителями в 1-ую очередь, между двумя следующими оросителями во 2-ую очередь и т. д. до 8-ой очереди, включительно. В период уменьшенных подач воды поступают следующим образом. Расходом главного канала в 60 : 2 = 30 хозяйственных токов можно удовлетворить одновременно водопользователей 30 : 6 = 5 оросителей. Так как оросители должны получать воду полностью для одновременного удовлетворения поливной водой всех своих водопользователей, то, если бы мы в каждый распределитель дали воды лишь на один ороситель, только пять распределителей могли получить воду в указанном количестве, остальные три остались бы без воды; следовательно, к разверстке на распределителях необходимо присоединить еще разверстку на главном канале. Всех водопользователей системы возложно удовлетворить водою в 480 : 30 = 16 очередей, при чем две очереди придется отнести к разверстке по главному каналу. Включаем в 1-ую очередь на разверстку по главному каналу распределители **1**, **2**, **3**, **4**, **5**. Водооборотом в 8 очередей по распределителю возможно удовлетворить всех водопользователей, находящихся на распределителях **3**, **4** и **5** и половину водопользователей на распределителях **1** и **2**; распределители **6**, **7**, **8** в это время бездействуют. По окончании первой очереди разверстки воды по главному каналу выключаем распределители **3**, **4** и **5** (то-есть) оставляем их без воды) и включаем взамен их распределители **6**, **7** и **8**. В течение этого второго такта разверстки воды по главному каналу будут полностью удовлетворены все водопользователи, находящиеся на распределителях **6**, **7** и **8** и вторая половина водопользователей по распределителям **1** и **2**. На какую же пропускную способность нужно рассчитать каналы при этом комбинированном виде водооборота? Так как оросители дают воду одновременно всем своим водопользователям, они должны быть рассчитаны на полную рабочую пропускную способность с расходом в голове равным 2 кб. ф./сек. × 6 + потери на самом оросителе = 12 кб. ф./сек. + потери на оросителе. Распределители **1** и **2** должны иметь на всем протяжении одинаковую пропускную способность, равную 12 кб. ф./сек. × 2 + потери на 2 оросителях и на самом распределителе. Остальные распределители расчитываются на пропускную способность 12 кб. ф./сек. + потери на 1 оросителе и самом распределителе.

Черт. 123. Развернутая схема ирригационной сети.

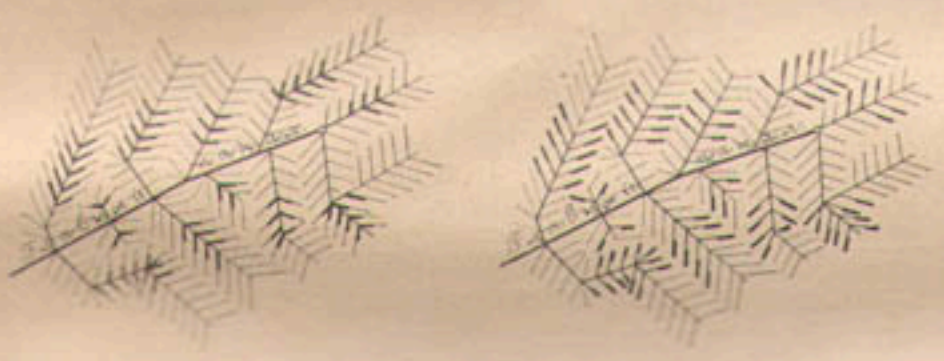
Комбинированный водооборот по распределителю и оросителю предусматривает непрерывную подачу воды из главного канала всем распределителям, но количество подаваемой воды в распределителе меняется в соответствии с изменением количества воды в главном канале. Вода из распределителя поступает не сразу во все оросители, а ротируется между отдельными группами их. Также и вода из оросителя поступает не одновременно ко всем водным абонентам, а разверстывается по отдельным группам их (графическое изображение представлено на черт. 124).

Первый цикл.

Действие I.

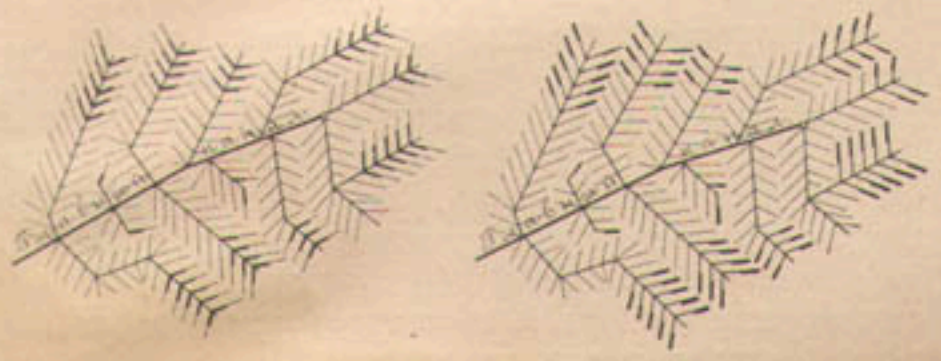
Сцена 1. Сцена 2

Действие II.



Сцена 1. Сцена 2.

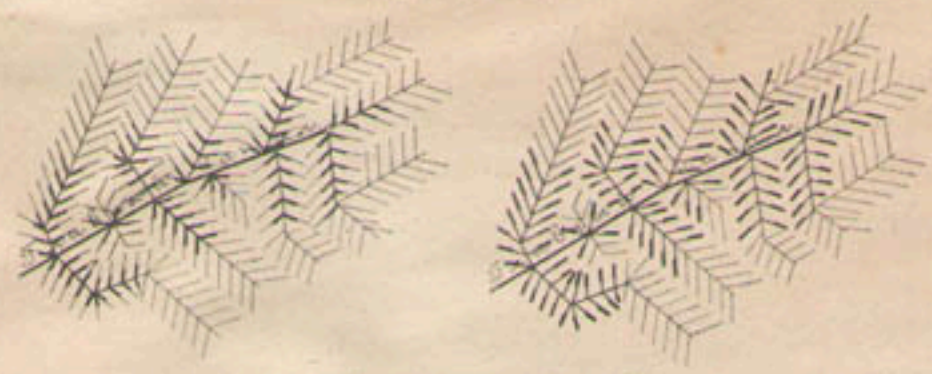
Действие III.



Сцена 1. Сцена 2.

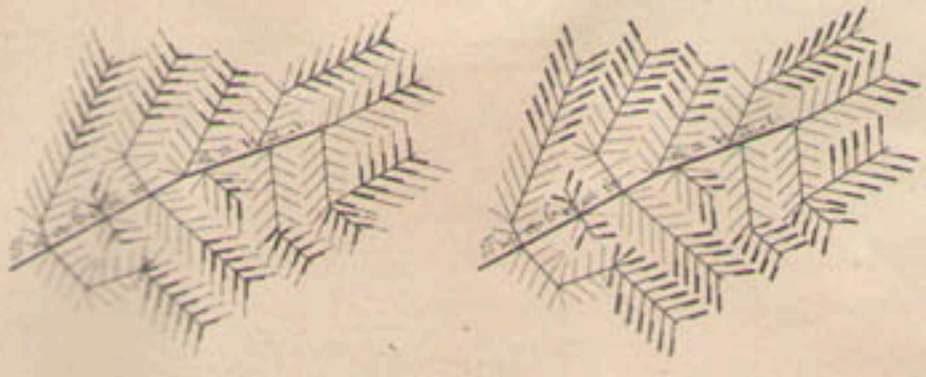
Второй цикл.

Действие I.



Сцена 1. Сцена 2.

Действие II.



Сцена 1. Сцена 2.

Черт. 124. Водооборот по распределителям и по оросителям.

Пример 5. Пусть в разобранном выше примере 3-ьем отсутствует указание на применение водооборота только по оросителю (в чистом виде), а поставлено лишь условие одновременной работы всех оросителей, в период наибольшей потребности, расходом в 1 хозяйственный ток. Тогда число оросителей в системе будет $120 : 2 = 60$ и на каждом оросителе будет $480 : 60 = 8$ водопользователей. Разверстка воды в период наибольшего потребления, когда в каждый ороситель поступает поливной расход в размере одного хозяйственного тока, производится таким же порядком, какой указан в примере 3, т. е. вся вода оросителя поступает сначала к первому, далее ко второму, затем к третьему водопользователю и т. д., до восьмого водопользователя включительно. В период уменьшенных расходов главный канал несет только 30 хозяйственных токов поливной воды и, следовательно, одновременно по одному хозяйственному току можно дать воду лишь 30 оросителям, которые далее эту воду в течение 8 очередей передадут своим водопользователям. Ясно, что для удовлетворения всех водопользователей системы поливною водой в этот период уменьшенных подач оросительной воды, помимо разверстки на ороситеде, необходимо установить еще разверстку на каком-либо другом элементе системы. В нашем примере этим элементом будут распределители. Всего на распреде-

лителях между оросителями потребуется установить две групповых очереди; действительно, весь расход главного канала, дающий 30 хозяйственных токов, может удовлетворить всех 480 водопользователей системы в $480:30=16$ очередей; 8 очередей относятся к развертке на оросителе, и только $16:8=2$ очереди необходимо отнести к развертке на распределителе. Отсюда следует, что для простоты операции число оросителей на каждом распределителе должно быть кратным 2. Число распределителей значения не имеет. Положим, что ирригационная сеть имеет шесть распределителей с четным числом оросителей на каждом (см. черт. 125). Расход главного канала разделяется между распределителями постоянно в количествах, пропорциональных площадям их командования. В рассматриваемый период уменьшенных подач воды из источника орошения, распределитель **1** получает расход воды в 3 хозяйственных тока, распределители **2**, **3** и **4**—в 6 хозяйственных токов каждый, распределитель **5**—в 5 хозяйственных токов и, наконец, **6**—в 4 хозяйственных тока, всего $(6\times 3)+3+5+4=30$ хозяйственных токов, что как раз соответствует расходу главного канала в этот период. Распределители передают воду оросителям в две очереди: в первую очередь получает воду одна половина оросителей, при чем в каждый ороситель поступает расход в 1 хозяйственный ток. Вода, поступающая в оросители, распределяется между водопользователями в восемь очередей. Затем, головные шлюзики оросителей, получивших воду, закрываются и вода передается второй половине оросителей, при этом картина разверстки воды остается прежней. Пропускная способность, на которую необходимо в данном комбинированном типе водооборота рассчитать распределители, определится требованием пропуска максимального расхода, который будет поступать в распределители в период максимума по графику потребления. В остальные периоды поступающие расходы будут меньшими и необходимо только поддержать требуемый командный горизонт, что можно достигнуть поднятием дна канала (тогда в период максимальных расходов будет иметься запас в горизонте командования) или устройством поперечных преграждений. Оросители рассчитываются на пропуск одного хозяйственного тока, как и в случае разверстки воды по оросителю, когда поступающий в него расход равен хозяйственному току.

Черт. 125. Развернутая схема ирригационной сети.

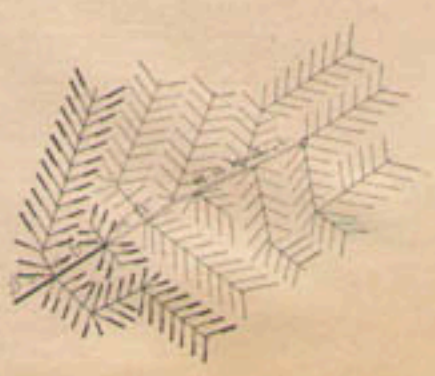
Комбинированный водооборот по главному каналу и оросителю предусматривает такую разверстку воды, при которой каждый из распределителей, ответвляющийся от главного канала, получает воду в известной очереди но всегда в таком количестве, которое могло бы удовлетворить все оросители. Полный расход для каждого распределителя определяется суммарным расходом всех оросителей плюс, конечно, потери, а так как по оросителям происходит также разверстка между отдельными водопользователями, то расход распределителя определяется, главным образом, суммой расхода воды, получаемой одновременно орошающими водопользователями по данному распределителю; в предельном случае по каждому оросителю может орошать только один водопользователь, и, следовательно, потребный расход распределителя будет равен числу оросителей, умноженному на величину хозяйственного тока, плюс, потери как по оросителям, так и по распределителю.

Преимущества этого комбинированного вида водооборота заключаются в том, что пропускная способность распределителя может быть принята меньшей, чем в предыдущих комбинированных типах водооборота; поперечные сечения распределителя могут быть запроектированы наиболее экономическим образом, так как горизонты воды, вследствие того, что расходы постоянные, можно считать всегда постоянными; шлюз-регулятор может иметь меньшую пропускную способность; оросители могут быть рассчитаны на наименьшую пропускную способность; шлюз-ороситель может быть также рассчитан на наименьшую пропускную способность; водомер может быть помещен только у головы оросителя; штат может быть наименьший и т. д. Таким образом мы видим, что данный комбинированный случай водооборота соединяет в себе все выгоды, как первого вида водооборота (разверстка воды на главном канале), так и третьего вида (разверстка воды на оросителе) и вместе с тем дает еще много новых преимуществ (графическое изображение его дано на черт. 126).

Первый цикл.

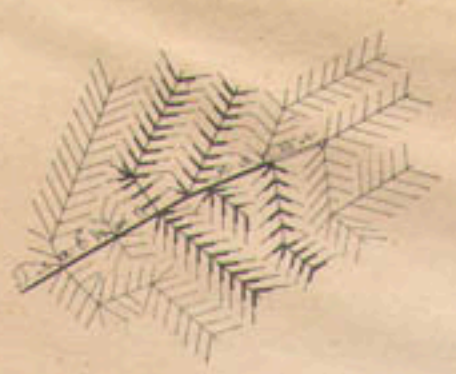
Действие I.

Сцена 1.

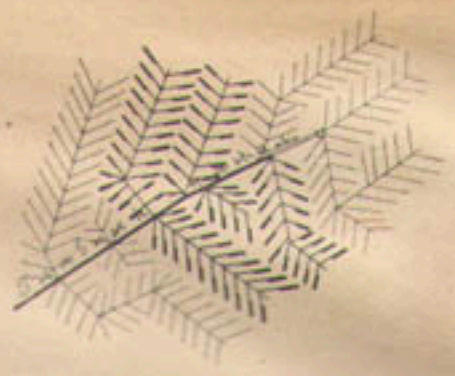


Сцена 2.

Действие II.

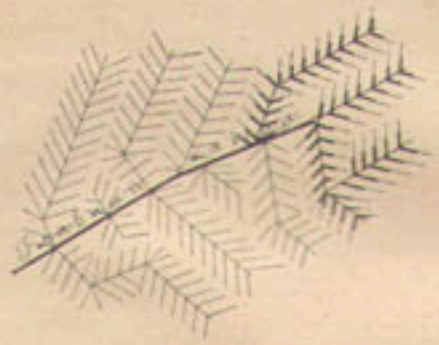


Сцена 1.

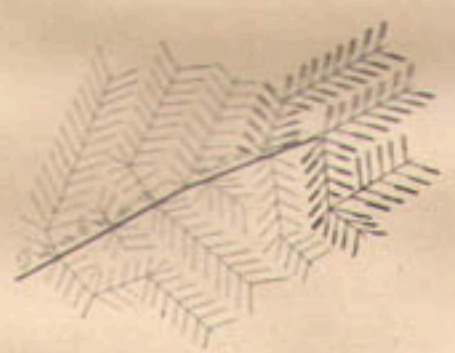


Сцена 2.

Действие III.



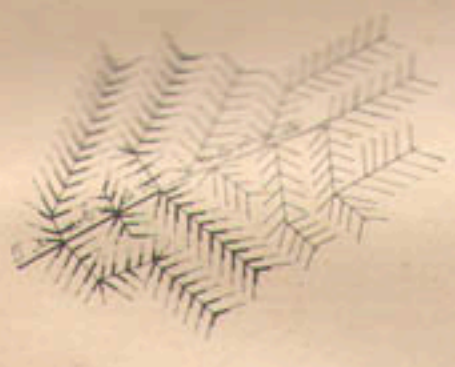
Сцена 1.



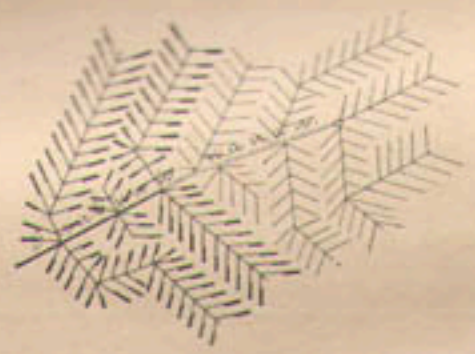
Сцена 2.

Второй цикл.

Действие I.

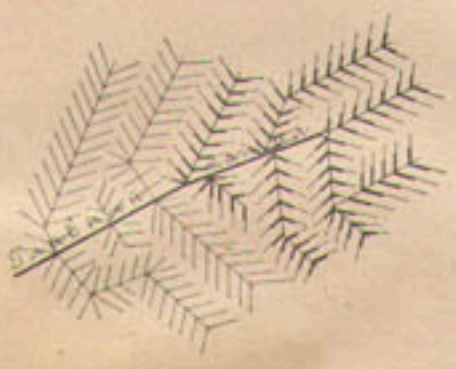


Сцена 1.

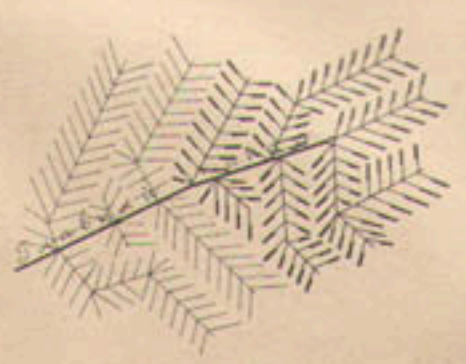


Сцена 2.

Действие II.



Сцена 1.

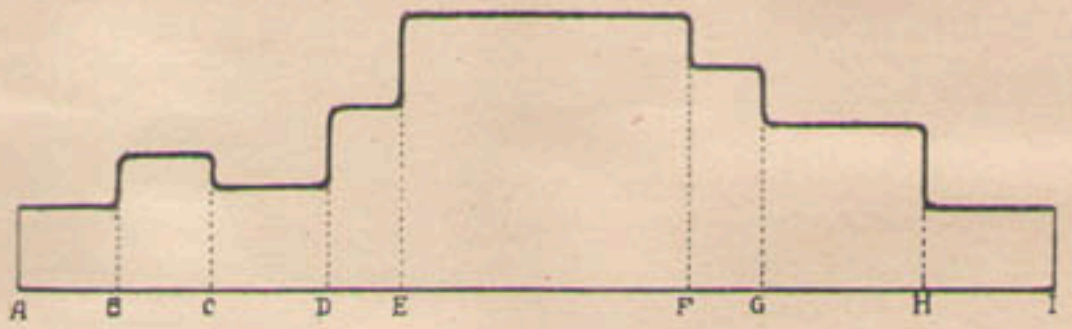


Сцена 2.

Черт. 126. Водооборот по главному каналу и по оросителям.

Что касается комбинированного водооборота по главному каналу, распределителю и оросителю, то таковой является, конечно, наиболее сложным из всех типов водооборота. Он предусматривает такую разверстку воды, при которой вода дается из главного канала не всем распределителям сразу, а по очереди, по отдельным группам. В свою очередь, распределитель, получив воду из главного канала, не передает ее сразу всем оросителям, находящимся в сфере его командования, а также питает сперва одну группу оросителей, потом—другую и т. д. Наконец, ороситель, получив воду из распределителя, также не передает ее сразу всем водным абонентам, находящимся на нем, а по очереди питает отдельные группы водопользователей.

Для большей ясности и наглядности желательно изображать графически весь ход водооборота, как это было показано выше. Это всегда возможно осуществить, несмотря на кажующуюся трудность с первого взгляда. Правда картина работающих каналов все время меняется, однако, если глубже разобраться в процессе водооборота, то оказывается, что можно весь процесс разбить на ряд отдельных составных более простых процессов, которые, в свою очередь, расчленяются на еще более простые процессы и т. д. В течение оросительного сезона водооборот должен совершить несколько полных замкнутых циклов, изменяя при этом свою, так сказать „размерность“ (не меняя своего типа) в зависимости от вида кривой потребления (см. черт. 127).



Черт. 127. График потребления, разделенный, в связи с введением водооборота, на циклы различной размерности.

Для периода времени *AB*, размерность должна быть одна.

„ „ „ *BC*, „ „ „ другая.
„ „ „ *CD*, „ „ „ третья.
„ „ „ *DE*, „ „ „ четвертая
и т. д.

Возьмем, например, один из простейших типов водооборота, а именно, водооборот по главному каналу. В течение периода *AB* мы, очевидно, должны успеть разверстать воду между всеми распределителями, в те-

чение периода *BC*—тоже и т. д. Но для периода *AB* мы имеем в главном канале меньший секундный расход для разверстки и больший промежуток времени для этой операции по сравнению с периодом *BC*; для периода *BC*, наоборот,—больший расход и меньший промежуток времени. Следовательно, втечение периода *AB* одновременно будет получать воду меньшее количество распределителей, водооборот будет итти более медленным темпом, чем в течение периода *BC* и т. д. Другими словами, под „размерностью водооборота" данного типа мы подразумеваем темп, ход водооборота и степень интенсивности, характеризующуюся числом водных абонентов одновременно получающих воду (при постоянной величине хозяйственного тока во все время оросительного сезона).

В течение периода водооборота данной размерности будет работать сперва одна группа распределителей (другая же будет бездействовать), потом она перестает работать, а начинает работать вторая группа распределителей и т. д. Мы будем иметь как бы несколько отдельных действий.

Если водооборот сложного типа, то в течение каждого действия будут происходить как бы несколько сцен; так, например, при водообороте по главному каналу и по распределителю каждый распределитель, получив воду из главного канала, передает ее сперва одной группе оросителей (одна сцена), потом другой группе (другая сцена) и т. д.

Следовательно, вся полная операция по разверстке воды по всей системе в течение всего оросительного сезона состоит из нескольких циклов водооборота, при чем каждый цикл включает в себе несколько различных действий, и каждое действие—несколько различных сцен или картин. Таким образом, для того, чтобы графически представить себе данный вид водооборота, необходимо начертить столько отдельных плановых графиков работы системы, сколько имеется отдельных сцен разверстки воды, что и сделано выше для всех основных и комбинированных видов водооборота.

Оценка различных способов разверстки воды по отдельным элементам системы при различных типах водооборота. Обратимся теперь к наиболее интересной и важной задаче — выбору и установлению типа водооборота для проектируемой системы. Для этого придется произвести подробный анализ всех способов разверстки воды в основных типах водооборота, сравнить полученные результаты и на основании этого сравнения сделать окончательный вывод.

Для возможности получения однородных и сравнимых результатов установим основные исходные пункты (критерии) для оценки. Каждый из способов разверстки будем исследовать с трех сторон, а именно:

1) с точки зрения расходов по сооружению ирригационной системы,
2) с точки зрения расходов по ее эксплоатации и

3) с точки зрения потерь воды, или коэффициента полезного действия системы, как водопередаточного механизма.

Порядок и метод сравнения с достаточной ясностью обрисовываются в дальнейшем изложении.

Водооборот по оросителю. Начнем с водооборота по оросителю. Если заранее не ограничивать количество воды, которым ороситель может пользоваться, то предельным случаем водооборота по оросителю, с одной стороны, будет тот, когда все водопользователи, сидящие на данном оросителе, одновременно получают воду, а с другой стороны, случай совершенно противоположный, когда в каждый данный момент только один водопользователь получает ее; промежуточными случаями водооборота по оросителю являются такие, когда несколько водопользователей одновременно будут получать воду; в таком случае ороситель работает как бы перегонами; сперва работает одна часть оросителя по длине, потом другая, третья и т. д., пока не будут удовлетворены все водопользователи. Например, в случае, если на оросителе находится 12 водопользователей и одновременно могут получать воду четыре из них, т. е. одна треть общего числа, то можно сказать, что ороситель должен работать тремя перегонами; сперва будет работать верховая часть оросителя и давать воду четырем водопользователям, потом будет работать средняя часть оросителя по длине, давая воду средним водопользователям и, наконец, низовая часть оросителя.

Очевидно, чем большее количество водопользователей одновременно будет получать воду, тем меньше потребуется времени на работу оросителя для того, чтобы всех их можно было удовлетворить потребным количеством воды в течение данного поливного такта, но в то же время, тем большая должна быть предвидена пропускная способность оросительного канала—и наоборот. Для предельного случая, когда только один водопользователь пользуется водой из оросителя, т. е., когда вся вода из оросителя поступает то к одному водопользователю, то к другому и, следовательно, делится не по количеству, а только по времени пользования, пропускная способность оросителя будет наименьшая, равная хозяйственному току плюс те потери, которые встретятся в оросителе; однако, время работы оросителя будет в n раз больше того времени, которое потребовалось бы для работы оросителя, если бы все n водопользователей, находящиеся на данном оросителе, могли получить воду сразу. Какой же из способов разверстки воды по оросителю наиболее выгоден: разверстка ли по одному абоненту, или разверстка по перегонам, или одновременное снабжение всех абонентов водою?

С точки зрения расходов по сооружению системы, наиболее выгодно устраивать оросители для единовременной работы наименьшего количества абонентов и, в пределе, на пропускную способность оросителя, равную одному хозяйственному току. В этом случае уменьшается коли-

чество земляных работ по устройству не только самого оросителя, но также и водосборной сети; водосборные канавы, обслуживающие каждую единицу водопользования, тогда могут быть наименьшего сечения. Так как устройство водосборной сети вообще значительно дороже оросительной, то всякое уменьшение стоимости водосборной сети всегда существенно отражается на удешевлении всего проекта.

Одновременно с этим, все искусственные сооружения на мелкой водосборной и оросительной сетях, начиная с головного шлюза-оросителя и кончая мостиками через оросительные и водосборные канавы, принимают наименьшие размеры.

Кроме того, площадь отчуждения под каналы и под сооружения будет для данного случая также наименьшей.

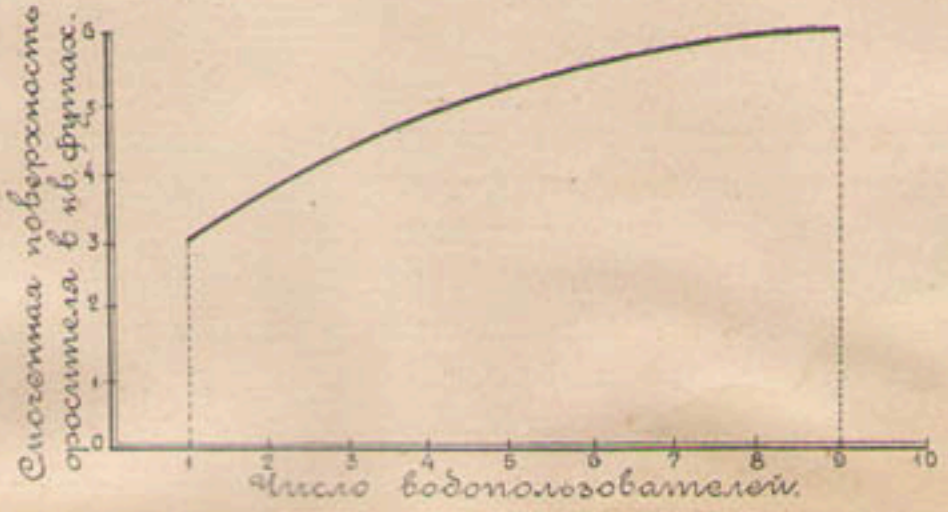
Итак, с точки зрения стоимости основного устройства мелкой сети наиболее выгодным является тот случай разверстки по оросителю, когда в каждый данный момент только один водный абонент пользуется водой, т. е. когда расход оросителя равен хозяйственному току плюс потери.

С точки зрения эксплоатации системы также более выгодно, чтобы небольшое число абонентов одновременно получало воду из оросителя; наиболее же выгоден случай, когда одновременно получает воду только один абонент. Если получают воду одновременно несколько абонентов, тогда расход оросителя необходимо делить по количеству, и чем бо́льшее количество абонентов будет получать воду, тем больше потребуется произвести делений расхода оросителя. Каждый выдел воды связан с большими хлопотами и требует особых вододелительных или водомерных устройств, которые должны, конечно, обслуживаться персоналом, при чем число недоразумений, которые возникают между водопользователями и администрацией каналов, тем больше, чем больше число выделов воды. Поэтому штат водной администрации должен значительно усиляться по мере увеличения числа водопользователей, одновременно получающих воду из оросителя. Если же только один абонент одновременно пользуется водой из оросителя, тогда весь расход оросителя поступает то к одному, то к другому водопользователю, т. е. вода делится не по количеству, а только по времени пользования; поэтому исчезает надобность в какой-либо администрации, обслуживающей оросители, ибо раз установлена очередь в днях и часах, в течение которых каждый из водопользователей, живущий в районе данного оросителя, получает всю воду оросителя, то сам водопользователь, конечно, уже не пропустит своего срока и будет следить за тем, чтобы другие водопользователи не брали воду в то время, когда эта вода принадлежит ему. Следовательно, в этом случае разверстки воды по оросителю исчезает необходимость в устройстве каких-либо водомерных и вододелительных приспособлений на оросителе, что, помимо уменьшения эксплоатационных расходов, даст значительное сокращение расходов и по основным сооружениям системы.

Вместе с этим уменьшается число недоразумений между водной администрацией и водопользователями и, таким образом, облегчается работа центральных водных управлений, рассматривающих эти споры.

Итак, с точки зрения эксплоатации системы наиболее выгоден тот случай разверстки воды по оросителю, когда в каждый данный момент только один водный абонент пользуется водой, т. е., когда расход оросителя равен хозяйственному току плюс потери.

Если же рассматривать указанные выше способы разверстки воды по оросителю с точки зрения коэффициента полезного действия системы, то мы придем к противоположному выводу. Чем большее количество абонентов будет получать одновременно воду из системы, тем меньшее количество времени нужно оросителю для удовлетворения потребности всех водопользователей. Потери воды будут, очевидно, пропорциональны смоченной поверхности и времени работы оросителя. Если мы возьмем предельный случай, когда все водопользователи одновременно получают воду и обозначим время, необходимое для удовлетворения водопользователей водою через t, а смоченную поверхность при этом через $\chi_{макс.}$, то в этом предельном случае смоченная поверхность оросителя будет наибольшая, так как расход, который пропускается по оросителю, будет равен числу всех водопользователей n, умноженному на хозяйственный ток плюс потери; для другого же предельного случая разверстки воды в оросителе, когда в данный момент только один абонент получает воду, время работы всего оросителя будет в n раз больше, т. е. равняться nt, а смоченная поверхность оросителя будет равняться $\chi_{мин.}$. Промежуточные случаи разверстки воды дадут промежуточные величины для элементов времени и смоченной поверхности. Но время обратно пропорционально числу водопользователей, а смоченная поверхность оросителя, хотя и уменьшается с уменьшением числа водопользователей, но это уменьшение идет очень медленно. Для иллюстрации этой мысли ниже приводится (см. черт. 128) примерная кривая зависимости между величиной смоченной поверхности оросителя и числом водопользователей, одновременно получающих воду из оросителя.



Черт. 128. Кривая зависимости величины смоченной поверхности от числа водопользователей, одновременно получающих воду.

Следовательно, $n \times t \times \gamma_{мин.}$ будет значительно больше $t \times \gamma_{мак.}$ и чем больше n, тем больше будет разница.

Таким образом, и с точки зрения величины потерь воды наиболее выгоден тот случай разверстки воды, при котором оросите́ль дает воду всем водопользователям одновременно.

Водооборот по распределителю. Обратимся теперь к оценке отдельных случаев водооборота по распределителю.

Так же, как при разверстке воды по оросите́лю, здесь возможны три случая:

1) Распределитель одновременно дает воду всем оросителям, берущим начало из него. Это, очевидно, будет высшим пределом работы распределителя.
2) Разверстка воды по распределителю происходит только по „одному" оросителю, т.-е. только один оросите́ль получает одновременно воду из распределителя. Это, очевидно, низший предел работы распределителя.
3) Одновременно получают воду из распределителя не все его оросители, а только несколько из них, при чем эти несколько оросителей сосредоточены на какой-то части распределителя. В таком случае распределитель работает как бы перегонами; когда работает один какой-нибудь перегон (часть по длине) распределителя, то получают одновременно воду все оросители, головы которых расположены на этой части распределителя, оросители же на других перегонах воды не получают; затем, закрываются шлюзики-оросители только-что указанного перегона, вода пропускается на другой перегон распределителя, который начинает работать, а все остальные перегоны бездействуют и т. д.

Очевидно, число перегонов, которыми будет работать распределитель в данный период, зависит от отношения числа оросителей, которые должны одновременно работать, к числу всех оросителей, находящихся в районе данного распределителя. Рассмотрим преимущества и недостатки каждого из указанных случаев разверстки по распределителю.

С точки зрения основных строительных расходов, очевидно, если распределитель будет давать воду одновременно всем оросителям, требуется наибольшая пропускная способность, а, следовательно, и наибольший размер распределителя, т.-е. наибольшее количество земляных работ; наоборот, когда вода одновременно будет даваться небольшому количеству оросителей и в пределе одному, поперечные сечения распределительного канала могут быть уменьшены и доведены до минимума; кроме того, при меньших расходах в распределителе могут быть уменьшены и перекинутые через распределитель сооружения, т.-е мосты и проезды; затем, будут меньше и размеры сбросных каналов, служащих для сброса излишних вод. Таким образом, при первом взгляде

может показаться, что с точки зрения основных строительных работ должно быть дано преимущество тому случаю водооборота, когда вода дается одновременно как можно меньшему количеству оросителей. Однако, при ближайшем рассмотрении картина несколько изменяется. Дело заключается в том, что горизонт воды в распределителе, какие бы расходы он не нес, не должен опускаться ниже определенных отметок в различных пунктах по его длине для того, чтобы иметь возможность командовать оросителями и снабжать их водой. Поэтому, высота дамб распределителя должна оставаться при разных случаях разверстки воды одной и той же, будет изменяться только его ширина по дну. Если принять во внимание, что вообще распределительный канал является наиболее дешевой частью ирригационной системы, и что расширение канала по дну без увеличения высоты дамб вызывает ничтожные дополнительные расходы, то, конечно, значение этого удорожания, при сравнении рациональности разных способов водооборота по распределителю, значительно умаляется. Кроме указанного, необходимо еще иметь ввиду следующие соображения: если распределитель ротирует воду по небольшому количеству оросителей, то для того, чтобы такая ротация была возможна, необходимо устройство на распределителе большого количества поперечных преграждений; число этих поперечных преграждений будет тем больше, чем меньше число оросителей, одновременно берущих воду из распределителя. Если сравнить устройства дополнительных поперечных преграждений, которые приходится создавать при разверстках воды по небольшому количеству оросителей, с тем удешевлением стоимости распределителей, которое при этом получается, то придется констатировать, что серьезно выставлять положение о выгодности (с точки зрения строительных расходов) устройства водооборота „малыми перегонами“ нельзя, что, наоборот, наиболее выгодным будет случай, когда распределитель будет работать постоянным током, давая воду сразу всем оросителям.

С точки зрения эксплоатации системы получается картина обратная той, которую мы имели для оросителя. Насколько в оросителе выгодно в эксплоатационном отношении разверстывать воду по одному абоненту, настолько в распределителе аналогичное распределение по оросителю было бы нецелесообразно и невыгодно.

Когда распределитель работает полным расходом, т.-е. таким, который обеспечивает одновременную подачу воды всем оросителям, тогда водная администрация имеет наименьшее количество забот, потому что в этом случае оросительные шлюзы могут всегда оставаться открытыми, так как, когда работают распределители, должны работать и оросители, и если водопропускные сооружения, находящиеся в голове оросителей, имеют автоматическую регулировку, то количество возможных недоразумений сократится до минимума.

При работе же распределителя отдельными „перегонами" водной администрации необходимо следить, во-первых, за своевременным закрытием и открытием поперечных преграждений на распределителе, создающих необходимый подпор для обеспечения горизонта питания, во-вторых, за тем, чтобы во время работы одного какого-либо перегона распределителя не брали бы воду оросители по другим перегонам, т.-е. за тем, чтобы все шлюзики-оросители на холостых перегонах были бы плотно закрыты, а на рабочем, наоборот, во время открыты.

Конечно, в случае работы распределителя „перегонами" будет значительно большее количество возможных злоупотреблений, недоразумений и произвола со стороны администрации. Штат, требующийся для обслуживания, следовательно, должен быть предусмотрен большим.

Кроме того, разверстка воды по распределителю „перегонами" с эксплоатационной точки зрения невыгодна еще потому, что создаются благоприятные условия для заиления распределителя: работая все время при помощи поперечных преграждений, создавая подпоры, мы тем самым уменьшаем скорости и позволяем оседать насосам на дно. Поэтому потребуются дополнительные расходы по чистке распределителей от наносов, а, вместе с тем, поля орошения будут лишены этой части плодородного ила.

С точки зрения коэффициента полезного действия и потерь в системе наиболее выгодным, без сомнения, будет случай, когда распределитель работает полным расходом, т. е. одновременно дает воду всем оросителям, ибо тогда время работы распределителя будет в несколько раз короче по сравнению с работой „перегонами", а смоченная поверхность хотя и будет больше, но далеко не прямо пропорционально увеличению расхода.

Итак, не подлежит сомнению, что во всех отношениях наиболее выгодным является тот случай водооборота, когда распределитель работает полным своим расходом и одновременно дает воду всем своим оросителям.

Так как потребность в поливной воде в разные периоды оросительного сезона бывает разная, то, очевидно, и распределитель должен пропускать на поля орошения в разные периоды разные количества воды. Если принять, что распределители всегда должны работать одним и тем же полным рабочим расходом, то, очевидно, должна будет изменяться продолжительность их работы в различные периоды, или, как мы будем в дальнейшем называть, продолжительность отдельных „тактов" распределителя.

Водооборот по главному каналу. Наконец, перейдем к оценке различных способов водооборота по главному каналу. Главный канал в общей структуре ирригационной системы является тем элементом

ее, который получает воду из источника орошения в виде постоянного потока с изменяющимся расходом в зависимости от кривой потребления.

Очевидно, главный канал в своей холостой части должен иметь режим, установленный кривой потребления.

Что же касается рабочей части главного канала, то здесь возможны два случая разверстки воды.

1 случай. Канал работает непрерывным потоком на всем своем протяжении, питая постоянно водою все распределители, берущие из него начало, при чем при малых расходах в главном канале соответственно поступают малые расходы и в распределители; с увеличением расхода по главному каналу увеличиваются расходы и по распределителям.

2 случай. Разверстка по главному каналу происходит „перегонами", т. е. одновременно получают воду не все распределители, а только некоторые из них, сосредоточенные на какой-то части (перегоне) главного канала. Когда работает один какой-нибудь „перегон" (часть по длине) канала, то получают одновременно воду полным потребным расходом все те распределители, головы которых расположены на этом „перегоне", распределители же на других „перегонах" воды не получают; затем, закрываются шлюзы-регуляторы распределителей только что указанного „перегона", вода пропускается на другой „перегон" главного канала, который начинает работать, а все остальные „перегоны" бездействуют, т. е. находящиеся на них распределители воды не получают. Как уже указывалось выше, питание главного канала из источника орошения вполне определяется кривой потребления, и когда говорится о разверстке из главного канала, необходимо помнить, что речь идет о разверстке вполне определенного для каждого данного момента количества воды. Тот предельный случай разверстки из главного канала, когда вода одновременно подается по всем распределителям в требуемом для них количестве, может иметь место только тогда, когда рабочие расходы распределителей установлены так, что общая сумма их равняется расходу главного канала. Но так как расход главного канала меняется, то, очевидно, что таковое равенство можно установить только для одного какого-нибудь определенного периода времени; для всех остальных периодов такого равенства уже соблюсти не удастся, и тогда должны выступить те два случая разверстки по главному каналу, на которые мы указывали в начале, а именно—воду можно будет давать или непрерывным током, когда с уменьшением расхода в главном канале уменьшаются соответственно расходы распределителей, или же, когда рабочие расходы распределителей по тем или иным причинам уменьшать нежелательно, придется ввести несколько циклов водооборота.

Рассмотрим преимущества и недостатки каждого из этих двух случаев разверстки на главном канале.

С точки зрения основных строительных работ очевидно, что, если устраивать разверстку „перегонами" в течение периода наибольшего расхода в главном канале, концевые части (по длине) главного канала придется рассчитывать на большую пропускную

способность, чем в том случае, если бы главный канал мог питать все распределители непрерывным током. Действительно, при непрерывном токе в среднюю часть и конец канала поступают расходы, пропорциональные площадям командования распределителей, берущих начало из главного канала на этом протяжении. При работе же „перегонами" в эти части главного канала должен поступать расход, необходимый для питания распределителей полным потребным расходом. Чем большее количество „перегонов" работы допустить в период наибольшего расхода воды в главном канале, тем большую пропускную способность надо придать концевой части канала, ибо каждый перегон, в том числе и в концевой части, потребляет весь расход главного канала.

Иначе говоря, главный канал, в случае работы „перегонами", должен пропускать весь свой наибольший поливной расход на всем своем протяжении до последнего нижнего перегона. Увеличение пропускной способности главного канала в средней и концевой его частях вызовет увеличение количества земляных работ и увеличение пролетов располагаемых на нем искусственных сооружений, т. е. поперечных преграждений, мостов и т. п.

С точки зрения основных строительных расходов наиболее выгодна такая система разверстки воды по главному каналу, которая не вызывает увеличения пропускной способности канала ни в одной из его частей, против пропускной способности при системе непрерывной подачи воды всем распределителям. Этого можно достигнуть, если ирригационную систему запроектировать так, чтобы в течение периода наибольших расходов канала сумма потребных расходов всех распределителей была бы равна расходу главного канала. В таком случае в период малых и средних расходов в главном канале очередная разверстка воды не потребует особого увеличения пропускной способности канала в какой-либо из его частей, так как в эти периоды число одновременно работающих распределителей будет значительно меньше, а потому и суммарный расход, который необходимо будет подавать к концевой части главного канала, может даже не превысить пропускной способности канала в этом месте.

С точки зрения эксплоатации система ротации потребует значительно больше забот и работы, чем система непрерывного тока. Система ротации требует сугубого внимания за своевременным закрытием и открытием шлюзов-распределителей и регулированием горизонтов воды в канале поперечными преграждениями. Кроме того, впуск воды с рабочего „перегона" на соседний, который стоял в бездействии (т. е. теоретически сухим), должен производиться в больших каналах, в предотвращение размыва дамб и дна, с большими предосторожностями и очень медленно. Вообще говоря, во избежание аварии, не следует допускать частого опоражнивания тех или иных „перегонов" главного канала. Главный канал должен всегда нести некоторое количество воды на всем своем протяжений, потому что он является единственным источником не только для растений, но также для людей и животных. В случае принятия системы ротации, в главном

канале все-таки будет оставаться всегда некоторый ток воды для водоснабжения городов и других населенных пунктов, расположенных в орошаемом районе, для обеспечения минимальным потребным расходом установленных на системе гидроэлектрических станций, а в некоторых случаях и для возможности поддержания судоходства.

Кроме того, при работе главного канала „перегонами" мы принуждены будем считаться с большим заилением отдельных участков, так как созданием, при помощи поперечных преграждений, больших глубин с малыми скоростями на одних участках, при оставляемом чрезвычайно незначительном токе воды на других, нарушается необходимая зависимость между глубинами и скоростями и получаются все необходимые условия для заиления канала. С этим вопросом особенно нужно считаться в те периоды поливного сезона, когда источник орошения несет большое количество наносов, что, очевидно, совпадает с периодами наибольших расходов в канале. Поэтому, как с точки зрения заиления канала, так и в отношении уменьшения его сечения, желательно, чтобы в периоды наибольшего расхода главный канал работал бы не „перегонами", а, наоборот, подавал воду одновременно всем распределителям, т. е. работал бы по всей своей длине без ротации.

Теперь подойдем к рассмотрению вопроса о потерях воды в главном канале. Прежде всего, необходимо вспомнить выше установленное положение, что ни один из „перегонов" главного канала не должен оставаться совершенно без воды (за исключением, конечно, случаев ремонта); затем, надо иметь в виду, что значительнейшую часть смоченной поверхности в главных каналах составляет дно (ибо отношение ширины к глубине в главных каналах обыкновенно бывает довольно большим) и, что вследствие этого, уменьшение смоченной поверхности в главном канале при уменьшении расходов в нем происходит чрезвычайно медленно.

Если принять во внимание это положение, то на первый взгляд может показаться странным утверждение, что при непрерывной подаче воды потери будут меньше, чем при работе каналов „перегонами". Однако, это верно, потому что в случае водооборота на главном канале в период наибольшего расхода воды, сечения канала (главным образом, ширина по дну) в среднем и низовом течении его должны быть значительно большими, чем при непрерывном токе, поэтому постоянно действующая смоченная поверхность будет также большей, а следовательно, и потери в лучшем случае будут не меньшими, чем в случае непрерывного тока.

Итак, во всех отношениях установление ротации на главном канале в период наибольшего расхода невыгодно и всячески надо стремиться к тому, чтобы главный канал не работал в этот период „перегонами" и мог бы питать все распределители. Водооборот по главному каналу можно допускать

в периоды поступления в главный канал уменьшенных расходов, ибо тогда многие неблагоприятные условия исчезают (можно обойтись без дополнительных затрат на расширение концевой части главного канала и сооружений на нем, можно не опасаться заиления канала, ибо в эти периоды поливного сезона источник орошения несет меньше наносов и т. п.).

Выводы. Вышеприведенный подробный анализ различных способов водооборота по оросителям, распределителям и главному каналу приводит к нижеследующим выводам:

1) с точки зрения основных затрат на сооружение системы и с точки зрения эксплоатации системы наиболее выгодным является комбинированный тип водооборота в системе, при котором:

а) все оросители работают неделимым хозяйственным током;

б) распределители или работают полным расходом, давая одновременно воду всем оросителям, расположенным в зоне их командования или совсем не работают;

в) главный канал в период наибольшего расхода в нем (в период наибольшей потребности ирригационной системы в воде) питает одновременно все распределители, расположенные на нем, полным потребным для них расходом; в остальные периоды поливного сезона главный канал должен работать „перегонами", обеспечивая возможность одновременного питания отдельных групп распределителей полным расходом, требующимся для одновременного снабжения водою всех оросителей, расположенных в зоне командования работающих распределителей.

Отсюда следует, что в период наибольшей потребности ирригационной системы в воде выгодно предусматривать разверстку только по оросителям, вся же остальная часть системы, т. е. распределители и главный канал, должна работать непрерывным током. В периоды поступления в главный канал уменьшенных расходов к вышеуказанной разверстке по оросителям надо присоединить разверстку по главному каналу; распределители тогда будут работать непостоянно, а тактами, то совсем не работая, то работая полным рабочим расходом, подавая воду одновременно во все свои оросители.

Таким образом, с точки зрения основных затрат на сооружение системы и в отношении ее эксплоатации наилучшим типом водооборота является такой, который в период поступления наибольшего расхода воды в систему предусматривает разверстку только по оросителю с тем, чтобы одновременно мог пользоваться водою только один водопользователь, а в периоды уменьшенных расходов переходит в комбинированный вид разверстки по главному каналу и по оросителю, при чем по оросителю разверстка сохраняется прежней — по одному водопользователю.

2) С точки зрения коэффициента полезного действия ирригационной системы, как водопередаточного механизма, более выгодным явился бы способ разверстки, предусматривающий водооборот только по главному каналу, т. е., следовательно, когда работает какой-либо распределитель-должны были бы работать все оросители, находящиеся на данном распределителе, снабжая одновременно водою всех своих водопользователей. В этом случае большие массы воды из главного канала должны были бы направляться то в одну часть ирригационной системы, быстро, в течение короткого промежутка времени, раздавая потребную воду всем водопользователям в этой части системы, то в другую. Другими словами, по этому способу вода должна концентрироваться в течение каждого данного промежутка времени на наименьшей площади ирригационной системы, что даст наименьшую „действующую" смоченную поверхность в распределительной и мелкой сетях, однако, в главном канале тогда будут иметь место несколько большие потери воды. В общем же итоге, потери в системе все-таки будут наименьшими по сравнению с другими способами водооборота.

Но, конечно, класть в основание проектирования ирригационной системы подобный тип водооборота было бы нерационально, потому что он вызвал бы большие излишние расходы при сооружении системы, а также при эксплоатации ее. Если по каким-либо обстоятельствам требовалось бы достигнуть высокого коэффициента полезного действия системы, то все-таки было бы рационально подойти к этому вопросу иначе, — путем защиты непроницаемой одеждой тех частей водопередаточного сооружения (ирригационной системы), в которых теряется значительное количество воды.

В этом отношении комбинированный вид водооборота, указанный выше в первом пункте, предусматривающий минимальную смоченную поверхность в оросителях, в распределителях и в главном канале, имеет большие преимущества, так как он дает возможность, при покрытии дна и откосов канала непроницаемой одеждой, ограничиться наименьшими площадями покрытия.

Резюмируя вышеизложенные теоретические исследования, проверенные при составлении нескольких проектов орошения — Голодной, Дальверзинской и Уч-Курганской степей, мы принуждены констатировать, что наиболее выгодным во всех отношениях является комбинированный тип водооборота по главному каналу и по оросителю, при чем в период наибольшей подачи воды разверстка должна происходить только на оросителях и по одному водопользователю, при уменьшенных же подачах присоединяется разверстка по главному каналу, не изменяющая вида разверстки на оросителе.

Схема проектирования. Дав определение понятию водооборота, установив классификацию возможных способов водооборота и приведя оценку каждого из них, постараемся установить схему проектирования ирригационной системы в случае принятия одного из способов разверстки воды.

Какой бы метод водооборота ни был принят: по главному ли каналу, или по распределителям, или по оросителям, сперва необходимо определить число отдельных водопользователей, которые в разные периоды поливного сезона могут одновременно получать воду для орошения. Под водопользователем условимся подразумевать абонента ирригационной системы, получающего воду в размере одного хозяйственного тока.

Прежде чем перейти к определению вышеуказанного числа отдельных абонентов, следует несколько остановиться на величине хозяйственного тока, т.-е. того тока воды, которым хозяину удобно получать воду из оросителя для полива полей. Величина хозяйственного тока зависит от рельефа местности, порозности грунта, рода культур, способа полива, степени культурности земледельцев-водопользователей,—одним словом, от целого ряда факторов.

Эта величина может быть для разных участков всего района, захватываемого проектом, в общем случае неодинакова. Необходимо поэтому в дальнейшем при проектировании всю площадь будущего орошения Ω разбить на отдельные районы (площадями Ω_1, Ω_2 . . . . . Ω_n) с идентичными условиями по отношению к величине хозяйственного тока; затем, для названных отдельных районов необходимо установить величины хозяйственных токов ($q_0^{(1)}$, $q_0^{(2)}$, ... $q_0^{(n)}$); тогда по величине площади отдельных районов с единообразной величиной хозяйственного тока, зная в каждый данный момент величину полезного расхода, проходящего по главному каналу (Q_i), то-есть тот расход, который предназначается для подачи на поля орошения, можно написать нижеследующие уравнения:

$$\Omega = \Omega_1 + \Omega_2 + \ldots \ldots \Omega_n;$$

$$\frac{Q_i}{\Omega} \cdot \frac{\Omega_1}{q_0^{(1)}} = N_1^{(i)};$$

$$\frac{Q_i}{\Omega} \cdot \frac{\Omega_2}{q_0^{(2)}} = N_2^{(i)};$$

. . . . . .
. . . . . .
. . . . . .

$$\frac{Q_i}{\Omega} \cdot \frac{\Omega_n}{q_0^{(n)}} = N_n^{(i)};$$

$$N = N_1^{(i)} + N_2^{(i)} + \ldots \ldots + N_n^{(i)}$$

здесь через N обозначено число водопользователей, получающих одновременно воду, при чем индексы внизу указывают районы, к которым водопользователи относятся, а индекс вверху—период поливного сезона, когда это количество водопользователей в каждом из районов может получать одновременно воду.

Когда Q_i принимает максимальное значение $Q_{мак.}$, то-есть, когда в главный канал поступает максимальное, согласно кривой потребления главного канала, количество воды, тогда, очевидно, максимальное количество водных абонентов может получать одновременно воду и вышеприведенные уравнения примут следующий вид:

$$\frac{Q_{мак.}}{\Omega}\cdot\frac{\Omega_1}{q_0^{(1)}}=N_1^{мак.}$$

$$\frac{Q_{мак.}}{\Omega}\cdot\frac{\Omega_2}{q_0^{(2)}}=N_2^{мак.}$$

. . . . . .

. . . . . .

$$\frac{Q_{мак.}}{\Omega}\cdot\frac{\Omega_k}{q_0^{(k)}}=N_k^{мак.}$$

$$N_{мак.}=N_1^{мак.}+N_2^{мак.}+\ldots+N_k^{мак.}$$

Из приведенных уравнений легко определить для периода наиболее интенсивной работы системы число водопользователей, одновременно получающих воду в каждом отдельном районе, а также и на всей площади ирригационной системы.

Если величина хозяйственного тока может быть принята одинаковой по всей площади орошения, тогда числа водопользователей, получающих одновременно воду, определятся из формул:

$$\frac{Q_i}{q_0}=N_i$$

$$\frac{Q_{мак.}}{q_0}=N_{мак.}$$

Введем два новых понятия, облегчающих в дальнейшем проектирование, а именно, понятия:

1) характеристики водооборота (ν)

2) единицы водопользования (ω).

Характеристикой водооборота данного момента мы называем отношение числа водопользователей (N_i), одновременно получающих воду в данный момент времени (t), к общему числу водопользователей (M), имеющемуся в системе, т.-е. $\nu=\frac{N_i}{M}$. Характеристика водооборота, являясь числом отвлеченным, указывает то число, на которое надо умножить общее количество водопользователей системы, чтобы получить число водопользователей, получающих воду одновременно в данный период. Ясно, что величина φ, обратная характеристике, т. е. $\varphi=\frac{1}{\nu}=\frac{M}{N_i}$ будет всегда указывать общее число очередей, которое надо установить на системе при данном расходе главного канала для удовлетворения поливной водой всех водопользователей системы.

Единицей водопользования мы называем площадь, которая может быть орошена единым хозяйственным током в период самой острой

потребности сельского хозяйства в воде. Если, например, предположить, что в этот период времени все оросители данной системы получают воду в размере хозяйственного тока, то величина площади единицы водопользования $\omega = \frac{\Omega}{N_{\text{маx.}}}$, где Ω есть площадь всей системы, а $N_{\text{маx.}}$, равное $\frac{Q_{\text{max}}}{q_{\omega}}$, будет общим числом всех оросителей в данной системе.

После определения характеристики водооборота для каждого момента, следует построить кривую характеристики водооборота для всего оросительного периода и уже затем можно приступить к решению задачи по установлению разверстки воды в системе и к проектированию распределительной сети. Теперь перейдем к разрешению поставленных задач.

Основной случай разверстки воды по главному каналу. Рассмотрим прежде всего первый из приведенных нами выше способов водооборота, а именно, разверстку воды по главному каналу между распределителями. По данному способу водооборота вода должна даваться одновременно всем водопользователям, находящимся в районе командования распределителя. Поэтому, при определении расхода воды, на который надо рассчитывать каждый распределитель, следует исходить из общей потребности всех водопользователей. Сущность задачи, очевидно, должна сводиться к тому, чтобы для каждого цикла водооборота соединить распределители в такие отдельные группы, чтобы их суммарные расходы были бы близки между собой и чтобы главный канал мог удовлетворять потребности этих групп в воде по очереди. Но, конечно, нельзя ожидать, чтобы можно было расгруппировать все распределители по отдельным группам так, чтобы их суммарные расходы были бы одинаковы и удобны для разверстки воды из главного канала. Обычно при разверстке воды из главного канала по различным группам распределителей будут получаться в главном канале те или иные остатки или нехватки воды. Для того, чтобы эти остатки или нехватки не получались, необходимо будет пускать воду по некоторым распределителям или с перегрузкой против нормального расхода или с недогрузкой. В случае, если вода по распределителю пускается с недогрузкой (т. е. с меньшим расходом), то, очевидно, что на начальных участках горизонты воды будут ниже проектных и только в тех участках распределителя, для которых пущенный расход является нормальным, обеспечена будет подача воды всем оросителям. Следовательно, в таком случае, в распределитель придется дополнительно пускать воду для удовлетворения тех „верховых“ водопользователей, которые не получили ее. Как же подать эту дополнительную воду? Чтобы получить требуемый горизонт в распределителе, воду нужно пускать в распределитель полным расходом, но тогда многие из водопользователей, которые уже раньше получили полагающуюся им воду, будут снова забирать ее — вода будет расходоваться бесполезно; если же дополнительно пустить по распределителю воду только в том количестве, которое нужно для питания неполучивших абонентов, то придется устраивать на распределителе специальные

подпирающие сооружения для поднятия горизонта до требуемых отметок. Следовательно, для удовлетворения водою верховых водопользователей или придется устраивать в соответствующих местах распределителя подпорные сооружения в целях искусственного подъема горизонта воды, или при самом проектировании необходимо учесть весь план водооборота принятого типа и гарантировать при уменьшенных расходах возможность снабжения верховых водопользователей водою. Очень важно, чтобы при проектировании (при разбивке) распределительной сети принималось бы во внимание, что сумма расходов отдельных распределителей должна равняться при разных комбинациях расходу магистрального канала, и чтобы, таким образом, магистральный канал, разверстывая воду между распределителями всегда мог бы это сделать без всяких остатков и в то же самое время удовлетворял бы потребность в воде каждого распределителя.

Определить проектный расход, на который следует рассчитывать отдельный распределитель, легко; если мы обозначим площадь командования данного распределителя через Δ, среднюю нормальную площадь водного абонента через δ, то расход распределителя $Q_{рас.}$ будет равен $\frac{\Delta}{\delta} \times q_0$ плюс потери в самом распределителе и в оросительной сети, берущей из него воду. Число оросителей и пропускная способность их определяется также легко. Число оросителей m, очевидно, зависит от числа водопользователей n, которое примем на одном оросителе, при чем

$$n \times m = \frac{\Delta}{\delta}$$

Установив на основании особых экономических исследований величину площади единичного водного абонента, можно определить общее число водопользователей в районе данного распределителя путем деления площади командования распределителя на принятую площадь среднего единичного хозяйства (площадь одного водного абонента). Если, таким образом, будет известно общее количество предполагаемых водопользователей по данному распределителю, то легко будет, согласно предыдущему, установить задание для расчета распределителя и оросителя.

Проделав такую работу для всех распределителей и вместе с этим группируя отдельные распределители так, чтобы можно было удовлетворять их, при разных циклах водооборота в главном канале, имеющимся в нем расходом,—мы тем самым попутно определяем, какие расходы должен нести главный канал в разных своих частях в различные периоды оросительного сезона, и, следовательно, устанавливаем предварительное задание так же для расчета главного канала.

Основной случай разверстки воды по распределителю. Переходим к рассмотрению разверстки воды по распределителю. Так же, как

и в первом разобранном нами случае, прежде всего, необходимо определить величину хозяйственного тока для отдельных типовых участков района орошения, затем, число водопользователей, одновременно могущих в каждом из вышеназванных районов получать воду для орошения. Установив, таким образом, характеристику водооборота для всех моментов работы системы, т. е. значит, зная, какому количеству водопользователей из общего числа их требуется подавать воду в каждый данный момент, легко будет определить то количество водопользователей, которые одновременно должны будут получать воду в различные моменты оросительного сезона из интересующего нас распределителя. Как мы уже указывали, общее число водопользователей равняется общему числу средних единичных хозяйств, а общее число единичных хозяйств определяется путем деления полезной площади командования распределителя Δ на величину площади нормального хозяйства (δ).

Установив общее количество водопользователей и умножив его на характеристики водооборота (ν_i), мы можем определить количество водопользователей (N_i), которые одновременно должны получать воду в интересующий нас момент (t_i) из распределителя, по формуле $N_i = \frac{\Delta}{\delta} \nu_i$. Расчетные (максимальный и минимальный) расходы распределителя получатся из нижеследующих выражений:

$Q_{рас.}^{макс.} = \frac{\Delta}{\delta} \nu^{макс.} \times q_0$ плюс потери в оросительной сети и в самом распределителе.

Расход $Q_{рас.}^{мин.}$ необходимо знать для определения сечения профиля распределителя в целях фиксирования горизонта командования оросителями.

Что касается оросителей, то к ним надо отнести все то, что сказано о них при рассмотрении вопроса о разверстке воды по главному каналу. Они должны рассчитываться на суммарный расход, получаемый из умножения хозяйственного тока на число водопользователей, находящихся на одном оросителе плюс потери в оросителе. Установление числа водопользователей, пользующихся водою из одного и того же оросителя, зависит так же, как и в случае разверстки воды по главному каналу, от многих причин; но раз это число установлено, то легко уже определить число отдельных оросителей m, получающих воду из данного распределителя. Так как величина характеристики водопользования изменяется в течение поливного сезона, то, очевидно, должно изменяться и число оросителей, которые могут одновременно получать воду из распределителя в разные моменты этого периода. Конечно, расход распределителя, изменяющийся конформно кривой расхода главного канала, будет не всегда кратен расходам оросителя; поэтому, если система запроектирована так, что раз-

верстка воды производится только по распределителям, то необходимо или предвидеть в системе каждого распределителя какие-то особые оросители с несколько уменьшенным или увеличенным расходом против нормального, или же необходимо считаться с тем обстоятельством, что часть воды будет бесполезно сбрасываться в сбросную сеть и оросители не смогут ее забирать. Так как распределитель должен снабжать водой каждый из оросителей при всех тех горизонтах, которые в нем будут иметь место в связи с изменением поступающего в него расхода, то, очевидно, что при проектировании продольного профиля и сечения надо иметь в виду, чтобы при самых низких горизонтах (то есть при $Q_{рас.}^{мин.}$) вода могла поступать в оросители в требуемом количестве.

Группируя при разбивке сети отдельные оросители так, чтобы можно было бы удовлетворять их, при водообороте по распределителю, имеющимся в последнем расходам, мы тем самым попутно устанавливаем, какие расходы должен нести распределитель в разных своих частях по длине в различные периоды оросительного сезона. Этим самым мы устанавливаем предварительное задание для расчета распределителя по всей его длине.

Основной случай разверетки воды по оросителю. Переходим теперь к последнему из приведенных нами выше основных способов водооборота, а именно: к разверстке воды по оросителям между отдельными водными абонентами. Необходимо вспомнить, что в этом случае главный канал и распределители работают непрерывным током, причем расходы в этих каналах изменяются конформно изменению кривой расхода главного канала, и что водооборот, следовательно, происходит только по оросителям. Сущность задачи, очевидно, должна сводиться к тому, чтобы подобрать водопользователей по группам так, чтобы их можно было бы удовлетворять по очереди водою из оросителя в различные периоды поливного сезона. Начальный путь расчета должен быть такой же, как и для двух рассмотренных уже случаев. Прежде всего необходимо определить величины хозяйственных токов для различных участков района, захватываемого проектом, затем необходимо определить число отдельных водопользователей и, наконец, следует установить характеристики водооборота для различных моментов оросительного сезона.

Зная общее количество водопользователей, обслуживаемых одним оросителем, а также зная характеристики водооборота, легко определить путем умножения числа водопользователей на характеристики количество водопользователей, которые одновременно должны получать воду из оросителя в различные периоды оросительного сезона. Умножая полученные числа абонентов, одновременно пользующихся водой, на хозяйственный ток, мы легко можем определить минимальные и максимальные расходы оросителя в течение поливного сезона, то-есть получим задание для проектирования оросителя.

Группируя отдельных водопользователей, так чтобы можно было удовлетворить их (при каждом цикле водооборота по оросителю) имеющимся в нем расходом, мы попутно устанавливаем, какие расходы должен нести ороситель в разных своих частях по длине в различные периоды оросительного сезона. Этим самым мы устанавливаем предварительные задания для расчета оросителей.

Главная характеристика водооборота. Следует отметить, что в течение летнего времени, во время периода наиболее интенсивного орошения, когда главный канал несет расход полным сечением, характеристика водооборота, конечно, имеет наибольшую, величину т.-е., другими словами, в это время одновременно получает воду наибольшее количество водопользователей. Очевидно, что эта величина (для периода наибольшей потребности системы в воде) должна быть исходной при расчете пропускной способности как оросителя, так и распределителя. В самом деле, пропускная способность оросителя должна быть достаточной для снабжения водою, в период наибольшей потребности, всего количества водопользователей, находящихся на нем. Наоборот, когда потребность в воде уменьшается и число водопользователей, одновременно орошающих, делается минимальным, т.-е. в осенние и весенние сезоны оросители будут нести воду в наименьшем количестве, и одновременно пользоваться ею будет значительно меньшее число водопользователей.

Характеристика водооборота, определяющая отношение числа водопользователей, одновременно получающих воду в периоды наибольшего расхода воды в главном канале, к числу всех водопользователей в системе, дает сразу общее представление о задачах по разверстке воды в системе, поэтому мы считаем полезным дать ей особое название, а именно—главной характеристики водооборота.

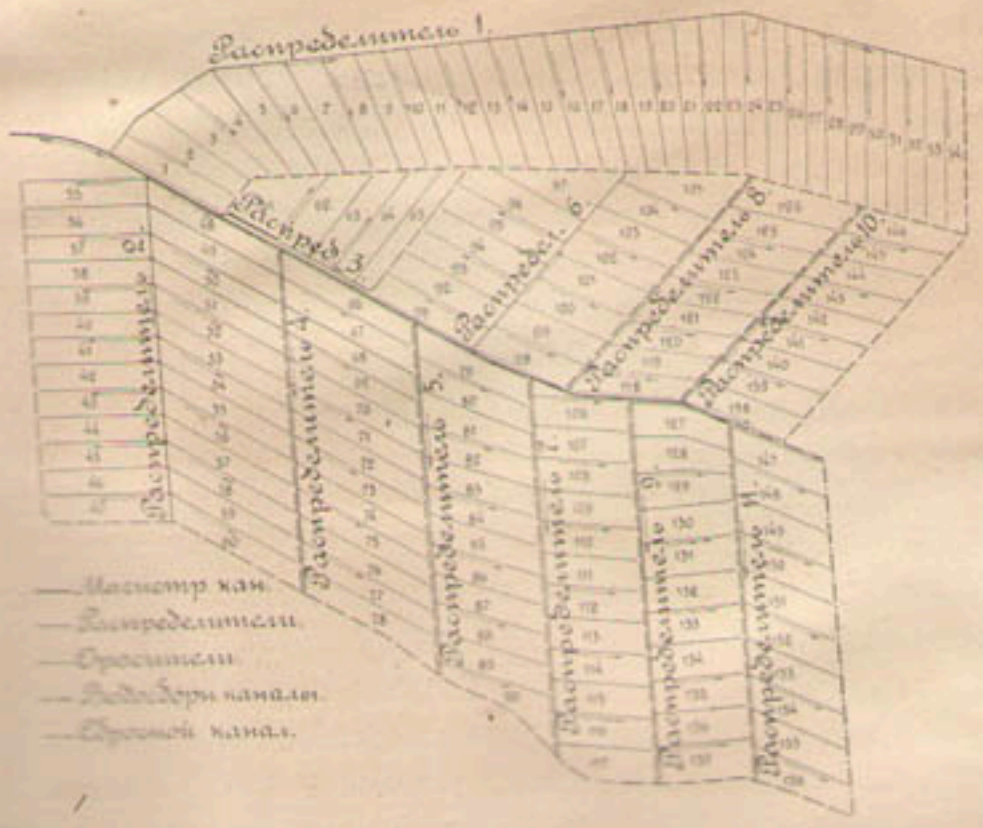
Пример иллюстрирующий схему проектирования. Выше рассмотрены три основных типа водооборота и указаны для них схемы проектирования. Здесь поясним на примере весь ход проектирования и попутно установим дополнительные условия, соблюдение которых облегчит производство распределения воды между водопользователями.

Предположим, что дается:

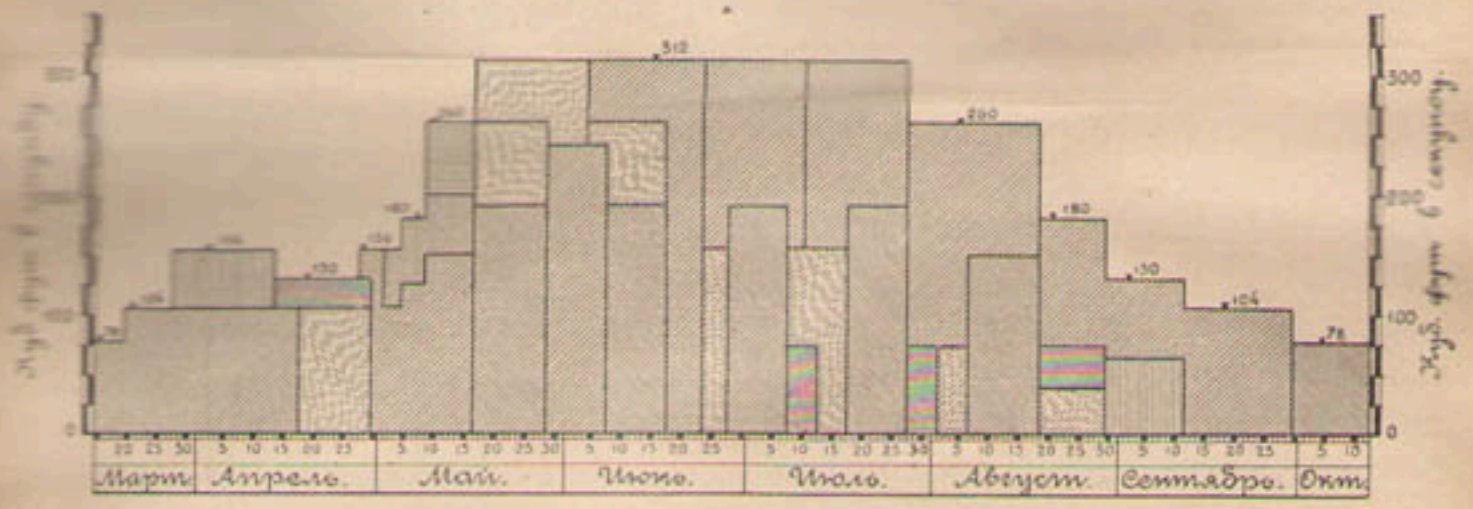
валовая площадь орошения	$\Omega_{вал.} = 20800$ дес.
действительная площадь орошения .	$\Omega_{д.} = 18720$ „
площадь одного среднего хозяйственного надела	8 дес.
хозяйственный ток	$q_0 = 2$ кб. фут./сек

план местности, подлежащей орошению с оросительной сетью, разбитой согласно условиям рельефа (см. черт. 129) и график отдачи воды на поля (см. черт. 130).

Требуется установить рациональный тип водооборота.



Черт. 129. Развернутая схема ирригационной системы.



Черт. 130. График отдачи воды на поля орошения, для системы приведенной на чертеже 129.

Имеющиеся данные позволяют определить число водопользователей N_1, получающих одновременно воду в размере одного хозяйственного тока, при разных полезных расходах главного канала (делением этих расходов на величину хозяйственного тока). Результаты выписаны в ниже помещенной таблице 41. Из этой таблицы видно, что (в период наибольшего потребления воды) $N_{\text{макс.}} = 156$ водопользователям. Следовательно, в этот период одним хозяйственным током может быть орошена площадь, равная $18720 : 156 = 120$ десятинам, т. е. площадь единицы водопользования $\omega_0 = 120$ десятинам.

Определяем далее общее число водопользователей (водных абонентов) на системе (M), исходя из предположений, что каждый поселенец, имеющий площадь надела в 8 десятин, пользуется правами одного водного абонента, при площади надела в 16 десятин—правами двух абонентов и т. д. Таким образом, $M = \frac{\Omega}{8} = 2340$.

Делением общего числа водопользователей $M = 2340$ на N_1 число водопользователей, получающих одновременно воду в разные периоды поливного сезона, получим количество очередей, которое нужно установить на системе для удовлетворения поливной водой всех водопользователей в каждый из периодов поливного сезона (см. таблицу 41).

Величины, обратные числу очередей на системе, дадут характеристики водооборота для каждого из периодов поливного сезона (см. ту же таблицу).

ТАБЛИЦА 41.

№№ по порядку.	ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ОТДЕЛЬНЫХ ПЕРИОДОВ ПОЛИВНОГО СЕЗОНА.	Продолжительность периода, в сутках.	Расходы главного канала в куб. фут., в сек., Q_1^{netto}.	Число $N_1 = \frac{Q_1^{\text{netto}}}{q_0}$ водопользователей, имеющих возможность получить воду одновременно.	Число очередей на системе, при расходе Q_1 $\frac{M}{N_1}$.	Характеристика водооборота $\frac{N_1}{M} =$
I	15—19 марта	5	78	39	60	1/60
II	20—27 марта	8	104	52	45	1/45
III	28 марта—13 апреля . . .	17	156	78	30	1/30
IV	14—27 апреля	14	130	65	36	1/36
V	28 апреля—4 мая	7	156	78	30	1/30
VI	5—8 мая	4	180	90	26	1/26
VII	9—16 мая	8	260	130	18	1/18
VIII	17 мая—27 июля	72	312	156	15	1/15
IX	28 июля—18 августа	22	260	130	18	1/18
X	19—29 августа	11	180	90	26	1/26
XI	30 августа—11 сентября . .	13	130	65	36	1/36
XII	12—29 сентября	18	104	52	45	1/45
XIII	30 сентября—11 октября . .	12	78	39	60	1/60

Рассматривая упомянутую таблицу 41, мы видим, что в период наибольшего потребления воды число водопользователей, получающих воду одновременно, равно 156, количество очередей равно $2340 : 156 = 15$ и главная характеристика водооборота 1 : 15, т. е. в этот период поливного сезона из каждых 15 водопользователей одновременно может получить воду только один. Какой же тип водооборота наиболее целесообразно применить в данной ирригационной системе?

Ни один из элементарных типов в чистом виде провести не удастся по следующим причинам:

а) при водообороте только по главному каналу наибольшее число водопользователей на одном распределителе не должно быть выше 39 и, следовательно, наименьшее число распределителей должно быть $2340 : 39 = 60$, что, судя по имеющейся разбивке сети (см. черт. 129) нецелесообразно;

б) если применять водооборот только по распределителю, то при 11 распределителях (имеющихся в данной ирригационной системе), число водопользователей, получающих одно-

временно воду в районе одного распределителя, например, хотя бы в период от 20 до 27 марта и от 12 до 29 сентября (если даже считать площади командования всех распределителей одинаковыми, что в действительности не имеет места), будет равно $52 : 11 = 4{,}74$ и, следовательно, общее число хозяйств на каждом оросителе не должно превышать этого предела, при условии сохранения водооборота по распределителю в чистом виде. Получается излишне большое число оросителей, что удорожает систему и затрудняет землеустройство;

в) равным образом, водооборот только по оросителю также не дает удовлетворительного решения; возьмем, например, период 15—19 марта и от 30 сентября до 11 октября, число водопользователей, получающих одновременно оросительную воду, равно 39; следовательно, при водообороте по оросителям, число последних не должно быть выше 39. Получается слишком малое количество оросителей и схема сети должна принять вид, не вяжущийся с заданной схемой, установленной соображениями рельефа, землеустройства, колонизационного плана и пр.

Таким образом, в данном случае следует применить один из комбинированных типов водооборота.

Решений может быть несколько. Подойдем к вопросу о типе комбинированного водооборота путем анализа выгодности и целесообразности каждого из трех основных комбинированных типов, а именно: 1) водооборота по распределителю и главному каналу; 2) водооборота по распределителю и оросителю и 3) водооборота по оросителю и главному каналу.

1. Водооборот по распределителю и главному каналу. Вспомним, что в этом случае оросители работают при полной нагрузке и „тактами", так что, если тот или иной ороситель действует, то все его водопользователи получают воду сразу, без всяких очередей и пропускная способность оросителей будет предельно - максимальной. Также вспомним, что в заданной системе имеется 11 распределителей, что величина нормальной единицы водопользования определилась в 120 десятин, что общее число единиц водопользования в системе равно 156 и что в каждой единице водопользования должно находиться 15 нормальных водопользователей.

Для проведения в жизнь комбинированного типа водооборота по главному каналу и распределителям, желательно, чтобы число водопользователей одной единицы водопользования служило общим делителем чисел N_i, то-есть, чисел определяющих количество водопользователей, получающих одновременно воду при разных расходах главного канала; при этом условии число ненормальных единиц водопользования [1]) будет наименьшим и зависящим, главным образом, от условий рельефа. В данном случае таким общим делителем может быть 13, чем определяется необходимое число водопользователей в одной единице. Общее число водопользователей тогда в системе будет $156 \times \times 13 = 2028$, т. е. почти на 14% меньше требуемого.

[1]) Если оставить число хозяйств на оросителе равным 15, то при распределении воды получается такая картина. При N_i, положим, равном 156, поливной водой одновременно возможно удовлетворить $156 : 15 = 10$ целых оросителей и один ороситель в шесть хозяйств. Подобные площади командования оросителей составляют „ненормальные" единицы водопользования, т. е. меньше 120 десятин. Они могут получиться и в результате разбивки сети по рельефным условиям, но могут быть вызваны и требованиями разверстки воды. Конечно, при проектировании надо стремиться к сокращению их числа.

Проследим распределение воды в этом случае для того, чтобы судить о количестве искусственных сооружений и других устройствах, вызываемых исключительно требованиями водооборота. В период от 15 до 19 марта главный канал несет 78 куб. фут./сек. и $N_i = 78 : 2 = 39$ водопользователям; при 13 хозяйствах на оросителе в этот период одновременно могут получать воду водопользователи трех оросителей.

При $N_i = 52$, одновременно полностью снабжаются водой 4 оросителя.
„ $N_i = 78$, „ „ „ „ 6 „
„ $N_i = 65$, „ „ „ „ 5 „
„ $N_i = 90$, „ „ „ „ 6,9 „

При $N_i = 90$ можно давать воду 91 водопользователю, т. е. для 7 оросителей; разница составляет $(1 : 90) \times 100 = 1{,}1\%$, она ничтожна и находится вне пределов точности водомерных устройств.
При $N_i = 130$, одновременно полностью снабжаются водой 10 оросит.
„ $N_i = 156$, „ „ „ „ 12 „

Отсюда заключаем, что главный канал в течение всего сезона должен работать с водооборотом и иметь почти на всем своем протяжении максимальную пропускную способность. В связи с этим для поддержания горизонта воды на требуемой высоте необходимо иметь на канале значительное число поперечных преграждений. Равным образом и распределители должны будут работать всегда с водооборотом и иметь пропускную способность по крайней мере на расход трех оросителей (т. е. 78 куб. фут./сек. плюс потери), во избежание с одной стороны, весьма значительного увеличения земляных работ и с другой,—возрастания числа поперечных преграждений и без того очень значительного.

Также потребуется устройство весьма значительного числа водомеров (если система будет оборудована ими), ибо придется устроить водомерные устройства в головах всех оросителей (156 шт.) и, кроме того, при выпусках из оросителей отдельным водопользователям (2.028 шт.).

2. Водооборот по оросителям и распределителям. Главный канал, как известно, в этом случае работает всегда непрерывным потоком, распределяя имеющийся в нем расход между распределителями пропорционально площадям их командования.

Оросители работают всегда водооборотом; примем наивыгоднейший его вид, то-есть тот случай, когда в ороситель поступает расход в размере одного хозяйственного тока и одновременно получает воду только один водопользователь. Тогда в период наибольшего потребления воды (от 17 мая до 27 июля) ротация будет происходить только по оросителям, распределители же будут работать непрерывным током с расходом в голове, равным величине хозяйственного тока (q_0), умноженной на число оросителей на распределителе (n) плюс потери воды, $Q_{рас.} = nq_0 +$ потери.

При уменьшенных подачах, когда к ротации на оросителе присоединяется водооборот на распределителях, расходы главного канала и каждого из распределителей будут меняться в разные периоды оросительного сезона; они сведены в таблице 42-ой. Главный канал работает непрерывным током без водооборота, поэтому для обеспечения водой распределителей при уменьшенных расходах воды

ТАБЛИЦА 42.

ПЕРИОДЫ ОРОСИТЕЛЬНОГО СЕЗОНА.	Расходы в хозяйственных токах (то есть число хозяйственных токов).											
	Главный канал.	I распред.	II распред.	III распред.	IV распред.	V распред.	VI распред.	VII распред.	VIII распред.	IX распред.	X распред.	XI распред.
15—19 марта	39	8,5	6,5	1,25	3,25	3	3,75	3	2,25	2,75	2,25	2,5
20—27 марта	52	11,33	8,67	1,67	4,33	4	5	4	3	3,67	3	3,33
28 марта—13 апреля	78	17	13	2,5	6,5	6	7,5	6	4,5	5,5	4,5	5
14—27 апреля	65	14	10,83	2,08	5,42	5	6,25	5	3,75	4,59	3,75	4,33
28 апреля—4 мая	78	17	13	2,5	6,5	6	7,5	6	4,5	5,5	4,5	5
5—8 мая	90	19,6	15,0	2,9	7,5	6,9	8,7	6,9	5,2	6,3	5,2	5,8
9—16 мая	130	28	21,67	4,17	10,83	10	12,5	10	7,5	9,16	7,5	8,67
17 мая—27 июля	156	34	26	5	13	12	15	12	9	11	9	10
28 июля—18 августа	130	28	21,67	4,17	10,83	10	12,33	10	7,5	9,16	7,5	8,67
19—29 августа	90	19,6	15,0	2,9	7,5	6,9	8,7	6,9	5,2	6,3	5,2	5,8
30 августа—11 сентября	65	14	10,83	2,08	5,42	5	6,25	5	3,75	4,59	3,75	4,33

необходимо поддерживать горизонт в нем на известном уровне или при помощи поперечных преграждений на канале или путем соответственного поднятия дна канала.

Для развертки воды (в периоды уменьшенных подач), оросители каждого распределителя разбивают на группы, число которых для отдельных периодов оросительного сезона будет различным (см. таблицу 42). Так например, в период 15—19 марта оросители должны быть разбиты на 4 группы, в период 20—27 марта—на 3 группы, в период 28 марта—13 апреля—на 2 группы и т. д.

Такую операцию комбинированной развертки, конечно, возможно провести только при наличии на распределителях поперечных преграждений, количество которых будет зависеть от длины и уклонов самих распределителей.

Количество водомерных устройств на системе в этом случае водооборота будет сравнительно невысоким. Измерение воды будет производиться в голове каждого распределителя (11 водомерных устройств) и, кроме того, в голове каждого оросителя также необходимо поставить водомеры (156 штук).

3. Водооборот по главному каналу и оросителям Примем, как и в предыдущем типе, водооборот на оросителях наивыгоднейшего для них вида, то-есть, что они будут работать расходом, необходимым для одновременной подачи воды только одному водопользователю. В таком случае, в период наибольшего потребления воды (от 17 мая по 27 июля), водооборот будет применяться только на оросителях, каждый же из распределителей будет нести свой полный расход для этого типа водооборота, равный величине хозяйственного тока, умноженной на число оросителей данного распределителя плюс потери на самом распределителе и оросителях ($Q_{рас} = nq_0 +$ потери).

В остальные периоды оросительной кампании к упомянутой развертке на оросителях присоединится развертка на главном канале, распределители начнут работать „тактами", то-есть они или будут получать свой полный расход, достаточный для одновременного питания всех своих оросителей или будут совсем выключены. Для этой цели распределители придется разбивать на группы, число которых, завися от величины характеристики водооборота, будет неодинаковым для разных периодов поливного сезона. Наибольшее количество групп, соответствующее периоду 15—19 марта равно четырем, затем в период 20—27 марта—трем, в период 28 марта—13 апреля—двум и т. д.

Для направления воды при разных комбинациях в ту или иную группу распределителей на главном канале необходимо устроить несколько поперечных преграждений. Количество водомерных устройств будет такое же, как и в предыдущем типе разверстки, они должны быть устроены в шлюзе каждого распределителя (11 штук) и в голове каждого оросителя (156 штук).

Какой же из трех разобранных комбинированных типов водооборота будет наиболее целесообразным и выгодным?

При применении первого типа величина одного хозяйства должна увеличиться, благодаря чему общее число водопользователей на системе должно уменьшиться почти на 14%; при втором и третьем типах величина хозяйства и общее их число, определенные из других соображений, остаются теми же.

В первом типе оросители должны иметь предельно-наибольшую пропускную способность, во втором и третьем, наоборот, предельно наименьшую.

В первом типе ротация происходит всегда, то-есть в течение всего оросительного сезона, по двум элементам ирригационной сети; во втором и третьем—водооборот по двум элементам имеет место лишь при уменьшенных подачах воды, в период же наиболее острой нужды в оросительной воде водооборот применяется только на одном элементе сети—на оросителях. С точки зрения эксплоатации это обстоятельство дает большие преимущества второму и третьему типам водооборота.

Главный канал, в первом типе, имеет предельно-наибольшую пропускную способность почти на всем своем протяжении; кроме того, он должен иметь наибольшее число поперечных преграждений; во втором и третьем типах пропускная способность концевой части главного канала может быть меньшей.

Пропускная способность распределителей в первом типе водооборота выше, чем во втором и третьем, имеющих одинаковую пропускную способность; причем на распределителях в первом и втором типах необходимо устраивать значительное число поперечных преграждений; в третьем же типе число поперечных преграждений может быть доведено до минимума. Это обстоятельство дает значительный перевес в пользу третьего типа, как в смысле первоначальных затрат, так, главным образом, и в эксплоатационном отношении.

Наконец, первый тип комбинированного водооборота требует постановки очень большого числа водомеров (2184 шт.) при втором и третьем типе число их будет значительно меньше.

Из приведенного краткого сопоставления ясно видно, что из трех комбинированных типов водооборота наиболее выгодным во всех отношениях является третий, то-есть водооборот по оросителю и главному каналу, и самым нерациональным первый тип—по главному каналу и распределителю.

Итак, окончательно принимаем водооборот по главному каналу и оросителю при условии, что в период наибольшего потребления воды разверстка будет происходить только по оросителю и в каждый ороситель будет поступать расход в размере одного хозяйственного тока (2 кб. ф./сек. плюс потери по оросителю). В период уменьшенных подач к разверстке по оросителю будет присоединяться разверстка по главному каналу, при чем вид разверстки по оросителю не будет меняться.

Установив желательный тип водооборота, приступим к составлению детального плана разверстки воды, при чем рассмотрим в отдельности разные периоды оросительного сезона.

I. Начнем с периода 15—19 марта; характеристика водооборота (см. таблицу 41) для этого периода 1 : 60, число водопользователей получающих одновременно воду $2340 \times {}^{1}/_{60} = 39$; число очередей, которые нужно установить на системе = 60; количество очередей на оросителях при принятом условии их работы, равно 15, следовательно (60 : 15) 4 очереди надо установить при разверстке по главному каналу. Распределители надо разбить на такие четыре группы, чтобы в каждой было 39 оросителей:

I группа. Распределители **1** и **3** с числом оросителей $34 + 5 = 39$.

II группа. Распределители **2** и **4** с числом оросителей $26 + 13 = 39$.

III группа. Распределители **5**, **6** и **7** с числом оросителей $12 + 15 + 12 = 39$

IV группа. Распределители **8**, **9**, **10** и **11** с числом оросителей $9 + 11 + 9 + 10 = 39$.

Продолжительность всего периода 5 суток; каждая группа будет получать воду в течение $5 : 4 = 1{,}25$ суток, то-есть в течение 30 часов, каждый водопользователь — в продолжении $30/15 = 2$ часов.

II. Период от 20 по 27 марта, продолжительностью 8 суток; характеристика водооборота $1 : 45$, N_1 — число одновременно получающих воду водопользователей $= 2.340 \times {}^1/_{45} = 52$ и число очередей на системе $1 : {}^1/_{45} = 45$; при 15 очередях на оросителях необходимо будет по главному каналу установить $(45 : 15)$ 3 очереди, для чего распределители надо соединить в три группы по $156 : 3 = 52$ оросителя.

I группа. Распределители **1**, **3** и **4** с числом оросителей $34 + 5 + 13 = 52$.

II группа. Распределители **2**, **5** и 14 ор. **6**-го с числом оросителей $26 + 12 + 14 = 52$.

III группа. Распределители **7**, **8**, **9**, **10**, **11** и 1 ор. **6**-го с числом оросителей $12 + 9 + 11 + 9 + 10 + 1 = 52$.

Каждая группа распределителей получит причитающуюся ей воду в $8 : 3 = 2^2/_3$ суток, или в течение 64 часов; каждый водопользователь—в течение $64 : 15 = 4$ час. 16 минут.

Обратим здесь внимание на то обстоятельство, что для разбивки распределителей на три группы, одинаковых по количеству потребляемой ими воды, один ороситель (например, ороситель „а" в 6 распределителе) необходимо устроить так, чтобы он имел самостоятельный шлюзик из главного канала, открываемый и закрываемый одновременно с группой тех распределителей, с которой он должен одновременно работать. Прием этот,—простой по мысли, — является очень удобным при развертках оросительной воды. Конечно, могут быть случаи, когда таким образом потребуется устроить выпуски для двух или более оросителей.

III. Период от 28 марта по 13 апреля, продолжительностью 17 суток. Характеристика водооборота ${}^1/_{30}$, число водопользователей, получающих одновременно воду $= 2.340 \times {}^1/_{30} = 78$; количество очередей на системе 30; при 15 очередях на оросителях число очередей на главном канале будет равно $(30 : 15)$ 2, для чего распределители надо соединить в две группы по $156 : 2 = 78$ оросителей в каждой.

I группа. Распределители **1**, **2**, **3** и **4** с числом оросителей $34 + 26 + 5 + 13 = 78$.

II группа. Распределители **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10** и **11** с числом оросителей $12 + 15 + 12 + 9 + 11 + 9 + 10 = 78$.

Каждая группа распределителей будет получать воду в течение $17 : 2 = 8{,}5$ суток $= 204$ час. и каждый водопользователь — в течение $204 : 15 = 13$ час. 36 мин., или цикл повторить два раза и тогда каждый водопользователь получит воду в два срока по 6 час. 48 мин. продолжительностью каждый.

IV. Период 14—27 апреля, продолжительностью 14 суток, характеристика водооборота $1 : 36$, $N_1 = {}^1/_{36} \times 2340 = 65$ водопользователей

и число очередей на системе $1 : {}^1/_{36} = 36$. При 15 очередях на оросителях необходимо было бы установить $36 : 15 = 2\ {}^6/_{15} = 2^2/_5$ очереди на главном канале, и распределение получилось бы довольно сложным; чтобы упростить это последнее, можно прибегнуть к следующему способу. Величину хозяйственного тока q_0 изменяем так, чтобы и на главном канале можно было получить целое число очередей. Если, например, взять на главном канале 2 очереди [1]) (ближайшее целое к $2^2/_5$), то всего очередей на системе будет $2 \times 15 = 30$, характеристика водооборота $1 : 30$ и $N_1 = 2340 \times {}^1/_{30} = 78$ водопользователям. Величина хозяйственного тока q_x определится из следующего очевидного уравнения:

$$65 \times q_0 = 78 \times q_x, \quad \text{откуда } q_x = \frac{65 \times 2}{78} = 1{,}7 \text{ куб. фут./сек.}$$

Соединение распределителей по группам может быть таким же, как и в предыдущем случае.

Как видно из кривой потребления, в продолжение периода 14 — 27 апреля необходимо предвидеть два цикла водооборота. Продолжительность первого цикла будет равна 4 суткам, каждая группа распределителей будет получать воду в течение $4 : 2 = 2$ суток $= 48$ часов, и каждый водопользователь—в течение $48 : 15 = 3$ час. 12 мин.

Продолжительность второго цикла будет равна 10 суткам, каждая группа распределителей будет работать в течение $10 : 2 = 5$ суткам $= 120$ часов и каждый водопользователь будет получать воду в течение $120 : 15 = 8$ часов.

V. Период 28 апреля — 4 мая, продолжительностью 7 суток, характеристика водооборота $1 : 30$, т. е. та же размерность, как в 3-ем периоде (с 28 марта—13 апреля), причем цикл повторяется, согласно кривой потребления, три раза: первый цикл продожительностью 2 суток, каждая группа распределителей получает воду в течение $2 : 2 = 1$ суток и каждый водопользователь в течение $24 : 15 = 1$ час. 36 минут; второй цикл так же, как и первый, завершается тоже в 2 суток, третий цикл имеет продолжительность 3 суток, каждый водопользователь получает воду в течение $\frac{3 \times 24}{2 \times 15}$ час. $= 2$ час. 24 мин.

VI. Период 5—8 мая, продолжительностью 4 суток; характеристика водооборота $1 : 26$, $N_1 = {}^1/_{26} \times 2340 = 90$ и число очередей $1 : {}^1/_{26} = 26$. При 15 очередях на оросителях число очередей на главном канале будет $26 : 15 = 1\ {}^{11}/_{15}$. Так же, как и в п. 4, во избежание довольно сложной и путаной разверстки воды, примем на главном канале целое число очередей, например, 2 [2]) (ближайшее целое число к $1^{11}/_{15}$).

---

[1]) Можно взять и 3 очереди на главном канале; тогда на основании аналогичных рассуждений величина хозяйственного тока получилась бы в 2,5 куб. фут./сек.

[2]) При 3 очередях на главном канале величина хозяйственного тока $\frac{2 \times 90}{52} = 3{,}5$ куб. фут./сек. и продолжительность отпуска таким током воды каждому водопользователю составит

$$\frac{4}{3 \times 15} \text{ сут.} = \frac{4 \times 24}{3 \times 15} \text{ час.} = 2 \text{ час. } 8 \text{ минут.}$$

Тогда число очередей на системе $2 \times 15 = 30$, характеристика водооборота $1 : 30$, $N_i = {}^1/_{30} \times 2340 = 78$ и величина хозяйственного тока определится из уравнения:

$$2 \times 90 = q_x \times 78, \text{ откуда } q_x = \frac{180}{78} = 2{,}3 \text{ куб. фут./сек.}$$

Распределители разбиваем на две группы, как в п. III. Продолжительность очереди на главном канале $4 : 2 = 2$ суток и каждый водопользователь будет получать воду током в 2,3 куб. фут./сек. в течение $\frac{2 \times 24}{15}$ час. $= 3$ час. 12 мин.

VII. Период 9 мая — 16 мая продолжительностью 8 суток; характеристика водооборота $1 : 18$, $N_i = {}^1/_{18} \times 2340 = 130$ водопользователям и число очередей на системе 18. При 15 очередях на оросителях число очередей на главном канале $18 : 15 = 1\ {}^3/_{15}$. Если принять ближайшее целое к этому числу, то есть единицу, то можно будет на главном канале очередей не устраивать; тогда в каждый ороситель вода будет поступать током $\frac{130 \times 2}{156} = 1{,}67$ $\frac{\text{кб. ф.}}{\text{сек.}}$; если почему либо нежелательно, чтобы хозяйственный ток был меньше 2 кб. ф./сек., то следует установить на главном канале две очереди. Тогда характеристика водооборота будет $\frac{1}{2 \times 15} = {}^1/_{30}$, $N_i = 2340 \times {}^1/_{30} = 78$ и величина хозяйственного тока из уравнения:

$$130 \times 2 = 78 \times q_x, \text{ будет } q_x = \frac{260}{78} = 3{,}3 \text{ кб. ф./сек.}$$

Распределители разбиваем на две группы, как в п. III. Продолжительность очереди на главном канале $8 : 2 = 4$ суткам, и каждый водопользователь будет получать воду током в 3,3 кб. ф./сек. в продолжение $\frac{4 \times 24}{15}$ час. $= 6$ час. 24 мин.

VIII. Период 17 мая—27 июля наибольшего потребления воды, продолжительность 72 суток. Характеристика водооборота $1 : 15$, $N_i = N_{max} = 156$, число очередей на системе 15, следовательно, водооборот будет только на оросителях. Согласно графику отдачи воды, в течение данного периода должно иметь место 10 циклов водооборота:

1-ый цикл водооборота должен продолжаться 12 суток, каждый водопользователь будет получать воду в течение $t = {}^{12}/_{15}$ сут. $=$ $= 19$ час. 12 мин.

2-ой цикл водооборота должен продолжаться 7 суток, $t = {}^7/_{15}$ сут. $=$ $= 11$ час. 12 мин.

3-ий цикл водооборота должен продолжаться 3 суток, $t = {}^3/_{15}$ сут. $=$ $= 4$ час. 48 мин.

4-ый цикл водооборота должен продолжаться 10 суток, $t = {}^{10}/_{15}$ сут. $=$ $= 16$ час.

5-ый цикл водооборота должен продолжаться 6 суток, $t = {}^6/_{15}$ сут. $=$ $= 9$ час. 36 мин.

6-ой цикл водооборота должен продолжаться 4 суток, $t = {}^4/_{15}$ сут. $=$ $= 6$ час. 24 мин.

7-ой цикл водооборота должен продолжаться 10 суток, $t = {}^{10}/_{15}$ сут. $=$ $= 16$ час.

8-ой цикл водооборота должен продолжаться 5 суток, $t = {}^{5}/_{15}$ сут. = = 8 час.

9-ый цикл водооборота должен продолжаться 5 суток, $t = {}^{5}/_{15}$ сут. = = 8 час.

10-ый цикл водооборота должен продолжаться 10 суток, $t = {}^{10}/_{15}$ сут. = = 16 час.

Итого за период — 72 суток, $t = {}^{72}/_{15}$ сут. = 115 час. 12 мин.

Таким же способом следует произвести дальнейшие подсчеты для остальных периодов оросительного сезона. Затем, на основании полученного плана распределения воды для каждого из периодов оросительного сезона, легко уже будет составить полное расписание отпуска воды, как каждой группе распределителей, так и каждому водопользователю.

Весь полученный план распределения воды следует для наглядности свести в одну таблицу, можно также представить его в виде графиков работы отдельных распределителей и в виде графика отдачи воды из типового оросителя отдельным водопользователям.

При распределении воды, как видно из предыдущего, приходилось менять хозяйственный ток, придавая ему величину в 2 кб. ф./сек., в 2,3 кб. ф./сек. и 3,3 кб. ф./сек. Очевидно, что водомерные устройства на оросителях должны быть сконструированы соответствующим образом.

Особые методы подачи воды.

Очень редко, но встречаются способы подачи воды, не похожие на вышеописанные. Применимость их определяется наличием особых условий:

1. В пористых почвах, свободных от солей, вода, фильтрующаяся через смоченную поверхность каналов, может поднять горизонт грунтовых вод настолько высоко, что поверхностной подачи воды может и не потребоваться. Там, где можно управлять высотой стояния грунтовых вод, этот вид подачи воды (к корневой зоне растений) вполне применим. Вся операция по подаче воды заключается в этом случае в доставке на фильтрующие участки такого количества воды, которое необходимо для поддержания уровня грунтовых вод (под всей площадью, предположенной к культуре) на желаемой высоте. Подача в этих случаях обыкновенно непрерывная. Надо иметь в виду, что, при таком способе, орошение одной части системы обычно сопровождается заболачиванием других, нижележащих частей.

2. В районах, где вода очень дорога (в виду ее недостатка и большой потребности в ней), подача воды производится не открытыми каналами, а трубопроводами, а затем дождеванием через особые приборы. Вопросу орошения дождеванием посвящена специальная глава, в которой подробно излагается как сущность этого способа, так и сферы применения, поэтому здесь мы не будем на нем останавливаться.

Заключение.

Обширная ирригационная практика различных стран ясно выражает повсеместное стремление к введению водооборота в том или другом его виде. Сперва признавалась выгодность применения этого способа водопользования только в системах с небольшими наделами отдельных водопользователей и с такими условиями, при которых возможно употребление хозяйственных токов большой величины. В настоящее время этот способ считается наиболее рациональным и при хозяйственных токах небольшой величины.

Вполне понятно, что способ непрерывной подачи с успехом применяется в первые годы эксплоатации вновь сооруженных систем, когда их загрузка мала (т. е., когда только часть нового района орошения заселена, а остальная площадь остается еще неиспользованной). Пропускная способность каналов и наличие достаточного количества воды допускают в этом случае применение этого способа. Однако, по мере заселения района, ценность воды поднимается и появляется тенденция к введению других, более экономичных, способов подачи воды. Наконец, эта тенденция переходит в сознание насущной необходимости введения водооборота в системе.

Обычно в старых системах (в которых площадь, нуждающаяся в орошении, значительно превышает оросительную способность источника орошения, так сказать, в системах перегруженных водопользователями) мы встречаемся с водопользованием, основанным на водообороте того или иного вида.

Примером могут служить хотя бы наши Туркестанские старинные системы в тех районах, где воды мало. Возьмем, например, систему Сохи: площадь действительного орошения — 88.220 десятин, магистральных арыков, получающих воду из Соха, — 89. Число отдельных земельных участков (водопользователей) М — 68.608. Число кишлаков (поселков) — 483, кроме того из этой же системы получает воду для орошения и водоснабжения город Коканд. Оросительный сезон начинается с 1-го марта; начиная с этого момента и до паводка (примерно до 15-го июня) существует очередное пользование водою, затем вводится совместное общее пользование водою вплоть до спада паводка. С конца высоких вод (начало августа) и до конца оросительного сезона (до середины октября) устанавливается снова очередное водопользование. Водооборот состоит в том, что магистральные арыки разбиваются на две группы, (верхнюю, объединяющую 38 арыков и нижнюю — 51 арык) и вводятся две очереди пользования водою из реки Соха (водооборот по реке Соху); последний в этом случае играет роль магистрального канала Сохской системы. Продолжительность каждой очереди — 7 дней. Ряд водопользователей, в том числе и город Коканд, не участвует в ротации и получает воду все время. На верхнюю очередь подается — 25 таш [1]), на нижнюю 113 таш, на город Коканд и других постоянных водопользователей 10 + 30 = 40 таш.

[1]) Уездная администрация принимала 1 таш = 5 кб. ф./сек., фактически же при измерениях эта величина колебалась (в различных случаях) от 5 до 7 кб. ф./сек.

Переход от одного способа подачи воды к другому, если он не предусмотрен проектом, всегда требует весьма больших усилий, как со стороны поселенца-водопользователя, так и со стороны эксплоатационного штата. Водопользователи свыкаются с прежними приемами, мельчайшая оросительная (полизная) сеть на каждом участке, приспособленная для подачи воды непрерывным расходом, будет нуждаться в переустройстве, наконец, потребуются изменения в самом способе подготовки земли под полив. Очевидно, поселенцу придется произвести большую дополнительную работу. От Управления системой введение нового способа подачи воды (водооборота) потребует предварительного составления проекта приспособления существующей системы к тому виду водооборота, который предполагается установить; могут потребоваться расширение пропускной способности каналов, поднятие горизонта, устройство в некоторых пунктах поперечных преграждений и проч. После этого должен быть выработан эксплоатационный план (на несколько лет) перехода от существующего способа водопользования к новому и затем этот план должен вводиться постепенно в жизнь.

В течение переходного периода может потребоваться смешанный способ подачи: одни будут получать воду непрерывным током, другие водооборотом, при чем хозяйственный ток будет применяться различной величины в зависимости от навыка водопользователя. Очевидно, можно избежать многих расходов и неприятностей, если наиболее выгодная величина хозяйственного тока определяется заранее, до подготовки поселенцем его участка, ибо это позволит ему с самого начала приспосабливать свою сеть к указанной величине тока.

Введение водооборота в уже существующей ирригационной системе сильно облегчается, если площадь, обслуживаемая этой системой, только частично заселена и каналы имеют свободную пропускную способность.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ризенкампф, Г. К. Опыт создания теории водооборота в ирригационных системах.
2. Harding, S. Operation and Maintenance of Irrigation Systems. Глава IV.—1917 г.
3. Levy Salvador, P. et Frick, P. Hydraulique agricole. Часть II.—1923 г.
4. Barois, I. Les irrigations en Egypte. Глава VI. 1911 г.
5. Buckley, R. The Irrigation Works of India. Глава XV.—1905 г.
6. Brown, H. Irrigation. Глава X.—1907 г.
7. Adams, F. Delivery of Water to Irrigators.—1910.—Bull. 229. Office of Experiment Stations, U. S. Dep. of Agriculture.
8. Hanna, F. Irrigation Management, Engineering News, Feb. 12.—1912 г.
9. Stockon, K. Management of Irrigation Systems, Engineering and Contracting. Jan. 28, 1914 г.
10. Pyle, F. Rotation versus Continuous Flow, Reclamation Record, January,—1916 г.
11. Operation of Main Canal, Laterals and Distribution Systems, Series of Discussions 1913 Conference of Operating Engineers, U S., Montana, Great Falls.

Глава XII.

Магистральные каналы.

Введение.

Как уже указывалось в главе V, функции магистрального канала заключаются в транспортировании воды, забранной из источника орошения, в район орошения для передачи ее в распределительные каналы. Начальная часть канала, от головного сооружения до пункта, начиная с которого канал получает командование над окружающей местностью, имеет, очевидно, чисто транзитное назначение и потому носит название „холостой". Построив график потребления воды ирригационной системой из источника орошения, мы, очевидно, получим задания для расчета пропускной способности холостой части канала, а также полное представление о предстоящем режиме канала, так как график потребления воды является одновременно и графиком режима, то-есть, графиком, показывающим, какой расход воды будет проноситься через холостую часть канала в различные моменты времени. В остальной своей части магистральный канал не только должен исполнять транзитные функции, но и функции водораспределения. Эта часть канала носит название „рабочей". Для проектирования в этом случае необходимо предварительно установить, кроме графика потребления воды, тип водооборота в будущей системе и разбить распределительную и мелкую сеть в плане; во всяком случае, план должен быть разбит настолько подробно, чтобы места отхода распределителей от магистрального канала и площади их командования наметились бы с достаточной точностью. Последнее необходимо для определения расходов воды, которыми должны быть обеспечены распределители, а также для установления горизонтов воды в них, требующихся для командования местностью. Знание расходов воды, которые должны поступать в известные периоды времени из магистрального канала в различные распределители, а также горизонтов, при которых вода должна подаваться, позволит установить (при принятом типе водооборота) требующийся режим рабочей части магистрального канала. Здесь надо отметить, что режим магистрального канала в рабочей части весьма сложен, что приходится перебрасывать большие расходы воды, в связи с водооборотом, на разные перегоны канала для удовлетворения водопотребности действующих в данный момент распределителей. В главе XI даны методы определения расходов распре-

делителей при принятом виде водооборота. В главе XIII даются методы разбивки распределительной и мелкой сети, способы определения требующихся горизонтов и расходов воды в распределителях. Поэтому, устанавливая в дальнейшем режим магистрального канала в рабочей части, будем считать, что расходы ($Q_{рас.}$) и горизонты ($H_{рас.}$) в голове каждого распределителя, берущего воду из магистрального канала, известны.

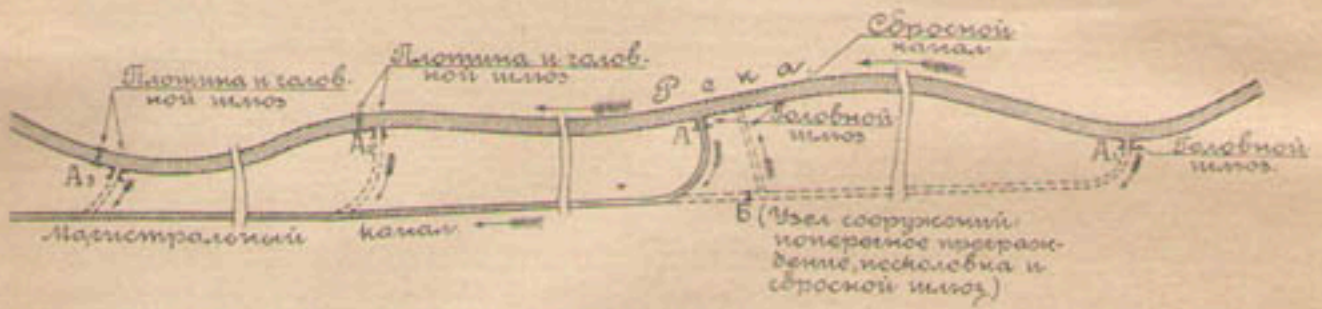
Итак, магистральный канал разбивается на холостую и рабочую части. Начальный (головной) участок холостой части канала также приходится иногда выделять и рассматривать отдельно в виду специальных функций, осуществляемых им; головной участок должен быть так запроектирован, чтобы как можно меньшее количество наносов могло попасть из реки в канал и чтобы песчаные фракции наносов, все-таки, попавшие в канал, могли осесть непосредственно за головным сооружением и затем быть смыты из канала в реку. Поэтому следует различать не две, а три части магистрального канала:

1. Головной участок, иногда называемый подводящей частью.
2. Холостую часть.
3. Рабочую часть.

Рассмотрим в дальнейшем эти части отдельно.

Головной участок магистрального канала.

В главе IX был дан способ определения на продольном профиле, а, следовательно, и на плане реки того пункта, откуда вода может быть



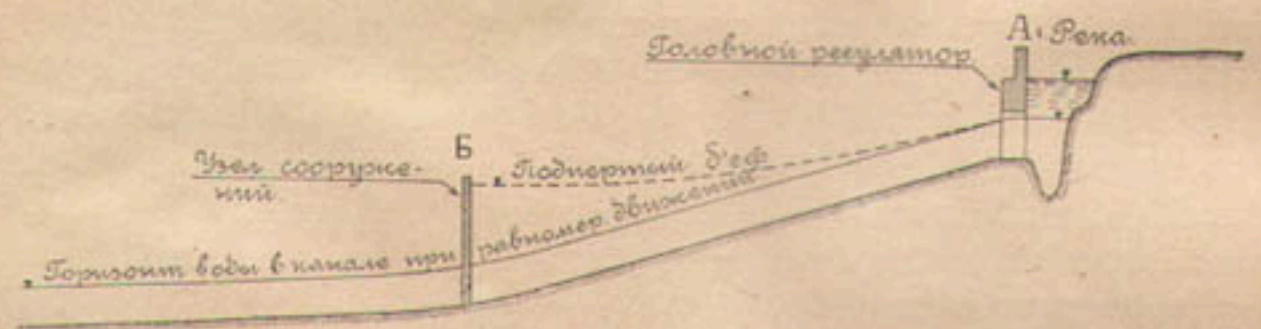
Черт. 131. Схема расположения головных сооружений по различным вариантам.

выведена самотеком в магистральный канал для орошения всей намеченной площади. Однако, при выборе места для устройства головного сооружения необходимо принимать во внимание еще целый ряд других существенных требований, предъявляемых этими сооружениями, поэтому определенный вышеуказанным способом пункт (положим, пункт А, см. черт. 131) не следует рассматривать как обязательное месторасположение головных сооружений, они могут быть устроены и выше, и ниже по реке, (положим в пункте A_1, A_2 или A_3).

В первом случае, магистральный канал должен быть протянут вверх по реке от пункта А к пункту A_1, (см. черт. 131 и 132) при чем на

этом протяжении он может иметь, очевидно, более крутые уклоны, позволяющие, с одной стороны, не зарываться глубоко в землю, а с другой — использовать участок канала $A_1Б$ для уловления песчаных частиц, попадающих из реки в канал, и для смыва их обратно в реку (черт. 131 и 133).

Черт. 132. Схематичный продольный разрез по реке с показанием головных сооружений по различным вариантам.



Черт. 133. Схематичный продольный разрез магистрального канала на участке $A_1Б$ (см. черт. 131).

Во втором случае, длину магистрального канала можно уменьшить за счет искусственного подъема, путем устройства плотины, горизонта воды в реке до уровня, обеспечивающего самотечное питание магистрального канала. Чем ниже по течению будет устроена плотина, тем короче будет головная часть магистрального канала, но тем более высокой должна быть сама плотина (случай A_2 и A_3, см. черт. 131 и 132).

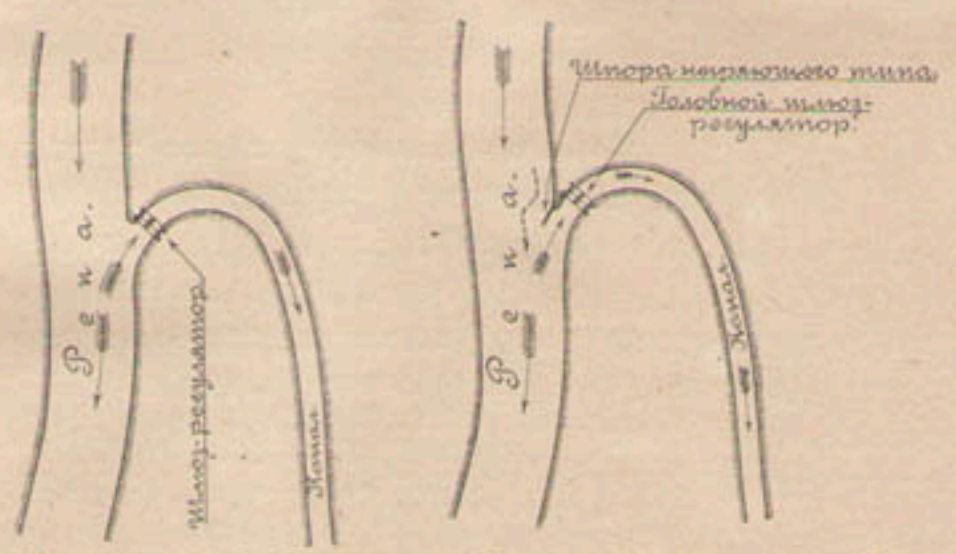
При установлении месторасположения головных сооружений необходимо руководствоваться, помимо экономических, еще целым рядом других соображений, а именно:

1. Головные сооружения должны быть обеспечены от подмыва рекой, поэтому их следует устраивать на прочном основании, в „крепком", неразмываемом или медленно размываемом берегу. Если такого берега нет по близости, если экономически невыгодно тянуть канал далеко вверх по реке и, наконец, если невозможно воспользоваться лежащим ниже по течению крепким руслом реки для устройства в нем водоподъемной плотины, то приходится устраивать головные сооружения в том грунте, который имеется; однако, при этом должен быть тщательно разработан вопрос об укреплении прилегающего берега шпорами, защищающими его от размыва.

2. Весьма важно, чтобы головные сооружения примыкали к реке в том месте, где количество наносов в ней (катящихся, а также взвешенных, тех фракций, которые нежелательно пускать в канал) уменьшается до минимума. Как объяснено в главе XVIII, таким условиям удовлетворяют участки реки в конце отмелей и островов. Не следует устраивать голову канала сейчас же за порогами на реке и, вообще, в тех пунктах ее, где течение взбаламученное, а также на тех участках, где происходит размыв песчаных берегов или начало образования островов и отмелей. В этих местах взвешенные наносы крупных фракций распределяются по всему сечению, так что вместе с водою они будут неминуемо попадать в канал.

3. Для защиты канала от попадания в него из реки катящихся и очень крупных фракций взвешенных наносов (песка) рационально устраивать, (как указывается в главе XVIII), в головном регуляторе высокий порог над дном реки; иногда его приходится поднимать до 2—3-х метров. Очевидно, в связи с этим, необходимо голову канала заложить выше пункта А, так как последний определен при условии плавного, беспрепятственного попадания воды из реки. Во избежание попадания крупных наносов в канал, устраивают иногда головную часть канала в виде петли (как это указано на черт. 134); в этом случае головной регулятор можно устраивать без высокого порога, но с большим отверстием в свету. Для усиления действия петли устраивают у головы канала с верховой стороны шпору ныряющего типа (см. черт. 135).

Значение этих мероприятий объясняется также в главе XVIII.



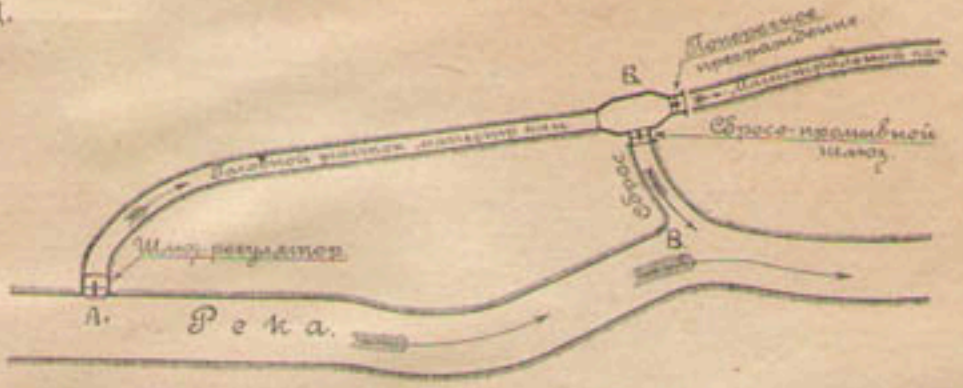
Черт. 134 и 135. Схемы устройства головной части канала петлей (без шпоры и со шпорой ныряющего типа).

4. Если вблизи пункта А нельзя найти место, удовлетворяющее вышеизложенным условиям, то необходимо, в общем случае, рассмотреть два варианта: а) перенесение головы вверх по течению в пункт A_1, отвечающий поставленным требованиям и б) перенесение головы вниз по течению в место, удобное для постройки плотины. Часто, однако, второй вариант может быть сразу отброшен, например, когда расход реки, по сравнению с рас-

ходом канала, велик, так что неэкономичность применения плотины делается очевидной и т. п., в этом случае остается один — первый вариант.

Благодаря тому, что канал на участке A_1—А может быть устроен с более крутым уклоном (ибо нет оснований экономить в „горизонте", так как командование площадью, предназначенной под орошение, обеспечено), получается возможность создать особый бьеф, через который вода, поступившая из реки в канал, будет обычно проходить медленным током и с большими глубинами, при чем скорость течения (v) и глубину потока (h) можно подобрать в таком соотношении, что выпадение из потока всех песчаных взвешенных частиц, по величине выше предельных размеров, будет обеспечено (способ описан в главе XVIII, там же указывается, что за предельную величину можно принять фракции наносов, падающие в спокойной воде со скоростью 3 сантиметров в 1 секунду). Для этого, на канале (см. черт. 131, 133 и 136) в точке Б устраивается поперечное прегражденне, при помощи которого можно создать в пределах участка A_1 Б подпор требуемой величины, обеспечивающий эффект выпадения опасных фракций наносов. Таким образом, если даже в пункте A_1 река не будет свободна от песчаных наносов, ирригационная система все же будет охранена от них, благодаря подпорному бьефу A_1Б. Наносы, выпадающие из водного потока, протекающего по участку A_1Б, будут откладываться на дне канала, отложения будут расти и могут принять значительные размеры, поэтому необходимо обеспечить возможность легкого и дешевого удаления этих наносов. Это можно сделать следующим образом. В пункте Б, кроме поперечного прегражденния, необходимо устроить сброс на максимальный, или, даже, несколько больший, расход магистрального канала. Закрывая поперечное прегражденне, то-есть, не давая доступа воде в нижележащую часть канала, открывают сбросной шлюз и пропускают через него в сбросной канал (впадающий в реку) большие массы воды со скоростями, обеспечивающими смыв; головной шлюз - регулятор при этом остается открытым. Постепенно кривая подпора заменится кривой спада, образуются большие донные скорости на участке A_1Б и начнется смыв наносов. Если дальше будет продолжаться пропуск воды через сбросной шлюз, то на участке A_1Б образуется равномерное течение, при чем скорость движения воды будет зависеть от уклона дна канала, гидравлического радиуса живого сечения и от пропускаемого по каналу промывного расхода. Для того, чтобы смыв наносов мог продолжаться, необходимо, чтобы скорость течения промывающего потока, как в сбросном канале, так и на участке A_1Б магистрального канала, нигде не падала бы ниже 1,30—1,50 метра в секунду. Особенно благоприятно на ускорение смыва наносов влияет быстрое увеличение поверхностного уклона. Чем длиннее участок A_1Б, тем большая будет иметься емкость для осаждения наносов и тем реже, следовательно, можно будет производить промыв, что очень важно, так как во время промывной операции магистральный канал остается без воды и орошение временно приостанавливается. Узел сооружений на канале (Б) должен быть расположен в таком месте, чтобы сброс БВ из магистрального канала в реку, имел кратчайшую длину и

чтобы подпор со стороны реки (в точке В), во время высоких вод, не аннулировал действия сброса (см. черт. 136). Последнее условие требует, чтобы горизонт воды в пункте Б, при равномерном течении, был выше горизонта подтопа, распространяющегося по сбросному каналу ВБ от реки в период высоких вод.



Черт. 136. Схема головного участка магистрального канала с устройством в конце его сооружений, обеспечивающих освобождение водного потока от песчаных фракций наносов.

Вместе с этим надо иметь в виду, что, допуская или, вернее, создавая во время промыва на участке $A_1Б$ большие скорости (не менее 1,30 – 1,50 метра в секунду при равномерном движении и еще большие при кривых спада), необходимо принять меры против размыва русла канала, за исключением, конечно, тех случаев, когда головной участок проложен в скалистом или конгломератном или, вообще, в грунте, не подвергающемся размыву при скоростях около 1,5 метров (5 фут.) в секунду. Укрепление дна и откосов смоченной поверхности головного участка можно произвести одиночной мостовой, совершенно достаточной для указанных скоростей. Материал для мощения (булыжник) имеется обычно под руками на месте, так что такой тип укрепления будет наиболее дешевым. Благодаря тому, что канал в головной части проходит, в большинстве случаев, в глубокой выемке, приходится считаться с возможным притоком грунтовых вод в то время, когда канал не работает и шлюз-регулятор закрыт, (например, в период прохождения паводка, несущего значительное количество крупных наносов). Облицовка канала булыжником не задержит просачивающиеся грунтовые воды, если же была бы устроена бетонная одежда, необходимо было бы предвидеть устройство дренажа под облицовкой для понижения кривой депрессии и отвода притекающей воды. К бетонной облицовке следует прибегать, когда допускаются промывные скорости свыше 10 фут или когда, вследствие сравнительно незначительного превышения пункта A_1 над пунктом А, приходится придавать дну канала слабый уклон (в этом случае, очевидно, необходимо всячески стремиться к уменьшению коэффициента шероховатости n для получения желательных промывных скоростей). При скоростях от 6 до 10 фут., если уклон канала достаточен, можно применить двойную мостовую.

5. Если величина расхода воды, поступающей из реки в магистральный канал, составляет существенную часть расхода реки (хотя бы во время меженних вод), если местность между пунктом А и A_1 (см. черт. 131) является

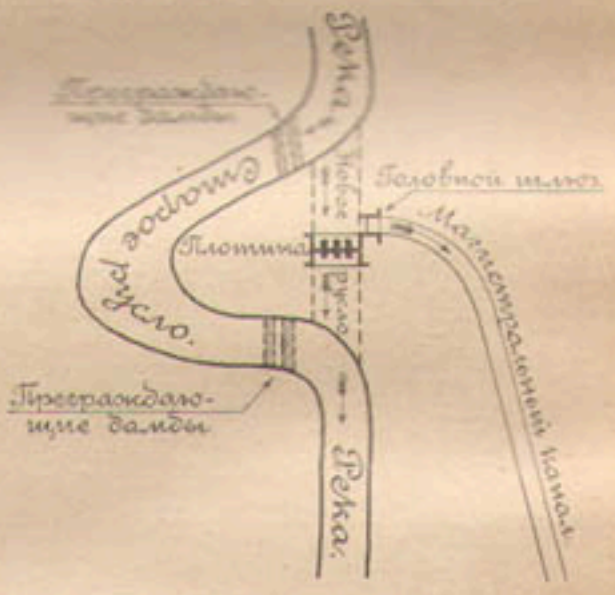
очень неудобной для проложения канала по ней (например, требующей устройства очень глубоких или скальных выемок, дорогого отчуждения земель под полосу канала, вследствие пересечения уже орошенных и густо заселенных земель и проч.), наконец, если пункт A_1, удовлетворяющий поставленным условиям, очень удален от пункта А, так что длина головного участка AA_1 делается чрезмерно большой и дорогой, необходимо исследовать варианты перенесения головы канала ниже по течению в пункты, удобные для устройства водоподъемной плотины и для вывода воды.

Таких мест на ограниченном по длине участке реки, прилегающем с низовой стороны к пункту А, обычно бывает немного, так как для устройства плотины требуется наличие специальных условий:

а) хорошего плотного основания, которое могло бы выдержать нагрузку от плотины и вымывающее действие воды, фильтрующейся под сооружением; некоторые грунты (песчаный, галечный и глинистый) не допускают возведения плотин выше определенной, предельной для данного грунта, высоты;

б) пустопорожней и, во всяком случае, мало ценной территории в пределах зоны подтопа, создаваемой плотиной, чтобы вред, причиняемый подтопом и стоимость отчуждения (затопляемых и заболачиваемых земель) не превышали бы некоторой предельной суммы, при которой устройство плотины может быть еще экономически выгодным;

в) удобного месторасположения для дешевого производства работ по сооружению плотины, например, наличия петли, позволяющей „на-сухо" построить плотину и прорыть новое русло для реки (см. черт. 137), а затем направить в него воду, загородив дамбами старое русло; или, хотя бы, наличия русла, допускающего безопасное стеснение его при устройстве перемычек (ограждающих котлованы отдельных частей плотины) для работ на сухо и проч.



Черт. 137. Схема расположения плотины на сухом месте с последующим прорывом нового русла и закрытием старого.

Поэтому обычно приходится оценивать один или максимум два пункта, подходящих для устройства плотины (на черт. 131 и 132 такие места намечены в пунктах A_2 и A_3). Плотина, подпирая горизонт в реке до требуемой высоты, позволит сократить и удешевить холостую часть магистрального канала, удешевить устройство головного шлюза-регулятора, так как последний, вследствие высокого заложения основания, можно будет построить „на сухо", по типу открытого регулятора.

Подпертый бьеф, созданный в реке плотиной, с сравнительно большими глубинами и малыми скоростями, со спокойным течением, обеспечивает в значительной степени выпадение из водного потока, особенно из верхних его слоев, песчаных частиц, поэтому в магистральный канал, особенно при устройстве кармана (см. главу XVIII), будет попадать меньшее количество вредных наносов, засоряющих ирригационную систему. Кроме того, как уже указывалось, порог флютбета шлюза-регулятора может быть устроен высоко над дном реки, что обеспечит от попадания в него катящихся частиц и крупного песка. В главе XVIII приводится схема рационального устройства головных сооружений при варианте с плотиной и описывается режим движения и отложения наносов в них, так что не будем на этом вопросе более останавливаться.

Наконец, надо принять во внимание, что с устройством плотины получается возможность использовать водную энергию, устроив гидроэлектрическую станцию или на плотине или в конце головного участка магистрального канала (см. черт. 138). Если в районе орошения встречаются высокие места или целые земельные зоны, требующие машинного орошения, возможность получения дешевой энергии приобретает существенное значение.

Итак, вкратце повторим те соображения, которые надо иметь ввиду при оценке различных вариантов плотины. Чем выше плотина,

а) тем короче будет холостая часть магистрального канала и соответственно дешевле его стоимость;

б) тем большая получается возможность избежать необходимости устраивать головной участок канала в глубокой выемке;

в) тем подпертый бьеф будет длиннее и глубже, а, следовательно, тем благоприятнее условия для освобождения воды, поступающей в головной шлюз-регулятор, от песчаных фракций наносов, благодаря чему получается возможность во многих случаях обходиться без описанных выше устройств на головном участке канала для осаждения и смыва наносов;

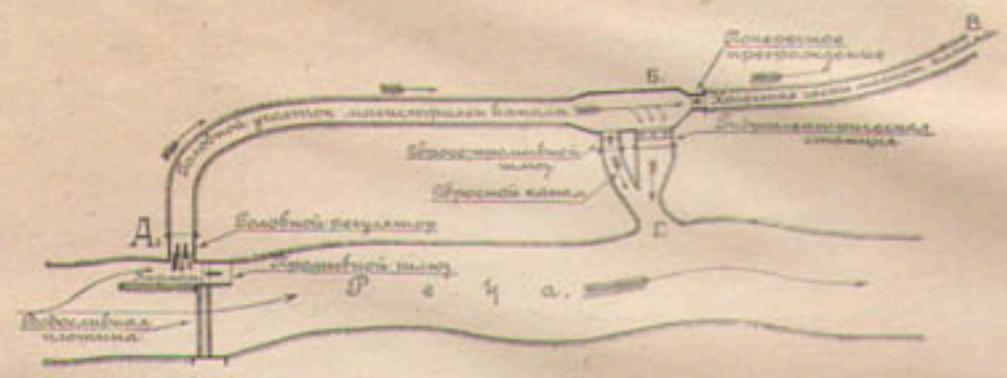
г) тем большую мощность водной энергии возможно использовать и тем дешевле стоимость единицы полученной энергии;

д) тем большая площадь земель затопляется и заболачивается подпертым бьефом и тем дороже стоит отчуждение;

е) тем дороже обойдется сооружение плотины.

Наконец, помимо высоты плотины, необходимо принимать во внимание и все местные особенности каждого варианта. Учет всех вышеперечисленных соображений позволит подойти к решению вопроса о наиболее выгодном месте на реке для устройства головных сооружений. Если песчаные наносы не осядут в подпертом бьефе реки и в канале и высокое заложение порога флютбета головного шлюза тоже не сможет задержать все наносы указанных фракций, то окончательное освобождение воды от них произойдет на головном участке канала. В этом случае головной участок канала надо устраивать несколько по другому принципу, вследствие отсутствия „запаса“ в горизонте воды в канале и необходимости „не терять

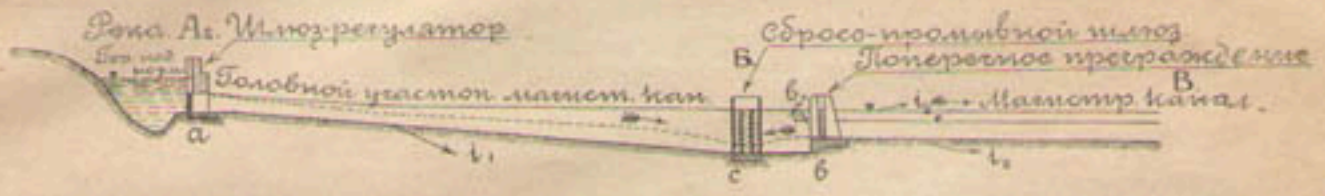
в уклоне". Всякое увеличение уклона на некотором протяжении канала должно вызвать повышение горизонта подпора в реке и все последствия, связанные с этим обстоятельством (увеличение высоты плотины и площади затопления). Но, „не трогая" уклона поверхности воды на участке



Черт. 138. Схема головных сооружений в случае устройства плотины и очень засоренного песчаными наносами потока.

$А_2Б$ (см. черт. 138 и 139), можно достигнуть того же самого эффекта, придав дну канала уклон, необходимый для получения при равномерном течении воды смывных скоростей (1,3—1,5 метра в секунду); от „а" к „с" канал устраивается с крутым уклоном (i_1), на протяжении „св" или устраивается площадка без уклона или же дается слабый уклон, от „в" к „с", в точке „в" устраивается порог, поднимающий дно канала до такого горизонта, который имелся бы в этой точке, если бы канал был проложен с уклоном i_2 от головного регулятора и течение воды в нем имело бы равномерный характер на всем протяжении $А_2Б$. При помощи поперечного преграждения создается подпорный бьеф на участке $А_2Б$, в котором должны осесть все песчаные фракции. Освобожденная от них вода поступает через поперечные преграждения далее в магистральный канал с тем горизонтом водной поверхности, который был бы в точке „в" при равномерном течении воды (с уклоном i_2) от головного регулятора $А_2$. (Потеря напора в поперечном преграждении может быть доведена до ничтожных размеров, порядка 5—10 сантиметров). Для удаления отложившихся наносов закрываются щиты поперечного преграждения, открываются щиты сбросного шлюза и вода по сбросному каналу сбрасывается в реку. Придавая сбросу пропускную способность большую, чем головному регулятору (при помощи щитов), можно опустить подпертый бьеф и создать вблизи сбросного шлюза кривую спада воды, а выше по каналу равномерное течение. Уклон i_1 должен быть подобран так, чтобы, при принятом промывном расходе $Q_{пром.}$ и данном сечении канала, получились бы скорости, достаточные для смыва наносов. Вышеприведенные соображения относительно укрепления смоченной поверхности головной части магистрального канала имеют силу и для данного случая. Бояться подпора воды в сбросном канале со стороны реки (Г), аннулирующего действие сбросного шлюза, не приходится, так как, вследствие наличия плотины, разность горизонтов воды в канале ($в_1$) и в реке будет достаточной.

Головным участком выгодно можно воспользоваться в качестве подводящего канала гидроэлектрической станции. Последнюю целесообразно помещать в конце подпорного бьефа (в пункте Б, см. черт. 138), так как вода, поступающая в турбины станции должна быть освобождена от песчаных фракций наносов, в противном случае турбины будут быстро снашиваться. Гидроэлектрическую станцию следует располагать рядом со сбросным шлюзом, чтобы можно было воспользоваться сбросным каналом для отвода отработанной воды.

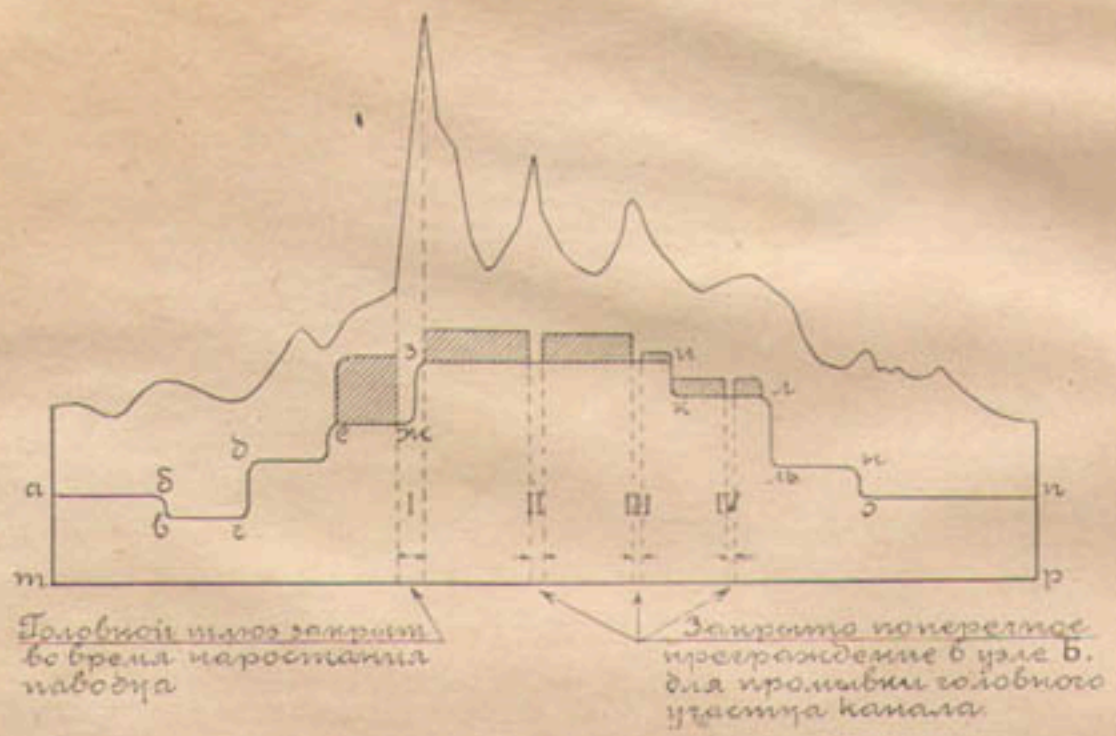


Черт. 139. Продольный разрез по головному участку (A_2Б) магистрального канала (см. черт. 138).

Разность горизонтов (а, следовательно, и утилизируемый напор воды) перед плотиной и за плотиной будет меньше, чем разность горизонтов в конце головного участка канала (при подпертом состоянии) и в реке — у устья сброса, то-есть, в пунктах Б и Г. Удлиняя головной участок канала A_2Б, можно, очевидно, увеличить величину напора и мощность гидроэлектрической станции. Вместе с тем необходимо помнить, что для использования головного участка в качестве подводящего канала станции, необходимо увеличить пропускную способность как канала, так и головного шлюза, которая в данном случае должна быть расчитана на расход $Q = Q_{пром.} + Q_{утил.}$ Таким образом, удаляя Б от A_2, мы, с одной стороны, увеличиваем возможную мощность станции, а с другой, удорожаем устройство головного участка. Задача проектировщика заключается в экономическом решении этого вопроса, то есть в выборе такого варианта расположения узла сооружений Б, при котором основные затраты и капитализированные эксплоатационные расходы на единицу вырабатываемой энергии были бы наименьшими. В Индийской литературе встречаются указания на то, что распространение действия сбросо-промывного шлюза не превышает 7—8 верст. Однако, такие сакраментальные цифры не имеют под собой серьезных оснований, так как, во-первых, дальность распространения кривой спада и скорости неравномерного движения зависят от ряда факторов, различных в разных условиях, а, во-вторых, и это главное, при той схеме устройства головного участка, которая описана выше, промыв может происходить и при установившемся равномерном течении, раз будет придан дну канала уклон, обеспечивающий образование промывных скоростей.

6. В период наибольшего содержания наносов в реке, особенно во время наростания паводка, встречается иногда необходимость закрывать головной шлюз, чтобы избежать сильного засорения канала, так как имеющимися сооружениями бывает невозможно успешно бороться со всей массой песчаных наносов (см. главу XVIII). В это время, а также в период

промывок головного участка канала (когда поперечное прегражденне приходится закрывать), ирригационная система остается без воды. Это обстоятельство следует учесть и в график потребления воды должны быть внесены соответствующие изменения; последние, очевидно, приведут к необходимости увеличить пропускную способность магистрального канала.



Черт. 140. Изменение графика потребления воды в связи с закрытием магистрального канала в целях защиты системы от наносов.

Как показано на черт. 140, из общей площади графика „а б в г д е ж з и к л м н о п р т", выражающего то количество воды, которое должно быть подано из реки в главный канал, вычитается площадь столбцов I, II, III и IV, представляющих количество недополученной воды во время закрытия канала. Очевидно, необходимо так пересоставить график потребления (изменив в допустимых пределах сроки поливов), чтобы общее количество воды, подаваемой в систему, было бы равно требуемому, несмотря на перерывы в работе канала. Этого можно достигнуть только путем увеличения ординат графика потребления (то есть, следовательно, путем увеличения расхода воды, забираемой из реки) в продолжение некоторого промежутка времени, как это, примерно, показано (заштрихованным) на черт. 140. Итак, очевидно, что еще при составлении проекта необходимо учесть время возможного закрытия канала. Продолжительность и сроки закрытия канала во время нарастания паводка могут быть определены в известных пределах на основании изучения кривых режима (изменения расхода или горизонтов) реки. Для некоторых русских рек продолжительность требуемого закрытия головного шлюза во время нарастания первого паводка достигает 5—10 дней (р. Аму-Дарья, у п. Керки и др.).

Черт. 141. График потребления воды Нижне-Джелумской системой. (Индия. 1913—14 год).

Эти данные подчеркивают необходимость тщательного анализа вопросов о месте устройства головных сооружений и о типе устройства головного участка магистрального канала. При Туркестанских климатических условиях, при почти полном отсутствии осадков в течение оросительного сезона, весьма важно избежать необходимости временного закрытия канала на более или менее продолжительный срок, тем более, что при этом приходится затрачивать лишние средства на увеличение пропускной способности, как главного канала, так и распределителей.

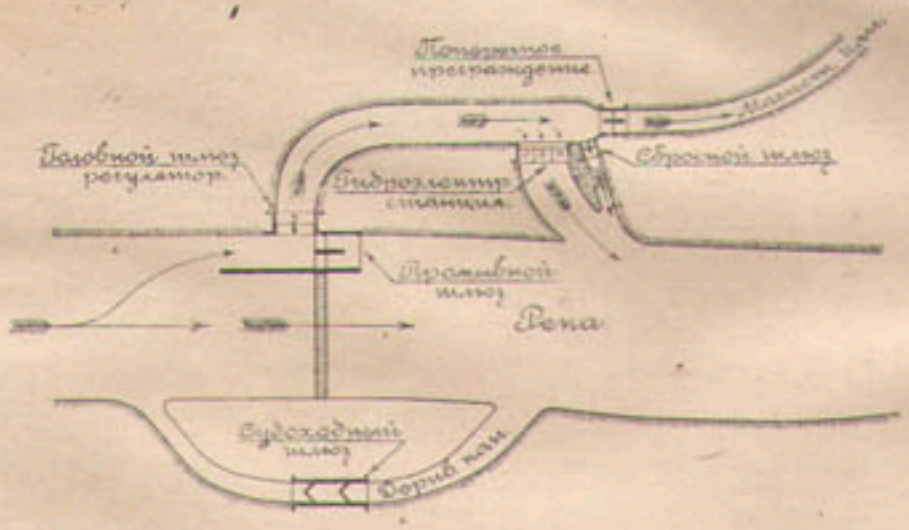
В районах, где выпадает в периоды паводков достаточное количество осадков, так что можно в это время не производить орошения, закрытие канала на время наибольшей засоренности потока наносами является мерой вполне целесообразной. В таких условиях находятся, например, районы орошения в Пенджабе. Для Пенджабских каналов поэтому характерны графики потребления с частыми перерывами в подаче воды вследствие закрытия головного регулятора (см. черт. 141).

7. Водоподъемная плотина, разобщая верхний и нижний бьефы, создает препятствия для судоходства; в таких случаях необходимо предусмотреть при составлении проекта орошения устройство судоходного шлюза в теле плотины или деривационного канала в обход плотины с судоходным шлюзом в нем (см. черт. 142). В тех очень редких случаях, когда судоходство предусматривается не только по реке, но и по главному ирригационному каналу, схема головных сооружений и головного участка магистрального канала принимает вид, показанный на черт. 143. Однако, необходимо отметить, что судоходство встречается весьма редко и то только по очень большим ирригационным каналам. Но и на последних судоход-

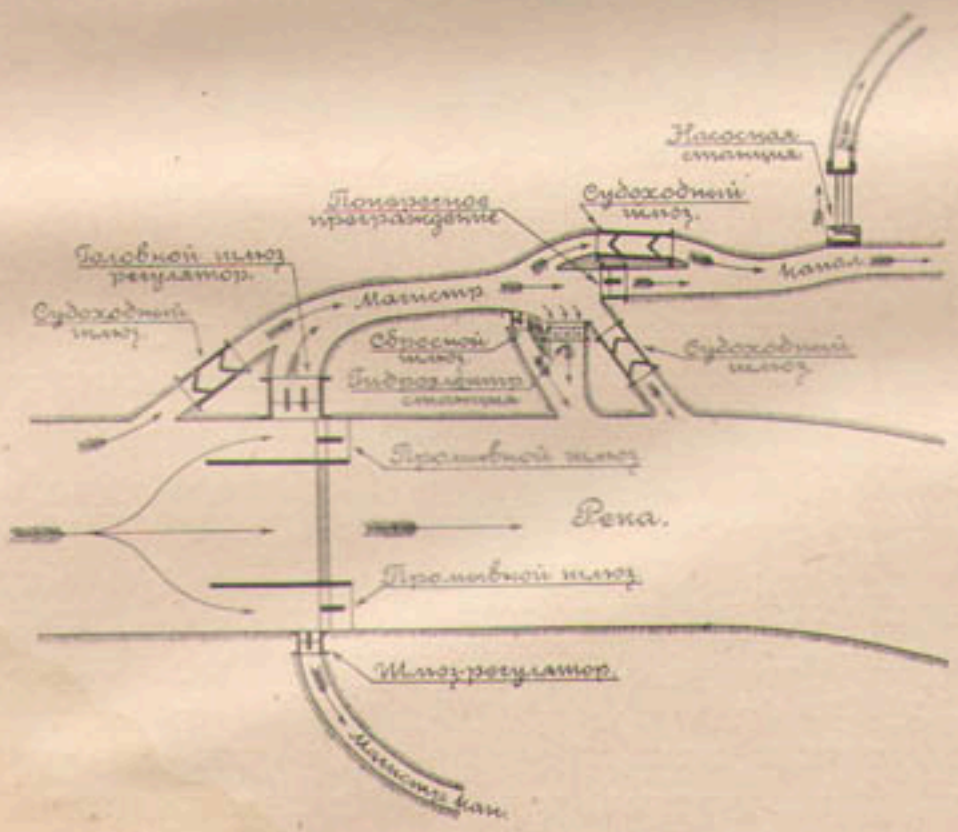
ство не получает развития вследствие противоречивых требований, предъявляемых к каналам со стороны ирригации и судоходства:

а) во время движения судов образуются волны, которые размывают быстро берега, если последние не укреплены;

б) скорости в 2—3,5 фута, которые необходимо допускать в ирригационных каналах, во избежание отложения наносов и слишком



Черт. 142. Схема расположения головных сооружений, предусматривающая судоходство по реке.



Черт. 143. Схема расположения головных сооружений, предусматривающая судоходство по реке и магистральному каналу.

больших неэкономичных поперечных сечений, являются чрезмерными для взводного судоходства;

в) дамбы ирригационных каналов незначительны по ширине, так что при судоходстве они могут легко повреждаться;

г) на главном канале (в рабочей части) встречаются многочисленные поперечные преграждения, необходимые для проведения в жизнь водооборота по системе, поэтому в таких местах, в случае судоходства, необходимо устройство деривационных каналов и судоходных шлюзов и проч.

В русских условиях вопрос о судоходстве по ирригационным каналам может быть поставлен реально только, пожалуй, в больших Аму-Дарьинских проектах. Насколько ирригация и утилизация водной энергии могут выгодно дополнять и усиливать друг друга, настолько судоходство и ирригация трудно совместимы.

Холостая часть магистрального канала.

Общие соображения. Функции холостой части магистрального канала чисто транспортные, задача проектирующего заключается в проложении наиболее экономичной и в то же время безопасной трассы канала и в установлении таких продольного и поперечных профилей, которые потребовали бы возможно меньших основных затрат на проведение канала и эксплоатационных расходов на поддержание его в исправном состоянии; кроме того, проектирующему необходимо стремиться к достижению минимальных потерь воды во время транспортирования ее по холостой части канала. Главная часть эксплоатационных расходов заключается в очистке канала от отложившихся наносов, в укреплении размытых частей канала, в удалении растительности и, в некоторых случаях, в защите от подмыва со стороны реки (если канал проложен по пойме или по косогору, соединяющему пойму со степью) или от оползней откосов (если он проложен по орошаемому району, в глубокой выемке). Наибольшая часть эксплоатационных расходов вызывается борьбой с отложением наносов (конечно, в том случае, если канал запроектирован неправильно).

Итак, трассируя холостую часть канала и подбирая поперечные профиля и уклоны на различных его участках, надо стремиться к созданию условий:

а) обеспечивающих канал от отложения песчаных наносов,

б) обеспечивающих минимум потерь воды при протекании ее по холостой части,

в) обеспечивающих канал от подмыва со стороны реки или со стороны другого канала туземного типа, проходящего по соседству,

г) недопускающих оползаний откосов канала в глубокой выемке.

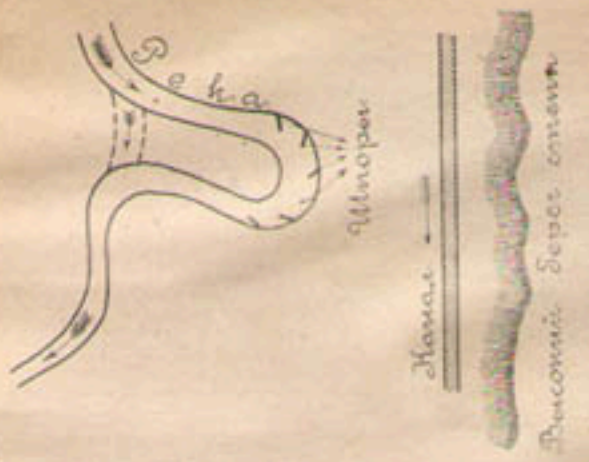
Топографические условия местности, по которой приходится прокладывать холостую часть, могут быть весьма различны. Рассмотрим ниже три главных случая.

Случай проложения канала по пойме, а затем по косогору, соединяющему пойму со степью. В конце головной части, как уже указывалось, устраивают узел сооружений с поперечным преграждением. Вода, пропущенная через преграждение, вступает в холостую часть канала. Головной участок желательно устраивать в выемке, ибо в нем создается подпор воды, частые колебания горизонтов, спад воды, допускаются большие скорости течения и прочее, холостая же часть канала, работающая при равномерном режиме, с нормальными глубинами, может быть устроена в экономическом сечении (в полувыемке, в полунасыпи), если это позволяют условия местности. Поэтому, когда имеется широкая пойма, незатопляемая высокими водами реки, вполне естественно воспользоваться ею для проложения канала в целях удешевления его стоимости.

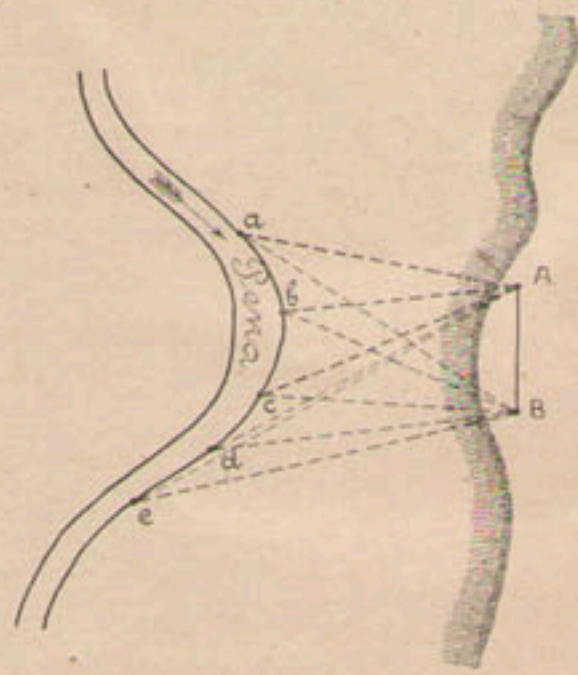
Наиболее экономическую трассу канала можно проложить только в том случае, если будет иметься план местности в горизонталях. Денежные затраты, вызываемые подробной съемкой, безусловно с лихвой окупаются той экономией земляных работ, которая получится при хорошо разработанной трассе канала. Данные предварительных изысканий могут выявить только ту полосу поймы, в пределах которой должен быть проложен канал; для окончательного же установления трассы требуется, в большинстве случаев, уже более подробная съемка. Потребный масштаб планов зависит от конфигурации местности и от требуемой точности трассировки на бумаге. Если хотят добиться точной трассировки оси канала по плану, которая впоследствии, при разбивке на местности почти не потребовала бы изменений, если хотят подойти к вопросу с экономической стороны путем сравнения различных вариантов масштаб съемки должен быть крупным,—50 метров в 1 сантиметре, в крайнем случае, при ровной и непересеченной местности, 100 метров в 1 сантиметре. Когда местность носит неровный и пересеченный характер, масштаб съемки следует принимать 25 метров в 1 сантиметре. Если канал трассируется по косогору, с поперечным склоном $m > 0{,}25$, масштаб надо доводить до 10—7,5 метров в 1 сантиметре.

Общая задача, с одной стороны, сводится к нахождению на пойменном участке такой полосы, которая имела бы высотные отметки несколько меньшие, чем проектный горизонт в канале. Раз известно местоположение головного сооружения и выбран продольный уклон канала, то, очевидно, отметки горизонта воды в нем будут известны для любого пункта по всей его длине. С другой стороны, надо всячески стремиться удалить ось канала от реки во избежание подмыва, ибо речное ложе во время сильных паводков сильно меняется, вогнутый берег быстро размывается, река в плане образует выступающие петли, которые, развиваясь, могут подойти к каналу и прорвать его дамбы. Развитие петель и передвижение русла реки по пойме, во время больших паводков, происходят весьма быстро. Поэтому на тех участках, где канал приходится вести сравнительно близко от берега (благодаря узости поймы или в силу каких-либо других соображений),

необходимо поставить постоянные наблюдения за рекой, чтобы иметь возможность во время принять предохранительные меры против приближения реки, устроив в угрожаемых местах или отбойные шпоры или прокоп для спрямления русла реки (как это показано пунктиром на черт. 144) или же, наконец, перенеся трассу канала дальше от реки к подножью высокого берега степи. Наблюдения должны заключаться в ежегодной съемке после паводка очертаний угрожающего берега реки и в нанесении их на общий план. Имея на плане очертание русла реки за несколько лет, можно легко вывести заключение о быстроте роста размыва берега. Для организации наблюдения лучше всего заложить на высоком берегу степи постоянный базис AB, закрепленный по концам (в точках A и B) прочными реперами (см. черт. 145); засекая с концов такого базиса теодолитом или на мензуле вешки (a, b, c, d, e), установленные непосредственно вдоль вогнутого берега на протяжении наблюдаемого участка, легко получить очертание берега в плане.



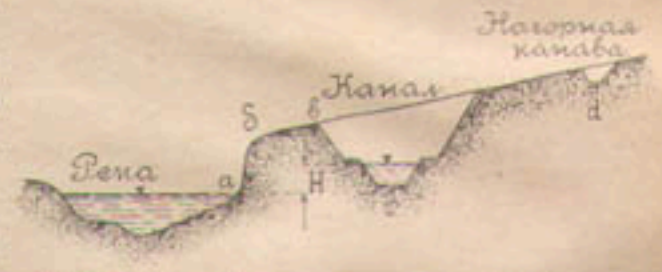
Черт. 144. Схема предохранения канала от подмыва со стороны реки.



Черт. 145. Постоянный базис для наблюдения за опасными пунктами реки.

Случай проложения канала в высоком берегу. Весьма часто приходится встречаться с отсутствием поймы, высокий берег степи непосредственно прилегает к реке или же хотя пойма и имеется, но столь узкая, что не может быть и речи о проложении по ней канала (вследствие легкости подмыва со стороны реки). Высокий берег обычно перерезается рядом балок, оврагов, речек, имеющих дно на сравнительно низких отметках. С этим обстоятельством, очевидно, необходимо весьма серьезно считаться при трассировании канала. Для последней цели необходимо иметь подробный план в горизонталях (в масштабе 50 метр. в сантиметре) всей той земельной полосы, по которой может быть проложен канал. Ложе пересекаемых русел должно быть заснято еще в более крупном масштабе. Задача проектировщика должна заключаться в тщательном изучении рельефа местности для установления той трассы, по которой наиболее выгодно было бы прорезать выемку для канала. В большинстве случаев, благодаря падению местности к реке, трасса канала тем выгоднее, чем ближе она будет про-

ложена к последней. Но здесь приходится считаться с возможностью сползания берега (абвг), отделяющего канал от реки, а также подмыва со стороны последней (см. черт. 146). Чем больше будет разница (H) в горизонтах между уровнем воды в канале и в реке, чем проницаемее грунт, залегающий между г и а, тем, очевидно, шире надо оставлять полосу аг, во избежание сильной фильтрации воды, вымывания грунта и последующего оползания земляного барьера абвг. Отсюда понятна необходимость тщательного исследования грунта на всем том протяжении, где ось канала пролегает близко от берегового обрыва аб. Каждое пересечение каналом оврага, балки, бокового притока представляет особую самостоятельную задачу, требующую всестороннего взвешивания возможных вариантов перехода каналом встречающихся препятствий. Знание разницы отметок дна канала и пересекаемого русла, разницы горизонтов воды в канале и русле, максимальных расходов воды, которые будут проходить по каналу и по руслу, ширины пересекаемого каналом русла, а также и грунта, в котором пролегает ложе последнего, даст возможность подойти к экономическому решению проблемы „перехода", то-есть к выбору способа перехода. Таковых имеется три:



Черт. 146. Проложение холостой части канала в высоком береге.

1) Каналом в насыпи—в том случае, когда разница в отметках дна незначительна и когда пересекаемое русло является сухим оврагом или имеющим незначительный сток воды, который можно перехватить вышерасположенной нагорной канавой и отвести в сторону;
2) акведуком-лотком—когда дно канала значительно выше ложа пересекаемого русла, или когда по руслу проходит вода и ее приходится пропускать под каналом;
3) дюкером—когда разница в горизонте воды в канале и в пересекаемом русле незначительная, при чем дюкером можно пропустить или воду, проходящую по каналу, или воду, протекающую по руслу оврага, сая и проч. Дюкером надо пропускать наименьший из двух указанных расходов.

Для обеспечения верхового откоса канала, проложенного в глубокой выемке от размыва стекающими поверхностными водами (ливневыми и талыми), устраивают нагорные канавы (см. черт. 146), которые должны перехватывать стекающие воды и отводить их в близлежащие водоотводы или даже в канал, но в определенных пунктах, надлежащим образом укрепленных (в виде быстротоков или перепадов).

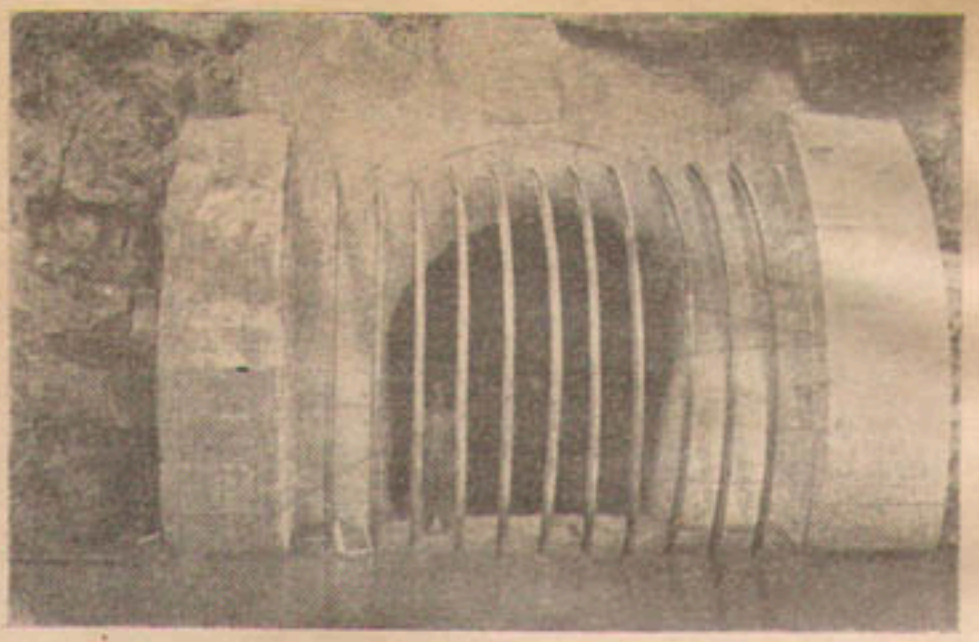
Иногда приходится холостую часть канала проводить по местности, уже орошенной. В этих случаях глубокая выемка, устраиваемая для пропуска канала, перерезает орошенный район на две

части и вносит таким образом большие затруднения в существующее водопользование. Для пропуска воды в отрезанную (каналом) часть орошенного района приходится устраивать многочисленные акведуки—лотки через канал. С другой стороны и сам канал находится в опасности, так как с орошенных полей, подступающих с двух сторон к каналу, отработанная и дренирующаяся вода будет стекать в выемку, размывать откосы, создавать условия, благоприятные для оползней, обвалов и прочее. Поэтому необходимо вдоль канала, по обеим сторонам глубокой выемки, оставлять неорошаемые полосы отчуждения (достаточно широкие) и устраивать по их внешним границам водосборные канавы, перехватывающие все поверхностные и сбросные воды и подводящие их к определенным пунктам для сброса через специально устроенные сооружения (перепады, быстротоки) в канал. В районе глубоких выемок часто вдоль каналов приходится складывать широкие кавальеры, которые таким образом образуют как бы широкие дамбы, ограждающие канал от попадания в него поверхностных вод.

Особые случаи проложения канала. Иногда топографические условия местности, по которой приходится прокладывать холостую часть магистрального канала бывают столь трудными, что требуется прибегать к особым способам пропуска воды. Рассмотрим несколько случаев:

Случаи применения туннеля. Когда приходится устраивать головное сооружение в береге, значительно и круто возвышающимся над горизонтом воды, когда пойменной полосы нет и русло реки стеснено, канал можно вести или в туннеле или в лотке, потому что устройство канала в открытой выемке явно невыгодно. Часто бывает невозможно сразу вести воду лотком вдоль берега, так как во время паводков лоток мог бы заливаться водою из реки и подвергаться опасности размыва. В этих случаях остается, следовательно, один способ проведения воды—туннелем (см. черт. 147). К туннелям и лоткам также приходится прибегать при пересечении каналом скалистых или конгломератных отрогов высокого берега, который можно или прорезать коротким туннелем или обогнуть лотком, прокладывая последний вдоль внешнего очертания выступа. В этих случаях лоток приходится устраивать или на специальной эстакаде, или на консолях, опирающихся на скалу, или же на узкой площадке, высеченной в скале (см. фотографии III, IV). Узкий выступ выгоднее пройти коротким туннелем, чем обходить его длинным лотком, тем более, что, благодаря сокращению длины канала, уменьшается „падение горизонта воды“ в нем. При сравнении вариантов лотка и туннеля, надо учитывать более

Черт. 147. Пропуск воды туннелем.



Фотогр. I. Вход в туннель.

Фотогр. II. Выход из туннеля.

короткий срок службы (срок амортизации) лотка и большие текущие (ежегодные) расходы по поддержанию его в исправности. Несомненно туннель является более надежной конструкцией.

Иногда приходится пользоваться для орошения района, находящегося в одном бассейне, водою, взятой из источника, расположенного в соседнем бассейне, отделенном от первого горным кряжем. Воду приходится в таком случае подводить туннелем, пересекающим водораздел (см. фотографии I и II и черт. 148).

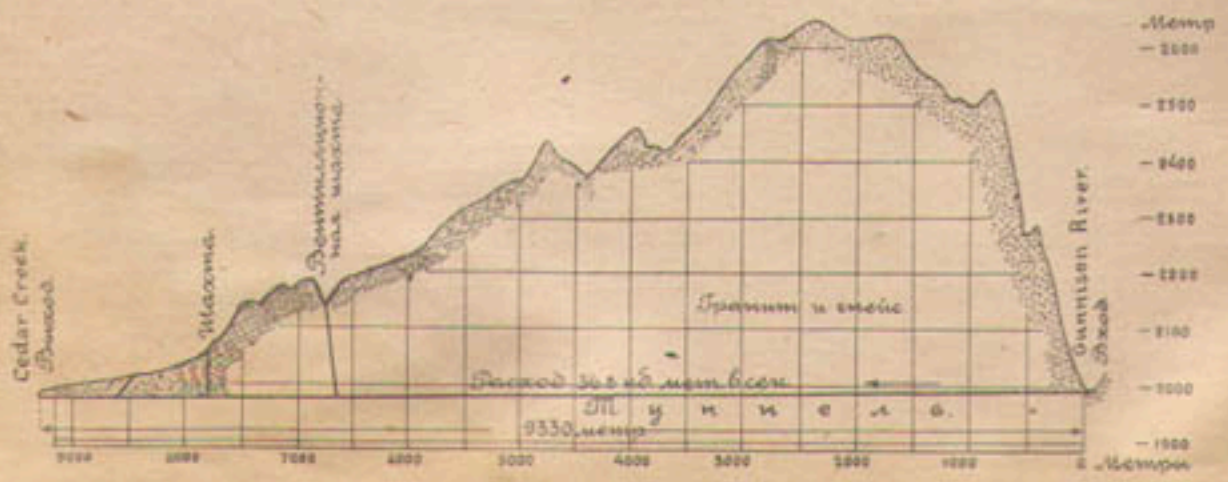
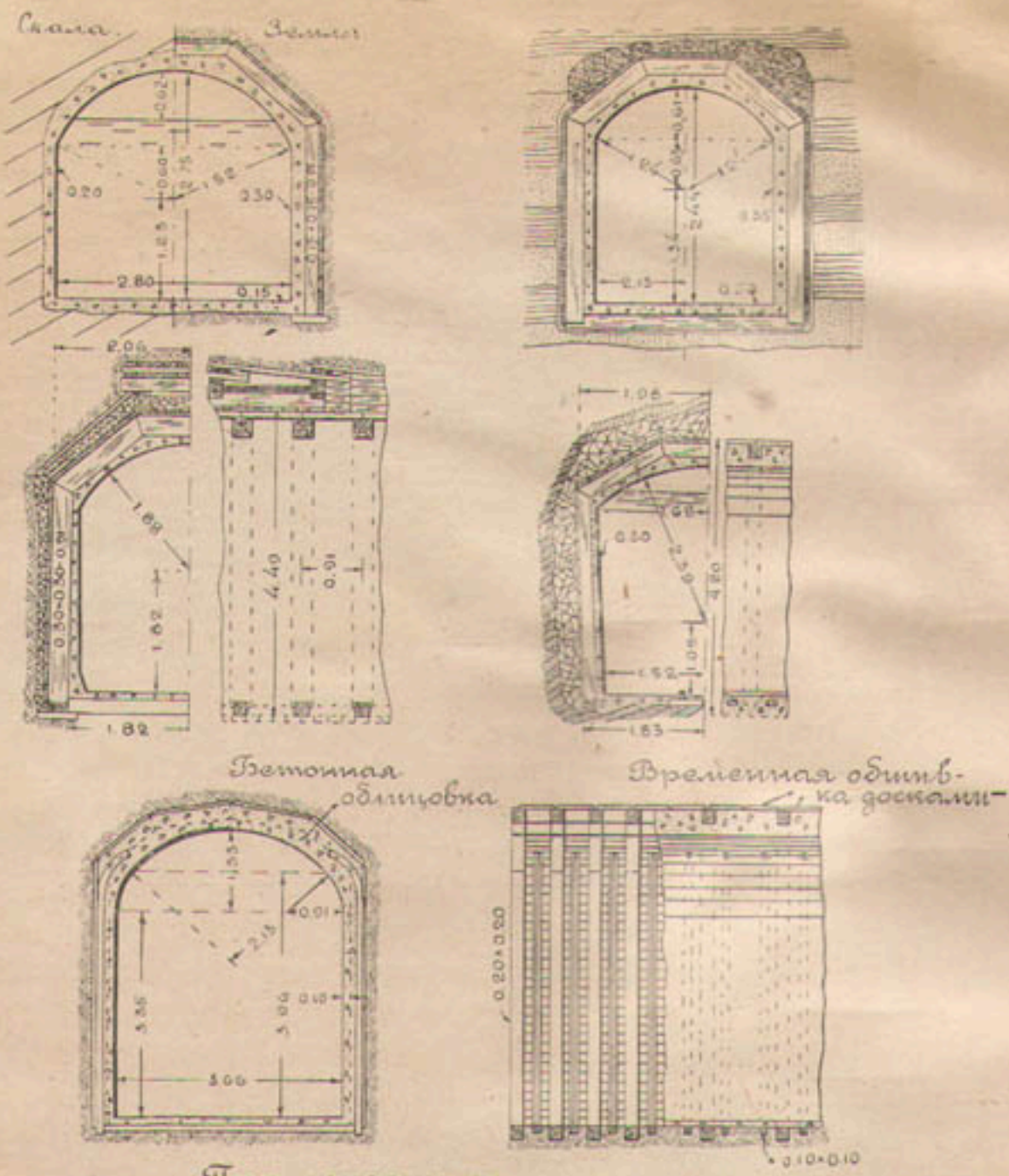


Рис. 148. Пересечение туннелем водораздела для подачи воды из бассейна одной реки в другой.

При проектировании туннеля необходимо считаться со следующими соображениями. Минимальные размеры туннеля должны быть такими, чтобы рабочие могли свободно работать и употреблять механические снаряды (перфораторы и проч.). При тесноте, при невозможности вести разработку туннеля механическим путем, стоимость единицы выемки сильно возрастает, в особенности, с увеличением длины туннеля. Обыкновенно высоту туннеля не делают меньше 1,8 метра, предпочтительнее доводить ее до 2—2,2 метра. В остальном, ширина и высота туннеля определяются гидравлическими элементами, то-есть, максимальным расходом (Q_{max}), который будет пропускаться через туннель, уклоном (i), который может быть придан дну туннеля, родом облицовки смоченной поверхности туннеля, от которой зависят величины коэффициента шероховатости (n) и допускаемой максимальной скоростью (v_{max}). Туннели обычно облицовываются бетоном и цементной штукатуркой, кроме случаев твердой и плотной скалы. При наличии в воде песчаных наносов, максимальная скорость ограничивается 3—4 метрами; если же вода не несет песчаных наносов и ось канала не имеет крутых поворотов, допускаемые скорости могут быть значительно увеличены а, следовательно, площадь отверстия туннеля сильно уменьшена. Однако, ограничивающим фактором может явиться уклон, так как вместе с увеличением уклона холостой части канала или даже какого-либо из его участков, обычно уменьшается площадь командования и удлиняется общая длина холостой части. Таким образом, для установления наиболее экономического решения необходимо прикинуть несколько вариантов (с различными уклонами и скоростями) и учесть, с одной стороны, уменьшение отверстия туннеля и удешевление стоимости последнего, а с другой стороны—удлинение холостой части канала и потерю площади командования.

Обычно в туннеле используются большие скорости течения воды, чем в открытых каналах, примыкающих к нему с верховой и низовой стороны; поэтому, для получения плавного изменения скорости течения следует обращать внимание на надлежащее устройство переходных участков у входа и выхода туннеля. В твердой устойчивой скале короткие туннели иногда оставляются в том виде, в каком они выходят после разработки их взрывами; однако, все-таки желательно выравнивание поверхности под проектное поперечное сечение. Что касается вида поперечного сечения,—он зависит от грунта, в котором туннель прорывается и рода облицовки. Сечения, наиболее часто употребляющиеся, имеют вид (см. черт. 149): а) прямоугольника с плоским или сводчатым верхом, б) подковообразного с плоским основанием или в виде обращенного вниз свода и в) круга. Круговое сечение обладает наилучшими гидравлическими свойствами, но в выполнении оно труднее прямоугольного и подковообразного. Подковообразное сечение лучше прямоугольного по своим гидравлическим качествам (приближается к круговому), но зато оно может оказаться более сложным в постройке. Прямоугольное сечение наиболее удобно для разработки; неправильности, остающиеся после взрыва могут быть легче



Черт. 149. Типовые сечения туннеля. (Размеры в метрах).

удалены, поверхности легче выравнены; этот тип сечения можно применять в прочном устойчивом грунте, в котором невозможны сдвиги и не требуются крепёжные работы. Облицовка таких сечений применяется для выравнивания (заполнения) впадин, образующихся при разработке грунта и для образования гладкой поверхности; если потолок не нуждается в под-

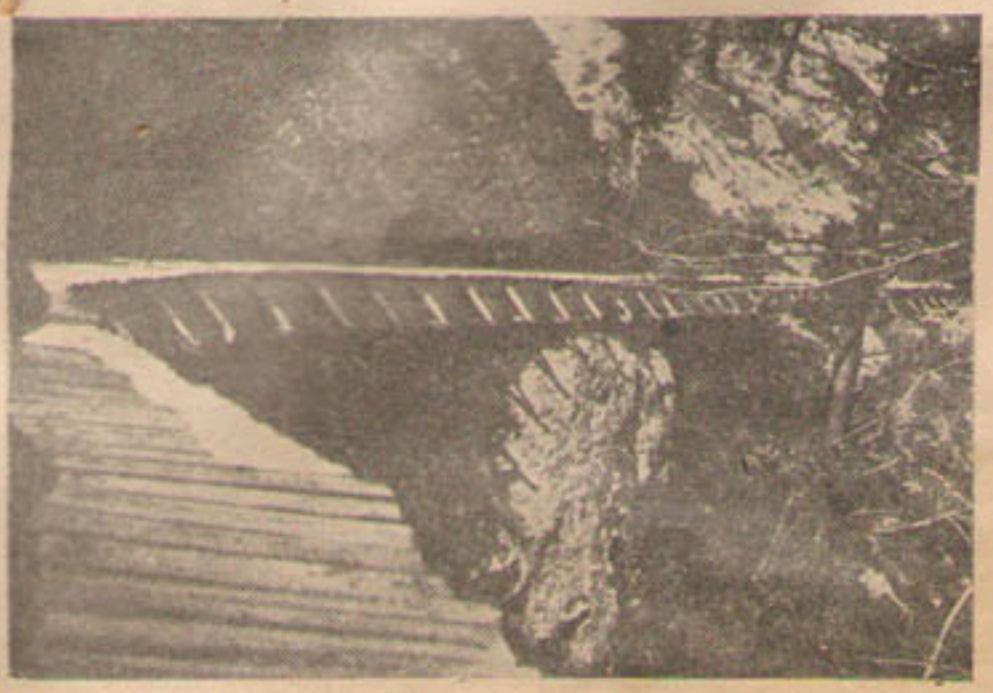
держкой облицовку можно наложить только в пределах будущей смоченной поверхности сечения. Очевидно, что толщина облицовки в этом случае будет зависеть от степени осторожности, с которой производились взрывы при разработке туннеля и от тщательности выравнивания его поверхности. Обыкновенно бывает достаточна толщина в 10—15 сантиметров.

При неустойчивых грунтах устраивают сводчатое перекрытие и толщину облицовки доводят до 20—30 сант., в больших туннелях даже до 50 сантиметров.

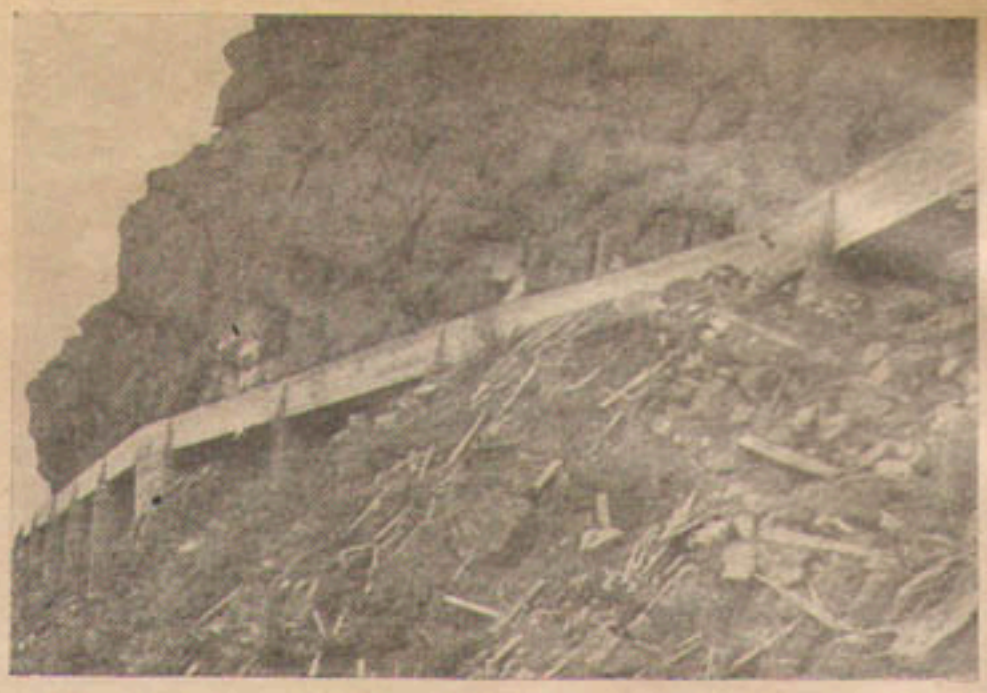
В слабых грунтах необходимо применение кругового или подковообразного сечения с облицовкой (стенок, потолка и основания туннеля), способной выдерживать ожидаемое давление грунта. В небольших туннелях в этих случаях можно применять железобетонные трубы, вставляемые отдельными звеньями; трубы укладываются на дно туннеля, тщательно обкладываются сухой кладкой и соединяются друг с другом цементным раствором (см. черт. 149).

Случаи применения лотков и подпорных стенок. Когда трассу канала приходится прокладывать по очень крутому косогору в обыкновенном грунте или по менее крутому косогору, но в трудно разрабатываемом грунте, наконец, когда грунт склона очень неустойчив и не годится для постройки в нем канала обыкновенного типа, часто бывает более выгодно прибегнуть к устройству лотков или, хотя бы, подпорных стенок, образующих один „борт" канала. (см. фотографии III и IV).

Лотки приходится применять также и в тех случаях, когда трасса канала пересекает очень низкую местность (см. фотографии V и VI) и требуется применение высоких насыпей, когда грунт для насыпей затруд-



Фотогр. III. Маленький деревянный лоток на консолях. (С. Ш. С. Америки. Система Пентиктон).



Фотогр. IV. Железобетонный лоток, огибающий скалистый выступ.

нительно и дорого получать (подвоз издалека), между тем насыпь, во избежание прорыва, должна быть сложена из материала высокого качества.

Фотогр. V. Лоток (металлический) диаметром в 2,13 метра (1саж.). (С. Ш. С. Америки, шт. Айдаго. Система Моунтен Хом.).

Фотогр. VI. Переход лотком (металлическим) кругового сечения, на деревянных опорах, через низкое место (вместо насыпи).

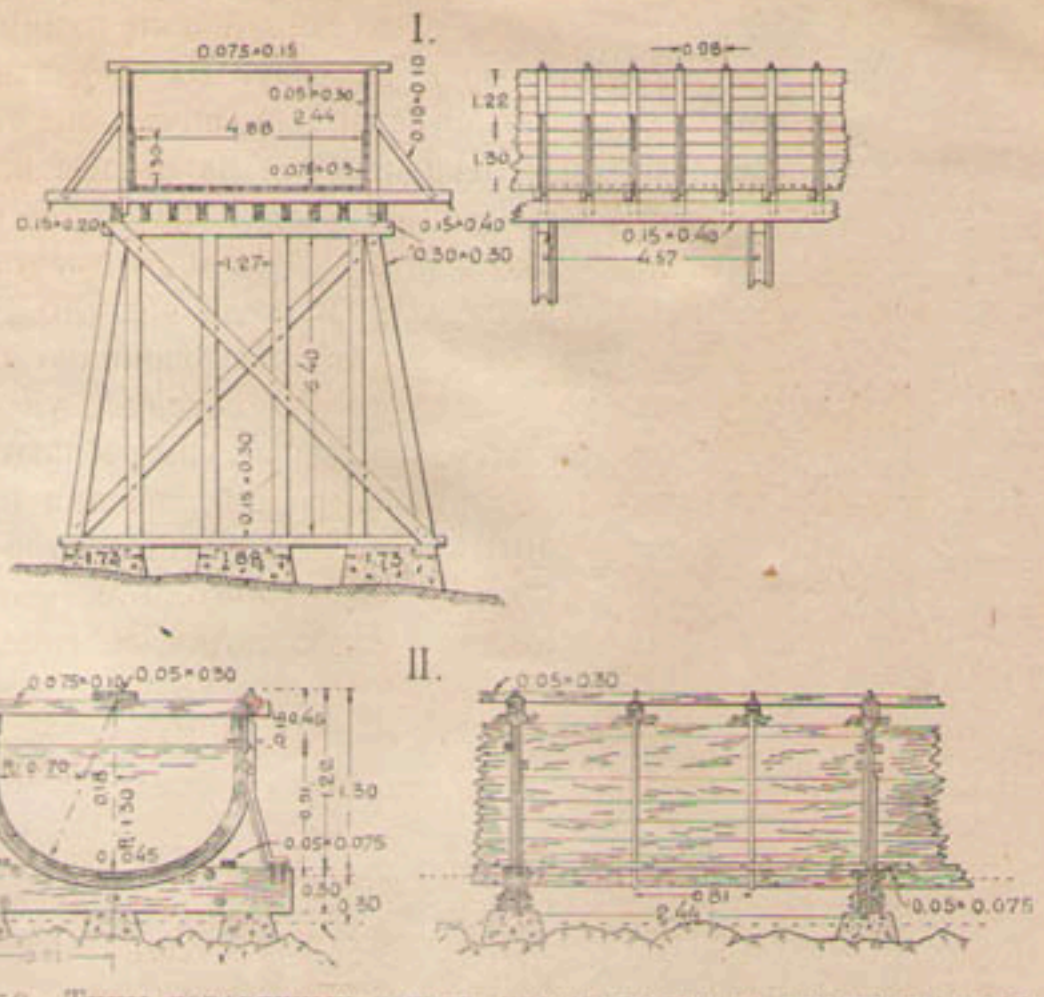
Надо отметить также, что иногда, вследствие большой ширины выступающего кряжа или вследствие рыхлости грунта, применение туннеля делается менее выгодным, чем обход лотком вдоль выступа (см. фот. VII).

Фотогр. VII. Железобетонный лоток, огибающий холм (опирается непосредственно на грунт).

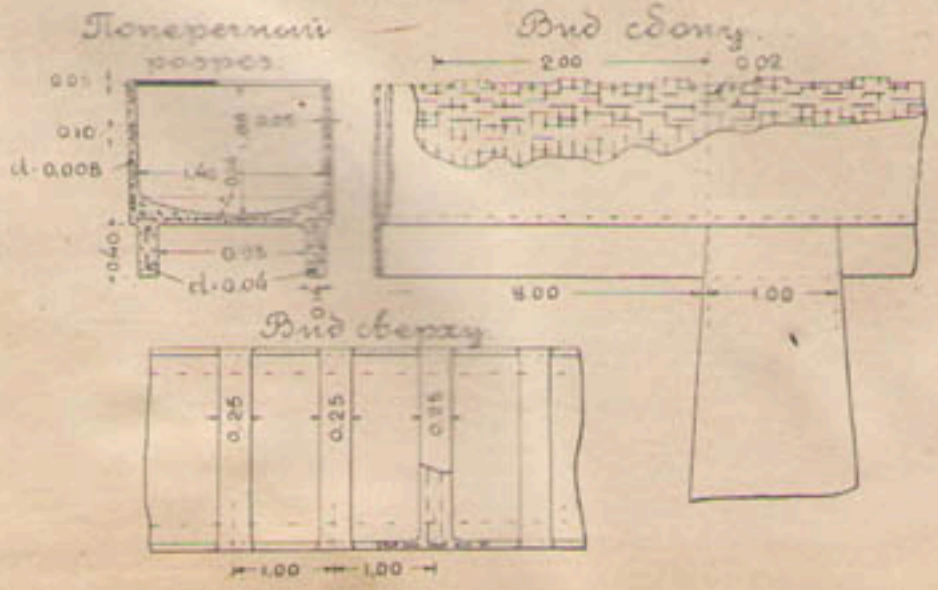
Лоток может или прямо лежать на земле (см. черт. 150), помещаясь на естественном или искусственно устроенном уступе грунта, или представлять собою акведук для переброски воды через понижения местности или через русла естественного и искусственного стока (см. черт. 150) На крутых косогорах одна сторона лотка может опираться на узкую полосу грунта, а другая на специально устроенные столбы или другого типа опоры. Лотки могут быть классифицированы следующим образом, как по материалу, из которого они сделаны, так и по форме:

1. Деревянный прямоугольный лоток (черт. 150, I).
2. Деревянный полукруглый лоток из бочарных досок (черт. 150, II).

3. Металлический лоток или лоток из листового железа (фот. V и VI).
4. Железобетонный лоток (фот. IV и VII и черт. 151).

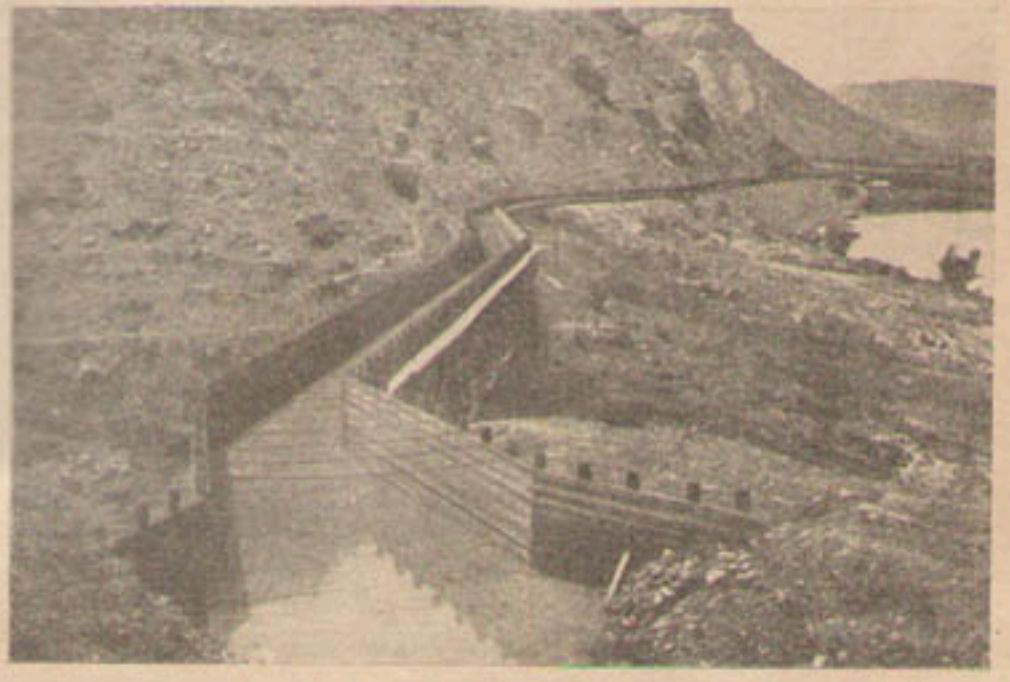


Черт. 150. Типы деревянных лотков, применяемых на ирригационных каналах (размеры в метрах).



Черт. 151. Железобетонный лоток (размеры в метрах).

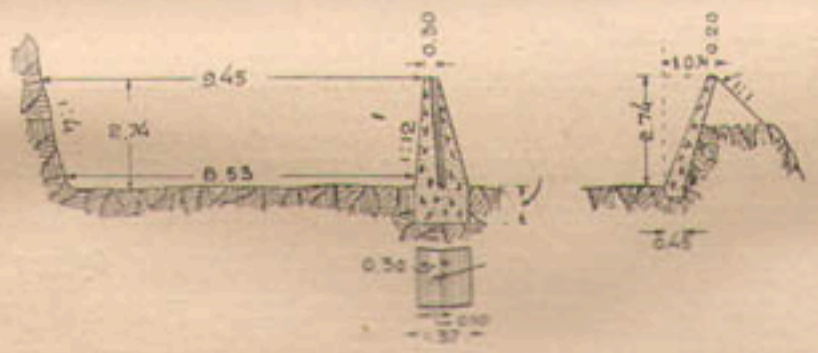
Деревянный лоток, уложенный на берму или выступ, устроенные в склоне горы, представляет собою наиболее распространенный тип сооружения. Он состоит обычно из прямоугольного лотка, образованного досчатой обшивкой, прибитой гвоздями к поперечным брусьям, уложенным на землю, и к боковым стойкам, раскрепленным схватками и опирающимся на вышеуказанные поперечины. Употребление полукруглых деревянных лотков более ограничено. Приподнятый лоток (акведук) ничем не отличается от обычного деревянного лотка, он только положен на столбы или на козлы; в разных пунктах (по длине) одного и того же лотка часто применяются разного вида опоры в зависимости, главным образом, от высоты. Требуемая площадь живого сечения лотка зависит от расхода воды ($Q_{\text{мак.}}$) и от принятой скорости. При длинном и высоком лотке экономично (если только позволяет имеющийся уклон) уменьшать живое сечение, увеличивая, насколько возможно, скорость течения; зачастую употребляются скорости в 10 фут. в сек. Для плавного изменения скоростей течения при переходе от земляного русла к лотку и обратно необходимо устройство особых сопряжений при входе в лоток и при выходе из него. (см. фот. VIII и IX). При коротких лотках предпочитают придавать лотку сечение, мало отличающееся от сечения земляного русла.



Фотогр. VIII. Переход канала в лоток (деревянный) С. Ш. С. Америки, шт. Колорадо, канал Меза).

Лотки требуют больших эксплоатационных расходов, поэтому следует сопоставлять проект лотков с проектом устройства канала в подпорных стенках. Такое решение вопроса может оказаться более выгодным, когда

Фотогр. IX. Переход канала в лоток (металлический) (С. Ш. С. Америки, шт. Айдаго. Система Снэк Ривер).

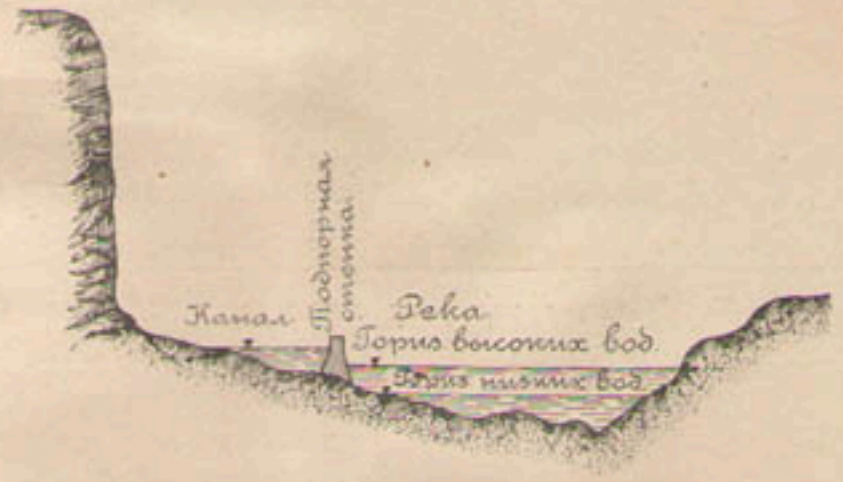


Черт. 152. Типы применения подпорных стенок на каналах (размеры в метрах).

дно лотка лежит на грунте или на очень невысоких опорах. Как показано на черт. 152, могут встретиться случаи, требующие устройства подпорных стенок с двух сторон канала; чаще же бывает возможно ограничиться одной стенкой. Фундамент стенок продолжается ниже ложа канала до подходящего прочного основания; если следует опасаться фильтраций, могущих подмыть стену, дно канала покрывается облицовкой.

С нагорной стороны, если скала трещиноватая или если материал не может сопротивляться размывающему действию воды, устраивается облицовка из бетона; если за нагорной стенкой не устраивается засыпка, она, как и подпорная стенка, расчитывается только на давление воды извнутри.

К подпорным стенкам прибегают также в тех случаях, когда приходится тесниться с каналом на узкой полосе между рекою и почти вплотную подходящими к ним скалами, при этом русло канала должно захватить часть речного ложа (см. черт. 153).



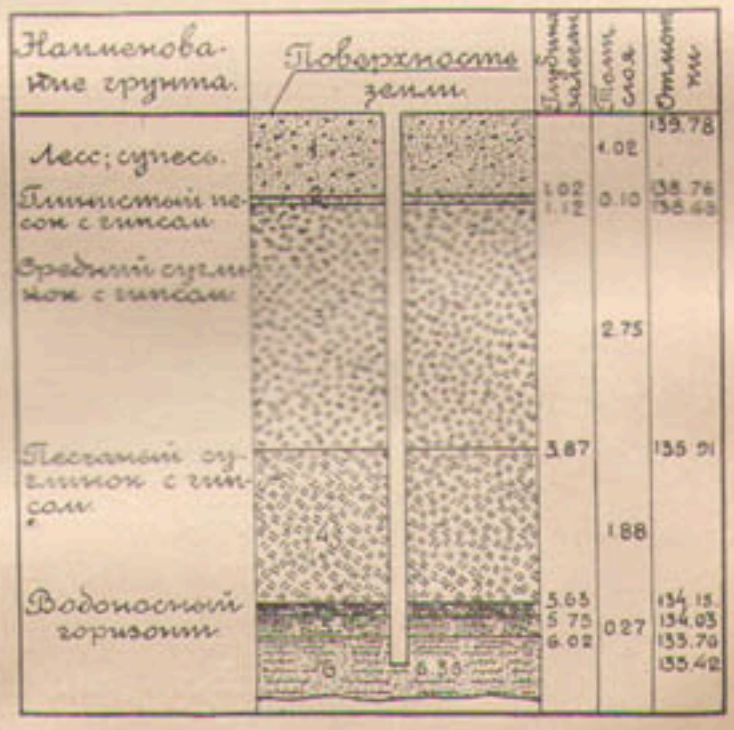
Черт. 153. Подпорная стенка в виде раздельной дамбы.

Этим кратким очерком применения туннелей, лотков и подпорных стенок полагаем возможным ограничиться, так как подробное рассмотрение их не входит в задачи данного труда. Упоминание о них было необходимо, поскольку мы желали дать общий очерк холостой части магистрального канала.

Общие соображения к проектированию холостой части. Чем меньшим будет принят уклон канала, тем скорее он выйдет в степь и начнет командовать окружающей местностью, тем, следовательно, короче будет холостая часть магистрального канала. Однако, с уменьшением уклона, уменьшится скорость и увеличится поперечное сечение канала (что следует из формул $v = \frac{1}{n} . r^{0,66} i^{0,5}$ и $Q = \omega v$). Увеличение же подводного радиуса r, а, следовательно и глубины h, возможно только до некоторого предела, определяемого условием Kennedy $v_{кр.} = \alpha . h^{0,64}$ (см. главы XVIII и XIX), обеспечивающим канал от отложения в нем песчаных наносов. Таким образом, предельно-минимальный уклон должен быть определен из условия незаиления канала, но надо иметь в виду, что, обеспечивая наибольшую площадь орошения, наикратчайшую длину холостой части канала, предельно минимальный уклон, все-таки, может во многих случаях и не дать экономического решения вопроса, так как поперечные сечения канала получаются слишком большими и требуют значительных земляных работ.

Однако, экономическая трасса и наивыгоднейшие уклоны холостой части, конечно, не могут быть установлены путем определения минимума „живого" объема холостой части магистрального канала (см. главу XIX). Задача значительно сложнее, так как рельеф местности не позволяет вести канал на всем протяжении в экономической полувыемке—полунасыпи; через пониженные места канал приходится проводить целиком в насыпи с „подсыпным" дном, через высокие места в глубокой выемке и т. п. Общий ход проектирования практически может быть сведен к следующему.

1. Методами указанными в главе IX, а также в начале данной главы, определяют желательное местоположение и типы головного сооружения и головного участка магистрального канала.
2. После тщательного изучения плана в горизонталях той местности, по которой должна быть проложена холостая часть магистрального канала, намечают в нескольких вариантах (разнящихся по расположению в плане, по принятым уклонам и сечениям, по роду обделки и т. п.). ее трассу вплоть до начала рабочей части
3. Потом разбивают предварительно всю длину холостой части на ряд отдельных участков, в пределах которых условия рельефа пересекаемой местности, характер грунта и прочие условия мало меняются.
4. Для каждого участка (для всех намеченных вариантов), на основании имеющихся приблизительных данных, производят предварительные гидравлические подсчеты, устанавливают сечения и уклоны канала, подсчитывают количества земляных работ и определяют площадь облицовки и обделки каналов. Эта работа дает возможность совсем отбросить многие из намеченных вариантов, оставив из них только спорные.
5. После этого, по каждому из оставшихся вариантов производят дополнительные изыскания, а именно: а) наносят трассу канала (ось) с плана на местность; б) по оси канала „берут" поперечники (то-есть снимают короткие поперечные профиля, захватывающие полосу, по которой может быть проложен канал, с его резервами и кавальерами; в) определяют шурфованием и бурением по оси канала картину залегания грунтов и глубину залега-



Черт. 154. Желательная форма окончательной обработки данных по шурфованию и бурению вдоль канала.

ния грунтовых вод (см. черт. 154); г) чертят продольный профиль местности по оси канала с нанесением данных о залегании грунтов и грунтовых вод.

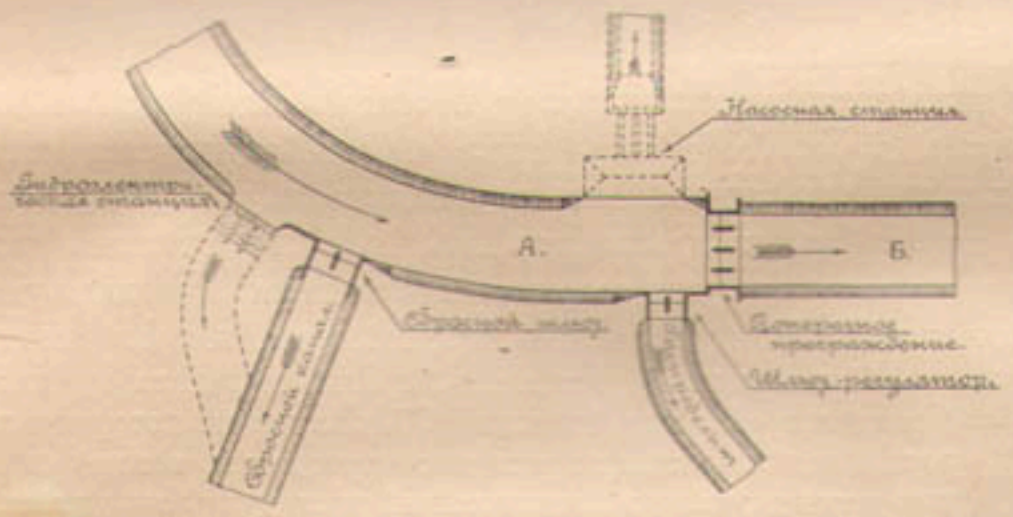
6. Получив все вышеуказанные данные, приступают к более подробному проектированию канала по всем оставшимся вариантам. Теперь уже имеется возможность установить более точно для каждого участка канала величину боковых откосов канала, допускаемые скорости, факторы, влияющие на потери воды через просачивание и др. Меняя уклоны дна (i), скорость течения (v), площадь поперечного сечения (ω), величину смоченного периметра (χ), гидравлический радиус r, глубину (h), наконец, изменяя коэффициенты шероховатости (n), то-есть, следовательно, рассматривая также варианты канала с искусственной одеждой (например, бетонную облицовку мощение камнем, покрытие смоченной поверхности нефтью, глиной и пр.), устанавливают наиболее рациональный вариант для каждого участка канала, как с точки зрения стоимости его устройства, обеспеченности от отложения песчаных наносов в канале и обеспеченности от больших потерь воды на просачивание, так и с точки зрения его безопасности.

7. Но нахождение наиболее рационального решения для каждого из участков канала не означает, что и вся задача в целом уже решена наиболее выгодным образом, так как все участки находятся в неразрывной связи друг с другом и принятие наивыгоднейшего варианта на одном участке может привести к необходимости принятия невыгодного варианта на соседнем участке. Например, приняв большой уклон (положим, наиболее выгодный) на участке перед глубокой выемкой, мы тем самым будем принуждены соседний нижний участок прорезать более глубокой выемкой, так как отметка дна канала перед входом в выемку будет ниже, чем в том случае, если бы канал на предыдущем участке был проложен с небольшими уклонами; вполне возможно, что экономия, полученная на верхнем участке, оказывается значительно меньше перерасходов на нижнем. Таких примеров тесной зависимости отдельных участков канала друг от друга можно было бы привести очень много. Поэтому, на основании полученных данных по отдельным участкам канала, необходимо подойти к окончательному решению всей задачи в целом, имея в виду обязательное удовлетворение вышеперечисленных требований.

Рабочая часть магистрального канала.

Конец холостой части. Существует разногласие по вопросу о том, где кончается холостая часть и начинается рабочая. Одни находят возможным считать концом холостой части то место, где отходит от канала первый распределитель или отвод, несмотря на то, что горизонт воды в канале ниже

прилегающей местности; другие же признаком начала рабочей части считают выход горизонта воды в канале на уровень поверхности земли. Если под холостой частью понимать участок канала, который исполняет только функцию транспортирования воды, то, очевидно, первое определение правильнее, однако, в этом случае надо принимать во внимание не только самотечные выводы воды из канала (через шлюзы-распределители и отводы), но и механические (водоподъемными установками), так как, подводя воду к насосным станциям, канал уже начинает исполнять свою рабочую функцию; кроме того, машинные каналы, питаемые насосными станциями и другими водоподъемными установками, могут быть включены в водооборот так же, как и самотечные распределители, так что нет никакой разницы в осуществлении каналом функций водоподачи и водораспределения. Очевидно, могут также встретиться случаи, когда канал будет в холостую транспортировать воду, несмотря на то, что горизонт воды в нем будет выше пересекаемой местности (например, при прохождении через земли, не включенные в район орошения и т. п.); таким образом, рабочая часть канала может начаться ранее „выхода его в степь", то-есть до того пункта, где горизонт воды в нем становится выше прилегающей местности, включенной в район орошения и, наоборот, значительно позже. Условимся, что характерной чертой рабочей части канала является водоотдача и водораспределение, поэтому концом холостой части будем считать место первого вывода воды, вне зависимости от того, будет ли вывод самотечным или при помощи механического подъема.



Черт. 155. Узел сооружений в конце холостой части магистрального канала.

В случае, если первый вывод воды из канала является относительно крупным и место вывода расцолагается близко от реки, на канале обычно устраивается узел сооружений, состоящий из поперечного преграждения, шлюза-регулятора для вышеуказанного вывода и сбросного шлюза, через который может быть отведена часть расхода воды, пропускаемого по каналу

или даже весь расход (см. черт. 155). Поперечное прегражденне необходимо бывает:

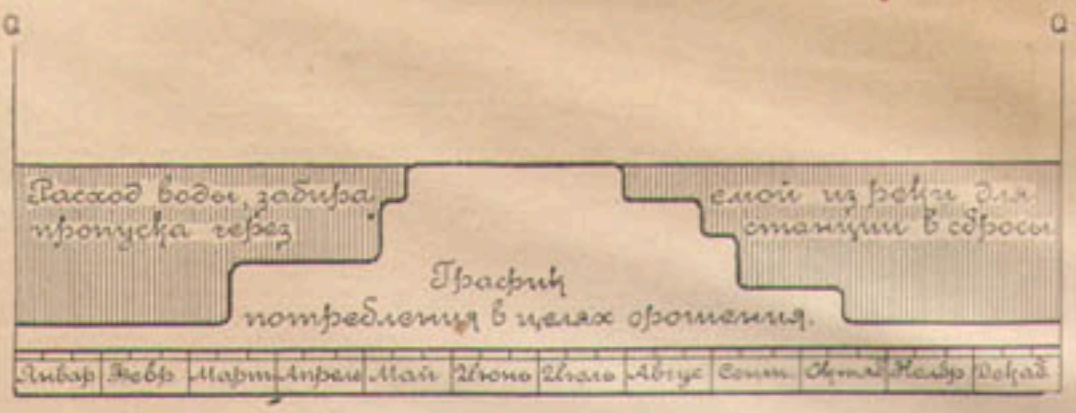
1) для поддержания, в периоды пропуска малых расходов, горизонта воды в магистральном канале на требуемой высоте, в целях обеспечения питания распределителя полным расходом;
2) для подъема горизонта, в периоды пропуска по каналу малых расходов, в целях уменьшения высоты качания;
3) для облегчения работы сброса и для регулирования расхода воды, поступающего через поперечное прегражденне в нижележащий участок канала (Б);
4) для полной изоляции в случае катастрофы (положим, прорыва дамб канала на участке ниже поперечного прегражденния), участка Б от участка А, путем закрытия щитов поперечного прегражденния и открытия щитов сбросного шлюза.

В конце холостой части образуется большая разница горизонтов воды в канале и в реке (см. черт. 156), которую можно при благоприятных топографических условиях использовать, устроив гидростанцию. Для этой

Черт. 156. Разрез по оси сбросного канала.

цели необходимо увеличить пропускную способность холостой части канала на расход, потребный для работы гидростанции в период острой потребности системы в поливе; таким образом, последняя сможет работать круглый год, пользуясь в зимнее время также и освободившимся расходом, не используемым на мелиорацию. Если не увеличивать пропускную способность канала, то для работы гидростанции придется ограничиться только теми избытками воды, которые будут получаться в системе, благодаря уменьшению требований на поливную воду в осеннее и весеннее время и, в особенности, зимою.

Как известно, режим магистрального канала определяется графиком потребления (см. главу VIII), согласно которому наибольший расход воды по каналу приходится пропускать в течении вегетационного периода; на этот максимальный расход и расчитывается пропускная способность магистрального канала; в остальное же время года расход воды, пропускаемый по каналу, (потребный для целей ирригации), значительно меньше, поэтому, при избытке воды в реке, можно было бы, пропуская по холостой части канала полный расход в течение всего года, сбрасывать (разницу между ним и тем расходом, который требуется в данное время на орошение) через станцию (по сбросному каналу) в реку. При этих условиях гидроэлектрическая станция будет обеспечена некоторым расходом воды в течение всего времени, за исключением периода максимальной потребности системы в поливной воде (см. черт. 157).



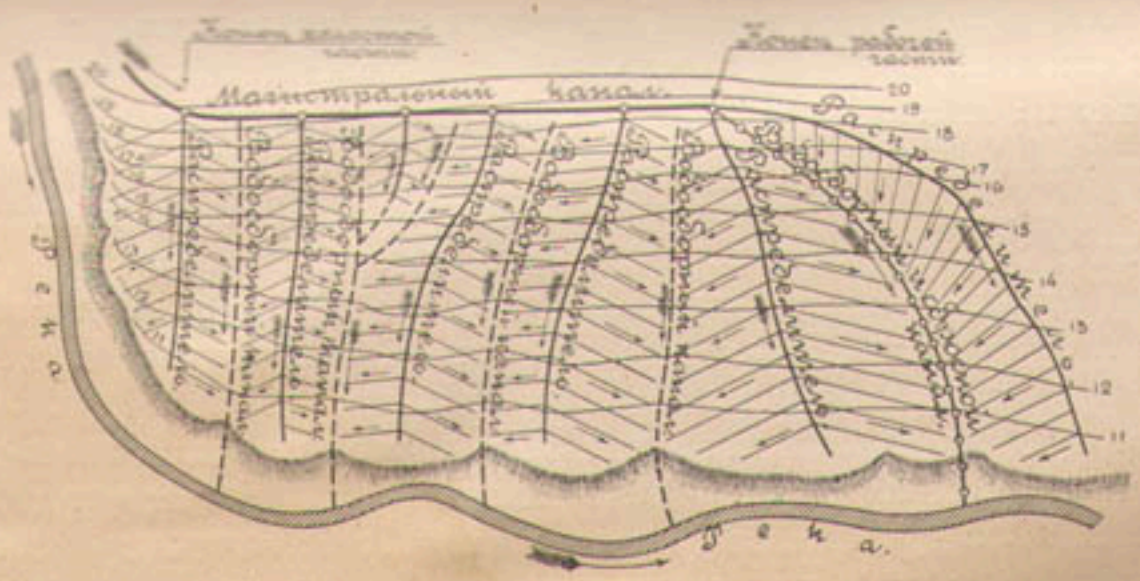
Черт. 157. График расходов воды, которые могут быть сброшены через гидростанцию в конце холостой части магистрального канала.

Русло канала в конце холостой части (в пределах узла сооружений и выше) в районе действия кривой спада, образующейся во время работы сбросного шлюза, необходимо укреплять мостовой или бетонной одеждой во избежание размыва.

Трасса канала. Внутри границ района орошения, магистральный канал должен господствовать над всею орошаемой площадью, начиная с конца холостой части магистрального канала и кончая последним узлом сооружений, где он распадается на ряд распределителей.

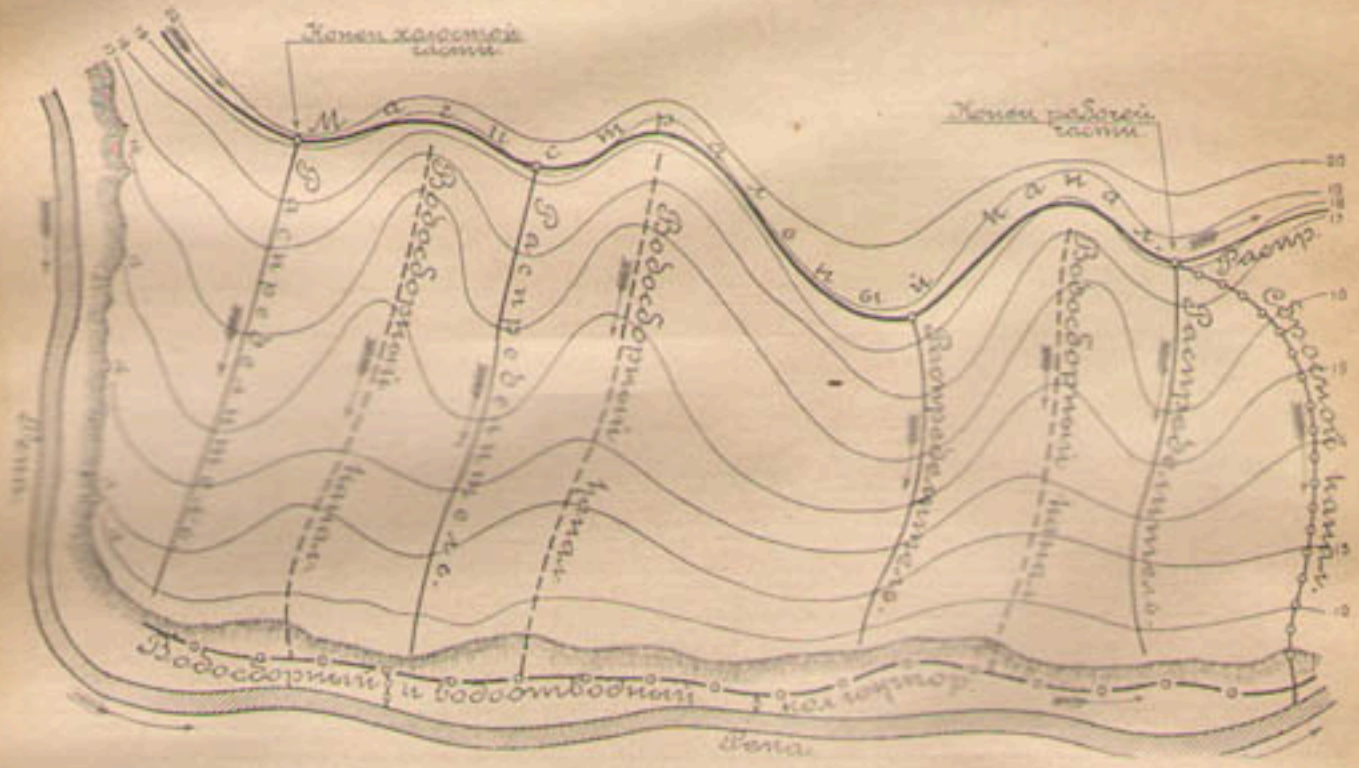
В главе VI, где описаны основные типы рельефов и связанные с ними общие схемы оросительных систем, приведены также различные виды общего направления трасс рабочей части магистрального канала. Существуют три главных типа трасс.

К первому типу мы относим тот случай, когда магистральный канал или его ветвь трассируется поперек общего ската местности, следуя с незначительным уклоном почти по горизонтали вдоль верхней границы подлежащей орошению площади. В этом случае распределители проводятся по скату местности и снабжают водой оросители, берущие начало по обе стороны каждого распределителя (см. черт. 57 и 64 главы VI и черт. 158 настоящей главы).



Черт. 158. Трасса магистрального канала по 1-му типу.

Площадь командования редко имеет однообразный склон; ровный скат местности обыкновенно нарушается впадинами, холмами, второстепенными водоразделами и проч. В этих случаях магистральный канал, трассируясь по тем же принципам, теряет свою прямолинейность и обычно получает извилистое направление, следуя в общем за главными изгибами горизонталей, определяющими второстепенные водоразделы и понижения между ними. По гребню этих водоразделов проводятся распределители, командующие площадью склонов обеих сторон вплоть до линий стока, по которым проволятся водосборные каналы (см. черт. 159).

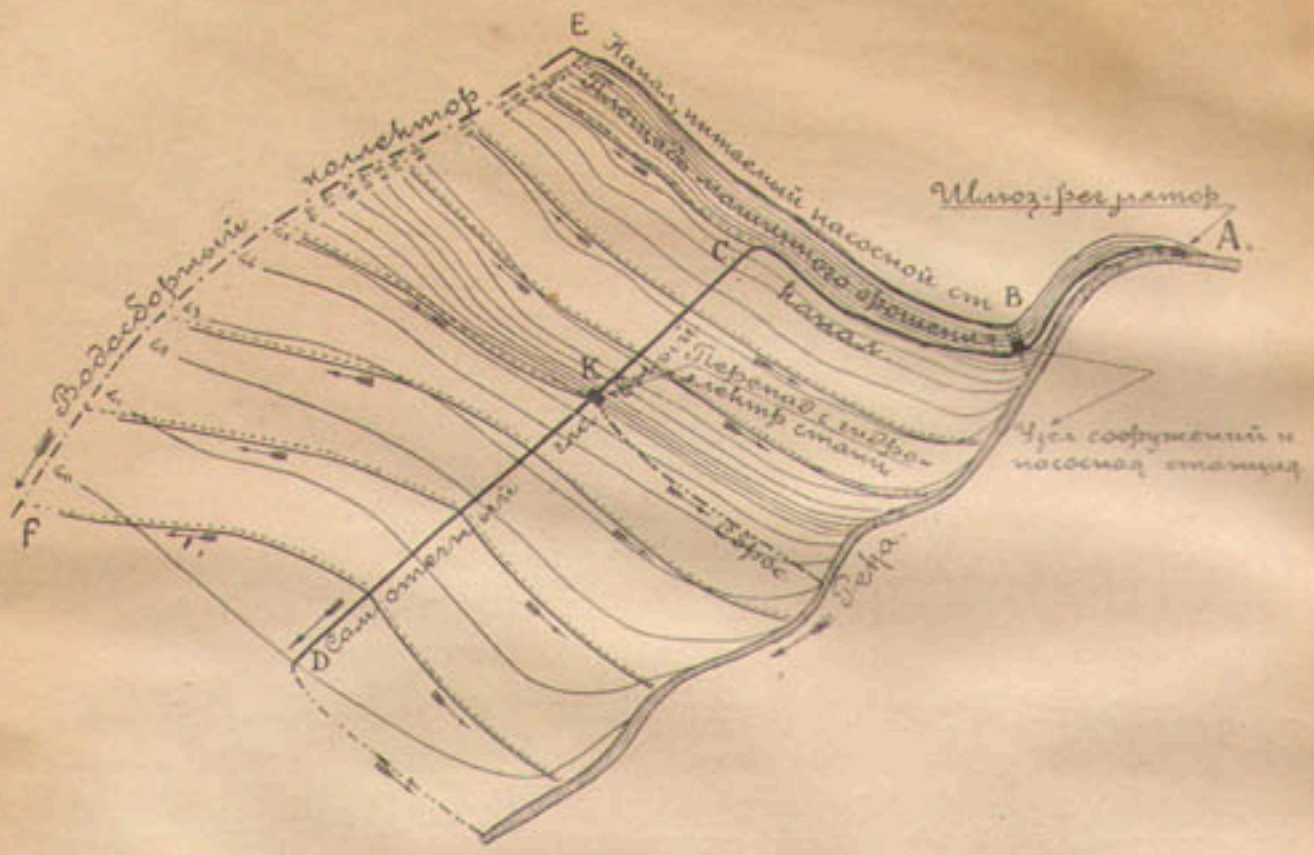


Черт. 159. Трасса магистрального канала поперек общего ската местности, при наличии резко выраженных водоразделов.

Когда местность имеет скат в обе стороны, канал следует вести по гребню главного водораздела. Распределители располагают по обоим склонам главного водораздела, по гребню второстепенных водоразделов; их отводят из главного канала в пунктах ответвления этих водоразделов от главного.

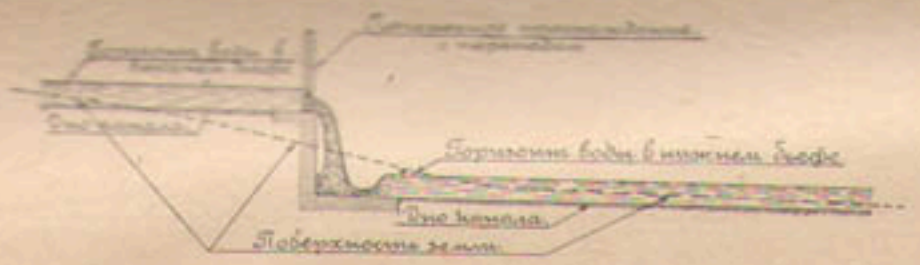
Второй тип трассы предусматривает проведение магистрального канала по скату местности, примерно, по средине предполагаемого к орошению района, как это указано на черт. 160. Распределители в этом случае трассируются поперек ската местности, почти по горизонталям, оросители же прокладываются также по скату местности.

К этому типу трассы магистрального канала приходится прибегать, когда район орошения имеет незначительную ширину (то-есть протяжение поперек ската) и сравнительно большую длину (по скату местности). Проводя канал по средине длинного участка, получаем возможность распределители устраивать короткими с меньшей пропускной способностью.



Черт. 160. Второй тип трассы магистрального канала (по направлению ската местности).

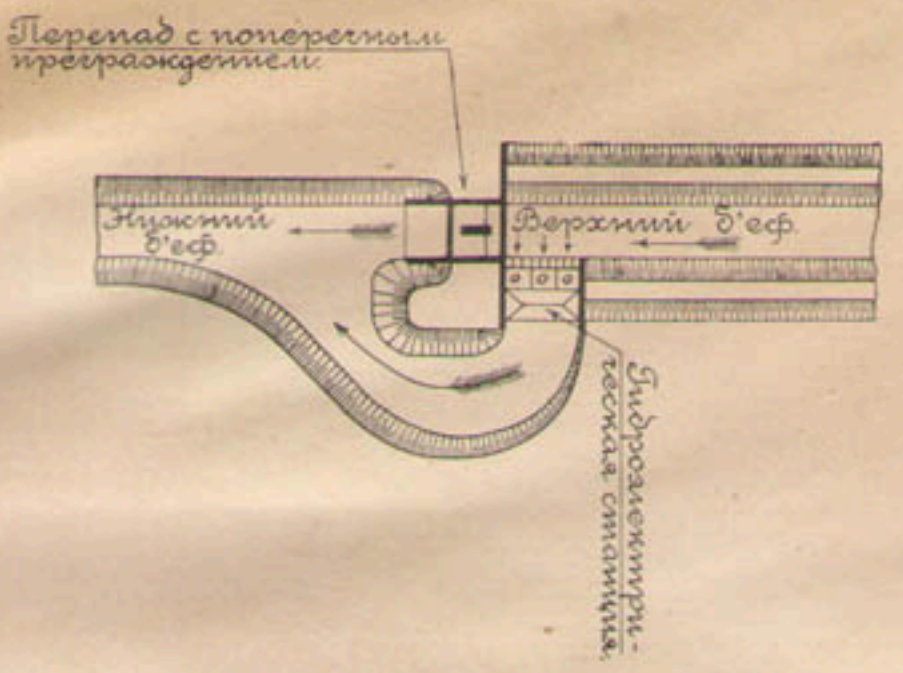
Взамен большого количества перепадов на распределителях приходится устраивать перепады только на магистральном канале и так как по магистральному каналу проходит сравнительно большое количество воды, можно, в случае нужды, сосредоточив значительное падение дна канала в подходящих пунктах его трассы, использовать с большой выгодой водную энергию, имеющуюся в системе. На чертеже 160, удобным для использования энергии является пункт К: благодаря крутому падению местности, здесь возможно сосредоточить большое падение канала и устроить гидростанцию (см. черт. 161 и 162).



Черт. 161. Продольный разрез по оси магистрального канала в районе пункта К.

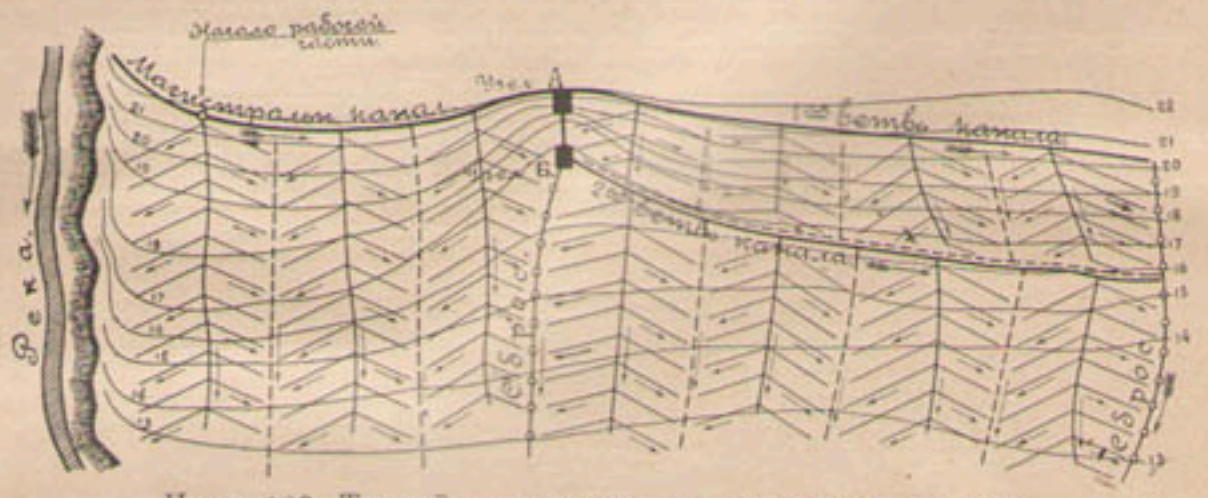
Канал приходится вести то в выемке, то в насыпи, при чем участок канала в высокой насыпи непосредственно примыкает к участку с глубокой выемкой, так что вынутую землю из последней можно использовать (продольной возкой) для устройства насыпи (см. черт. 161).

Третий тип трассы предусматривает смешанное решение вопроса, — сперва рабочая часть канала прокладывается поперек ската (почти вдоль горизонталей, с малым уклоном) вплоть до того пункта, где



Черт. 162. Схема сооружений в пункте К канала с устройством гидростанции.

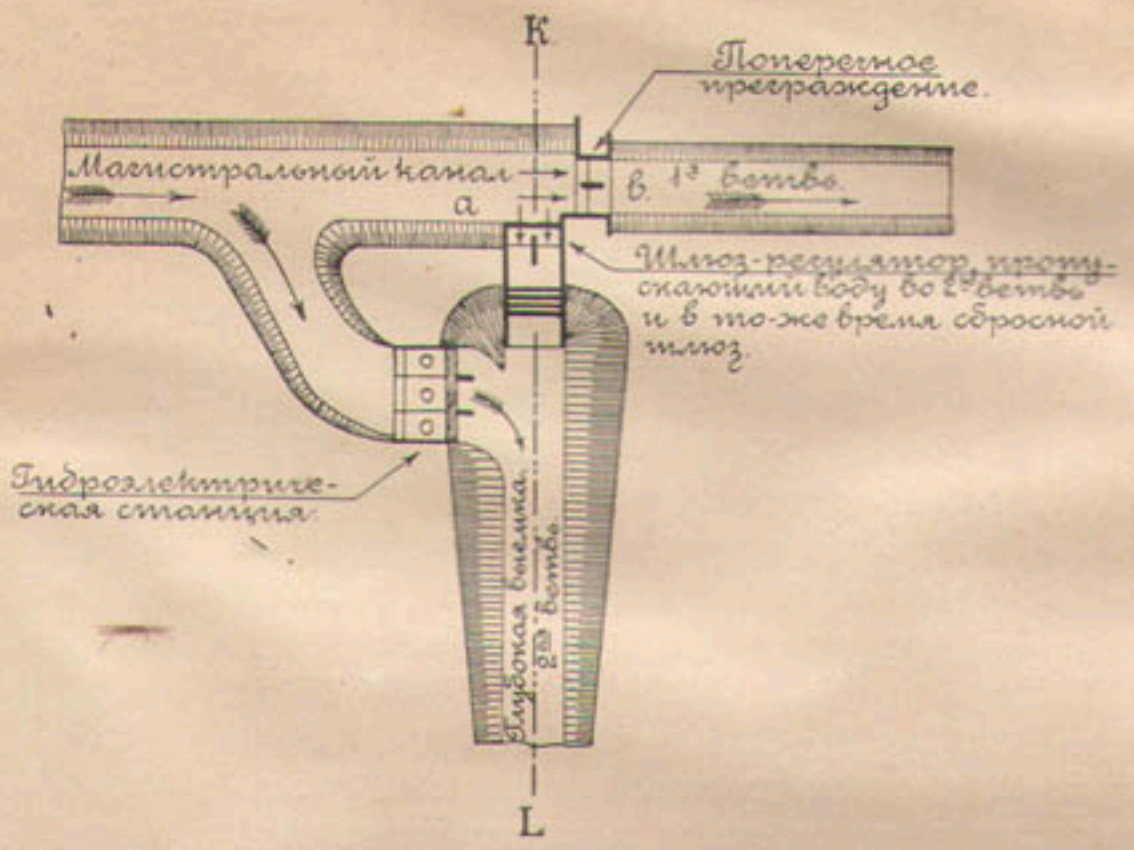
скат прилегающей к каналу местности принимает очень крутой характер (здесь канал разветвляется на две ветви, одна из них служит как бы продолжением предыдущей трассы (то-есть поперек ската), другую же из них сперва трассируют по линии наибольшего ската (АБ), а затем в том пункте (Б), где склон местности снова становится пологим, канал поворачивают, направляя его опять по горизонтали (см. черт. 163). Разделение



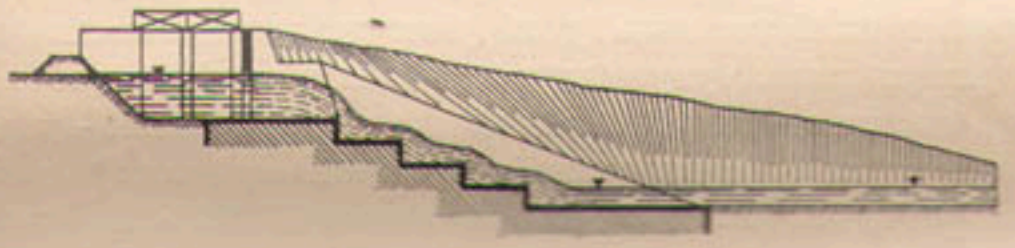
Черт. 163. Третий тип трассы магистрального канала.

канала на две ветви позволяет использовать участок АБ, с крутым падением местности, в целях получения дешевой гидравлической энергии. Для этого в точке А устраивают узел сооружений (см. черт. 164 и 165), состоящий из поперечного прегражденния, гидростанции и сбросного шлюза. Последний в то же время служит и шлюзом-регулятором для второй ветви. Канал на протяжении АБ идет в глубокой выемке. Выемка постепенно уменьшается от А к Б. В точке Б горизонт воды выходит на „поверхность земли“ и канал снова может „командовать“ прилегающей к нему местностью.

Работа узла А заключается в следующем: при помощи поперечного преграждения поддерживается горизонт воды в бьефе „а" на требуемой отметке и пропускается надлежащий расход в первую ветвь, то-есть в бьеф „в".



Черт. 164. Узел сооружений А (см. черт. 163).

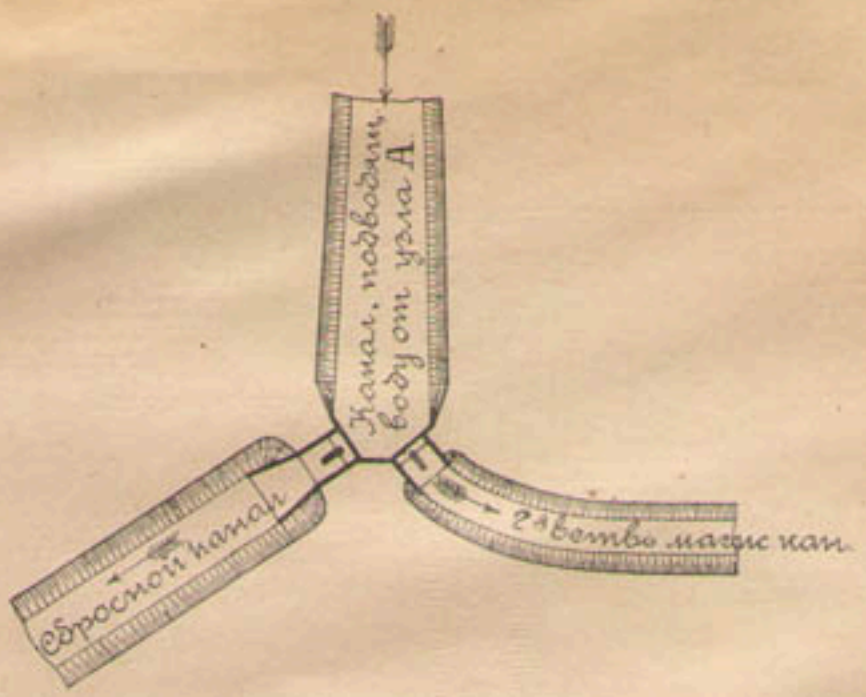


Черт. 165. Разрез по KL (см. черт. 164).

Остальной расход пропускается через гидростанцию во вторую ветвь. Если гидростанция не работает, этот расход пропускается во вторую ветвь через шлюз-регулятор. Последним также пользуются, как сбросным шлюзом, когда бывает необходимо, почему-либо, быстро уменьшить расход воды, поступающий в первую ветвь. В таком случае избыток воды сбрасывается через шлюз в канал АБ и подводится к узлу Б; здесь этот избыток воды может быть направлен далее по второй ветви для усиления ее оросительной способности, или же сброшен в особый сбросной канал, отходящий от узла Б (см. черт. 163 и 166).

Нетрудно усмотреть из вышеизложенного, что третья схема может быть применена только в случае потребности в энергии и благоприятных

топографических условий, дающих возможность пройти участок АБ каналом с небольшим количеством земляных работ и получить энергию сравнительно дешево.



Черт. 166. Схема сооружений в узле Б.

О трассе канала в засоленных грунтах. Обычно магистральный канал в рабочей части стремятся вести в полувыемке, в полунасыпи, подгоняя к минимуму земляных работ, при этом горизонт воды возвышается над поверхностью окружающей местности. При прохождении засоленных районов, канал надо вести только в выемке, ибо дамбы, сложенные из засоленного грунта, благодаря присутствию в последнем легкорастворимых солей, будут быстро разрушаться. Это требование приводит к необходимости передвижения трассы нормально - уложенной в плане в сторону повышения рельефа местности и некоторого изменения типа живого сечения, как это указано в главе XIX. Вода, протекающая по каналу, проложенному в засоленном грунте, постепенно вымывает соли из окружающей его полосы грунта, так что в конце концов появляются вблизи канала пресные грунтовые воды, годные даже для питья. Процесс выщелачивания происходит очень быстро. Если принять во внимание громадное количество протекающей по каналу воды по сравнению с количеством солей, содержащихся даже в очень засоленных грунтах, то станет понятным, что концентрация в воде канала (пересекающего засоленный район) будет незначительна и, обычно, совершенно неопасна для растений. Чем длиннее часть канала, проложенная по засоленному району, чем сильнее засоление грунта, чем менее растворимы соли, тем, очевидно, длительнее будет происходить процесс выщелачивания. В Муганской степи уже во второй год эксплоатации системы пользовались для питья водою (в периоды закрытия канала для ремонта) из колодцев, заложенных вблизи каналов, проведенных в засоленном грунте.

Применение естественных водотоков для подачи воды. Естественные водотоки, как, например, реки и ручьи, имеют иногда такое расположение по отношению к магистральным каналам, что вода из последних может быть сброшена в естественное русло и по ним передана далее вглубь орошаемого района. Из естественного водотока вода может быть передана или в распределители через шлюзы-регуляторы или же снова в искусственный канал, служащий продолжением рабочей части магистрального канала.

Более мелкие естественные русла, встречающиеся по пути следования магистрального канала, могут быть также использованы в качестве распределителей. В местах пересечения их с магистральным каналом устраиваются шлюзы-регуляторы, а иногда и поперечные преграждения, при помощи которых вода из канала передается в эти русла.

Использование естественных русел возможно при сравнительно значительном уклоне местности, при котором вывод воды из них становится легким и дешевым; кроме того, необходимо, чтобы ложе русел было сложено из плотно слежавшегося гравия и вообще грунта, допускающего применение высоких скоростей. Преимущество использования естественных русел при столь благоприятных условиях состоит в значительной экономии по устройству магистрального канала и в уменьшении потерь по пути следования воды; в некоторых случаях расход воды даже увеличивается в виду проникновения в русло возвратных вод, уже раз использованных для орошения. При отсутствии вышеуказанных благоприятных условий, пользование естественными руслами нежелательно, особенно там, где оно является сточным руслом поверхностных и подземных вод.

Работа канала. Как мы уже указывали, функции рабочей части магистрального канала заключаются в водопередаче и в водораспределении. Следовательно, для проектирования этой части канала абсолютно необходимо:

а) предварительная разбивка распределительной сети;

б) предварительное установление вида водопользования по всей сети;

в) предварительный гидравлический расчет, определение поперечных сечений и продольного профиля начальных участков высокорасположенных распределителей.

Предварительная разбивка распределительной сети должна установить площадь командования каждого распределителя, потребный расход воды для него и наиболее рациональное место вывода распределителя из магистрального канала, ибо по мере того, как канал будет передавать какие-то части своего расхода воды в отходящие из него распределители, остающийся расход в канале будет уменьшаться, что должно повлечь за собой уменьшение поперечного сечения, изменение уклона и пр.

В самом деле из чертежа 167 видно, что если из холостой части поступает в рабочую часть расхода $Q_{\text{маг.}}$, то на участок БВ будет поступать уже расход $Q_{\text{маг.}} - Q_1^{\text{рас.}}$ на участок ВГ, расход $[Q_{\text{маг.}} - Q_1^{\text{рас.}} - Q_2^{\text{рас}}]$ и т. д.

Черт. 167. Схематический план рабочей части магистрального канала с показанием выводов распределителей.

Изменение распределительной сети в плане неминуемо влечет за собою и перемещение мест выводов распределителей из канала, то-есть точек Б, В . . . . . З, И, и изменение величин $Q_1^{\text{рас.}}$ и $Q_2^{\text{рас.}}$ . . . . . , поэтому для окончательного проектирования рабочей части канала абсолютно необходимо точное установление в плане всей распределительной сети. Для предварительного проекта можно, конечно, ограничиться данными предварительной разбивки сети, однако, при условии, что изменения площадей командования распределителей и месторасположений их выводов (шлюзов-регуляторов), которые могут потребоваться в дальнейшем, будут несущественными, не влияющими в общей совокупности более или менее значительно на общую стоимость канала и его режим. Итак, наметив трассу рабочей части канала, следует затем перейти к разбивке в плане сети, как распределительной, так и мелкой, ибо первую нельзя разбить правильно без одновременной разбивки последней.

Предварительное установление вида водопользования во всей системе абсолютно необходимо для определения расчетного расхода канала на различных его участках, ибо вышеприведенная простая схема установления расходов верна только в случае отсутствия водооборота в системе.

В конце главы XI даны анализ работы канала при разных видах водопользования и способ определения расходов. Из этого анализа легко усмотреть, как существенно влияет принятый тип водооборота на величину расчетного расхода для различных участков (перегонов) канала. Поэтому мы здесь на этом вопросе останавливаться уже не будем. Отметим только, что от принятого вида водооборота зависят не только расчетные расходы, но и расчетные горизонты воды, которые необходимо поддерживать в различных пунктах канала (главным образом, в местах вывода распределителей). Когда канал работает „непрерывным потоком", без водооборота (то-есть постоянно питая водою все распределители, берущие из него начало), то при малых расходах в главном канале соответственно поступают малые расходы и в распределители; с увеличением расхода по главному каналу увеличиваются расходы и по распределителям. Таким образом,

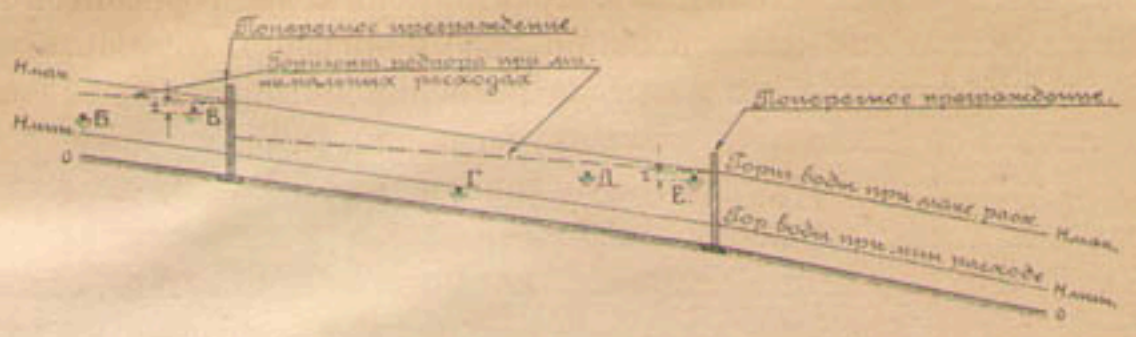
когда понижается горизонт воды (при равномерном движении, без искусственного подпора) в главном канале, то понижается одновременно и горизонт воды в распределителях. Правда, понижение горизонтов в распределителях происходит не пропорционально понижению горизонта в главном канале и для подачи воды в высоко расположенные распределители могут потребоваться в некоторых случаях водоподпорные сооружения, однако, высота необходимого подпора при данном виде водопользования будет меньше, чем при других.

При водообороте по главному каналу, как известно, одновременно получают воду не все распределители, а только некоторые из них, сосредоточенные на какой-то части (перегоне) магистрального канала. Но, когда распределитель работает, он получает воду полным потребным расходом, вне зависимости от того, какие расходы воды и при каких горизонтах проходят по магистральному каналу. Следовательно, в этом случае необходимо предусмотреть возможность питания распределителя полным расходом при самых малых расходах канала, что неизбежно потребует устройства на последнем поперечных преграждений, при помощи которых возможно регулировать горизонт воды в нем по желанию. На схематическом продольном профиле участка рабочей части магистрального канала (см. черт. 168) показаны горизонты воды в различных распределителях при пропуске полного расхода (Б, В, Г, Д, Е), а также горизонты воды (при равномерном течении) в магистральном канале, в случае пропуска минимального расхода ($H_{min.} - H_{min.}$) и максимального расхода ($H_{max.} - H_{max.}$). Из чертежа видно, что потребные горизонты воды в распределителях могут оказаться значительно выше горизонта $H_{min.} - H_{min.}$ и что только при помощи устройства двух поперечных преграждений возможно обеспечить в канале потребные горизонты, при которых во всякое время будет возможен пропуск в распределители полных расходов. При высокой воде в канале преграждения открыты и распределитель питается из неподпертого бьефа; как только горизонт воды в канале падает ниже определенного уровня, должна начаться работа поперечных преграждений. Горизонт воды в канале должен быть выше горизонта в распределителе на некоторую величину z, равную потере напора при пропуске воды через шлюз-регулятор. Эта величина незначительна, она колеблется обычно в пределах 0,10—0,20 метров, в зависимости от конструкции шлюза и экономических соображений.

Таким образом, если в ирригационной системе принимается водооборот, рабочая часть канала обращается в ряд подпертых бьефов.

Наконец, предварительный гидравлический расчет, определение поперечных сечений и продольного профиля, хотя бы, начальных участков высоко расположенных распределителей необходимы потому, что местоположение подпорных сооружений (поперечных прегражений), а, следовательно, и весь режим неравномерного движения в канале могут быть установлены только после определения горизонтов воды (при полном расходе) в тех распределителях,

которые командуют высокой местностью, то-есть горизонтов Б, В, Д, Е (см. черт. 168).



Черт. 168. Схематический продольный разрез по оси магистрального канала с показанием требующихся горизонтов воды в головах распределителей.

Итак, проектирование рабочей части магистрального канала, определение его продольного профиля и поперечных сечений должно производиться после запроектирования распределительной сети в плане и в профиле и после установления водооборота. С другой стороны и распределительная сеть не может быть окончательно запроектирована (см. главу XIII), пока не будут окончательно установлены трасса, продольный профиль магистрального канала и места поперечных преграждений. Поэтому, проектирование должно вестись в нижеуказанном порядке.

1. На план в горизонталях наносится предварительная трасса рабочей части канала, сообразуясь с примерными расходами воды на различных участках канала и соответствующими уклонами.
2. Устанавливается вид водопользования, тип водооборота, величина хозяйственного тока.
3. Устанавливаются основные принципы и схема заселения.
4. Разбивается в первом приближении распределительная и мелкая сеть.
5. Определяются площади командования распределителей.
6. Оценивается, приблизительно, величина потерь в оросителях и в распределителях и, пользуясь гидромодулем „у полей орошения", определяются в первом приближении потребные рабочие расходы для каждого распределителя ($Q_1^{\text{рас.}}$, $Q_2^{\text{рас.}}$ . . . . .).
7. Производится гидравлический расчет верхних участков распределителей, примыкающих к магистральному каналу, и строится их продольный профиль с нанесением рабочих горизонтов.
8. На продольный профиль по трассе магистрального канала, в местах намеченных выводов распределителей, наносятся отметки рабочих горизонтов в голове распределителей и выписываются соответствующие расходы воды, которые должны подаваться из канала в распределители.
9. Устанавливается в первом приближении план работы магистрального канала, удовлетворяющий принятому типу водооборота, требо-

ваниям распределителей в расходе воды и в горизонте подачи. Таким образом устанавливаются расчетные расходы для разных участков канала и расчетные горизонты воды в нем, подпорные бьефы, места расположения поперечных преграждений и сбросных шлюзов.

Последние, как указывалось раньше, необходимы для сбрасывания из канала лишних расходов, образующихся в том случае, когда вода почему-либо не может быть передана из канала в распределители и остается в нем. Очевидно, или нужно увеличить пропускную способность канала на нижележащем участке для пропуска вниз по течению указанного избытка воды или устроить сброс, через который его можно было бы совсем удалить из канала.

10. Производится гидравлический расчет канала, определяются в различных вариантах поперечные сечения и продольный профиль канала на всем его протяжении. Определяется затем наиболее выгодный вариант.
11. В процессе работы (по пунктам 8, 9 и 10) может выясниться, что в разбивку распределительной сети следует внести те или иные изменения, иногда весьма существенные. В связи с этим приходится вновь перебивать сеть в плане, но уже с большей тщательностью и точностью, а, следовательно, и вновь определять площади командования распределителей, вновь определять их расходы, учитывая уже более точно потери воды в оросителях и в распределителях (принимая во внимание смоченную поверхность последних, глубину грунтовых вод, глубину воды в канале, род грунта и прочее) и вычисляя их по формулам.

Следует отметить, что существенные изменения в плане распределительной и мелкой сетей могут быть внесены даже одним видоизменением водооборота.

12. Имея измененные задания со стороны распределительной сети к магистральному каналу, приходится вновь расчитывать последний в порядке 8, 9 и 10 пунктов.
13. В особо трудных случаях иногда приходится и в третий раз проделывать всю работу согласования и увязки. Однако, не следует жалеть времени и труда на такую увязку, то-есть на достижение наиболее рационального согласования работы отдельных элементов системы. Углубленная, детальная проектировочная работа окупится сторицей при постройке и эксплоатации, ибо удорожание проектировочной работы выражается в сотнях рублей, а удешевление строительных и эксплоатационных работ—в десятках и сотнях тысяч. Данное соображение не следует никогда упускать из виду.

Наложение трассы на местность. Для проектирования канала и сети необходимо иметь план всего района в горизонталях. Масштаб съемки должен быть достаточно большим (100 метров в 1 сантиметре с горизонталями через 0,20 метр. для ровной местности, 50 метров в 1 сантиметре с горизонталями через 0,40 метр. для местности с средней крутизной и пересеченной и, наконец, 25 метров в 1 сантиметре для районов с очень крутым паденнем), если желают проложить экономическую трассу и если при этом хотят добиться, чтобы проектная трасса, установленная по плану, не потребовала бы впоследствии существенных изменений при разбивке на местности. Когда разбивка трассы канала производится по плану, недостаточно подробному в плановом или высотном отношении, тогда может оказаться (при наложении проектной оси канала на местность), что в действительности трасса канала должна будет пересекать непредвиденную при проектировании высокую или пониженную местность, высокие или низкие участки земли или очень близко подходит к жилым постройкам, требуя дорогого отчуждения, что не предвиделось проектом. Запроектированную трассу необходимо проверять на местности, даже при наличии подробной плановой и высотной съемки, так как может встретиться необходимость, в зависимости от микрорельефа местности, в незначительных отступлениях от проектной трассы. При разбивке трассы должны быть одновременно засняты поперечники и произведено бурение до горизонта грунтовых вод, для определения глубины залегания последних и для определения рода грунтов, в которых будет проложено русло канала, а также тех, которые будут отделять поток, протекающий по каналу, от подземного потока грунтовых вод. Бурение до уровня грунтовых вод весьма желательно по ряду соображений: во-первых, для суждений о предполагаемой величине фильтрации, ибо в формулу потерь должны входить глубина залегания грунтовых вод, а также объем пор, удельная поверхность и плотность грунтов, через которые вода будет просачиваться из канала, во-вторых, для наблюдения над подъемом горизонта грунтовых вод после пуска воды в канал, в целях своевременного принятия надлежащих мер по уменьшению фильтрации воды на тех его участках, где это явление будет принимать угрожающие размеры. Однако, в целях удешевления изыскательских работ, можно, в крайнем случае, не все скважины доводить до уровня грунтовых вод, если поверхность залегания имеет правильный характер. Во всяком случае, бурение и шурфование должны производиться на глубину не менее 2,5 метров ниже дна канала, за исключением тех случаев, когда канал пролегает в скале и в конгломерате.

Ось канала должна быть закреплена в поле реперами, поставленными на всех углах поворота трассы, а также и на прямых участках в тех местах, где длина прямой превосходит 5 километров. Угловые репера должны быть солидными, не дающими осадки, и хорошо сопротивляющимися всяким изгибам, порче и проч.

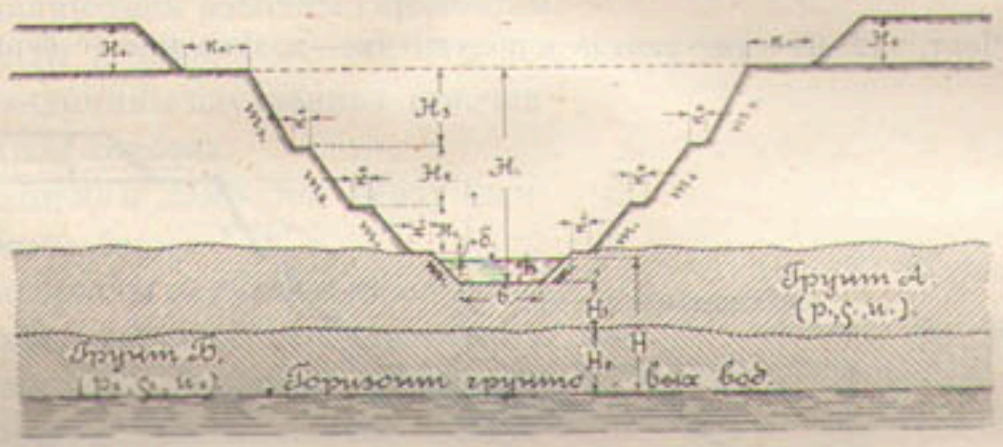
Поперечники, снимаемые при разбивке трассы, должны иметь достаточную длину, во-первых, для того, чтобы проектирующий имел возмож-

вость при составлении рабочего проекта несколько передвигать ось канала, если бы это потребовалось, а, во-вторых, для того, чтобы они могли охватить всю полосу отчуждения канала, то-есть не только полосу, которую займет непосредственно сечение канала, но также и места заложения резервов и кавальеров.

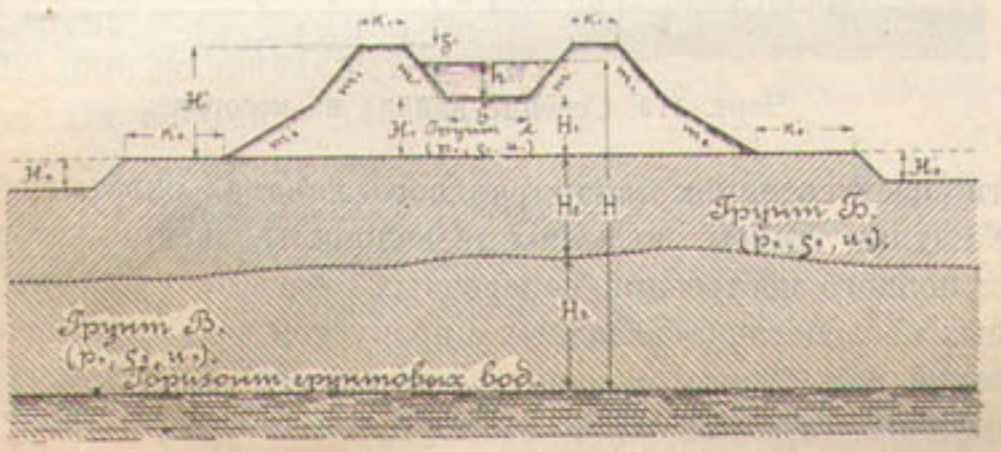
Общие данные для проектирования и расчета магистрального канала.

Обычные гидравлические расчеты по каналам сводятся или к определению того расхода, который может быть пропущен по существующему каналу или к определению поперечного сечения [то-есть площади живого сечения (ω), смоченного периметра (χ), ширины по дну (b) и глубины наполнения канала (h)], при данном расчетном расходе (Q), при уклоне (i), установленном принятой трассой канала и при данном грунте, в котором будет проложено ложе канала. В главе XIX показаны порядок и способы расчета каналов, а также приведены вспомогательные для расчета графики и таблицы.

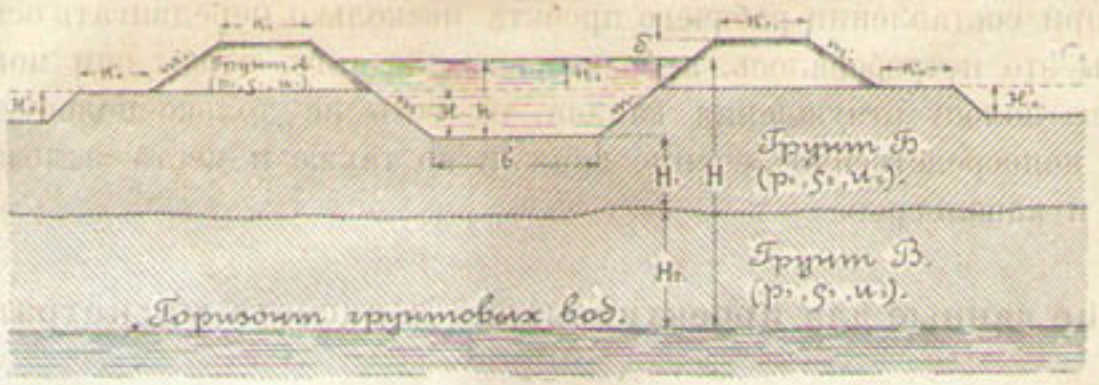
Однако, для составления проекта канала необходимо, помимо величин Q, i, ω, v, χ, b, h, знание целого ряда других величин.



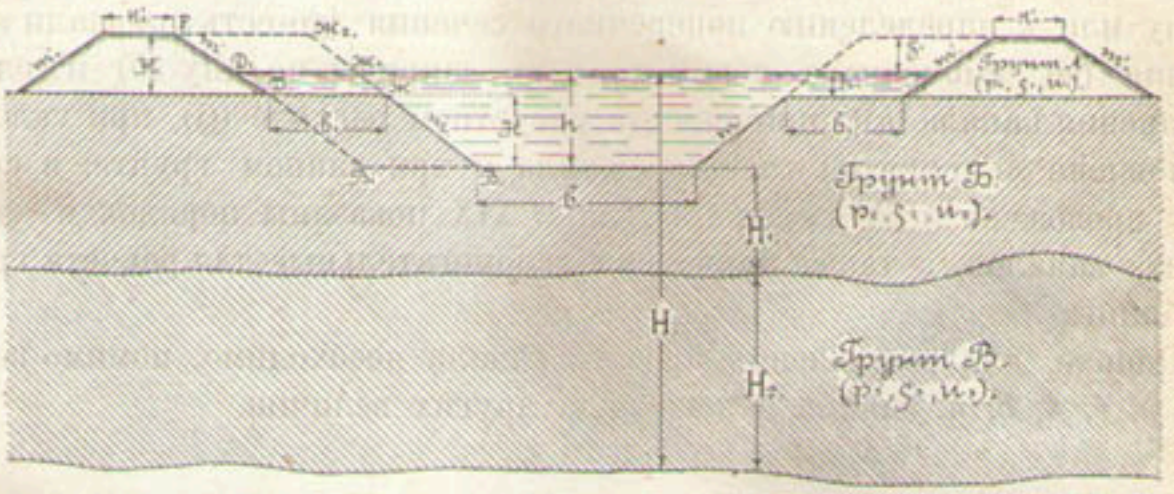
Черт. 169. Сечение канала в глубокой выемке.



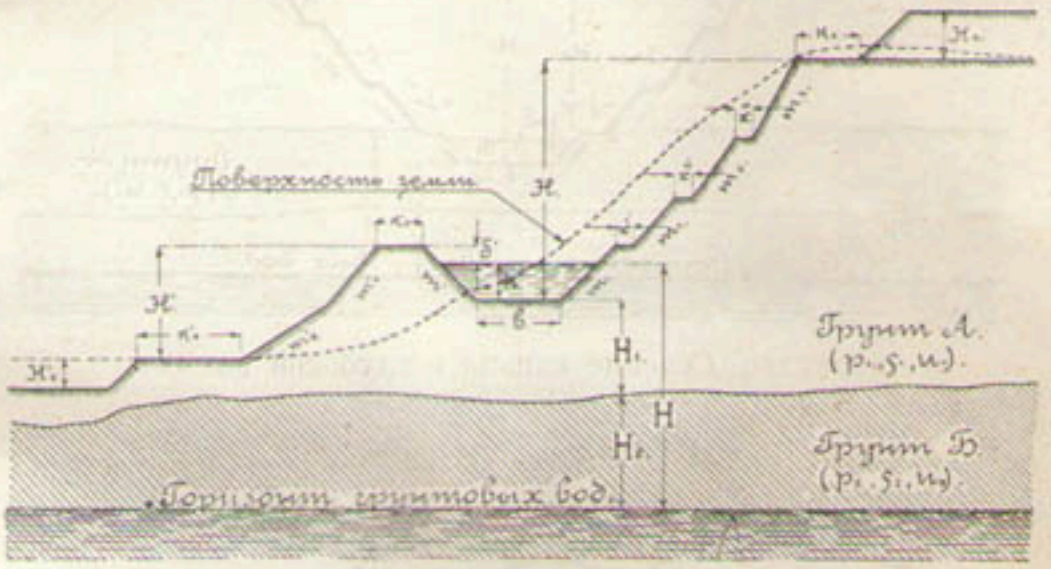
Черт. 170. Сечение канала в насыпи с подсыпным дном.



Черт. 171. Сечение канала в полувыемке—полунасыпи (без берм).



Черт. 172. Сечение канала в полувыемке—полунасыпи (с бермами).



Черт. 173. Сечение канала на косогоре.

На типовых сечениях магистрального канала, охватывающих разнообразные случаи трассы, показаны те величины, знание которых необходимо для полного построения поперечных сечений и для учета наиболее неизбежных последствий, связанных с пропуском воды по каналам, а именно просачивания воды через смоченную поверхность канала и подъема горизонта грунтовых вод. Как видно из чертежей (см. черт. 169, 170, 171, 172 и 173) для построения поперечных сечений требуется установление следующих величин:

а) Для выемки:

1) величины смоченного откоса. . . . . m
2) величины откосов, выше первой бермы, вне смоченной поверхности для различных грунтов . . . . . $m_1, m_2, m_3 \ldots m_n$
3) ширины берм, оставляемых по высоте выемки. . . . . $k_1, k_2, k_3 \ldots k_n$
4) ширины площадки, оставляемой между урезом выемки и подошвой кавальеров . . . . . k_0
5) высоты кавальеров. . . . . H_0
6) глубины выемки между соседними бермами . . . . . $H_1, H_2 H_3 \ldots H_n$
7) превышения первой бермы над наивысшим рабочим горизонтом воды в канале . . . . . δ
8) общей глубины выемки, равной. $H_1 + H_2 + \ldots H_n \ldots + \delta + h = H$

б) для насыпи:

1) высоты подсыпного дна . . . . . H_1
2) превышения бермы дамбы над наивысшим рабочим горизонтом воды в канале . . . . . δ'
3) величины внутренних (смоченных) откосов. . . . . m'
4) ширины дамб по верху (ширины берм) . . . . . k_1'
5) величины наружных откосов, которые могут меняться по высоте . . . . . $m_1', m_2', m_3' \ldots m_n'$
6) ширины площадки между подошвой откоса дамбы и началом резерва . . . . . k_0'
7) глубины резервов . . . . . H_0',
8) общей высоты дамб, равной . . . . . $H_1' + h + \delta' = H'$

в) для полунасыпи—полувыемки, необходимо знание тех же величин, как для насыпи и для выемки и, кроме того (см. черт. 172):

1) ширины полосы между урезом выемки и началом откоса дамбы . . . . . b_1
2) глубины воды при работе канала над вышеуказанной полосой . . . . . h_1
3) глубины выемки . . . . . H

Примечание: русская заглавная прописная буква „эн" на чертежах 169, 170, 171, 172 и 173 в тексте заменена русской наклонной буквой „эн" (H), в виду отсутствия соответствующего шрифта в типографии.

Обозначения для насыпей приняты такие же, как и для выемок, но лишь с „коммой" наверху.

Помимо указанных величин, необходимых, так сказать, для формирования поперечных сечений, следует рассмотреть еще радиусы (R) и углы (α) закруглений канала в плане; предельные величины радиуса закругления и угла поворота сильно влияют на трассу канала и на конечную его стоимость.

Для приблизительной оценки возможных потерь воды из канала и возможного подъема горизонта грунтовых вод, желательно иметь данные (см. те же чертежи):

1. Относительно толщины слоев различных грунтов, залегающих между смоченной поверхностью канала и горизонтом грунтовых вод . . . . . $H_1, H_2, H_3 \ldots$
2. Относительно объема пор (p) в единице объема грунта, плотности (ρ) и удельной поверхности (u) для каждого рода грунта (А, Б, В) в отдельности . . . . $p_1, p_2, p_3 \ldots \rho_1, \rho_2, \rho_3 \ldots u_1, u_2, u_3$,

то-есть, следовательно, относительно всех тех величин, которые входят в формулу потерь воды на просачивание, приводимую и подробно рассматриваемую в главе XIX. Величины H_1, H_2, $H_3 \ldots$ определяются шурфовочными и буровыми работами при трассировании канала, а величины p, ρ, u устанавливаются на основании лабораторного анализа взятых проб соответственных грунтов. О всех названных величинах подробно трактуется в главе XIX, поэтому не будем здесь останавливаться на них.

Наконец, для предохранения вновь проектируемого или переустраиваемого канала от засорения песчаными наносами, необходимо опытное определение коэффициентов ψ и ε в формуле Кеннеди — $v_{ср} = \psi . h^{\varepsilon}$. Эти коэффициенты приводятся и подробно рассматриваются в главе XVIII. Здесь напомним только для полноты картины, что наиболее надежным методом определения величин ψ и ε является непосредственное определение величин v и h на тех участках местных каналов (берущих воду из того же источника орошения и при той же замутненности воды, как и проектируемый канал), где в продолжение многих лет эксплоатации не наблюдалось ни размыва, ни намыва. Подставляя найденные значения v и h в вышеприведенные формулы, легко, очевидно, определить интересующие нас коэффициенты. Если таких каналов нет, к определению коэффициентов можно подойти только путем механического анализа наносов, содержащихся в источнике орошения во время паводков и высоких вод (требуются многократные взятия проб батометром, при различной замутненности источника орошения) и сопоставления полученных данных с известными случаями практики, для которых интересующие нас коэффициенты уже определены.

Итак, из всего ряда величин, которые необходимо знать для проектирования канала а именно: Q; i; $v_{max.}$; $n_{max.}$ и $n_{max.}$; ψ и ε; δ и δ'; m и m'; ω; χ; r; b; h;

b_1 и h_1; k_1 и k_1'; m_1, m_2, . . .; m'_1, m'_2 . . .; k_2, k_3 . . .; k_0 и k'_0; H_0 и H'_0; H_1, H_2 . . .; H'_1; H_1, а также p_1, ρ_1, u_1; H_2, а также p_2, ρ_2, u_2; H_2 . . .; R и α), рассмотрим здесь только величины: δ и δ'; m и m'; b_1 и h_1; k_1 и k_1'; k_1, k_2 . . .; m_1, m_2 . . .; m'_1, m'_2 . . .; H_1, H_2, . . .; H'_1; k_0 и k'_0; H_0 и H'_0; R и α; освещение же прочих величин будет сделано в главах XVIII и XIX.

Возвышение бровки берм (в выемке) и дамб (в насыпи) над уровнем воды в канале—величины δ и δ'. Необходимость оставления некоторого запаса в возвышении дамб над уровнем воды в канале (δ'), при прохождении последнего в насыпи, очевидна, так как даже кратковременный перелив воды поверх дамбы может повлечь размыв, а затем и прорыв последней со всеми печальными последствиями. Когда канал проходит в выемке, непредвиденный подъем горизонта воды, в случае оставления малого запаса δ, может повести к затоплению первой бермы, что не вызовет катастрофических последствий, так как горизонт воды все-таки будет оставаться ниже поверхности земли. Однако, и в этом случае выход воды из предназначенного ему ложа и затопление берм нежелательно, так как создает неудобства в эксплоатации и может вызвать лишние расходы на поддержание канала в порядке. Откосы канала выше первых берм устраиваются обычно более крутыми, в предположении, что они не будут смачиваться и омываться водою, поэтому, когда вода пойдет поверх берм, возможен подмыв высоких откосов и сползание грунта в канал. Кроме того, следует отметить, что увеличение δ' ведет к повышению дамб канала (см. черт. 170, 171 и 172) и, следовательно, к удорожанию последнего, между тем увеличение δ уменьшает площадь выемки (см. черт. 169) и удешевляет стоимость канала, поэтому, казалось бы, нет никаких оснований задавать для δ недостаточную величину.

При назначении величин δ' и δ надо принимать во внимание две группы явлений. К первой группе относятся все те явления, которые ведут к повышению горизонта воды в канале против „расчетного", при чем расчетным горизонтом обычно считают тот горизонт, который получается в канале при пропуске по нему максимального рабочего расхода (Q_{max}), при нормальной величине коэффициента шероховатости ($n_{нор.}$). Ко второй—явления, вызывающие понижение поверхности дамб и берм и ослабление сопротивляемости их верхнего слоя на размыв и просачивание.

Вскроем сущность и значение первой группы явлений. Горизонт воды в канале может подняться против „расчетного" в следующих случаях:

1. Если коэффициент шероховатости ($n_{нор.}$) был принят при расчете преуменьшенным или если, вследствие плохого содержания канала, шероховатость повысилась.
2. Если прямолинейный участок канала имеет большую длину и трасса расположена прямо против ветра. Создавая добавочное сопротивление движению воды в канале (по водной поверхности), ветер является причиной уменьшения средней скорости течения, а, следовательно, и увеличения глубины живого сечения и повышения горизонта воды в канале.

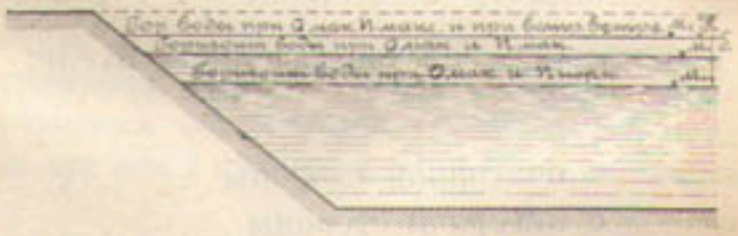
3. Если радиус закругления канала (R) небольшой, а скорость движения воды значительна (такие случаи возможны, например, при бетонированных каналах), горизонт воды в канале, вследствие центробежной силы, на вогнутой стороне повысится, а на выпуклой — понизится (см. черт. 177 и 180).
4. Если на каком-нибудь „перегоне" канала встречается большое количество криволинейных участков с крутыми радиусами, общее сопротивление движению воды увеличивается и горизонт повышается.
5. Если препятствия свободному течению воды, в виде опор мостов или каких-либо других сооружений суживающих живое сечение, создают подпор, распространяющийся вверх по течению и повышающий расчетный горизонт. Подпор может быть в некоторых случаях весьма значительным.
6. Если нижний участок канала имеет большие глубины водного потока (при равномерном движении), чем соседний верхний, то в месте перехода образуется подпор, который распространится на некотором протяжении по верхнему участку и повысит расчетный горизонт.
7. Если на каком-нибудь участке канала происходят отложения наносов (вследствие неудачно установленного соотношения между гидравлическими элементами), то неизбежно должны измениться поперечные сечения канала, а иногда и уклоны дна, в сторону уменьшения, следствием чего явится повышение горизонта воды на данном участке (при пропуске того же самого максимального расхода); кроме того, образуется подпор (см. пункт 6) на некотором протяжении соседнего верхнего участка.
8. Наконец, при неумелом эксплоатационном штате и при недостаточной твердости с его стороны (в отстаивании принципа недопустимости перегрузки каналов) вполне возможны случаи пропуска расходов, значительно превышающих расчетные; при этом, конечно, глубина потока увеличивается.

Ко второй группе явлений, обуславливающих величины δ' и δ, мы относим:

9. Оседание дамб и берм, после пуска воды в канал, наблюдающееся даже в том случае, когда дамбы возведены с тщательной поливкой и утрамбовкой.
10. Растрескивание поверхностного слоя дамб и берм на некоторую глубину. Благодаря капиллярному всасыванию при высоком горизонте воды в канале, верхний слой капиллярно насыщается водою, затем после понижения горизонта, под влиянием действия солнечных лучей, влага испаряется, земля высушивается и верхний слой дамбы растрескивается; при глинистом грунте дамб растрескивание может распространиться на значительную глубину.
11. Износ и разрушение поверхностного слоя дамб и берм ездой, если по ним проходит дорога.

Таковы обстоятельства, в совокупности создающие необходимость оставления сравнительно большого запаса между расчетным горизонтом и верхней бровкой дамб и берм канала. Обзор взглядов наиболее компетентных специалистов ирригационного дела по сему вопросу приводит к заключению, что значения для величин δ и δ' даются весьма различные и иногда даже противоречащие друг другу и что вполне сознательного подхода к этому вопросу до сего времени не имеется. Наметим возможный путь решения вопроса, рисующийся нам в следующем виде.

а) При проектировании канала, необходимо производить гидравлические подсчеты не только при $Q_{max.}$ и нормальном коэффициенте шероховатости ($n_{ср.}$), имеющем место для данного рода русла, но также и при предельных минимальных и максимальных его значениях ($n_{min.}$ и $n_{max.}$). Определяя элементы сечения при коэффициенте $n_{max.}$ и $Q_{max.}$, очевидно, получим некоторую увеличенную глубину h, а, следовательно, и некоторый повышенный горизонт воды в канале. Обозначим этот горизонт через M_1 (см. черт. 174).



Черт. 174. Горизонты воды в канале в зависимости от коэффициента шероховатости.

б) Зная силу и направление встречных ветров в районе трассы канала, необходимо учесть возможное влияние ветра на уменьшение средних скоростей течения воды в канале (при $Q_{max.}$ и $n_{max.}$) и на повышение вследствие этого горизонта воды в нем. Предположим, что уровень воды в канале, в силу указанных обстоятельств, поднимется до горизонта M_2.

в) Построив продольный профиль канала и нанеся соответственно горизонты M_0 (при $Q_{max.}$ и $n_{ср.}$), M_1 (при $Q_{max.}$ и $n_{max.}$) и M_2 (при $Q_{max.}$, $n_{max.}$ и встречном ветре) по всей длине канала, а также все сооружения, стесняющие как-либо живое сечение, по преимуществу опоры мостов и акведуков, определяют величину создаваемого ими подпора и распространение его. Таким образом, для каждой точки канала по его длине определяется предельный возможный горизонт (M_2) протекания воды при пропуске $Q_{max.}$

г) Над определенным таким путем горизонтом M_2 задается высота превышения бровки дамб и берм (δ'_0 и δ_0) при условии, что дамбы строятся с поливкой и утрамбовкой и что они уже успели осесть. Очевидно, что отметки $M_2 + \delta_0 = M_0 + \delta$ и $M_2 + \delta'_0 = M_0 + \delta'$, откуда $\delta = M_2 - M_0 + \delta_0$ и $\delta' = M_2 - M_0 + \delta'_0$

Для величин δ_0 и δ'_0 можно принять следующие значения:

в выемке, в земляном русле:

для больших каналов . . . . . $\delta_0 = 0{,}5$ метра

для малых каналов . . . . . $\delta_0 = 0{,}25$ „

в выемке, в бетонированном русле:

для больших каналов . . . . . $\delta_0 = 0{,}30$ метра
„ малых каналов . . . . . $\delta_0 = 0{,}20$ „

в насыпи, в земляном русле:

для больших каналов:

с подгорной стороны . . . . . $\delta'_0 = 0{,}80$ метра
с нагорной стороны . . . . . $\delta'_0 = 0{,}60$ „

для малых каналов:

с подгорной стороны . . . . . $\delta'_0 = 0{,}70$ „
с нагорной стороны . . . . . $\delta'_0 = 0{,}50$ „

в насыпи, в бетонированном русле:

для больших каналов:

с подгорной стороны . . . . . $\delta'_0 = 0{,}70$ метра
с нагорной стороны . . . . . $\delta'_0 = 0{,}50$ „

для малых каналов:

с подгорной стороны . . . . . $\delta'_0 = 0{,}40$ „
с нагорной стороны . . . . . $\delta'_0 = 0{,}30$ „

Для полунасыпей и полувыемок, для участков проложенных по косогору (см. черт. 173), вышеприведенные значения для δ_0 и δ'_0 сохраняют свою силу; в части выемки применяются величины δ_0, в части насыпи — величины δ'_0. Зная величины $M_2 - M_0$, δ_0 и δ'_0, можно определить δ и δ'. Вышеприведенные соображения показывают, что авторы, назначающие величины δ и δ' в зависимости от глубины воды в канале h или расхода Q_{max} или в зависимости только от ширины дамб (по верху), не совсем представляли себе всю совокупность явлений, от которых зависят эти величины; их соображения имеют некоторую силу при определении величин δ_0 и δ'_0.

Следует отметить, что δ_0 и δ'_0 показывают превышение бровок дамб и берм, уже окончательно осевших, над горизонтом воды в канале — M_2. Поэтому, вполне естественен вопрос, какой же высоты надо строить дамбы в начале, до усадки, то-есть, другими словами, на какой процент оседания дамб надо расчитывать? Ниже приводятся мнения различных авторов по сему вопросу, при чем предполагается, что дамбы возводились тщательно, с поливкой и утрамбовкой и что только об оседании таких дамб и будет итти речь. Несмотря на поливку и утрамбовку, дамбы, все таки, после пуска воды в канал, начинают еще больше уплотняться.

1) Дэвис (Davis, A. P.—1919) рекомендует принимать величину оседания дамбы, то есть уменьшение ее высоты (H')

для невысоких дамб . . . . . $\triangle H' = 0{,}10\ H'$
для высоких дамб . . . . . $\triangle H' = 0{,}05\ H'$

2) Этчеверри (Etcheverry, B. A. — 1916) рекомендует для дамб из суглинистого грунта . . $\Delta H' = 0{,}10\ H'$
3) Мориц (Moritz, E. A. — 1915 г.) дает общую цифру . . . . . $\Delta H' = 0{,}10\ H'$
4) Флин (Flynn, P. P. — 1892 г.) дает:
для дамб из суглинка . . . . . $\Delta H' = 0{,}10 H' - 0{,}05 H'$
для дамб из глины . . . . . $\Delta H' = 0{,}06\ H'$.

Таким образом, проектная, вернее строительная, отметка верха дамб должна равняться:

$$M_2 + \delta'_0 + \Delta H'.$$

Здесь уместно отметить, что грунт, вынутый из выемки и насыпанный в дамбы, без утрамбовки и поливки, увеличивается в объеме, но, после утрамбовки и поливки объем этой же массы грунта значительно уменьшается, так что для 1 куб. метра тела дамбы необходимо взять из резерва:

при песчаном грунте . . . . . 1,10 кб. метра
„ гравелистом грунте . . . . . 1,08 кб. метра
„ суглинистом грунте . . . . . 1,12 кб. метра
„ глинистом грунте . . . . . 1,20—1,25 кб. метра
„ глинисто-гравелистом грунте . . . 1,08—1,10 кб. метра
„ лессовом грунте . . . . . 1,15—1,20 кб. метра

На эти данные надо смотреть, как на показательные, характеризующие явления; в конкретных случаях их следует определять опытным путем в местных условиях.

Вышеприведенные соображения дают возможность сознательно и критически подойти к определению величин δ и δ'. Однако, полагаем полезным привести также сводку данных различных авторов о пределах и обычных размерах запаса, оставляемого между бровкой дамб и горизонтом воды (см. таблицу 43). При этом следует иметь в виду, что все авторы рассматривают горизонт воды в канале, получающийся при пропуске максимального рабочего расхода ($Q_{макс.}$) в предположении, что коэффициент шероховатости будет иметь нормальную величину для данного вида русла ($n_{нор.}$).

Величина δ', по Bellasis'y, зависит от максимальной глубины воды в канале и от величины расхода. Данные, приводимые в таблице 44, заимствованной у Bellasis'a, соответствуют довольно легким почвам Северной Индии и индийской практике. Наконец, в таблице 45 приведены данные относительно некоторых американских, европейских, египетских и отчасти индийских каналов, проложенных в земляном русле (не бетонированном). Из этой таблицы видно, что наименьшие нормы для величины δ и δ' дает европейская практика, затем индийская; наивысшие значения этих величин встречаются в практике С. Ш. С. Америки и Египта. Легко также видеть, что никакой закономерности нет и что данные весьма противоречивы.

Примечание: русская заглавная прописная буква „эн“ на чертежах 169, 170, 171, 172 и 173 в тексте заменена русской наклонной буквой „эн“ (H), в виду отсутствия соответствующего шрифта в типографии.

ТАБЛИЦА 43.

Величины превышения дамб над горизонтом максимального расхода (δ').

АВТОРЫ.	Величина δ', рекомендуемая различными авторами, в метрах.		
	Для каналов.		
	Больших.	Среднего размера.	Малых.
Davis, A.	$\leqslant 0{,}90$	—	—
Wilson, H.	—	0,45—0,60	—
Moritz, E.	0,90—1,20	—	0,30
Bellasis, E.	$\geqslant 0{,}60$	0,45	0,30
Newell и Murphy	$\leqslant 0{,}90$	—	—
Strange	0,90—1,20	0,90—0,60	—
Ермолаев (для Египетских каналов)	1,5	0,75	—
Flynn, P.	—	0,45	—
Etcheverry, B.	$\geqslant 0{,}90$	$\frac{h}{3}$	0,30

ТАБЛИЦА 44.

Величины превышения дамб над горизонтом максимального расхода (δ'), по данным Индийской практики.

Наибольший допускаемый расход, в кб. метр./сек.	Наибольшая допустимая глубина, в метрах.	Ширина насыпи, в метрах.	Высота дамб над горизонтом максимального расхода, в метрах.
340	3,7	6,1	0,6
226	3,7	5,5	0,6
142	3,4	4,9	0,6
85	3,0	4,3	0,6
56	2,7	4,9	0,5
42	2,7	4,3	0,5
34	2,4	3,7	0,5
28	2,1	3,0	0,5
19	1,8	2,7	0,5
14	1,7	2,4	0,5
11	1,5	2,1	0,5
8	1,4	1,8	0,3
6	1,2	1,5	0,3
3	1,1	1,2	0,3
1	0,9	0,9	0,3

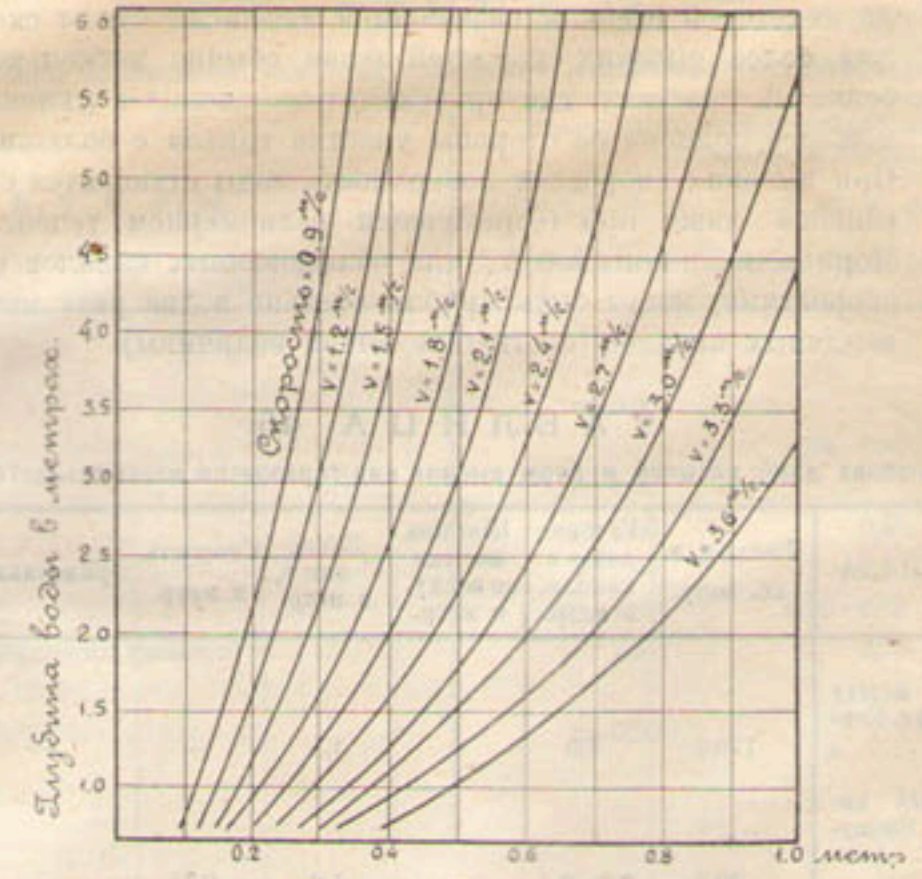
Для облицованных каналов существующая практика дает величину „запаса“ (δ и δ') обычно значительно меньшую, чем для канала такой же величины, но с земляным руслом, при чем величина запаса,

до некоторой степени назначается в зависимости от скорости течения: для более высоких скоростей запас обычно несколько больше, особенно на участках, где происходит изменение в уклонах, в виду возможного подпора со стороны участка канала с большими глубинами. При высоких скоростях поверхность воды становится неровной волнующейся даже при теоретически равномерном течении. По мнению Морица величины δ и δ', для облицованных каналов с нормальными скоростями, могут быть приблизительно в два раза меньше, чем для земляных каналов (соответствующей величины).

ТАБЛИЦА 45.

Величины превышения дамб насыпей и берм выемок над горизонтом максимального расхода (δ' и δ).

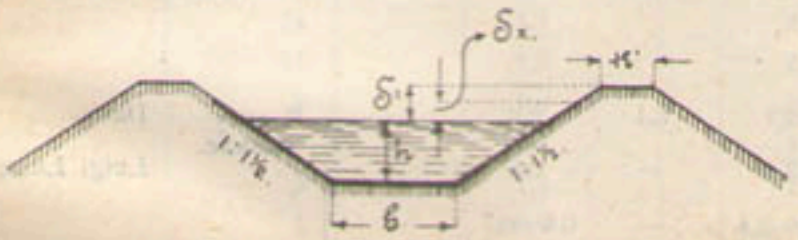
НАЗВАНИЕ КАНАЛА.	Расход, в кб. метр.	Глубина воды в канале, в метр.	Ширина насыпи по верху, в метр.	Запас δ' или δ, в метр.	Скорость, в метр.	Примечание.	Автор.
1. Ибрагимия, между Дейрутом и Айя. Египет	179,0	4,0	—	1,5	—	—	Ермолаев.
2. Магистральный канал системы Sunnyside С. Ш. С. Америки	30,5	2,2—2,4	—	1,2	0,71	—	Davis.
3. Канал Ониброн. Италия	594,5	5,2	3,0	1,0	—	В полувыемке.	Luigi Luiggi.
4. Магистральный канал системы Grand Valley С. Америка	40,3	3,0	4,5	1,5	0,76	Подгорная дамба.	Davis.
	40,3	3,0	3,0	0,9	0,76	Нагорная дамба.	Davis.
5. Магистральный канал системы Belle Fourch С. Америка	45,3	3,0	2,4	0,9	—	—	
6. Нижне-Чеябский главный канал	305,8	3,1—3,0	6,1—7,6	0,9	до 1,07	—	Островский.
7. Магистральный канал системы Iron Canyon С. Америка	75,3—86,6	3,4—4,0	4,3	0,9	1,67—1,82	Проектные данные. Канал предположено бетонировать.	
	46,8—70,8	2,9—3,4	3,7	0,9	1,67—1,82		
	17,5—30,0	1,8—2,1	3,0	0,9	1,67—1,82		
	5,8	1,0	2,4	0,9	1,67—1,82		
	2,2	0,6	1,7	0,6	1,67—1,82		
8. Верхне-Джеллюмский главный канал	240,6	2,9	7,6	0,8	0,92	В насыпи.	Островский.
9. Магистральный канал системы Huntley Project Montana, С.-Америка	11,3	2,1	2,4	0,6	—	В полувыемке.	Davis.
10. Канал Кавура	109,0	3,4	—	0,6	—	В выемке.	Luigi Luiggi.
	110	1,1—3,4	—	0,6—0,7	—		
	90	2,5—3,2	—	0,5—1,2	—		Ronna.
	50	3,0	—	0,5—0,7	—		
	30	3,0	—	0,5	—		
11. Канал Дуэро (Исп.)	8,0	2,0	1,0	0,30	—	В дамбах.	Курсин.
12. Канал Империал-де-Арагон (Испания)	25—36	3,3	—	0,30			



Возвышение бетонной облицовки δ_x над горизонтом воды в канале.

Черт. 175. Зависимость между глубиной, скоростью и возвышением бетонной облицовки над горизонтом воды в облицованных каналах по Дунну (Dunn, C. 1921).

Этчеверри отмечает, что в существующих каналах верхняя кромка бетонной облицовки возвышается обычно на 0,15 метра, а для очень больших каналов на 0,30 метров над горизонтом воды при максимальном расходе (δ_x). Дунн (Dunn, Charles — 1921 г.), на основании главным образом существующей практики, устанавливает зависимость между глубиною воды, скоростью и величиной возвышения бетонной облицовки над горизонтом воды (последнюю величину будем обозначать через δ_x). Эта зависимость представлена на черт. 175. По мнению Дунна, хотя и другие факторы, кроме h и v, могут влиять на установление величины δ_x, но, все-таки, главными являются глубина воды и скорость течения. В таблице 46, сведены некоторые данные о величинах δ_x и δ' на существующих ирригационных каналах, покрытых бетонной облицовкой; сопоставление их между собою приводит к заключению, что данные весьма противоречивы. Таким образом существующий статистический материал по сему вопросу, отчасти нами приведенный в таблицах 43, 44, 45, и 46, свидетельствует об отсутствии в ирригационной литературе рационального метода определения величин δ и δ'. Для авторов, повидимому, неясен тот путь логического подхода к установлению названных величин, который дан нами выше.



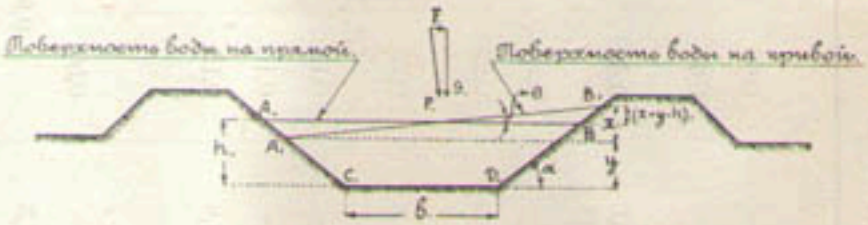
Черт. 176. Сечение облицованного канала в насыпи.

ТАБЛИЦА 46.

Величины превышений дамб и бетонной облицовки над горизонтом максимального расхода воды (δ_x и δ').

НАЗВАНИЕ КАНАЛА.	Расход, в куб. метрах.	Глубина воды, в метрах.	Скорость, в метрах.	Ширина насыпи по верху, в метрах.	δ_x, в метрах.	δ', в метрах.	Примечание.	Автор.
1. Магистральный канал системы Modesto (С. Америка)	56,3	2,58	—	—	0,60	0,60	На косогоре.	Знаменский, И. И.
2. Тоже системы San Joaquin (С. Америка)	24,0	2,75	—	—	0,60	—	—	Fortier.
3. Тоже, системы Medina Valley (С. Америка)	24,0	2,14	—	3,0	0,60	0,60	На косогоре.	»
4. Тоже, системы Davis & Webey Counties (С. Америка)	20,5	1,53	—	—	0,30	0,30	В выемке.	»
5. Тоже, системы Tieton (С. Америка)	8,5	1,60	2,75	1,2	0,23	—	На косогоре.	Davis.
6. Тоже, системы Central Oregon (С. Америка)	—	—	—	1,8	0,23	0,60	На косогоре.	Fortier.
7. Канал предприятия Los Angelos (С. Америка)	26,1	3,66	1,24	—	0,15	0,15	»	»
8. Канал Burbank Power	—	0,61	—	—	0,15	0,15	В выемке.	»
9. Тоже, системы Umatilla (С. Америка)	—	2,14	—	3,6	0,15	0,60	Подгорная дамба, по ней проложена дорога.	Davis.
10. Тоже, системы Арагон и Каталуния (Испания)	32,00	2,88	—	—	0,50	—	В дамбах.	Курсин.
11. Тоже, системы Iron Canyon (С. Америка)	86,6—75,3	3,97—3,36	1,82—1,67	4,3	0,90		Проектн. данные.	Gault и McClure.
	70,6—46,8	3,36—2,90		3,6	0,90		»	
	30,0—17,5	3,36—1,77		3,0	0,90		»	
	5,8	0,98		2,4	0,86		»	
	2,1	0,61		1,8	0,60		»	

Когда облицованный канал проходит по крутой кривой, вода в нем, в случае больших скоростей, как мы уже указывали, значительно поднимается на вогнутой стороне (см. черт. 177) и опускается на выпуклой, так что поверхность ее с положения AB переходит на положение A_1B_1. Это обстоятельство, очевидно, необходимо принимать во внимание при определении высоты дамб и берм. Высота дамбы или бермы с вогнутой стороны может быть установлена, если мы к отметке точки B_1 прибавим величину δ' или δ, а высота бетонной облицовки—при прибавлении величины δ_x. С выпуклой стороны, величины δ', δ и δ_x откладываются вверх от горизонта AB, так что понижение горизонта не используется (в целях безопасности, при уменьшении почему-либо скорости течения), однако, при этом величинам δ', δ и δ_x дают меньшее значение.



Черт. 177. Положение горизонта воды в канале на закруглении.

Таким образом, для установления высоты дамб необходимо предварительно определить превышение B_1 над B. Приблизительный метод вычисления подъема воды при прохождении кривых дает Мориц; он заключается в следующем.

Возьмем сечение канала на кривой (см. черт. 177),

пусть g — ускорение силы тяжести;

v — скорость воды в метрах в секунду;

R — радиус кривой в метрах;

G — сила тяжести;

F — центробежная сила;

остальные обозначения ясны из чертежа.

На единицу массы воды действует центробежная сила (F):

$$F = \frac{v^2}{g \cdot R},$$

а также сила тяжести (G).

Равновесие установится, когда

$$\frac{G}{\cos \vartheta} = \frac{F}{\sin \vartheta};$$

при $G = 1$,

$$F = G \cdot \operatorname{tg}\vartheta = \operatorname{tg}\vartheta;$$

$$\operatorname{tg}\vartheta = \frac{x}{b + (2y + x)\operatorname{Cotg}\alpha} = \frac{v^2}{g \cdot R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(a)}$$

Среднюю скорость течения на кривой можно принять приблизительно равной (она будет фактически немного меньше) средней скорости течения на прямой при прочих равных условиях, поэтому можно площади ABCD и A_1B_1CD приравнять:

$$bh + h^2 \operatorname{Cotg}\alpha = by + y^2 \operatorname{Cotg}\alpha + \frac{bx + 2xy \operatorname{Cotg}\alpha}{2} \quad \ldots \quad (b)$$

Из уравнения (a)

$$x = \frac{v^2 b + 2yv^2 \operatorname{cotg}\alpha}{gR - v^2 \operatorname{Cotg}\alpha} \quad \ldots \quad (1)$$

Подставляя выражение для x в уравнение (*b*) и обозначая $2(gR - v^2 \operatorname{Cotg}\alpha) = K$, получим:

$$y = \frac{-(Kb + 4bv^2\operatorname{Cotg}\alpha) + \sqrt{(Kb + 4bv^2\operatorname{Cotg}\alpha)^2 - 4(K\operatorname{Cotg}\alpha + 4v^2\operatorname{Cotg}^2\alpha)(b^2v^2 - Kbh - Kh^2\operatorname{Cotg}\alpha)}}{2(K \cdot \operatorname{Cotg}\alpha + 4v^2\operatorname{Cotg}^2\alpha)} \quad (2)$$

Глубина воды на вогнутой стороне канала будет равна $x + y$, превышение B_1 над B равно $(x + y - h)$. В виду беспорядочного движения на кривой, в целях безопасности, величину $(x + y - h)$ увеличивают в 1,5—2 раза.

При вертикальных откосах, когда $\operatorname{Cotg}\alpha = 0$

$$x = \frac{v^2 b}{gR} \quad \ldots \quad (3)$$

$$y = h - \frac{x}{2} \quad \ldots \quad (4)$$

Пример. Положим, имеются следующие условия: $r = 3$ метра $b = 10$ метров, $h = 2$ метра, $R = 20$ метров. Откосы вертикальные, тогда $x = \frac{3^2 \cdot 10}{9{,}8 \times 20} = 0{,}45$ метра; $y = 2 - \frac{0{,}45}{2} = 1{,}77$ метра; $x + y - h = 0{,}22$ м. Следовательно, для расчета надо принять превышение горизонта на вогнутой стороне канала над нормальным горизонтом AB равным $1{,}5 \times 0{,}22 = 0{,}33$ метра или $2 \times 0{,}22 = 0{,}44$ метра.

Дамбам канала вблизи искусственных сооружений необходимо придавать высоту несколько большую; поверхность дамб должна превышать верхнюю бровку искусственных сооружений на 0,40—0,60 метра, так как вблизи последних дамбы могут больше оседать и снашиваться, вследствие усиленной езды, фильтрации воды, деятельности землеройных животных и прочее.

Ширина дамб по верху (k'_1), **внутренние и внешние откосы дамб** (m', m_1', m_2'), **тело дамбы.** Для назначения ширины дамб по верху (k'_1), величин откосов m', m_1', m_2'... существуют в современной литературе лишь данные статистического характера. Опираясь на эти данные, нельзя быть уверенным, что назначенные размеры дамб из данного грунта не только достаточны, но и экономичны. Проектирующий принужден пользоваться „слепым" методом, так как ему неизвестна сущность работы дамб и физика происходящих в них явлений, а поэтому он не имеет воз-

можности внести элемент сознательности в конструирование дамб. Для подтверждения правильности высказанного нами положения, дадим краткий обзор мнений различных известных авторов по сему вопросу.

О ширине дамб по верху (k'_1). По мнению Этчеверри, величина (k'_1) должна назначаться, сообразуясь с глубиною воды в канале (h), с положением горизонта воды в канале по отношению к поверхности земли, по которой проложен канал в насыпи и с родом грунта, из которого сложена насыпь и дамбы. Для больших каналов он рекомендует брать $k'_1 = 3$ метрам, для средних — $k'_1 = h$, для малых — $k'_1 = 0{,}60$ метров.

Беллазис (Bellasis, E.) указывает на необходимость считаться при назначении величины k'_1 с величиною максимального рабочего расхода канала (Q_{max}). Он дает для больших каналов $k'_1 = 6$ метр., для остальных, в зависимости от расхода k'_1 от 6 метр. до 0,9 метр.

Дэвис предлагает, при проектировании каналов в насыпях, по местности с большим поперечным склоном, верховую дамбу устраивать более легкой по сравнению с низовой, так как прорыв первой обычно причиняет меньший вред, чем прорыв второй; дамбу низовую он советует устраивать много массивнее, чтобы иметь гарантию против прорыва.

Мерриман и Хазен (Merriman и Hasen) рекомендуют для больших каналов принимать $k'_1 = 3$ метрам, а для средних $k'_1 = 1{,}25$ метра.

На ирригационных каналах во Франции ширина дамб по верху (k'_1) также принималась в зависимости от глубины воды в канале. Вильсон (Wilson, H.) находит возможным в тех случаях, когда верх дамб не используется под дорогу, принимать $k'_1 = 1{,}25$ метра, если при этом наивысший рабочий горизонт воды в канале не возвышается больше чем на 0,35 метра над подошвой дамбы (то-есть над поверхностью земли); но, если указанный горизонт поднимается выше названного предела, k'_1 должно равняться 1,9—2,5 метрам, а при легкой почве оно должно равняться, по крайней мере, 3 метрам.

Египетская ирригационная практика дает для величины k'_1, в зависимости от величины Q_{max} и h, значения, колеблющиеся от 1,25 до 5,5 метров.

Анализ многочисленного статистического материала по вопросу о ширине дамб приводит к нижеследующему выводу:

а) почти все данные по американским каналам показывают, что $h < k'_1 < h + 1{,}25$ метра;

б) соотношение $k'_1 = h$ больше встречается в бетонированных каналах, а $k'_1 = h + 1{,}25$ метров — в земляных.

в) наинизшим пределом, применяемым на практике, можно считать $k'_1 = 0{,}5\ h$;

О внутренних (m') и внешних откосах (m'_1, m'_2) дамб. Величина откосов должна быть положе угла естественного откоса грунта, из которого сложена дамба. Откосы вновь сооруженных дамб могут изменяться под действием целого ряда факторов. Под влиянием ветра образуются на поверхности воды небольшие волны или рябь, которые, действуя на берега у уреза воды, производят подмыв внутреннего откоса дамбы на этом уровне

и на некоторой глубине вниз от него. Если материал дамбы достаточно плотен и может держаться в крутых откосах, то, под влиянием размывающего действия волн, верхняя (надводная) часть откоса сделается более крутой, а подводная станет положе и примет округленную форму. Глинистый грунт и смесь гравия и песка с глиной могут держаться в более крутых откосах, чем сильно песчаный грунт. В песчаных почвах, свободных от растительности, откосы под действием течения воды становятся более пологими и принимают уклоны от 2:1 до 3:1 (величина откоса определяется отношением горизонтального заложения к вертикальному). Развитие растительности по откосам способствует сохранению большей крутизны их.

Когда каналы облицовываются (покрываются бетонной, булыжной или другой какой-либо одеждой), откосы надо устраивать положе угла естественного откоса того материала, из которого сложена дамба, так как облицовка не сможет выдержать давления грунта, если последний начнет оползать. Кроме того, надо иметь в виду, что откосы круче 1,25:1 неудобны для укладки бетонной одежды (бетонирования) без употребления форм.

Этчеверри находит возможным применять:

в грунтах средней плотности и гравелистых—

внутренний откос . . . . . $m' = 1{,}5:1$

внешний откос . . . . . $m'_1 = 1{,}5:1$

в грунтах несвязных, песчанистых—

внутренний откос . . . . . $m' = 2:1$

внешний откос . . . . . $m'_1 = 1{,}5:1;\ 2:1$

в грунтах несвязных, мелкозернистых и сильно песчанистых—

внутренний откос . . . . . $m' = 3:1$

внешний откос . . . . . $m'_1 = 2:1$

Когда канал проходит по крутому косогору, внешнему откосу может оказаться необходимым придать величину не свыше 1:1 (по Этчеверри).

Стрендж (Strange) рекомендует принимать следующие величины:

для дамб, имеющих высоту до 2,5 метров—

внутренний откос, под водою . . . $m' = 1{,}5:1$

внутренний откос, над водою . . . $m' = 1:1$

внешний откос . . . . . $m'_1 = 1:1$

для дамб, имеющих высоту от 2,5 до 4,5 метров—

внутренний откос, под водою . . . $m' = 2:1$

внутренний откос, над водою . . . $m' = 1{,}5:1$

внешний откос . . . . . $m'_1 = 1{,}5:1$

Если глубина воды в канале (h) меньше 1 метра, можно, по мнению Стренджа, внутренний откос, под водою и над водою, принимать равным 1:1.

Мориц отмечает, что в каналах, построенных в С. Ш. С. Америки, как внутренним, так и внешним откосам дают одну и ту же величину, колеблющуюся между 1,5:1 и 2:1.

Островский, Ст. указывает, что в Индии, если канал имеет подсыпное дно, внутреннему откосу дамб придают величину . . $m' = 2:1$

внешнему же откосу придают разную величину, а именно:

когда канал идет в полувыемке-полунасыпи . $m'_1 = 2:1$

„ „ „ в дамбах . . . . . $m'_1 = 3:1$

„ „ „ в подсыпном дне . . . . $m'_1 = 5:1$

Беллазис утверждает, что можно применять:

внутренний откос . . . . . $m' = 1{,}5:1$

внешний в зависимости от рода грунта . . $m'_1 = 1{,}5:1;\ 2:1;\ 3:1$

Бекли (Buckley, R. B.) дает для обычных грунтов:

величину внутреннего откоса . . . . . $m' = 1{,}5:1;\ 2:1$

„ внешнего „ . . . . . $m'_1 = 1{,}5:1;\ 2:1$

Фридрих (Friedrich, A.) рекомендует принимать внутренние откосы,

для песчаного грунта . . . . . $m' = 2:1$

„ легкого песчаного грунта . . . . . $m' = 3:1;\ 2{,}5:1$

„ суглинистого грунта . . . . . $m' = 1{,}5:1$

„ глинистого грунта . . . . . $m' = 1{,}25:1$

Можно было бы увеличить значительно число приведенных данных о величинах k'_1, m', m'_1, m'_2 . . ., однако, это не внесло бы ясности в интересующий нас вопрос, так как нет связи между *цифрами и сущностью явлений*. Поэтому мы полагаем необходимым произвести попытку наметить путь более рационального решения вопроса.

Ширина дамбы, внутренние и внешние ее откосы тесно связаны как с родом грунта, из которого сложена дамба, способом укладки ее, так и друг с другом, поэтому всю дамбу надо рассматривать в целом. В чем заключается работа дамбы и какие требования нужно к ней предъявлять?

Дамба представляет часть искусственного ложа канала, транспортирующего воду через низко лежащую местность. Самый незначительный прорыв дамб неминуемо разростается в громадный размыв прилегающей полосы земли, затопляет низколежащие местности и вызывает разрушение канала на большом протяжении. Для исправления повреждений необходим временный перерыв работы канала и перенесение трассы, ибо устройство новых дамб на новом месте обходится большею частью дешевле ремонта разрушенных дамб и засыпки промоин. Поэтому прочность, не оставляющая никакого сомнения, должна явиться основным требованием, предъявляемым к дамбам. Кроме того, надо стремиться к доведению потерь воды из канала до минимальных размеров, не только для увеличения коэффициента полезного

действия канала, как водопроводящего сооружения, но также в целях предохранения низкорасположенных местностей, пересекаемых каналом, от опасного подъема грунтовых вод и заболачивания.

Наконец, обычным, всегда действующим,—является стремление к такому решению вопроса о дамбах канала в целом, при котором были бы обеспечены наименьшие расходы по сооружению и по эксплоатации канала.

Итак, надо обеспечить:

1. Безусловную прочность дамб, то-есть вполне надежную сопротивляемость на скольжение и на вымывание из тела дамбы фильтрующейся водой частичек грунта, что создает впоследствии условия, благоприятные для прорыва. Об опрокидывании дамб под действием напора воды (протекающей по каналу) не приходится говорить, так как этому условию (если бы даже было возможно рассматривать тело дамбы, как монолит) они всегда удовлетворяют.
2. Минимальные потери воды на просачивание, то-есть возможно меньшую водопроницаемость тела дамбы и возможно меньшую смоченную поверхность канала.
3. Минимальные затраты на сооружение дамб и их поддержание в порядке.

Первые два условия приводят к желательности употребления для тела дамб грунтов, состоящих из частиц диаметром меньших 0,2 мм. (согласно Аттербергу, частицы диаметром 0,2 мм. определяют границу водопроводимости, см. стр. 1), то-есть илистых грунтов, лесса, суглинков, при условии возможно большего уплотнения их, что может быть достигнуто обильной поливкой с тщательной утрамбовкой. Из анализа формул, выражающих скорость просачивания воды через грунт, легко усмотреть, что скорость фильтрации в сильной степени зависит от величин, характеризующих грунт. Возьмем, например, формулу Крюгера—Цункера (последнюю по времени появления, дающую лучшие результаты, чем остальные):

$$\vartheta = \frac{J \cdot p \cdot \rho^2}{\eta\, 3600\, u^2} \qquad (5)$$

Здесь величины p (объем пустот в грунте), ρ (удельный вес) и u (удельная поверхность грунта) являются величинами, характеризующими грунт, величина же J (гидравлический градиент), зависящая от взаимного расположения горизонта воды в канале и горизонта грунтовых вод и от глубины воды в канале (h), нас в данном случае не интересует. Если взять данные о реальных почвах и подсчитать для них, пользуясь таблицами 1 и 2 (глава I) величины $\frac{p \cdot \rho^2}{u^2}$, получим картину относительной водопроницаемости различных грунтов (см. таблицу 47).

В нашей власти находится, кроме того, возможность уменьшить (путем поливки и утрамбовки) объем пор в грунте (p) и вместе с тем увеличить соответственно удельный вес (ρ) и общую поверхность частиц грунта, находящихся в 1 кб. сант. Так как величина поверхности входит в знаменатель в квадрате, то, уплотняя грунт, мы будем существенно уменьшать скорость фильтрации.

ТАБЛИЦА 47.

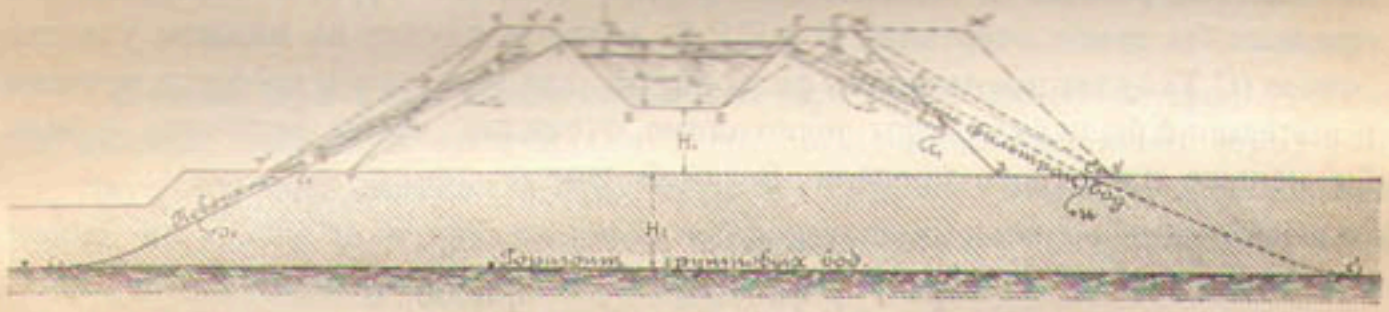
Относительная характеристика водопроницаемости почв.

№№ по порядку.	РОД ГРУНТА.	Объем пор в частях единицы объема.	Удельный вес грунта.	Удельная поверхность.	Общая величина, характеризующая грунт, по формуле Крюгера—Цункера $\left(\frac{p^3}{s^2}\right)$
1	Средний песок	0,42	1,54	1	996.10^{-3}
2	Мелкий песок	0,44	1,48	30	107.10^{-5}
3	Супесь	0,51	1,30	130— 30	510.10^{-7}—158.10^{-6}
4	Легкий суглинок	0,50	1,32	340—130	754.10^{-8}—516.10^{-7}
5	Обыкновенный суглинок . . .	0,53	1,24	510—340	313.10^{-8}—705.10^{-8}
6	Тяжелый суглинок	0,54	1,22	730—510	151.10^{-8}—309.10^{-8}
7	Обыкновенная глина	0,56	1,17	1.000—730	767.10^{-9}—144.10^{-8}
8	Плотная глина	0,65	0,93	1.000	562.10^{-9}

При мелкозернистом и связном грунте (с диаметром зерен $d < 0{,}2$—$0{,}3$ мм.) течение воды через дамбу не происходит. Вода может только всасываться в грунт молекулярными силами и будет передаваться капиллярным движением (переходя от более влажного слоя к менее влажному) через тело дамбы от смоченной поверхности канала к сухим поверхностям дамб и к их основанию. В этом случае, очевидно, можно не опасаться больших потерь воды из канала, а также вымывания частичек грунта из тела дамбы. Однако, не всегда возможно получить по близости, для устройства насыпей и дамб, грунт желаемого качества; бывают случаи, когда перед проектирующим стоит дилемма или возить требующийся грунт издалека, или же согласиться на применение крупно-зернистого грунта, имеющегося „под руками", со всеми последствиями отсюда вытекающими. Через такие дамбы вода из канала будет фильтроваться и это явление будет продолжаться до того момента, пока поры грунта не заполнятся мелкими частицами наносов, находящимися во взвешенном виде в протекающей по каналу воде (конечно, при условии, если вода содержит наносы).

Вода, фильтрующаяся через дно и откосы канала, будет протекать через слой грунта, образующий подсыпное дно (H_1) и через слой грунта, отделяющий основание дамбы от горизонта грунтовых вод (H_2) (см. черт. 178). Горизонт грунтовых вод, вследствие дополнительного питания будет подниматься пока не установится равновесие между притоком вод и оттоком их. Предположим, что на черт. 178 представлена картина установившегося режима фильтрации воды из канала. Пусть линия CC_3 изображает поверхность фильтрующегося потока через левую дамбу. Уклон этой линии определяется характером грунта: чем плотнее и менее водопроницаем грунт, тем круче падение горизонта фильтрационных вод. Так как тело дамб канала бывает сложено из однородного грунта, то фильтрационная поверхность падает равномерно и линию CC_2 можно считать прямой, если не принимать во внимание некоторой кривизны этой линии (вследствие уменьшающегося уклона) вблизи смоченной поверхности канала АБ. Очевидно, что, если линия CC_3 (поверх-

ность фильтрующегося потока) будет вся находиться в теле дамбы и войдет в основной грунт, не пересекая внешнего (сухого) откоса, опасения относительно вымывающего действия фильтрующихся вод должны будут отпасть; мельчайшие частицы могут переноситься в первое время внутри тела дамбы, но они не будут вынесены и вымыты наружу, а останутся в ней, уплотняя нижележащую часть дамбы. На чертеже 178 показаны различные очертания дамб, из которых легко усмотреть, что пользование вышеприведенным статистическим материалом и советами известных инженеров-мелиораторов не обеспечивает минимум земляных работ и безопасности дамбы. В самом деле, на правой стороне показаны два откоса ВГ (1 : 1) и ВГ' (1,5 : 1) и соответствующие поверхности фильтрационного потока; совершенно очевидно, что более пологий смоченный откос в сильной степени „выносит наружу" поверхность фильтрации и для того, чтобы линия $C'C_2$ находилась бы в теле дамбы, необходимо, если принимать внешний откос $m_1' = 1 : 1$, ширину дамбы по верху сделать равной Г'Ж'. В теле дамбы В Г' Ж' З' линия $C' C_2$ укладывается целиком и, даже остается некоторый запас C_2 З' (который весьма желательно всегда предвидеть). При очертании дамбы ВГЖЗ, поверхность фильтрации пересекала бы внешний откос Ж З в точке C_1 и таким образом на участке C_1З фильтрационный поток вытекал бы из тела дамбы, и, если при этом скорость вытекания была бы достаточной для вымывания частиц грунта, то дамбе угрожала бы опасность постепенно увеличивающегося размыва.



Черт. 178. Определение рационального сечения дамб.

Но из чертежа 178 видно, что, придав дамбе очертание В Г' Ж З', можно было бы добиться того же благоприятного результата с точки зрения фильтрации, как при очертании В Г' Ж' З', уменьшив при этом количество земляных работ на величину Ж Ж' З'. Но можно было бы еще более съэкономить в земляных работах, дав дамбе очертание Б А К' Л Т' (это показано на левой стороне того же чертежа). В этом случае поверхность фильтрации CC_2 также находится в теле дамбы и, кроме того, оставлен запас $T'C_2$ у основания дамбы.

Итак, решающим моментом при назначении очертаний дамб является характер залегания поверхности фильтрационных вод при наивысшем возможном горизонте воды в канале M_2. (Последний определялся нами при пропуске $Q_{\max}$, при пре-

дельно-максимальном коэффициенте шероховатости $n_{max.}$, при учете действия встречного ветра на понижение средней скорости течения воды в канале, при учете на закруглениях подъема воды на вогнутой стороне канала). Задавшись внутренним откосом АБ немного меньшим, чем угол естественного откоса грунта (из которого сложена дамба), пропитанного водою и уплотненного, установив ширину дамбы по верху (k'_1) из конструктивных и эксплоатационных соображений (в зависимости от того, как будет использован верх дамбы—для устройства ли общественной дороги, или только для экипажного сообщения надсмотрщиков и прочего эксплоатационного персонала, или же, наконец, исключительно для пешего и конного (верхового) сообщения того же персонала), назначают очертания внешнего откоса так, чтобы он „покрывал" поверхность фильтрующихся вод с некоторым запасом. Очертание откоса будет, очевидно, ломанным.

В некоторых случаях, когда дамба сложена из крупно-зернистого грунта (песок), когда земляные работы дороги (вследствие, положим, длинной возки) и когда заболачивание местности не вызывает серьезных последствий (положим, местность не населена и негодна под культуру), необходимо рассмотреть и другой вариант, допускающий фильтрацию воды через внешний откос, при условии, что средняя скорость течения в порах грунта $u = \frac{\vartheta}{p}$ (эту скорость не следует смешивать со скоростью фильтрации, см. главу XIX) будет ниже $u_{кр.}$, то-есть того предела, при котором начинается размыв и вымывание частиц данного грунта. Положим мы придали бы дамбе очертание Б А К Р Т, в таком случае на нижнем участке откоса (C_1Т) будет происходить фильтрация; для того, чтобы скорости течения и вытекания были безопасны, необходимо, очевидно, чтобы величина J была бы меньше известного предела. В самом деле

$$u = \frac{\vartheta}{p} > \frac{J \cdot p \cdot \rho^2}{p\,\eta\,3600\,u^2} = J \cdot \frac{\rho^2}{\eta\,3600 \cdot u^2}$$

величина $\frac{\rho^2}{\eta\,3600\,u^2} = k$ зависит от рода грунта и его уплотнения, она не может меняться в связи с изменением только размеров дамбы; следовательно, для уменьшения u мы должны будем уменьшать J (гидравлический градиент). J равняется отношению между действующим напором и толщей грунта, сквозь который происходит фильтрация; так, например, для определения скорости в точке Т у подошвы дамбы (см. черт. 178), следует подставить в вышеприведенную формулу $J = \frac{H_1 + h_{кан.}}{\overline{CT}}$ (здесь $H_1 + h_{кан.}$ есть возвышение горизонта M_2 над поверхностью земли, то-есть над горизонтом точки Т, а величина $\overline{CT}$ — кратчайший путь фильтрации через толщу дамбы из канала в точку Т). Таким образом

$$u_{кр.} > \frac{H_1 + h_{кан.}}{\overline{CT}} \cdot k \text{ или } \overline{CT} > \frac{H_1 + h_{кан.}}{u_{кр.}} \cdot k$$

Из всех трех величин H_1, $h_{\text{макс.}}$ и $\overline{CT}$, проектирующий может изменять в данном случае только величину $\overline{CT}$, так как H_1 и $h_{\text{макс.}}$ предполагаются уже установленными. Чем меньше допускаемая скорость протекания $U_{\text{кр.}}$, тем большую величину $\overline{CT}$ надо предусмотреть при конструировании дамбы.

Таким же путем можно определить величины $\overline{CC_1}$. Зная величины $\overline{CT}$ и $\overline{CC_1}$, можно легко наметить все остальное очертание внешнего откоса ($TC_1PЛK'$).

Однако, для применения указанного метода конструирования и расчета дамб, необходимо знать:

1) предельные допустимые скорости течения воды в порах различных грунтов—$V_{\text{кр.}}$;

2) характеристики грунта, а именно, если принять формулу Крюгера-Цункера, удельный вес, коэффициент порозности, удельную поверхность,—не только для реальных грунтов, что дано выше в таблице 47, но также и для уплотненных грунтов (поливкой, утрамбовкой), из которых сооружаются дамбы.

Новые методы механического анализа позволяют сравнительно легко и быстро (в поле) определять величины ρ, p и u, так что в этом отношении не может быть препятствий (см. главу XIX); для установления же $U_{\text{кр.}}$ требуется производство опытов, так как, к сожалению, имеющихся данных весьма немного, и они требуют проверки. Опыты могут быть произведены в простой обстановке с небольшими затратами средств.

Ширина берм в полувыемке-полунасыпи (b_1). Когда канал построен частью в выемке, частью в насыпи (см. черт. 172), часто оставляют берму (b_1), с двух сторон выемки между верхним урезом выемки и подошвой дамб, на уровне поверхности земли, следовательно, ниже рабочего (высшего) горизонта воды в канале. Отношение к этим бермам известных инженеров-мелиораторов различное. Сторонники таких берм находят, что применение их позволяет: а) увеличивать пропускную способность канала без увеличения земляных работ, простым отнесением земли, вынутой из выемки, на более отдаленные расстояния от уреза выемки; б) расширять в последующем канал, если это становится необходимым без передвижения дамб, срезая бермы (расширение дна канала таким путем возможно на величину $2b_1$); в) уменьшать размывающее действие воды на дамбы, благодаря меньшей глубине водного потока и соответственно меньшей скорости течения в этой части живого сечения. Величина b_1 определяется различными авторами разно. Этчеверри советует принимать $b_1 = h$, Флинн рекомендует брать b_1 в пределах от 0,60 до 1,80 метра, Стрендж определяет минимальную величину $b_1^{\text{мин.}} = (0{,}5mH + 0{,}6)$ метрам, а максимальную $b_1^{\text{макс.}} = (mH + 0{,}6)$ метрам. Беллазис приводит типичные сечения каналов, с шириною бермы $b_1 = 0{,}5H$, при чем он указывает, что можно задавать и большую величину b_1. Фортье (Fortier, S) на основании изучения большого числа сечений старых каналов, приходит к заключению,

что применение берм в рассматриваемом случае дает каналу форму, легче принимающую естественный вид, вырабатываемый старыми каналами. С этой точки зрения он советует принимать $b_1 = h$, откосам ниже берм (в выемке) придавать уклон 1 : 1, а выше берм—2 : 1; после достаточно продолжительной службы канала откосы примут однообразную округленную форму.

Противники применения берм, при прохождении канала в полувыемке-полунасыпи, указывают, что малые скорости течения над бермами и неровность естественной поверхности грунта, образующего бермы, приводят к быстрому заилению части живого сечения Д Ж Ж, Д,, так что при расчете пропускной способности канала нельзя принимать их во внимание. Если даже вода в канале не несет наносов и заиления берм можно не опасаться, то все-таки малая глубина h_1 способствует появлению растительности, которая особенно сильно развивается благодаря тому, что бермы то выходят из воды, то снова затопляются (вследствие изменения расхода воды в канале); растительность делает участки канала над бермами нерабочими или вызывает большие эксплоатационные расходы по удалению ее. Наконец, благодаря тому, что естественная поверхность грунта, а, следовательно, и берм не может быть ровной, глубина берм под поверхностью воды не остается постоянной, что создает неравенство площадей живого сечения в различных местах. Этого, конечно, можно избежать, если придать бермам на всем протяжении канала в полувыемке - полунасыпи одинаковую высоту над дном, однако, такое мероприятие потребует производства лишних земляных работ. Приведенные соображения заставляют большинство инженеров-мелиораторов относится отрицательно к оставлению берм, поэтому большая часть каналов сооружается без них. К вышеперечисленным возражениям следует еще прибавить, что в каналах с бермами, как имеющими большую смоченную поверхность, потеря воды на просачивание будет значительнее, чем в обыкновенных, следствием чего явится понижение коэффициента полезного действия и повышение горизонта грунтовых вод. Однако, несомненным преимуществом каналов с бермами является возможность их уширения с минимальными затратами, не трогая дамб и даже не прекращая действия канала, поэтому в тех случаях, когда проектируемый канал должен быть через некоторое время расширен, желательно оставление соответствующих берм, но при этом надо иметь в виду, что в будущем при расширении канала придется удалять грунт с площади $Д_1 Ж_1 В В_1$. (см. чер. 172), так как на бермах отложатся наносы.

Ширина берм (k_1, k_2, ...) и величина откосов (m, m_1, m_2, ...) в выемке. Устройство берм на некоторой высоте над горизонтом воды особенно желательно в тех случаях, когда поверхность воды значительно ниже поверхности грунта (см. черт. 169). Бермы нужны: 1) для задерживания грунта, который может осыпаться с вышележащей части откоса или смываться поверхностными (атмосферными) водами; 2) для облегчения надзора за каналом (берма иногда служит пешеходной дорожкой

инспекторской дорогой, бичевником); 3) для уменьшения давления вышележащего грунта на грунт, лежащий ниже бермы, чтобы предупредить выпирание его в канал, если грунт мягкий и сырой; 4) для возможности в дальнейшем некоторого расширения, в целях увеличения пропускной способности, если таковое становится необходимым, и, наконец, 5) для облегчения чистки каналов; удаляемые наносы, плывущие предметы могут складываться на берме и, затем, вывозиться из пределов выемки.

Польза применения берм несомненна, однако, надо считаться с увеличением земляных работ. При глубокой выемке, широкие нижние бермы вызывают столь существенное увеличение земляных работ, что приходится, в силу экономических соображений или от них отказываться (в тех случаях, когда это возможно) или ограничивать их величину минимальными размерами. В скалистых грунтах, в конгломерате берм обычно не устраивают. Кроме того, в целях экономии возможно не устраивать берм еще в тех случаях, когда грунт, лежащий выше уреза воды, является мелкозернистым (илистым или глинистым), так как, если даже будут наблюдаться явления осыпания и частичного сползания откосов в водный поток (протекающий по каналу), то грунт будет переноситься в взвешенном состоянии по каналу на поля орошения. Последнее замечание имеет силу только для незначительных оползней и обвалов, которые могут быстро „рассосаться" протекающей водой и недолго будут стеснять течение. Здесь следует напомнить, что должны быть приняты специальные меры, благодаря которым грунт вблизи выемки (на известном расстоянии от нее) мог бы оставаться в сухом состоянии (например, устраивают нагорные канавы, которые должны перехватывать поверхностные воды, оставляют широкие полосы отчуждения вдоль канала с запрещением производить в их пределах орошение и т. п.). В каждом отдельном случае, перед решением вопроса, устраивать ли бермы или нет, следует весьма тщательно взвесить характер грунтов, встречающихся в выемке и проанализировать характер питания канала водою: только при наличии очень благоприятных условий можно отказаться от берм: в последнем случае необходимо, чтобы скорости течения и потенциальная взвешивающая сила водного потока, протекающего по каналу, были достаточны для пронесения обваливающегося грунта.

Минимальный предел ширины берм, то-есть величин k_1, k_2, k_3 ..., устанавливается многими авторами в 1 метр. Стрендж рекомендует брать ширину берм в пределах от $(0{,}5hm + 0{,}6)$ до $(hm + 0{,}6)$ метров; Этчеверри советует давать k_1, k_2, k_3 ... значения, равные h, но не более 1 метра. Ниже в таблице 48 приведены для иллюстрации примеры из ирригационной практики различных стран.

Относительно расстояния по вертикали бермы от бермы, то-есть, величин H_1, H_2, H_3, в литературе нет определенных указаний. По существу эти величины должны в некоторой степени зависеть от крутизны откосов. При пологих, сухих откосах, когда можно не опасаться обвалов и оползней, можно было бы ограничиваться бермами, идущими вдоль канала на

высоте δ над горизонтом воды. Когда откосы делаются предельно-крутыми, могущими держаться только в сухом состоянии и без нагрузок, бермы обычно устраиваются через 4 метра друг от друга ($H_1 = H_2 = H_3 = \ldots = 4$ метр).

ТАБЛИЦА 48.

Величина берм в ирригационных каналах в выемках.

НАЗВАНИЕ КАНАЛА.	h мтр.	$h+\delta$ мтр.	m	k_1 мтр.	H_1 мтр.	m_1	k_0 мтр.	Примечание.	Автор.
1. Канал Кавура (Италия) .	3,4	4,0	1 : 1	1,5	—	1 : 1	—	Грунт песчано-гравелистая глина.	Luigi Luiggi.
2. Канал Хенарес (Испания).	1,5	1,9	1,5 : 1	0,8	—	1 : 1	—		Flynn.
3. Типичное сечение для Индийских каналов . .	3,0	3,7	2 : 1	3,0	4,0	2 : 1	6,1		Buckley.
	3,0	3,7	1,5 : 1	3,0	11,6	2 : 1	6,1		
4. Канал Тевфикия (Египет) .	—	4,5	1 : 1	6,0	9,0	1 : 1	—		Ермолаев.
5. Романовский канал (Туркестан)	2,9	3,8	1 : 1	1,1	12,8	$^1/_4$: 1	6,4	Плотный лессовый грунт.	
6. Каналы Чуйской системы (Семиречье)	2,0	2,7	1 : 1	2,1	—	$^1/_2$: 1	—		
	2,0	2,7	1,5 : 1	2,1	—	1 : 1	—		
	1,6	2,2	1,5 : 1	1,6	—	1 : 1	—		

Величины откосов сильно колеблются в зависимости от характера и сложения грунта, от условий, в которых он находится и от способа производства земляных работ. Было бы желательно придавать берегам канала такие уклоны, которые естественным путем образовались бы сами под действием текущей воды и атмосферных процессов. Однако, заранее установить величину такого откоса трудно, в виду отсутствия достаточного количества соответствующих наблюдений. Ньюэль (Newell, F. H., бывший Директор Службы Мелиорации С. Ш. С. Америки) утверждает, что под влиянием атмосферных деятелей и размыва текущей водой, откосы имеют тенденцию становиться более пологими, так что, если первоначально (при постройке) откосы были приняты 1,5 : 1, то после нескольких лет эксплоатации они окажутся равными 2 : 1 или будут еще более пологими. Грунский (Grunski, C. E., бывший консультант указанной Службы Мелиорации), наоборот, указывает, что откосы старых каналов становятся более крутыми, принимая величину 1 : 1 и даже 0,5 : 1. Индийские авторитеты ирригации — Кеннеди, Клибборн, Маккензи (Kennedy, R. G., Clibborn, N. F., Mackenzie, N. F.) отмечают, что в условиях Индии, где вода в каналах содержит значительное количество наносов, откосы в старых каналах приближаются к величине $m = 0{,}5 : 1$ и часто бывают даже круче. Эти уклоны (0,5 : 1) ими и рекомендуются, но так как в новых каналах берега с такими откосами будут неустойчивы, то на практике для обычных грунтов применяются откосы $m = 1 : 1$ и ширина дна соответственно уменьшается для получения той же самой площади живого сечения (как и при откосах 0,5 : 1). Тур-

кестанская и Закавказская ирригационная практика (здесь реки также несут большое количество наносов) подтверждает индийские наблюдения: большинство старых каналов имеют откосы крутые, близкие к 0,5 : 1 и круче. Итак, можно считать установленным, что откосы, если при постройке канала они приняты более пологими, чем 0,5 : 1, трудно содержать в дальнейшем в исправности. При пологих откосах и мутной воде по бокам канала осаждается или откосы постепенно принимают величину близкую к $m = 0{,}5 : 1$; поэтому желательно, при ежегодном ремонте оставлять откосы в этом положении и не придавать им более пологого уклона; при проектировании же желательно придерживаться вышеприведенных соображений Кеннеди, Клибборна и Маккензи (для суглинистых, глинистых и лессовых грунтов), то-есть: брать $m = 1 : 1$.

Что касается грунтов твердых или, наоборот, очень рыхлых и несвязных, мягких, для них величина m задается обычно в следующих пределах:

а) для твердой скалы	$m =$ от 0 : 1 до 0,125 : 1
б) для мягкой скалы более или менее разрушенной, для конгломерата	$m =$ от 0,25 : 1 до 0,5 : 1
в) для плотной глины	$m =$ от 0,5 : 1 до 1 : 1
г) для гравия	$m =$ от 1 : 1 до 1,5 : 1
д) для супесей	$m =$ от 1,5 : 1 до 3 : 1
е) для мельчайшего песка (песчаная пыль).	$m =$ от 3 : 1 до 4 : 1

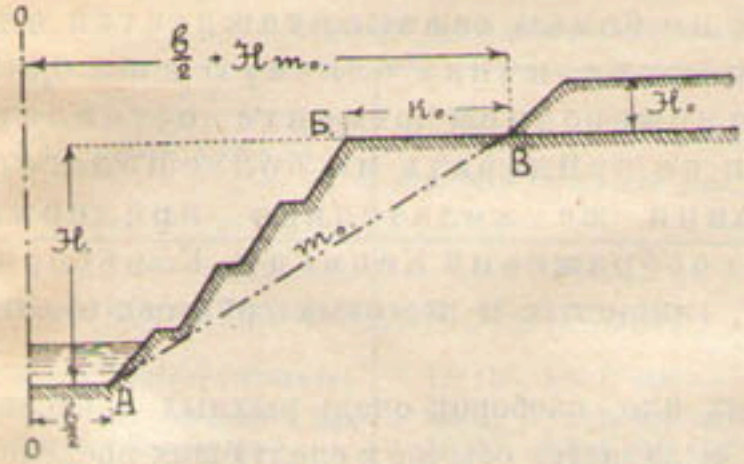
Надводные откосы (m_1, m_2 ...), для уменьшения объема земляных работ при проложении выемки, стремятся назначать возможно круче, приближая к углу естественного откоса сухого грунта. Обычно принимают:

а) для скалы твердой и мягкой	$m_1, m_2 \ldots =$ 1 : 1
б) для конгломерата	$m_1, m_2 \ldots =$ 0 : 1
в) для плотной глины	$m_1, m_2 \ldots =$ 0,5 : 1
г) для плотнослежавшегося гравия, с песком и глиною	$m_1, m_2 \ldots =$ 1 : 1
д) для обыкновенной глины	$m_1, m_2 \ldots =$ 1,2 : 1
е) для лесса	$m_1, m_2 \ldots =$ 0,5 : 1
ж) для суглинка	$m_1, m_2 \ldots =$ 1 : 1
з) для супеси	$m_1, m_2 \ldots =$ 1,4 : 1
и) для мелкого песка	$m_1, m_2 \ldots =$ 2,5 : 1

Вышеприведенные данные относительно ширины дамб, берм, величины откосов сохраняют силу и для сечений каналов, проведенных по косогору (см. черт. 173), при чем можно для части сечения (устроенной в насыпи) применять нормы, данные для каналов в насыпи, а для остальной части (проложенной в выемке) сохранить нормы, установленные для каналов в выемке.

Ширина полосы, оставляемой между урезом выемки и подошвой кавальеров (k_0), высота кавальеров (H_0). Величина k_0 обычно опреде-

ляется, исходя из следующих соображений: кавальер должен быть уложен на таком расстоянии от уреза выемки Б (см. черт. 179), чтобы тяжесть его не давила на грунт, непосредственно прилегающий к откосам и чтобы в случае обрушения откосов, земля, сложенная в кавальер, не могла бы также свалиться в канал и тем усугубить размер обвала. Если через точку А (основание откоса) провести линию АВ с уклоном, соответствующим наименьшему откосу для данного грунта, уменьшенным на некоторый коэффициент безопасности, она пересечет поверхность земли в точке В; на участке БВ устраивать кавальер нельзя, он может быть расположен только за найденной границей (В). Для обычных грунтов (суглинков, глин, лесса) откос АВ принимается равным 2 : 1. Таким образом удаление подошвы кавальера от оси канала (ОО) должно быть не меньше $\left(\frac{b}{2} + m_0 H\right)$ и в то же время достаточно для прохождения экскаватора и поворотов его во время работы при постройке канала. Так как тип экскаватора устанавливается в зависимости от целого ряда факторов (глубины и ширины выемки, количества земляных работ, способа отвозки грунта, характера грунта, степени удаленности работ от железнодорожных линий и т. д.), то нет возможности установить нормы для габарита экскаватора, а тем самым и для ширины БВ. Для каждой выемки необходимо произвести специальную работу по установлению плана земляных разработок, типа экскаваторов, способа удаления грунта и только в результате такой работы можно получить необходимые задания как для величины k_0, так и для величины H_0. Последняя величина может быть определена только по экономическим соображениям в связи с возкой и подъемом грунта, способом производства работ (так как каждый экскаватор может поднимать грунт только на определенную высоту). Если полоса отчуждения вдоль канала узка, приходится иногда придавать кавальерам большую высоту, чем требуется по экономическому расчету. При исчислении объема кавальеров следует принимать во внимание, что грунт, вынутый из выемки разрыхляется и вследствие этого увеличивается в объеме. В лессовых грунтах такое увеличение может достигать 15 — 20%. Поверхности и откосам кавальеровов надо придать правильное очертание; кроме того, надо всячески стремиться, чтобы грунт, сложенный в кавальеры, был больше уплотнен, хотя бы путем организации по нему возки земли во время укладки кавальера. Песчаный грунт, лежащий в кавальерах в разрыхленном виде, может сноситься ветрами вновь в выемку и засорять канал.



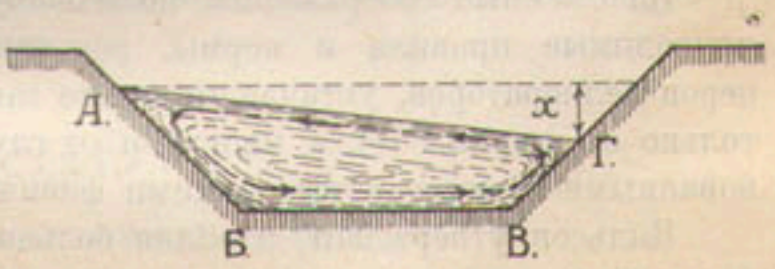
Черт. 179. К определению местоположения кавальера.

Глубина резервов (H'_0) и ширина полосы, оставляемой между внешней бровкой дамбы и урезом резерва (k'_0). Когда объем дамб превосходит объем выемки, представляется необходимым или привозить грунт с того участка канала, где, наоборот, объем выемки превышает объем дамб, или же закладывать параллельно каналу резерв для получения недостающего объема земли. При исчислении последнего надо иметь в виду, что земля, вынутая из резерва и уложенная в дамбы с поливкой и утрамбовкой, может значительно сократиться в объеме, так что должен быть предусмотрен некоторый запас на уплотнение грунта (по сравнению с объемом, занимаемым данным грунтом в выемке или в резерве), на что уже указывалось выше. Когда закладывается резерв, необходимо иметь в виду возможность легкого вывода попавшей в него (фильтрацией из канала или как-нибудь иначе) воды в соседние водосборные каналы. Ни в каком случае не следует допускать застоя воды в резервах, так как это имеет последствием заростание их камышами и сорной травой, гниение, развитие малярийных комаров, которые немедленно разводятся здесь в громадном количестве. Поэтому глубина резерва в каждом случае должна быть намечена по соображению с глубиной ближайшего водосборного канала и расстоянием до него. Дну резерва необходимо придавать склон по направлению к канавке, проложенной в пониженном месте резерва, для сбора воды и затем вывода из пределов резерва. Канавка также должна иметь достаточный продольный уклон, обеспечивающий пропуск поступающей в нее воды.

Обычно средняя глубина резервов, из соображений возможности отвода воды из них в неглубокие водоотводные каналы, назначается в 1—1,20 метра.

Величина k'_0 определяется или габаритом экскаватора, забирающего землю из резерва и перебрасывающего его в насыпь или же (при высоких насыпях) из условия, чтобы поверхность фильтрационных вод, просачивающихся из канала оставалась бы в теле грунта, не выходя на откос резерва (см. черт. 178, линию C_2C_3).

Радиусы (R) и углы (α) закругления каналов. При трассировании каналов часто обращают мало внимания на правильное назначение кривых. Когда канал проходит по пересеченной местности, огибая ложбины и выступы, понятно стремление проектирующего придавать трассе канала такой радиус закругления, который позволил бы обойтись минимальным количеством земляных работ. При слишком большом радиусе закругления увеличиваются земляные работы, так как появляется необходимость проводить канал (при переходе через ложбины) в высоких насыпях или (при проходе по косогорному участку) в глубоких выемках, за то уменьшается длина канала и, кроме того,



Черт. 180. Схема движения воды на закруглениях.

можно не опасаться размыва вогнутого берега канала водным потоком глубина которого, вследствие центробежной силы, увеличивается вблизи вогнутого берега и уменьшается вблизи выпуклого.

Эта разница горизонтов и обусловливает вращательное движение потока, в поперечном направлении, как это указано на черт. 180; откос АБ подвергается опасности размыва, тем больше, чем больше будет величина x. Из формул (1) и (3) видно, что x прямо пропорционально квадрату скорости течения (v^2) и ширине канала по дну (b) и обратно пропорционально радиусу закругления канала (R).

Таким образом при большом радиусе R и при тех же величинах v и b, размывающая сила будет меньше и применение специальных мер по защите откоса от размыва может и не потребоваться. Наоборот, применение слишком малых радиусов (R) позволит каналу проходить по пересеченной местности с минимальными земляными работами, но потребует укрепления вогнутого откоса АБ и части дна вблизи его. Тип укрепления будет зависеть от величины размывающей силы (например, бетонной одеждой, мостовой на растворе, мостовой без раствора, крепление плетнем и пр.). Кроме того, крутые кривые, в особенности, если их много на коротком участке, создавая дополнительное сопротивление движению водного потока по каналу, увеличивают коэффициент шероховатости, уменьшают средние скорости течения, а, следовательно, повышают горизонт и создают подпор на некотором протяжении вверх по каналу, что потребует некоторого повышения дамб или берм канала.

Из предыдущих рассуждений вытекает, что радиус закругления в каждом отдельном случае, должен быть „экономичным", то-есть устанавливаться на основании экономического подсчета. „Экономический радиус" есть такой радиус, который позволяет провести канал на данном закруглении с наименьшими затратами, при сохранении безопасности последнего. Очевидно, этот радиус будет зависеть от конфигурации местности, по которой проходит трасса канала в месте закругления, от характера грунта и силы его сопротивления размыву, от скорости течения воды в канале, от ширины и глубины насыпи, от количества требующихся земляных работ, от потребной площади укрепления и от единичных расценок земляных работ и защиты берега канала.

Изложенные соображения, по нашему мнению, доказывают, что нижеприводимые правила и нормы, рекомендуемые рядом известных инженеров-мелиораторов, устанавливающие зависимость радиуса закругления (R) только от ширины (b), а иногда и от глубины канала (h), являются необоснованными и несоответствующими физической сущности явления.

Вильсон утверждает, что для больших каналов со средней скоростью, безопасной для земляных русел, можно принимать радиус закругления в пределах

$$3\,h < R < 5\,b.$$

Если же канал имеет незначительную ширину по дну, то R необходимо придавать величину, бо́льшую чем указано выше.

Ньюэль и Мёрфи полагают, что, при скоростях течения безопасных для земляных каналов, следует принимать $R = 2{,}5\ b$. Однако, они же указывают, что во многих случаях R принималось меньшим и результаты получались удовлетворительные, особенно в тех случаях, когда канал проходил, главным образом, в выемке, так как размыв не производил ослабления берегов.

Страндж рекомендует:

для больших каналов . . . . . $R = 15 — 30\ b$.
„ малых „ . . . . . $R = 10 — 20\ b$.

Бисхон советует:

для расходов от 30 до 50 куб. мтр./сек. брать . . . $R > 12\ b$.
„ „ „ 10 „ 30 „ . . . . . $R > 10\ b$.
„ „ меньших 6 „ „ „ „ . . . $R > 6\ b$.

Фортье находит, что минимальная величина радиуса должна быть

$R \geq 32$ метра.

Дэвис указывает, что сопротивление размыву различных грунтов разное и что всякие нормы, соответствующие среднему грунту, должны быть изменены для более легких и более тяжелых почв. По мнению Дэвиса для средних суглинистых грунтов, следует применять величину R, определяемую по формуле

$$R = 11\, v^2 \sqrt{w} + 12 \text{ метров},$$

где v есть средняя скорость течения воды в канале в метрах, w — площадь живого сечения в кв. метрах.

Постоянная величина (второе слагаемое) обеспечивает минимальный радиус в 12 метров, как бы ни были малы скорость течения и площадь живого сечения. Из этой формулы следует, что при $v = 1$ метру, радиус может быть взят почти в 2 раза меньшим, чем при скорости $v = 1{,}5$ метрам.

В более плотных грунтах, величину R, получаемую из вышеприведенной формулы, можно уменьшить и, наоборот, для легких и легко размываемых грунтов, следует увеличить. Формула Дэвиса, учитывающая влияние скорости на величину радиуса, выгодно отличается от норм и правил, даваемых другими авторами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Фортье, П. П. Ирригационные каналы.—1898, Петербург.
2. Renna, A. Les Irrigations.—1889, Paris.
3. Wilson, H. M. Irrigation Engineering.—1911, New York.
4. Davis, A. P. Irrigation Works.—1917, New York.
5. Strange, W. L. The Design and Construction of Small Irrigation Canals.—1905, Pretoria.
6. Brown, H. Irrigation.—1907.
7. Bligh, W. G. The Practical Design of Irrigation Works.—1912, London.

8. Mackenzie, N. F. Notes on Irrigation Works.—1910, London.
9. Newell, F. H. and Murphy, D. N. Principles of Irrigation Engineering. — 1913,
10. Bellasis, E. G. River and Canal Engineering— London.
11. Bellasis, E. G. Irrigation Works. 1913, London.
12. Merriman, M. u Williams, G. S. A. C. E. Pocket Book. 1913, New York.
13. Buckley, R. B. Irrigation Pocket Book. 1913, London.
14. Moritz, E. A. Working Data for Irrigation Engineers. 1915, New York.
15. Parker, P. M. The Control of Water. 1913, London.
16. Etcheverry, B. A. Irrigation Practice and Engineering. Vol II. 1915, New York.
17. Davis, A. P. and Wilson, H. M. Irrigation Engineering. 1919, New York.
18. Krüger, E. Kulturtechnischer Wasserbau. 1921, Berlin.
19. Harding, S. Operation and Maintenance of Irrigation Systems. 1917, New York.
20. Clibborn, N. F. Irrigation Work of India.—1909.
21. Fortier, S. Concrete Lining as applied to Irrigation Canals. 1914.
22. Kennedy, R. G. Hydraulic Diagrams for Channels in Earth —1907.

Глава XIII.

Распределительная и мелкая сеть.

Общее.

Совокупность распределителей, т. е. каналов, принимающих воду из магистрального канала и передающих ее в оросители, называется р а с п р е д е л и т е л ь н о й с е т ь ю. В зависимости от своей величины и некоторых других нижеуказанных условий, распределительные каналы получают названия:

1) ветви,
2) главного распределителя,
3) распределителя,
4) отвода.

В е т в я м и называются распределительные каналы, несущие сравнительно большой расход, составляющий крупную часть общего расхода магистрального канала, имеющие значительную длину и ответвляющие от себя не только оросители, но и распределители.

Г л а в н ы м и р а с п р е д е л и т е л я м и называются каналы, берущие начало так же, как и ветви, из магистрального канала, но командующие меньшей площадью и имеющие меньшее число ответвлений. Главные распределители в проекте нумеруются по порядку их ответвления из магистрального канала, обычно, против часовой стрелки.

Р а с п р е д е л и т е л и, берущие начало из ветвей и главных распределителей, называются просто распределителями и нумеруются по порядку их ответвления из ветвей и главных распределителей.

О т в о д а м и называются распределители небольшой величины, как по длине, так и по расходу, идущие вдоль магистрального канала, ветви или распределителя и устраиваемые в тех случаях, когда изъятие воды для оросителей непосредственно из вышеупомянутых каналов не является почему-либо возможным. Величина расхода отвода обычно равна сумме расходов нескольких оросителей.

Совокупность оросителей, то-есть канав, принимающих воду из распределителей и отводов и передающих ее водопользователям, называется м е л к о й с е т ь ю. Ороситель является последним звеном в цепи элементов ирригационной системы, последней водопередаточной и водорас-

пределительной инстанцией, на которой чисто инженерная сторона дела подходит вплотную к сельско-хозяйственной жизни района орошения.

Оросители не должны выводиться непосредственно из главного канала или из его главных ответвлений, так как желательно иметь в дамбах главного канала, как можно меньше отверстий, чтобы уменьшить до минимума возможность их прорывов. Вода из главного канала направляется в распределители, которые должны быть так распланированы, чтобы путь передачи воды из главного канала в оросители был наивозможно короче и чтобы потери воды были доведены до возможного минимума.

В тех местностях, где вода, вследствие изобилия ее, не особенно ценится, она проводится к полям по открытым распределителям и оросителям, там же, где вода имеет, вследствие малого количества, высокую цену, необходимо принимать специальные меры для уменьшения потери ее от просачивания и испарения. В таких случаях распределители и оросители устраиваются или в виде лотков (деревянных желобов), или же (что чаще употребляется) их русла, вырытые в земле, облицовываются бетонной, цементной или какой-либо иной водонепроницаемой одеждой.

В исключительных случаях, например, в Южной Калифорнии, вода доставляется к полям по подземным трубам, откуда она, не выходя на поверхность земли, пропитывает почву в пределах распростанения корней растений. Применяя последний способ орошения, можно довести гидромодуль и коэффициент полезного действия системы до невиданных пределов

В основание разбивки распределительной и мелкой сетей должен быть положен принцип строгой согласованности их трасс, как с рельефом местности, так одновременно и с выработанным заранее планом будущего развития жизни на площади подлежащего орошению района. Необходимость изменения устаревшего взгляда на дело орошения, как на исключительно некоторого рода водопроводное предприятие, была уже установлена в главе VI. Конечною целью ирригационных проектов следует считать получение в области народного хезяйства того или тех продуктов, в которых это хозяйство претерпевает нужду и для добычи которых устраивается и само орошение и связанный с ним ряд других устройств технического характера.

Рассматриваемое с этой точки зрения устройство орошения само по себе представляет лишь первый этап среди других, лежащих по пути к достижению конечной цели. Количество и характер этих этапов теснейшим образом зависит от вида того производства, развитие которого рассматривается данным проектом и определяет формы будущей жизни, характер и тип необходимого землеустройства.

Необходимость координирования проектируемой ирригационной системы с требованиями землеустройства и вероятными путями развития будущей жизни впервые, в острой форме, проявляется при приступе к разбивке распределительной и мелкой сети. Без предварительного установления типа землеустройства и форм организации жизни в будущем районе орошения нельзя правильно запроектировать распределительную и мелкую сети.

Вид водооборота, величина хозяйственного тока, величина единицы водопользования также должны быть установлены до приступа к проекту распределительной и мелкой сети.

В главе X, посвященной вопросам землеустройства, было показано, что наилучшей формой землеустройства и колонизации в орошаемых районах с интенсивными формами хозяйства следует признать не поселковый, не хуторской, а так называемый тип разбивки „полосами жизни". В главе XI, посвященной вопросам водопользования, было доказано, что наиболее рациональным типом водопользования следует признать комбинированный водооборот по главному каналу и оросителю. Поэтому, приступая к составлению проекта орошения, необходимо прежде всего рассмотреть возможность применения указанных, наиболее рациональных, в общих случаях, типов землеустройства и водопользования, отходя от них и видоизменяя их только в тех случаях, когда местные условия с полной очевидностью этого потребуют. Вышеуказанные типы землеустройства и водопользования определяют те основы и задания, которыми нужно руководствоваться при разбивке распределительной и мелкой сети.

Разбивка распределительной и мелкой сети в плане.

Общие требования, которым должна удовлетворять сеть. Главными условиями, предъявляемыми к разбивке сети являются нижеследующие:

1) распределители и водосборные каналы, по возможности должны являться каналами двустороннего командования и обслуживания;
2) расстояние между двумя соседними распределителями, по возможности должно быть близким к двойной нормальной длине оросителя;
3) вся площадь командования распределителя должна быть разбита на отдельные, по возможности, равновеликие площадки, обслуживаемые отдельными оросителями, на так называемые, единицы водопользования;
4) площади единиц водопользования, по возможности, должны быть одинаковыми и установлены так, чтобы расход воды, пропускаемый по оросителю, был бы достаточен для своевременного полива требуемым количеством воды всей площади;
5) длина каждого оросителя и полевой дороги, располагаемой вдоль ее, не должна превышать заранее установленной предельной нормы;
6) расстояние между оросителем и водосборною канавою не должно быть больше заранее установленной предельной длины одного поселенческого надела;
7) каждый ороситель и каждая водосборная канава должны непосредственно подходить к площади каждого обслуживаемого ими поселенческого надела;

8) усадебные участки поселенцев должны обязательно располагаться около распределителя (вдоль него), по возможности, в пределах тех единиц водопользования, в которых находятся их полевые участки.

Разберем эти условия более подробно: первое из них, требующее, чтобы распределитель был двустороннего командования, объясняется тем, что при двустороннем командовании удельная длина (т. е. длина, приходящаяся на 1 десятину валовой площади орошения), как распределителя, так и идущей вдоль него обыкновенной дороги с укрепленной грудью, получается при одних и тех же условиях в два раза меньшей, чем при одностороннем командовании, что приводит к уменьшению удельной стоимости распределителя и дороги. Теми же экономическими соображениями объясняется и второй пункт, по которому расстояние между двумя распределителями должно, по возможности, приближаться к двойной нормальной длине оросителя. Действительно, если распределители провести ближе друг к другу, то возможная их площадь командования не будет надлежащим образом использована и удельная стоимость распределителя и дороги может получиться излишне высокой. Увеличивать же расстояние между распределителями более указанной нормы является нежелательным на том основании, что дальность езды от усадеб до полевых участков для некоторых поселенцев превзойдет допускаемый, на основании хозяйственно-экономических соображений, максимум.

Далее, пункт 3-й, по которому число оросителей должно быть точно равно числу единиц водопользования, вытекает из самого понятия о единицах водопользования, как о самостоятельных и вполне обособленных единицах, каждая из которых должна иметь собственный ороситель с самостоятельным головным шлюзиком, через который вода могла бы поступать из распределителя в ороситель.

Для удешевления эксплоатации и получения однотипности и однообразия (при проектировании и постройке) в высшей степени желательно, чтобы величины хозяйственных токов, а, следовательно, и единиц водопользования были приняты, на возможно большой площади, одинаковыми.

Наконец, остальные пункты введены в целях экономии времени и труда поселенцев, удобства сообщения и независимости их в водопользовании и при проведении тех или иных мелиоративных мероприятий у себя на участке. Так, например, назначая максимальную длину оросителя, тем самым определяем максимальное расстояние и дальность езды поселян от их усадеб до полей. Нежелательно допускать большое расстояние, чтобы не брать слишком много времени от поселенца и его семьи на бесполезную езду (при интенсивных формах сельского хозяйства дальность езды поселян от их усадеб до полей не должна превышать 2,5—3 верст). Далее, для удобства жизни желательно, чтобы усадьбы поселян были расположены вдоль распределителя вблизи дороги. Это дает возможность в будущем, с наименьшими затратами, проводить мероприятия культурного характера, как, например, общественный телефон, улучшенное водоснабжение, улучшение дороги и т. п. Наконец, для удобства полива, для удешевления

стоимости мельчайшей сети и, главным образом, во избежание могущих возникнуть недоразумений между отдельными поселенцами, весьма желательно, чтобы ороситель и водосборная канава обязательно подходили непосредственно ко всем полевым наделам, расположенным в пределах их единицы водопользования; только при этом условии поселенцы получают независимость и самостоятельность, как в смысле подведения, так и в смысле отвода воды с полей орошения. В противном же случае поселенцам придется проводить свои хозяйственные водоприводные и водоотводные канавки через участки соседей, что вызовет постоянную зависимость их друг от друга и может повлечь за собой много осложнений и недоразумений.

Вот вкратце те требования к разбивке сети, которые предъявляются рациональным землеустройством и водопользованием.

При переходе от „идеальных" условий к действительным, помимо указанных требований появляются еще новые, которые диктуются, во-первых, естественными условиями местности, а, во-вторых, экономическими соображениями. Главнейшими из них являются:

1) каналы водоподводящей сети должны, по возможности, проходить по высшим отметкам земной поверхности обслуживаемого ими участка, в то время, как каналы водоотводящей сети — водосборные канавы и каналы (равно как и сбросы) — должны проводиться по наинизшим точкам.
2) если встречаются высокие холмы, орошение которых самотеком затруднительно, надо стремиться к тому, чтобы площадь отводимая под машинное орошение, равно как и площадь, совершенно, по условиям рельефа, неключаемая из орошения, были доведены до возможного (по экономическим соображениям) минимума.
3) общая длина каналов распределительной сети, а также общая длина оросителей должны быть, по возможности, сокращены, чтобы стоимость их устройства была бы доведена до минимума.

Типы разбивки сети. Если местность имеет неровный характер с явно выраженными водоразделами и ложбинами, работа по разбивке сети сильно упрощается. Магистральный канал проводится по главному водоразделу, а распределители по второстепенным. Там, где разветвляются водоразделы, должны разветвляться и распределители. Оросители должны иметь направление от распределителя, то есть водораздела, вниз по направлению к линии стока. При разбивке трасс оросителей и рядом с ними идущих полевых дорог необходимо стремиться, чтобы они проходили по границам поселенческих наделов и отдельных владений во избежание пересечения обрабатываемых земель и разделения полевых участков (принадлежащих поселенцам) на две части канавой и дорогой. В тех случаях, когда оросительная сеть проводится по уже заселенной местности, это правило может вызвать удлинение оросителей.

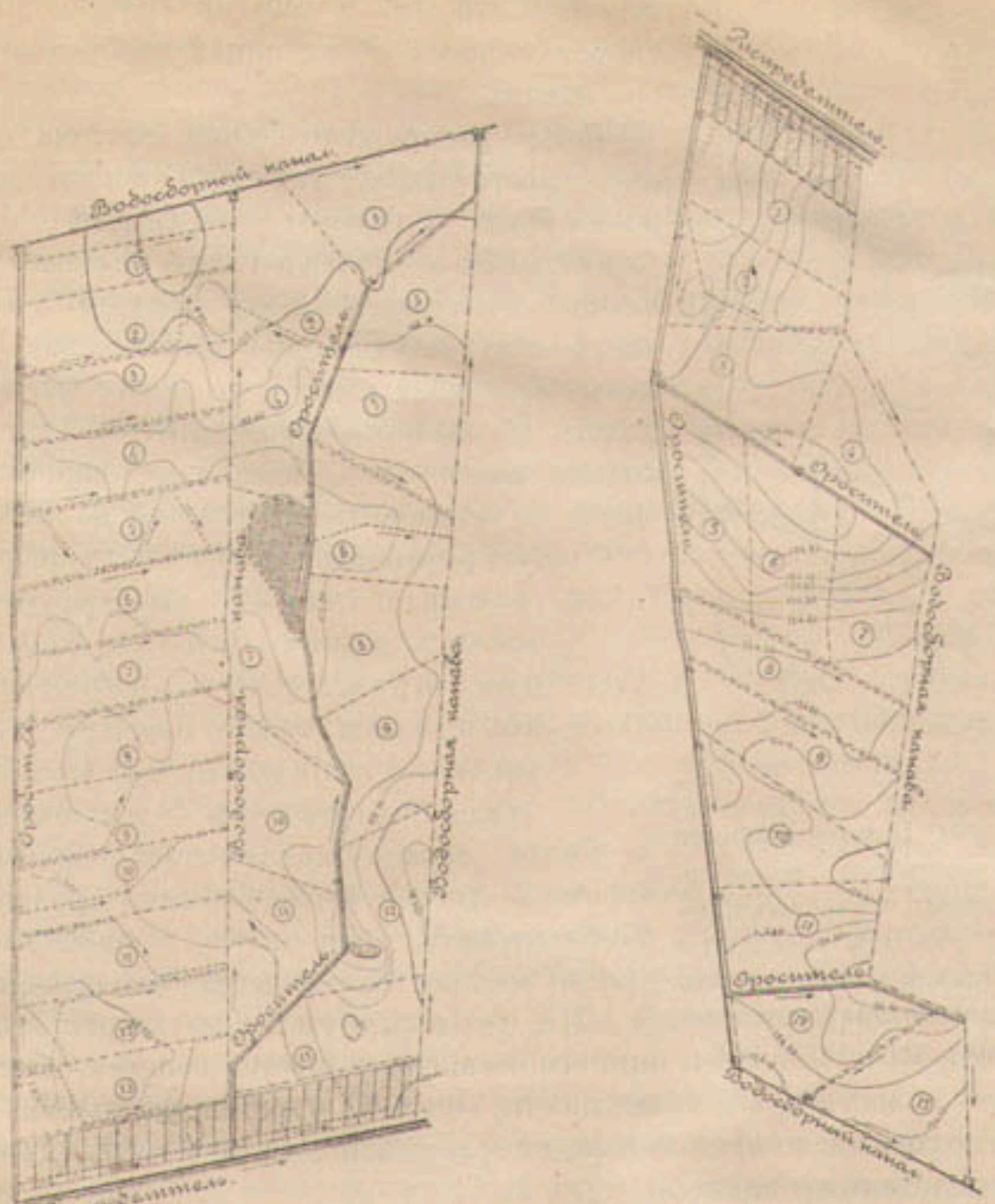
Например, если единица водопользования представляет из себя квадрат, длина оросителей, проведенных по двум ея сторонам, пре-

высит в 1,4 раза более короткую диагональную трассу. Такое расположение оросителей будет иметь преимущество, если при диагональной трассе уклон получается преувеличенным; в противном случае уменьшение скорости, вызываемое уменьшенным уклоном, повлечет за собой некоторое увеличение поперечного сечения; в этом трасса оросителя по сторонам квадрата может потребовать значительно больших земляных работ, вследствие увеличения длины и поперечного сечения, чем при диагональном направлении. С другой стороны, короткая диагональная трасса оросителя, разрезая поселенческие участки на две или больше частей, создает большие неудобства в полевых работах и потребует устройства двойного комплекта выпускных затворов на каждую часть участка и дополнительных мостов. Если принять во внимание отрицательные и положительные стороны каждого из двух указанных вариантов трасс, окажется выгодным проводить оросители вдоль границ поселенческих участков (когда это допускается топографическими условиями местности). Весьма часто, однако, ясно выраженный рельеф местности предопределяет положение трассы оросителя и заставляет отступить от вышеустановленных принципов, так как оситель должен быть проложен по наиболее высоким пунктам обслуживаемого им участка.

Когда сеть проектируется для нового района, еще незаселенного, разбивка оросителей должна производиться, придерживаясь всех тех принципов, которые были указаны в начале данной главы. Вся площадь распределителя разбивается на равновеликие площади (единицы водопользования, см. главу XI) с таким расчетом, чтобы каждая из них могла бы вполне обслуживаться независимым оросителем, берущим воду из распределителя через самостоятельный шлюз; для этого оситель должен быть затрассирован по самым высоким отметкам своей единицы водопользования и, следовательно, трасса его, в общем случае, в зависимости от рельефа местности может иметь самое разнообразное направление. Иногда, для достижения полного командования над единицей водопользования, приходится оситель разделять на две, на три ветви (см. черт. 181, 182 и 183). При разбивке площади командования распределителя на единицы водопользования и при установлении трасс оросителей необходимо постоянно иметь в виду удобства водопользователей, облегчение и удешевление их работы, поэтому одновременно с разбивкой единицы водопользования и трассы оросителя, следует, хотя бы приблизительно, наметить разделение всей площади единицы водопользования на отдельные поселенческие наделы с тем условием, чтобы каждый надел, с одной стороны, соприкасался с оросителем, а с другой — с водосборной канавой и чтобы вся площадь каждого надела могла быть орошена из оросителя при помощи „хозяйственных" отводов, проведенных по территории надела.

Независимость поливной и отводной сети каждого поселенца должна быть достигнута во что бы то ни стало. На чертежах 181, 182 и 183 приведены, в целях иллюстрации сказанного, единицы водопользования (взятые из одного проекта) с трассами оросителей, с разбивкой на отдельные поселенческие полевые и усадебные наделы и

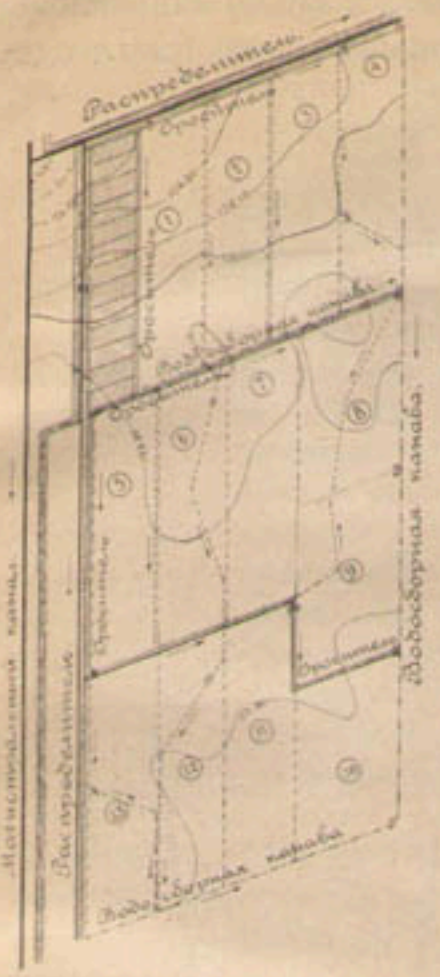
с трассами главных хозяйственных отводов; там же указано и направление полевых дорог общего пользования; единицы водопользования имеют одну



Черт. 181. Пример разбивки трасс оросителей, водосборных канав, усадебных и полевых участков поселенцев на площади двух единиц водопользования.

Черт. 182. Пример разбивки трасс оросителя, водосборной канавы, усадебных и полевых участков поселенцев на площади одной единицы водопользования.

и ту же площадь (около 130 десятин), но разную форму в зависимости от конфигурации местности. Из чертежей ясно видно, как сильно приходится в жизненных условиях менять форму единиц водопользования и



Черт. 183. Пример разбивки трасс оросителя, водосборной канавы, усадебных и полевых участков поселенцев на площади одной единицы водопользования (см. услови. обознач. черт. 181 и 182).

трассу оросителя для того, чтобы можно было удовлетворить поставленным условиям. В дальнейшем (см. стр. 407 и 409) мы более подробно коснемся вопроса об единицах водопользования и оросителях.

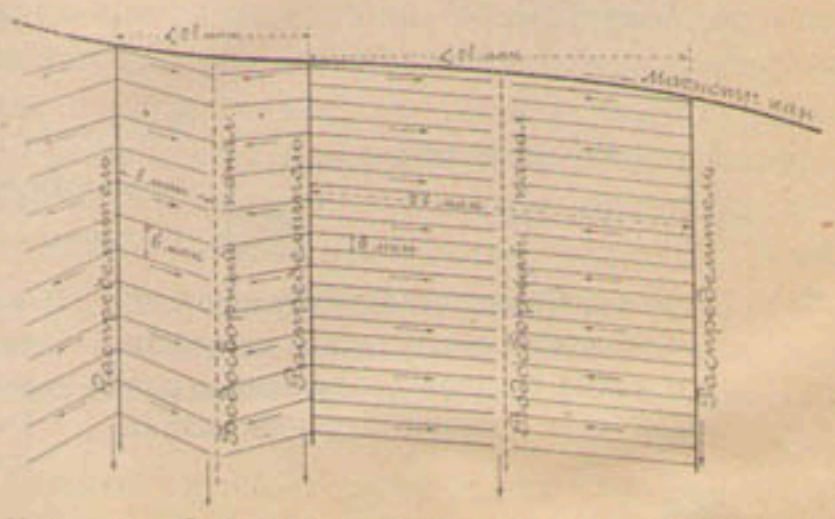
Когда распределительная система обслуживает ровную, непересеченную долину, имеющую главное падение от магистрального канала до нижней границы подлежащей орошению площади, когда отсутствуют явно выраженные водоразделы и ложбины, которые могли бы предопределять положение распределителей, тогда необходимо рассмотреть несколько вариантов разбивки и установить наилучший из них.

Следует различать два основных типа разбивки:

1. в первом типе распределители имеют двустороннее командование, оросители — одностороннее.
2. во втором типе распределители имеют одностороннее командование, оросители — двустороннее.

Редко можно пользоваться каким-нибудь типом в чистой форме, обычно приходится их комбинировать, используя в зависимости от уклона местности, преимущества каждого.

По первому типу магистральный канал или его ветвь трассируется поперек общего ската местности, следуя с незначительным уклоном (почти по горизонтали) вдоль верхней границы подлежащей орошению площади; распределители проводятся при этом вдоль ската местности, снабжая водой оросители, берущие начало по обе стороны каждого распределителя. Таким образом, оросители пересекают местность поперек общего ската (под некоторым углом к горизонталям) имеют незначительный уклон и питают почти неключительно лежащие ниже земледельческие участки (см. черт. 184). Незначительный уклон оросителей вызовет увеличение живого сечения и смоченной поверхности, в ре-



Черт. 184. Схема разбивки сети по первому типу.

зультате чего должны будут увеличиться и потери от фильтрации. Полоса земли между двумя распределителями обслуживается оросителями, примерно, одинаковой длины, проведенными от каждого распределителя, примерно, к середине ее. Длина оросителей будет больше половины средней ширины полосы земли, заключающейся между распределителями, так как трасса оросителей имеет ломаный вид. Взаимное расстояние между распределителями должно быть меньше $2l_{\text{мак.}}$ (где $l_{\text{мак.}}$—есть предельно допустимая длина оросителя). Величина $l_{\text{мак.}}$ колеблется в зависимости от целого ряда причин (характера хозяйства, трудоемкости главных культур, типа землеустройства, величины хозяйственного тока, характера грунта, в котором будет проложен ороситель и прочее), от 1,5 до 3 километров. По исследованиям автора данного труда, предельная длина оросителя, в условиях интенсивного сельского хозяйства и при землеустройстве по типу „полос жизни", не должна превышать 2,5 – 3 километров. Согласно практике С. Ш. С. Америки, длина оросителей колеблется в пределах от 0,5 до 2,6 километров, при чем, по мнению американских авторов, чем меньше величина хозяйственного тока, тем короче должна быть длина оросителя, а именно: для $q_0 = 0{,}06 - 0{,}12$ кб. метров в секунду l принимается равным от 0,5 до 1,2 километра; для $q_0 = 0{,}3 - 0{,}6$ кб. метров в секунду, l берется в пределах от 1,5 до 2,6 километров. Согласно индийской практике, длина оросителя может простираться до 4,5 километров, обычно же оросители устраиваются длиною в 3 километра, при чем хозяйственный ток редко превышает величину $q_0 = 0{,}12 - 0{,}15$ кб. метров в секунду. Таким образом, американские данные не совпадают с остальными. Здесь мы сталкиваемся с вопросом, оставшимся до последнего времени недостаточно освещенным, а именно: какая схема разбивки сети целесообразнее,—с близко ли отстоящими друг от друга распределителями и с короткими оросителями или, наоборот, с далеко отстоящими распределителями и длинными оросителями? При решении этого вопроса американские инженеры обращали главное внимание на экономию в потерях воды в мелкой сети, а индийские инженеры – на экономию в эксплоатационных расходах и в основной стоимости сети, между тем, если учесть потери не только в мелкой сети, но и в распределительной, если условиться, что мелкая сеть должна подводить воду к каждому поселенческому наделу, вне зависимости от его величины, если принять во внимание, как расходы по устройству мелкой и распределительной сетей, так и по эксплоатации их, то окажется, что чем длиннее могут быть устроены оросители, тем, в общей сложности, это будет выгоднее.

Правда, потери воды от просачивания в оросителях очень велики, но потери воды в малых распределителях не настолько малы, чтобы их возможно было игнорировать; кроме того, распределительная сеть, с близко отстоящими друг от друга распределителями и с короткими оросителями, стоит дороже, чем с далеко отстоящими распределителями и длинными оросителями. Увеличение числа распределителей неминуемо должно вызвать также увеличение эксплоата-

ционных расходов и увеличение административного персонала; уход же за оросителями, лежащий большею частью на обязанности землевладельцев, остается и в том и в другом случае почти одним и тем же.

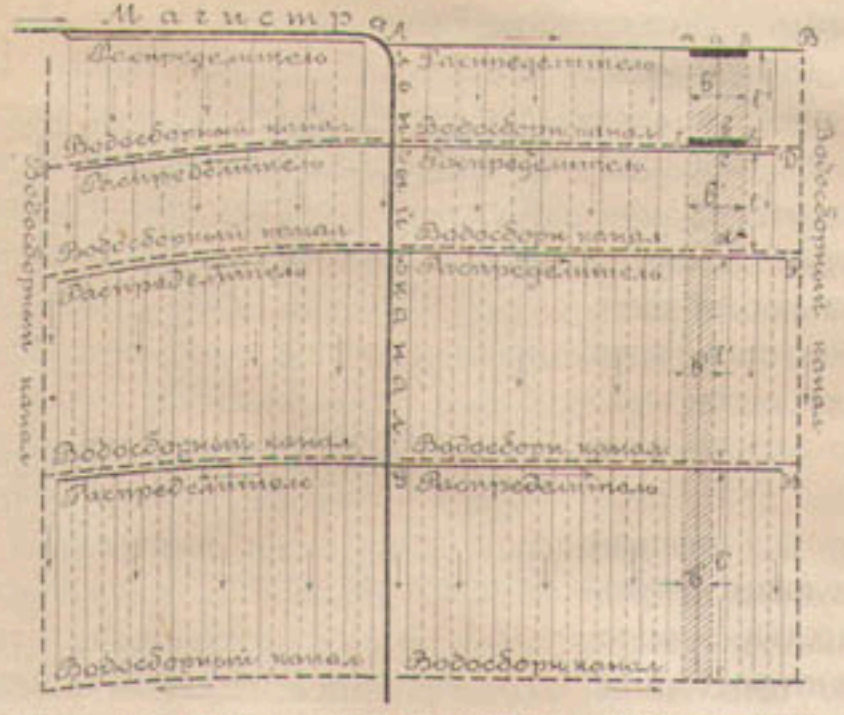
Максимальная длина оросителя должна определяться из других соображений, а именно—из соображений экономии рабочего времени поселенческой семьи на ежедневные переезды и переходы с усадьбы на полевой участок и обратно, а также с усадьбы в ближайший центр, где имеется рынок, школа, аптека, ближайшие административные органы и т. п. Как показывают специальные исследования, при интенсивном поливном хозяйстве, полевой участок не должен отстоять от усадьбы поселянина дальше 2,5—3 километров и расстояние усадьбы от ближайшего общественного и торгового пункта не должно превышать 5 километров.

Таким образом, между соседними распределителями следует оставлять полосу шириною несколько меньше 5 – 6 километров ($< 2l_{max.}$). Среднее расстояние между оросителями (если предположить плавное падение местности, без „возмущений" рельефа в виде мелких водоразделов и ложбин) должно равняться $b = \frac{\omega}{l}$, где ω — *площадь единицы водопользования*, а l — принятая длина оросителя. Если оросителям придать максимально допустимую длину ($l_{max.}$), то очевидно, что расстояние между оросителями получится минимальным ($b_{min.}$) и, наоборот, если принять ширину между оросителями максимально допустимую $b_{max.}$, получим $l_{min.}$ Между этими двумя пределами ($l_{max.}$ и $l_{min.}$) может колебаться длина оросителя, при чем при разбивке сети необходимо стремиться к тому, чтобы оросители приближались (по своей длине) к установленному максимальному пределу.

Данный тип разбивки распределительной и мелкой сети, очевидно, может быть применен только в тех случаях, когда падение местности достаточно для того, чтобы оросители, разбитые под углом к горизонталям, имели бы, все-таки, необходимый уклон.

Второй тип—с распределителями одностороннего командования и оросителями двустороннего, применяется в том случае, когда магистральный канал проводится по орошаемому району по скату местности. Распределители при этом трассируются под острым углом к горизонталям (поперек к склону местности), а оросители, наоборот,— по линиям наибольшего ската; ороситель, таким образом, имеет возможность подавать воду на поля орошения, расположенные по обеим его сторонам и, следовательно, ширина обслуживаемой им полосы (b') может равняться в пределе $2b_{max.}$ Трасса каждого оросителя (например, оросителя ab, cd и т. п.) располагается, примерно, по кратчайшему направлению от одного распределителя к другому (например, от распределителя AB к распределителю CD, от CD к EF и т. д.), поэтому усадебные участки какой-либо единицы водопользования α β γ δ можно располагать не только вдоль

распределителя AB, из которого ороситель ab получает воду, но также вдоль нижележащего соседнего распределителя CD (на черт. 185 усадебные участки для единицы водопользования $\alpha\beta\gamma\delta$ показаны черными полосками $\alpha\beta$ и $\gamma\delta$).



Черт. 185. Схема разбивки сети по второму типу.

При таком расположении усадеб максимальная длина оросителя $l'_{\text{макс.}}$ очевидно, может быть удвоена по сравнению с максимальной длиной оросителей, обслуживающих усадьбы, находящиеся только на одной грани единицы водопользования, так что $l'_{\text{макс.}} = 2l_{\text{макс.}}$, то-есть $l'_{\text{макс.}} = 5 - 6$ километрам. Исходя из величин $b'_{\text{макс.}}$ и $l'_{\text{макс.}}$, получим $l'_{\text{мин.}} = \frac{\omega}{b'_{\text{макс.}}} = \frac{\omega}{2b_{\text{макс.}}}$ и $b_{\text{мин.}} = \frac{\omega}{l'_{\text{макс.}}} = \frac{\omega}{2l_{\text{макс.}}}$

Для данного типа разбивки весьма желательны большие единицы водопользования, то-есть, следовательно, применение больших „хозяйственных токов", ибо, иначе, при использовании максимальной длины оросителя величина $b'_{\text{мин.}} = \frac{\omega}{2l'_{\text{макс.}}}$ получается слишком маленькой, а вся система дорогой.

Например, если принять величину хозяйственного тока $q_0 = 0{,}06$ кб. мтр./сек. (2 кб. фут./сек.), $l_{\text{макс.}} = 2{,}5$ кил. то, в обычных условиях хлопкового Туркестанского хозяйства, площадь единицы водопользования (ω) будет равняться 120—150 гектарам, в среднем $\omega = 135$ гектарам, так что $b'_{\text{мин.}} = (135 \times 10.000) : 5.000 = 270$ метрам, а расстояние от оросителя до водосборной канавы, то-есть ширина полевого надела поселенца $b'_{\text{мин.}} : 2 = 135$ метрам; между тем ее можно доводить (при нормах надела в 9 гектаров) до 600 метров. При хозяйственном токе в 8 кб. фут./сек. ($q_0 = 0{,}25$ кб. м./сек.), $\omega = 540$ гектаров и ширина полевого надела может достигать, при тех же условиях, 540 метров.

Данный тип разбивки распределительной и мелкой сети имеет преимущество перед первым в случаях малого падения местности и при большой величине хозяйственного тока.

Комбинированный тип разбивки, использующий по условиям рельефа преимущества как первого, так и второго типа, фактически приходится применять в большинстве проектов.

На чертеже 186 показана одна из самых простых схем комбинированной разбивки. Верхняя полоса района орошения, которая тянется вдоль магистрального канала, обычно имеет больший уклон местности и здесь может оказаться более выгодным применение первого типа разбивки и, наоборот, в низовой части с более пологим рельефом преимущества могут быть на стороне второго типа. При проектировании приходится применять самые разнообразные комбинации первого и второго типов для лучшего использования условий рельефа, поэтому сеть обычно имеет с виду чрезвычайно сложный и, как бы, запутанный характер; однако, всегда возможно при внимательном изучении установить черты или первого или второго типа разбивки.

Черт. 186. Схема разбивки сети по комбинированному типу.

Заключение. Правильная и вполне целесообразная разбивка распределительной сети в значительной степени зависит от опытности лица, производящего эту работу. В большинстве случаев для каждой разрабатываемой местности приходится делать несколько отдельных вариантов разбивки распределительной сети и путем детального сравнения и всестороннего освещения их выбирать наиболее целесообразный и выгодный из них.

Для быстрого и наглядного представления основных данных по распределительной и мелкой сети и для облегчения сравнения различных вариантов разбивки между собой, необходимо их приводить к единице сравнения. Все основные и наиболее интересующие в проекте сети данные следует выражать не только в абсолютных величинах, но также и в виде коэффициентов и удельных характеристик. Например, общую длину распределителей, оросителей, водосборных канав, каналов, сбросов, обыкновенных и полевых дорог следует относить к единице обслуживаемой ими площади то-есть к десятине (или

к гектару). Полученные „удельные длины" будут характеризовать сеть и дадут возможность легко оценивать и сравнивать варианты. Так, удельной длиной распределителя будем называть отношение суммарной длины всех распределителей к валовой площади орошения, которую указанная сеть распределителей обслуживает и т. д.

В конце XVII главы приведена сводка желательных характеристик сети и тех основных данных, которые при сравнении вариантов надо иметь в виду, как для площади командования каждого распределителя, так и для всего района орошения. Указанные коэффициенты и характеристики имеют очень большое значение и ими широко приходится пользоваться при разбивке сети и сравнении разных вариантов для всего района или отдельных его частей. В виду этого, после каждой, даже предварительной разбивки сети на плане, необходимо определять коэффициенты и удельные значения, которые сразу могут показать, насколько удовлетворительно произведена разбивка сети на предположенной к орошению площади. Так, например, если для данного участка удельные длины распределителей или обыкновенных дорог получаются значительно большими, чем для других участков, находящихся приблизительно в тех же условиях, то необходимо детально разобраться, что является причиною этого обстоятельства: неудачная ли разбивка сети или наличие в этом участке каких-либо особых условий, требующих более густой сети.

Для разбивки сети необходимо иметь план местности в горизонталях в масштабе не более 250 метров в 1 сант. Горизонтали на плане должны быть проведены через такое расстояние (по высоте), чтобы характер местности был выявлен вполне ясно и достаточно детально. Так, например, если местность имеет однообразный и довольно значительный уклон, то для разбивки распределительной сети достаточно иметь план с горизонталями, проведенными через 0,40—0,50 метр. при малом же уклоне местности и при наличии значительного количества отдельных небольших возвышенностей и понижений, горизонтали на плане должны быть проведены не реже, чем через 0,20 метр.

Тщательное изучение плана в горизонталях даст возможность запроектировать значительно более дешевую сеть распределителей и оросителей, чем в том случае, если бы разбивка производилась прямо на местности или на картах слишком малого масштаба. Только в крайних случаях, при исключительных условиях рельефа (например, при отчетливо выраженных водоразделах и депрессиях), при срочности в работах, можно ограничиться только одной полевой трассировкой распределителей, однако, и в этом случае, несомненно, что предварительное изучение плана и камеральная разбивка распределителей может дать некоторую экономию как при постройке их, так и при эксплоатации. Что касается мелкой сети, то для разбивки последней абсолютно необходимо во всех случаях наличие подробного плана, последний необходим также и для определений очертания тех бугров и холмов, которые не смогут быть орошены самотеком, и для разбивки в будущем мельчайшей сети на участках поселенцев.

Изменения вносимые в разбивку распределительной и мелкой сети в связи с использованием гидравлической энергии. До сих пор мы рассматривали плановую разбивку сети с точки зрения чисто ирригационной, но при проектировании необходимо, в случае, если имеется потребность в дешевой энергии, исследовать также вопрос о получении водной энергии на распределителях, что может потребовать применения специальных способов разбивки сети. Здесь необходимо отметить, что на распределителях в большинстве случаев условия весьма неблагоприятны для получения водной энергии, так как распределители работают только периодичееки, тактами по установленному водообороту, так как они несут сравнительно незначительное количество воды и так как по самому своему назначению (командовать орошаемой местностью) они не могут зарываться глубоко в землю, а, следовательно, и не могут иметь большую величину перепада, сосредоточенную в одном пункте. Таким образом, обычно, приходится иметь дело, при использовании водной энергии, с малыми расходами, малыми напорами и с перерывами в работе станции.

Однако, при благоприятном рельефе, возможно, применяя специальный способ разбивки сети, искусственно создать выгодные условия для использования энергии. Применение этого способа возможно в том случае, когда верхняя полоса территории (подлежащей орошению), примыкающая к магистральному каналу, имеет крутой уклон, как это показано на черт. 189. Если бы не требовалось использование гидравлической энергии, то для местности, указанной на черт. 192, можно было бы применить первый тип разбивки распределительной сети, при котором распределители (I, II, III. IV и V) трассируются по скату местности, а оросители под некоторым углом—к горизонталям (см. черт. 184). Все распределители в головной части (то-есть на протяжении $II-II_1$, $IV'—IV'_1$ и т. д.), благодаря крутому уклону местности, пришлось бы устраивать с перепадами, так что получилось бы большое число мест с мелким средоточием водной энергии. В целях выгодного использования гидравлической энергии, указанную схему следует изменить так, чтобы можно было получить энергию в одном пункте при большом расходе воды и большом падении, то-есть, чтобы можно было объединить большинство мелких перепадов в один крупный. В этом случае могут быть рекомендованы следующие способы.

1. Орошение полосы с крутым рельефом, прилегающей к магистральному каналу, производится не из распределителей, а из специальных отводов, выводимых из магистрального канала в тех же пунктах, где устроены головные шлюзы распределительных каналов. Отводы могут быть проведены параллельно магистральному каналу, так что оросители, получающие воду из отводов, могут быть устроены по скату местности (см. черт. 187). Если длина оросителей будет недостаточна для орошения всей полосы земли с крутым уклоном, можно устроить разветвление отвода и создать двойной ряд оросителей, как это показано на черт. 188. Орошение остальной (нижележащей) полосы с пологим рельефом производится из распредели-

телей, которые так же, как и отводы, берут начало из магистрального канала в тех же пунктах (см. черт. 187 и 188). Так как распределитель не должен командовать прилегающей местностью до пункта В (до места вывода первых оросителей, см. черт. 188), то на протяжении АБ он может быть проложен в выемке; в точке А, где распределитель отходит от магистрального канала, возможно устроить гидростанцию, использующую энергию падения воды, пропускаемой из магистрального канала в указанный распределитель. Очевидно, чем больше может быть допущена разность уровней H^- (см. черт. 189) между горизонтами воды в магистральном канале и распределителе (в точке А), тем большая получится мощность гидростанции, но с другой стороны углубление распределителя и удлинение его

Черт. 187. Схема разбивки сети, с орошением верхней полосы из отвода, предусматривающая утилизацию гидравлической энергии.

Черт. 188. Схема разбивки сети, с орошением верхней полосы из двух отводов, предусматривающая утилизацию гидравлической энергии.

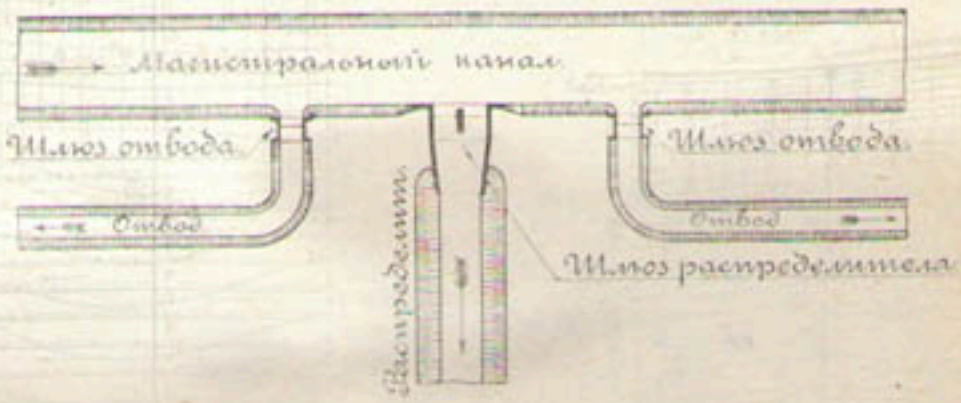
холостой части (то-есть длины АБ) вызовет увеличение земляных работ. Таким образом, проектирующему надлежит путем сравнительных подсчетов выявить наиболее экономическую схему. Общая схема узла А показана на черт. 190 и 191. Шлюзы для подачи воды в отводы могут быть устроены или в виде самостоятельных сооружений или же, если отводы небольшие, в верховых крыльях шлюза-распределителя.

При такой разбивке сети получается возможность соединять несколько перепадов, которые пришлось бы устраивать в начальной крутой части распределителя, в один более крупный. Таким образом, искусственно, для удешевления гидроэнергии, сосредоточивается в одном пункте наибольшая высота падения воды.

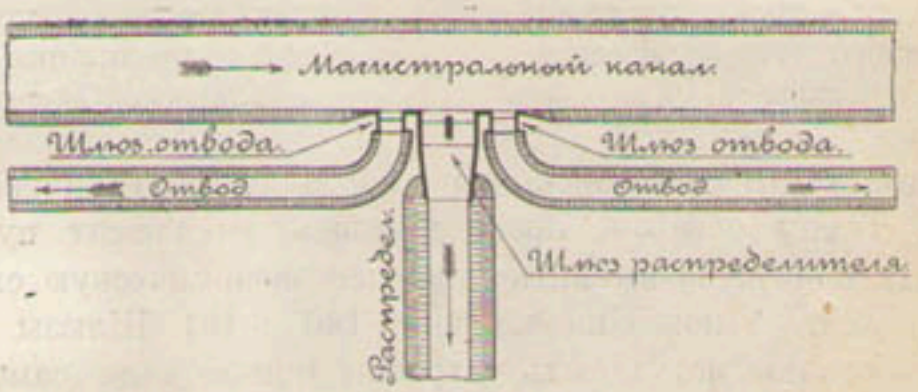
2. Если бы потребовалось увеличить еще более мощность гидростанций и удешевить себестоимость единицы энергии, можно было бы изме-

нить разбивку сети в сторону укрупнения расхода, пропускаемого по тому распределителю, на котором предполагается использование энергии. Для этой цели соединяют головные участки нескольких распределителей в один, как указано на черт. 192 (см. распреде-

Черт. 189. Продольный разрез по оси распределителя на участке АБ (см. черт. 188).



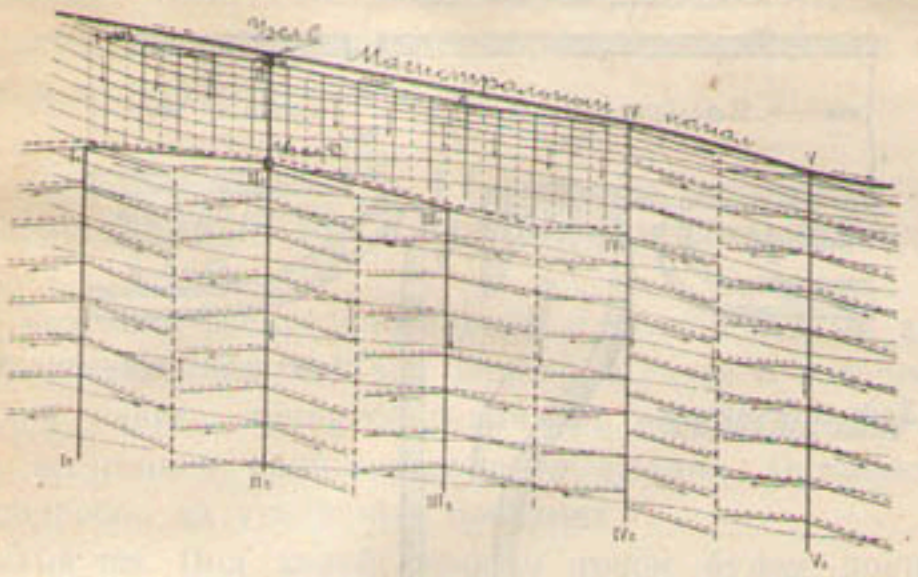
Черт. 190. Схема узла А, шлюзы отводов устроены отдельно.



Черт. 191. Схема узла А; шлюзы отводов устроены в крыльях шлюза-распределителя.

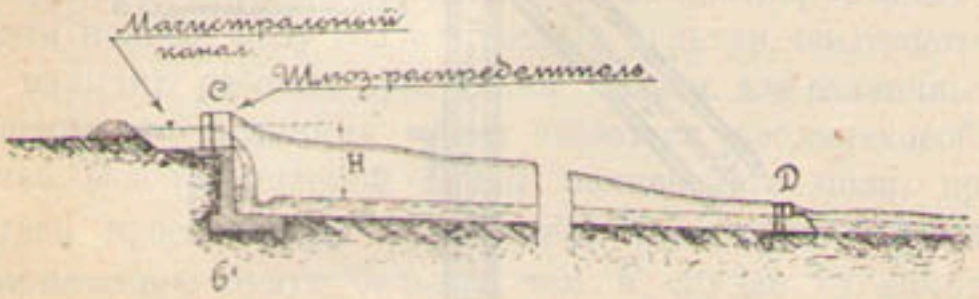
лители I, II, III), при чем так же, как и при первом способе, орошение верхней зоны (с крутым рельефом) производится при помощи отводов, получающих воду непосредственно из магистрального канала. Таким образом по головному участку одного распределителя пропускаются также расходы и нескольких соседних распределителей

В примере, приведенном на черт. 192, показана разбивка сети по указанному способу. Головные участки трех распределителей I—I_1, II—II_1, III—III_1 соединены в один II—II_1. В пункте С из магистрального канала вода в том количестве, которое необходимо для трех распределителей, пропускается через гидростанцию или шлюз в глу-



Черт. 192. Изменения, вносимые в разбивку плана распределительной сети в связи с использованием гидравлической энергии.

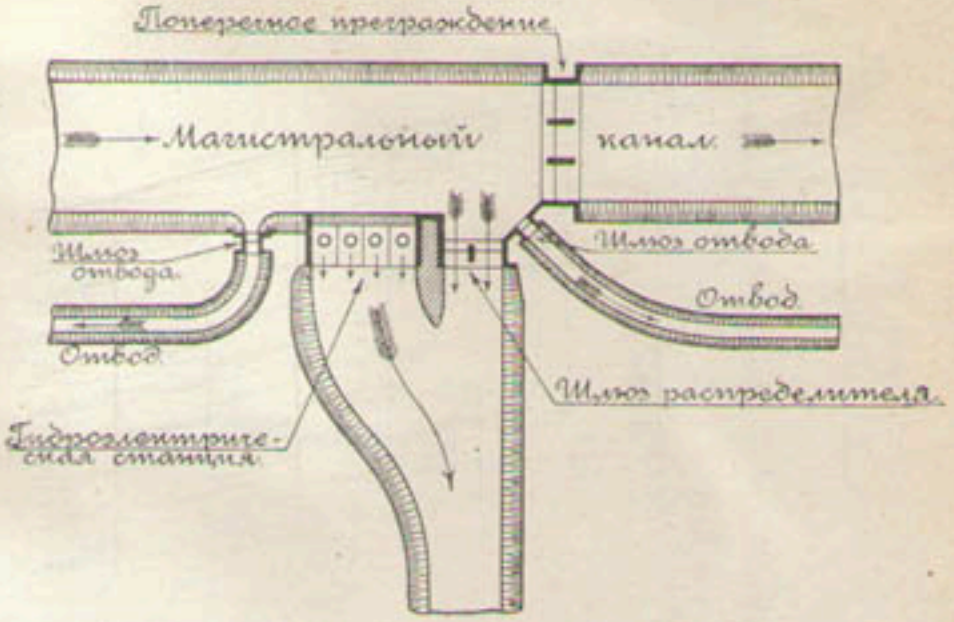
боко зарытый распределитель II и по его головному участку (II—II_1) передается к узлу Д, который представляет из себя вододелитель; здесь весь расход воды разбивается на три части, из которых одна передается по соединительному руслу II_1—I_1 в распределитель I для орошения на участке 1_1—I_2, вторая часть передается непосредственно в распределитель II (на участок II_1—II_2) и, наконец, третья часть



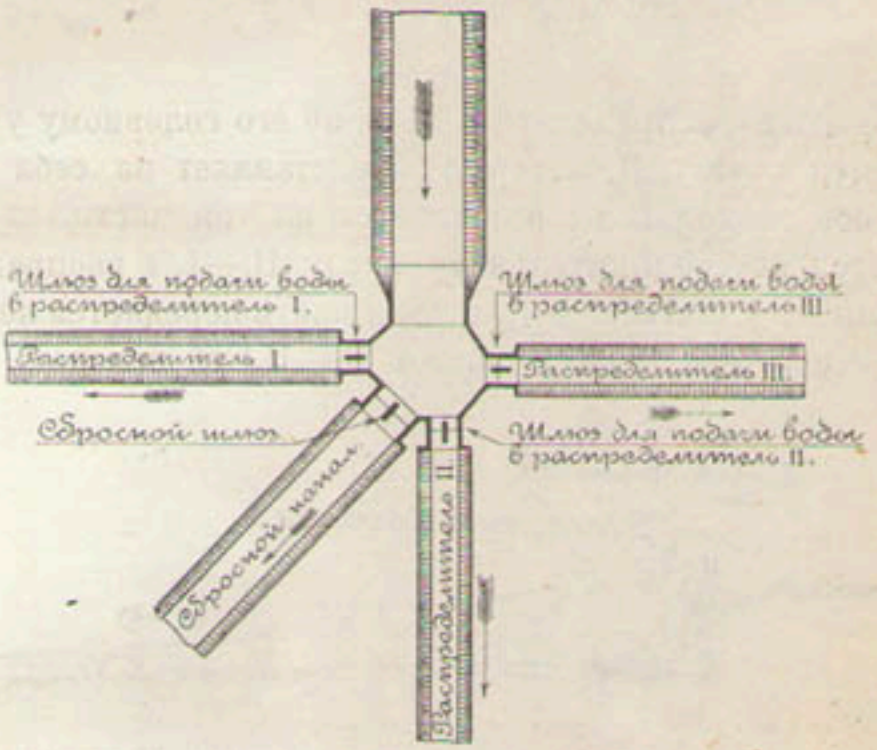
Черт. 193. Продольный разрез по оси распределителя от пункта С до пункта Д. (См. черт. 192).

расхода по соединительному руслу II_1—III_1 отводится в распределитель III (для орошения на участке III_1—III_2). На чертеже 193 показан продольный разрез распределителя II от пункта С до пункта Д, из которого видно, как глубоко может быть заложен распределитель, если местность имеет крутой склон и расстояние СД (то-есть ширина

верхней зоны, орошаемой из специальных отводов km и nl) достаточно большое. На чертежах 194 и 195 показаны возможные схемы узлов С и Д. В узле Д предвидено устройство сбросного шлюза для того, чтобы можно было, в случае нужды, сбросить воду в водосбросный канал, минуя распределители, напр., при водообороте, когда в промежутке



Черт. 194. Схема узла С (см. черт. 192 и 193).



Черт. 195. Схема узла Д (см. черт. 192 и 193).

между тактами в распределители не должна подаваться вода, а между тем желательно, чтобы гидроэлектрическая станция, хотя бы частично, работала.

В приведенном примере показано соединение трех распределителей, но, очевидно, что, при благоприятных топографических условиях и в случае большой потребности в гидро-энергии, можно было

бы объединить и большее число распределителей для увеличения расхода воды, пропускаемой через станцию.

Вышеописанные примеры специальной разбивки сети, освещая общую методику и пути подхода к решению вопроса получения энергии, в то же время, достаточно убедительно свидетельствуют о том, что проектирующему не следует жалеть времени на глубокую проработку различных вариантов разбивки сети. Работа его окупается тем, что попутно с орошением получается дешевая энергия, открывающая большие возможности приобщаемому к культуре району.

Хозяйственный ток и единица водопользования.

Характер разбивки распределительной и мелкой сети в значительной степени определяется, как это мы видели в главе о водопользовании и в начале данной главы, принятой величиной хозяйственного тока и связанной с нею величиной единицы водопользования. Остановимся, ввиду этого, более подробно на указанных понятиях.

Хозяйственный ток. Под хозяйственным током будем понимать такой секундный расход воды, который может быть удобно использован водопользователем при поливных операциях. Следовательно, это есть тот расход воды, которым вода должна подаваться для обслуживания каждого единичного хозяйства и с коим земледельцу приходится оперировать при производстве полива. Хозяйственный ток поступает целиком в распоряжение земледельца на определенный промежуток времени и в этом смысле он является неделимым (между земледельцами); однако, при поливе участка будет происходить дробление этого тока воды на струи меньшей величины, направляемые по отдельным бороздам, джоякам, полосам, чекам. Эти последние называются поливными струями (поливными токами). Величина хозяйственного тока должна соответствовать местным условиям, как-то: рельефу, характеру почв, глубине залегания грунтовых вод, принятым методам полива, роду возделываемых культур, опытности водопользователей и наличию рабочих рук. Таким образом, для различных участков района орошения эта величина может оказаться неодинаковой. В самом деле, в случае водопроницаемой почвы поливаемого поля, при сравнительно быстром просачивании воды через почво-грунт, потери воды на глубокую фильтрацию будут больше, чем в случае суглинистых, мало водопроницаемых почв и, следовательно, для возможности удовлетворения водопотребности растений в обоих случаях в течение одного и того же времени, необходима подача воды током различной величины. При рельефе местности с небольшим падением, скорость протекания воды, подаваемой на поверхность поливаемого поля, получится незначительной, так что для покрытия поля ровным слоем воды потребуется значительно больше времени, чем при крутом рельефе, а, следовательно, и большее количество воды успеет потеряться через испарение и фильтрацию; таким образом, чем

положе местность (при прочих равных условиях), тем величина хозяйственного тока должна быть больше.

Величина хозяйственного тока, как указывалось, должна быть удобной для поливных операций поселенца. Чем больше размер хозяйственного тока, тем скорее может быть закончен полив, тем меньше будут потери на испарение, но за то и тем сложнее будет манипуляция с правильным распределением воды и тем больше рабочей силы потребуется при поливе. Наоборот, при меньшей величине хозяйственного тока вода может быть распределена более рационально, благодаря чему меньшее количество воды может дать лучшие результаты и больший эффект в смысле урожайности данной культуры; опытные земледельцы, привыкшие к поливному хозяйству, разбивают обычно поле на мелкие делянки и предпочитают пользоваться небольшим хозяйственным током. В некоторых туземных хозяйствах хозяйственный ток достигает очень малой величины, например, средним наиболее удобным током в Каракалпакской волости Ферганекой области считается 0,02 кб. м./сек., при среднем падении местности в 0,40 метр. на километр. Для менее опытного земледельца, каким является в большинстве случаев мало знакомый с поливным хозяйством поселенец, такая малая величина хозяйственного тока безусловно явится недостаточной; пользуясь им, он не сможет надлежащим образом произвести полив.

При производстве орошения один человек (средней опытности) с небольшим трудом может справиться с секундным током воды в 0,06—0,075 куб. метров в секунду (то-есть с 60—75 литрами в секунду). Такую же величину установила практика Опытного Голодностепского хозяйства.

Весьма существенное влияние на величину хозяйственного тока оказывает способ полива; если же принять во внимание, что тот или иной способ полива применяется в конце концов в зависимости от того же комплекса условий, от которого зависит и величина хозяйственного тока, то можно приблизительно принять, что в нижеприводимой таблице (таблица 49)

ТАБЛИЦА 49.

Величина хозяйственного тока при различных способах полива.

СПОСОБЫ ПОЛИВА.	Величина хозяйственного тока q_0	
	В литрах, в сек.	В куб. фут., в секунду.
Свободным напуском	от 30 до 120	~ 1,00— 4,00
Напуском полосами	„ 60 „ 450	2,00—16,00
Чеками	„ 120 „ 600	4,00—21,00
Бороздами	„ 15 „ 120	0,50— 4,00
Джоляками	„ 15 „ 30	0,50— 1,00

практически отражены возможные колебания последнего. Меньшие цифры относятся к плотным суглинистым почвам, большие к легким супесчаным.

Вопрос о выборе величины хозяйственного тока в связи с местными условиями рельефа, почвы, опытностью земледельца, родом культур и способом полива рассматривается в главе XV, посвященной поливной сети, поэтому не будем здесь останавливаться на нем более подробно. Во всяком случае, приведенная таблица свидетельствует, что если отбросить случаи полива легких супесчаных почв способом „чек" и способом „напуском полосами", величина хозяйственного тока меняется в пределах от 15 до 120 литров в секунду (то-есть от 0,5 до 4 кб. фут. в секунду). Однако, величина хозяйственного тока меньше 30 литров в секунду требует исключительной опытности земледельца и тщательной разделки поля на борозды и джояки, поэтому в проектных предположениях было бы нерационально исходить из этих минимальных норм, тем более, что опытный земледелец, умея рационально использовать минимальные хозяйственные токи, конечно, может справиться и с большими расходами. Таким образом, практически можно принять, что величина хозяйственного тока (q_0) может меняться в пределах от 30 до 120 литров в секунду (от 1 до 4 кб. фут. в секунду). Оросительная система будет обладать, очевидно, достаточной гибкостью, если каждый оситель сможет пропускать хозяйственный ток, колеблющийся в указанных пределах ($q_0^{мин.}$—$q_0^{мак.}$). Для участков района с супесчаной почвой, в случае, если род культур и прочие условия требуют применения способов полива „чеками" и „напуском полосами", необходимо предусмотреть большую величину хозяйственного тока.

Единица водопользования. Единицей водопользования мы условились называть площадь, которая может быть орошена единым хозяйственным током (q_0) в период самой острой потребности сельского хозяйства в воде. Если принять, что в течение указанного периода времени оситель получает воду в размере хозяйственного тока, то площадь командования его должна быть равна площади единицы водопользования. В этом случае, как уже указывалось раньше в главе XI и в начале XIII, возможно придать, как землеустройству, так и водопользованию и эксплоатации системы наиболее рациональный характер. Способ определения величины единицы водопользования (ω_0) дан в главе XI на странице 293; там рассмотрен случай, когда хозяйственный ток на всей системе имеет одну и ту же величину (q_0). Если величина хозяйственного тока для различных участков района орошения имеет разную величину (q_0^I, q_0^{II}, q_0^{III}, q_0^{IV}, . . .), определение соответствующих площадей единиц водопользования (ω_0^I, ω_0^{II}, ω_0^{III}, ω_0^{IV}, . . .) может быть произведено следующим образом.

Обозначим величины площадей отдельных участков района орошения с равными величинами хозяйственных токов через:

Ω_1 при хозяйственном, токе равном q_0^I
Ω_2 „ „ „ „ q_0^{II}
Ω_x „ „ „ „ q_0^x

тогда, зная по графику отдачи воды максимальный рабочий расход $Q_{пол.}^{макс.}$, отдаваемый на поля орошения всей системы, можем получить следующие уравнения:

$$\frac{\Omega}{Q_{пол.}^{макс.}} \cdot q_0^{I} = \lambda_{netto}^{мин.} \cdot q_0^{I} = \omega_0^{I}$$

$$\frac{\Omega}{Q_{пол.}^{макс.}} \cdot q_0^{II} = \lambda_{netto}^{мин.} \cdot q_0^{II} = \omega_0^{II}$$

$$\frac{\Omega}{Q_{пол.}^{макс.}} \cdot q_0^{(x)} = \lambda_{netto}^{мин.} \cdot q_0^{(x)} = \omega_0^{(x)}$$

Таким образом, зная минимальный гидромодуль netto ($\lambda_{netto.}^{мин.}$) и величину хозяйственного тока, можно очень просто определить соответственную величину единицы водопользования.

Черт. 196. Схема соединения трех единиц водопользования в одну.

Как величина гидромодуля, так и величина хозяйственного тока, в течение многолетнего периода эксплоатации системы, могут изменяться в значительной степени, поэтому, как уже указывалось выше, оросители должны проектироваться на пропуск предельных расходов, получающихся при минимальных и максимальных хозяйственных токах, чтобы они (оросители) без всякого переустройства могли приспособляться к изменениям, вносимым жизнью. Сложнее обстоит вопрос с единицами водопользования, ибо раз весь район орошения будет фактически разбит на единицы водопользования, раз будут проведены обелуживающие их оросители и водосборные канавы, то без сложного и дорого стоющего переустройства нельзя будет изменить величину единиц водопользования, за исключением тех случаев, когда они должны быть увеличены в целое число раз. В этом последнем случае, возможно, без больших затрат, путем соединения нескольких прежних единиц водопользования, образовать новые единицы требуемой величины. Например, если новая величина единицы водопользования должна в три раза превышать прежнюю, надо объединять (в смысле единства водопользования) три соседние единицы в одну. На черт. 196 с правой стороны показана прежняя разбивка, а с левой—новая, состоящая в том, что оросители, например, 1, 2 и 3 лишаются самостоятельных головных шлюзиков и получают воду из разветвления a_1, a_2, a_3, отходящего из оросителя 1 (в его начале), в который вода поступает из распределителя через шлюзик А в количестве, нужном для орошения всех трех прежних единиц водопользования, то-есть расходом равным 3q, если q есть первоначальный расход каждого оросителя. То же самое можно проделать с оро-

сителями 5 и 6, при помощи ответвления $б_1$, $б_2$, $б_3$, объединив их с оросителем 4 и создав для них один шлюз в Б и т. д.

Очевидно, что таким путем возможно увеличить площадь единиц водопользования только в целое число раз (в 2, 3... и т. д.).

Во всех остальных случаях придется, не изменяя площади единиц водопользования и разбивки сети, видоизменять водооборот. Например, если был принят вначале водооборот по главному каналу и по оросителю и если оросители должны были работать расходом q_1, в течение времени t_1, а затем, вследствие изменившихся обстоятельств, пришлось ввести бо́льшую величину хозяйственного тока, благодаря чему расход, пропускаемый по оросителям, должен повыситься до q_2, то, для того чтобы не изменять площадь единицы водопользования, следует изменить время работы оросителей; в данном случае оно должно быть уменьшено до $t_2 = \frac{t_1 q_1}{q_2}$. Если изменение хозяйственного тока коснулось в одинаковой степени всех оросителей на данном распределителе, то, очевидно, все изменение водооборота в указанном случае сведется к уменьшению продолжительности такта работы распределителя с t_1 до t_2. Если же хозяйственный ток изменился в одинаковой степени только для группы оросителей, а для остальных или остался прежним или переменился в другом соотношении, то, очевидно, можно будет выйти из положения, только вводя дополнительный водооборот по распределителю.

Так как величина хозяйственного тока практически меняется от 1 до 4 куб. фут./сек., за исключением редких случаев, когда применяется q_0 до 10 и даже 20 куб. фут./с., а величина минимального гидромодуля netto ($\lambda^{мин.}_{netto}$) практически колеблется от 30 до 60 десятин на 1 кб. фут. сек. и так как при малых гидромодулях обычно применяется бо́льшая величина хозяйственного тока и—наоборот, то величина площади единицы водопользования практически может колебаться в пределах от 60 до 120 десятин, в исключительных случаях достигая 300 и даже 600 десятин.

Проектирование оросителей.

Общие соображения. Мелкая сеть является последней передаточной инстанцией на пути следования воды из источника орошения к поселенцу. Очевидно, что, как бы хорошо ни были исполнены с технической точки зрения главные и распределительные каналы, оросительная система в целом не даст нужного эффекта, если мелкая сеть будет нерационально запроектирована и осуществлена. Проектируя мелкую сеть, надо помнить нижеследующие положения:

1) каждый ороситель и каждая водосборная канава (обслуживающие отдельные единицы водопользования) должны удовлетворять всем тем техническим требованиям, которые предъявляются вообще к каналам, так как какие бы мелкие канавы они из себя ни представляли, они, все-таки, являются инженерными сооружениями. Их

пропускная способность должна легко удовлетворять тем максимальным расходам воды, которые потребуется пропускать на поля в различных случаях эксплоатации системы, скорости протекания воды должны быть неразмывающими русло канала и неспособствующими отложению наносов, потери воды из оросителей должны быть доведены до возможного минимума и, наконец, поперечные сечения оросителей и водосборных канав должны быть взяты с запасом и им придана достаточная устойчивость и прочность;

2) соприкасаясь, с другой стороны, непосредственно с полями орошения, мелкая сеть должна удовлетворять требованиям, выставляемым рельефом местности, характером почвы, отдельными культурами и самим поселенцем, другими словами, она должна быть так запроектирована, чтобы поселенец имел возможность, без лишней затраты труда на поливные операции, получить хорошие урожаи обрабатываемых им культур и противодействовать засолению и заболачиванию своих земель;

3) несмотря на то, что каждый ороситель и водосборная канава в отдельности представляют небольшие и сравнительно не дорого стоющие каналы, стоимость мелкой сети в общей сложности, благодаря большому количеству канав, ложится на каждую орошаемую десятину довольно заметной цифрой, а поэтому при проектировании необходимо стремиться к тому, чтобы основные расходы по устройству сети и по эксплоатации ея были доведены по возможности до минимума и чтобы работа администрации по заведыванию системой и водораспределению была бы, насколько возможно, облегчена.

Принципы разбивки мелкой сети в плане были приведены выше (см. стр. 389). Здесь следует еще раз отметить, что для правильной разбивки мелкой сети желательно иметь план местности с горизонталями через 0,20 метра; на плане с горизонталями, отстоящими на большую высоту друг от друга, фактически невозможно дать надлежащую трассу оросителям и водосборным канавам. Экономия в расходах на изыскания, которую можно получить при менее детальных съемках, ничтожна по сравнению с той экономией, которая получится на одних земляных работах при сооружении оросителей и водосборных канав, если разбивка последних будет опираться на детальный высотомерный план.

При разбивке мелкой сети следует тщательно изучать микрорельеф местности, учитывая даже незначительные изменения конфигурации поверхности земли.

Стремясь при разбивке придать единицам водопользования формы, предусматриваемые идеальной схемой землеустройства, надо вместе с тем обеспечить для каждой единицы водопользования условия, при которых ее оросителю можно было бы придать необходимый продольный уклон, а поверхность земли имела бы определенно выраженный поперечный скат (для стока с полей отработанной воды) от оросителя к водосборным канавам.

Достигнуть сразу, при первой же разбивке, удовлетворения всех

вышепоставленных требований большею частью бывает невозможно. Эта работа требует многократного повторения, при чем в конце концов приходится иногда, при неблагоприятных условиях, отказываться от удовлетворения некоторых требований второстепенного характера, чтобы лучше осуществить главные условия, к которым следует отнести нижеследующие:

1) ороситель должен иметь такую трассу, при которой он мог бы командовать всей площадью единицы водопользования, поэтому его необходимо трассировать по наивысшим точкам, а водосборные канавы, наоборот, по наинизшим. Горизонт воды, несомой оросителем, должен быть расположен выше площади единицы водопользования для возможности удобного затопления последней слоем нужной глубины;
2) ороситель должен быть в состоянии подавать на поля в течение определенного промежутка времени (продолжительность одного полива) нужное для орошения культур количество воды;
3) ороситель должен давать воду удобным оптимальным током, не превышающим норму фактической возможности его использования при наличии определенного количества рабочих рук, (производящих орошение);
4) ороситель должен быть в состоянии пропускать форсированный расход, если того потребуют некоторые культуры, требующие быстрого орошения, или монокультура какого-нибудь растения;
5) сток воды с площади единицы водопользования должен быть обеспечен повсюду непосредственно в водосборные канавы;
6) длина оросителя и водосборной канавы с их ответвлениями должна быть наименьшей;
7) длина полевых участков поселенцев, в целях удобства орошения, не должна быть больше заранее установленной предельной величины
8) ороситель и водосборная канава по возможности должны пересекать горизонтали под острым углом, в целях удешевления мельчайшей сети, то-есть поливной сети поселянина.

По идеальной схеме каждый ороситель идет по прямой линии или по границе единицы водопользования, рядом с водосборною канавою соседней единицы или по середине площади каждой единицы водопользования. При действительной же разбивке очень многие оросители и водосборные канавы направляются по ломаным линиям, при чем в некоторых единицах водопользования оросители проходят не по границе, а внутри площади. Кроме того, длина оросителей и водосборных канав также не получается во всех единицах водопользования одинаковой, равной, по идеальной схеме, установленной предельной длине, а варьирует в некоторых допустимых пределах.

Но в общем, все эти изменения касаются, главным образом, лишь внешнего вида, давая, вместо идеальной, совершенно однообразной схемы, более пеструю картину, по существу же все принципы и все основные

положения, принятые в идеальной схеме, могут быть в большинстве случаев полностью, без всяких изменений, проведены на всей площади разбивки сети.

После того, как на плане произведена окончательная разбивка единиц водопользования и установлены трассы оросителей и водосборных канав, следует перейти к проектированию их продольных и поперечных сечений. В данной главе остановимся только на проектировании оросителей, водосборные же канавы рассмотрим вместе со всей водосборной сетью, в главе XVII.

Установление расходов воды оросителя. Если установлен тип водооборота в проектируемой ирригационной системе, а также величина хозяйственного тока, определение нормальных расходов не представит затруднений. В самом деле, по водообороту будет известно, какое количество хозяйств (n) одновременно, в период наибольшей нагрузки системы, должно получать воду, при чем, вода, как было установлено уже раньше, должна подаваться каждому хозяйственным током—q_0, поэтому расход оросителя

$$q_{нор.} = nq_0 + \text{потери} = nq_0 + \Delta.$$

Под величиной потерь Δ подразумеваются потери на фильтрацию через смоченную поверхность оросителя, на испарение с его водной поверхности, на утечку через шлюзы и проч. Величина потерь в оросителе определяется на тех же основаниях, как и в каналах высшего порядка, согласно принципам и формулам, изложенным в главе XIX. Для первоначальных подсчетов в грубом приближении можно принимать, что потери воды в оросителях, с расходом не свыше 20 футов в секунду, могут быть приняты от 3 до 7,5% на версту от расхода. В оросителях с расходом менее 6 кб. ф. в секунду, в случае, если они запроектированы так, чтобы смоченная поверхность получалась минимальной и если они проложены в дамбах из лессового грунта, сложенного с тщательной поливкой и утрамбовкой, величина потерь, повидимому (на основании существующих литературных данных), не должна превышать 3% от расхода.

Выше неоднократно указывалось, что лучшим типом водооборота по оросителю является такой, при котором одновременно получает воду только один водопользователь. В этом случае, очевидно, расход оросителя будет равен

$$q_{нор.} = q_0 + \Delta.$$

Так как величина хозяйственного тока в обычных условиях колеблется в пределах от 1 до 4 кб. фут. в секунду и только в исключительных условиях достигает 10 и даже 20 кб. фут, то и обычными расходами оросителя (при указанном типе водооборота) надо считать 1—4 кб. фут./сек. плюс потери.

Однако, при проектировании оросителя нельзя принимать во внимание только вышеустановленный нормальный расход $q_{нор.}$ Во многих случаях

может потребоваться пропуск по оросителю форсированных расходов, значительно превышающих нормальные. Пропуск расходов воды выше нормальных может потребоваться как в первые годы эксплоатации системы, когда водопользование будет протекать вообще в условиях ненормальных, так и в последующие годы, при уже установившемся водопользовании.

В первые годы эксплоатации форсированная работа оросителей может потребоваться, во-первых, в виду больших потерь от просачивания на каналах и, во-вторых, вследствие необходимости давать большие поливные нормы на полях орошения (благодаря неопытности поселенцев в поливном хозяйстве и большой водопоглощаемости почвы).

В дальнейшем потери воды в оросителе и поливные нормы уменьшатся и достигнут нормальных размеров, однако, пропуск форсированных расходов воды по оросителю может потребоваться и в это время, во всех тех случаях, когда распределение культур на единице водопользования будет значительно отличаться от среднего проектного распределения, принятого в проекте для всей площади системы. При составлении графика потребления и проектировании магистрального канала и главных сооружений необходимо опираться на среднее распределение культур во всем районе, охватываемом проектом. Однако, это совершенно не означает, что и в каждом хозяйстве и на площади каждой единицы водопользования должно быть принято то же самое распределение культур. Несомненно, что оно будет сильно меняться, достигая иногда даже монокультуры одного растения, наиболее требуемого рынком.

В силу указанных обстоятельств, насколько важно при проектировании главного канала исходить из среднего распределения культур по всей площади орошения, настолько же необходимо, проектируя оросители, принимать во внимание возможные крайние отклонения от среднего распределения культур, что, очевидно, должно вызвать увеличение количества воды, подаваемого в течение определенного промежутка времени (продолжительность такта работы оросителя) для полива той культуры, под которую отводится площадь большая нормальной. Например, если нормальный расход оросителя $q_{нор.}$ принят в 2 кб. фут./сек., если площадь, отводимая под хлопок, при нормальном распределении, определена в 33% от площади единицы водопользования, то величина форсированного расхода оросителя $q_{фор.}$, при монокультуре хлопка, то-есть при отводе 100% площади под хлопок, должна быть в три раза больше $q_{нор.}$

Другими словами

$$q_{фор.} = q_{нор.} \cdot \frac{\omega_0}{\omega'},$$

где:

ω' есть площадь, занятая в пределах данной единицы водопользования главной культурой,

ω_0 есть площадь всей единицы водопользования.

Таким образом при расчете оросителя надо иметь в виду два вышеуказанных расхода $q_{нор.}$ и $q_{фор.}$, при чем первым должна

определяться нормальная работа оросителя, а последним — его максимальная пропускная способность.

Если вода должна подаваться в оросители не по водообороту, а непрерывным током, то величина последнего определяется по гидромодулю netto (λ_{netto}), уменьшенному на 10—20%, причем принимается, что величина расхода будет меняться в течение вегетационного периода соответственно изменению λ_{netto}.

Так что в этом случае

$$q_{max.} = \frac{w_0}{1{,}1 \times \lambda_{netto}^{min.}}$$

Однако, минимальный расход оросителя не должен падать ниже оптимальной величины хозяйственного тока (q_0) и, кроме того, желательно, чтобы отношение $q : q_0$ было всегда целым числом, что понятно из предыдущего.

Установление горизонтов воды в оросителе. Правильное назначение горизонтов воды в оросителях является весьма ответственной задачей. Действительно, ороситель с недостаточно высоким горизонтом воды не сможет командовать всей площадью единицы водопользования, благодаря чему орошение не будет обеспечено. Наоборот, если принять слишком высокие отметки воды, оросители придется вести в больших насыпях которые потребуют излишних затрат. Горизонты воды в оросителях должны назначаться с таким расчетом, чтобы превышение горизонта воды в оросителе над наивысшими отметками обслуживаемой им единицы водопользования было бы не менее 0,12—0,21 метра (0,06—0,10 саж.).

Эти цифры получены на основании нижеследующих соображений: при орошении, как показывают опытные данные, толщина слоя воды, которым покрывается почва, должна приблизительно быть равной 0,10 метр. (0,05 саж.); затем, необходимо учесть получающееся понижение горизонта воды при выпуске ее из оросителя в поливные хозяйственные канавки и из последних на затопляемый участок. В зависимости от степени удаленности участка от оросителя и распределителя, величина указанного понижения горизонта будет равна 0,02—0,10 метр. (0,01 — 0,05 саж.), так что, в итоге, получается необходимое превышение горизонта воды над наивысшими пунктами орошаемой местности в 0,12—0,21 метр. (0,06—0,10 саж.).

После того, как трасса оросителя, в результате разбивки сети, будет установлена, необходимо составить продольный профиль местности вдоль трассы. Затем, после тщательного изучения рельефа единицы водопользования, необходимо отметить высокие пункты и перенести отметки этих пунктов на *вышеуказанный продольный профиль*. На чертеже 197 точки $H_а$, $H_б$, ... $H_е$ соответствуют отметкам высоких пунктов А, Б, . . . Е (в пределах обслуживаемой оросителем единицы водопользования). Для того, чтобы вода из оросителя могла бы дотечь до этих пунктов и покрыть их слоем требуемой толщины, необходимо, чтобы горизонт воды

в оросителе превышал указанные отметки $H_а$, $H_б$, ... $H_е$ на некоторые величины $\Delta H_а$, $\Delta H_б$, ... $\Delta H_е$. Каждая из этих величин слагается из толщины (α) принятого слоя затопления полей плюс величины падения горизонта воды в хозяйственных канавках при подаче ее от оросителя до требуемого пункта ($il_а$), плюс некоторой потери напора при протекании воды через шлюзики (Δh).

Таким образом,

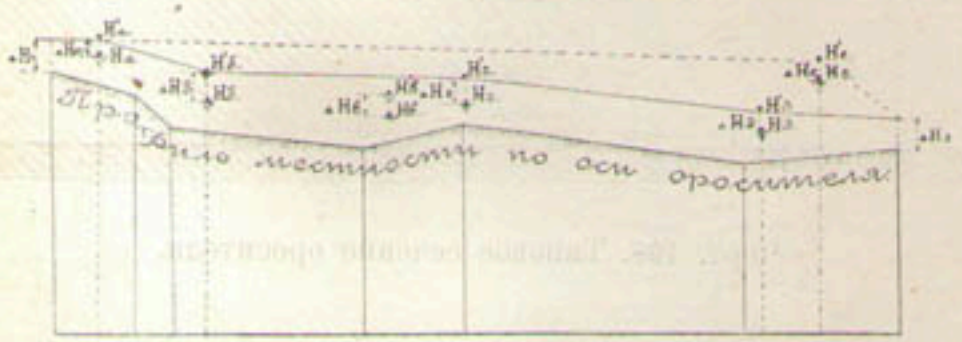
$$\Delta H_а = \alpha + i_а l_а + \Delta h$$
$$\Delta H_б = \alpha + i_б l_б + \Delta h$$
. . . . . .
. . . . . .
. . . . . .
$$\Delta H_е = \alpha + i_е l_е + \Delta h$$

где:

i есть поперечный уклон местности (от оросителя к водосборной канаве),

l — расстояние от оросителя до высоких пунктов.

Как видно из вышеприведенных формул, различие в величинах ΔH зависит от изменений величины il. Очевидно, в тех случаях, когда трасса оросителя проходит по самым высоким пунктам единицы водопользования, величина il обращается в нуль, а отметки $H_а$ $H_б$ . . . . . $H_е$ становятся отметками выступающих точек профиля местности по оси оросителя.

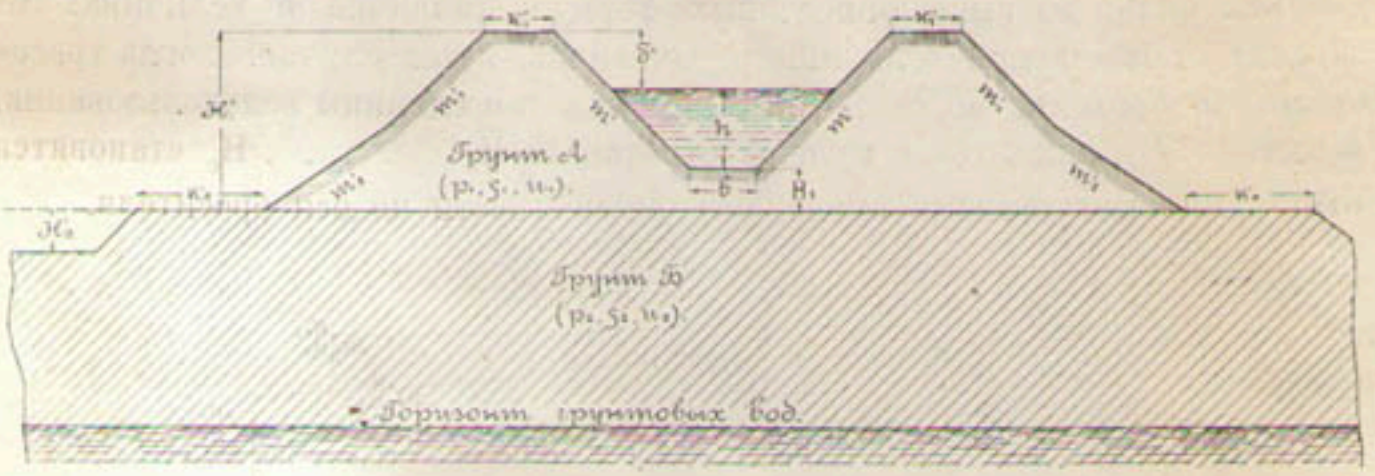


Черт. 197. К построению продольного профиля оросителя.

Получив отметки $H'_а$ . . . . . $H'_е$ тех горизонтов воды в оросителе, которые необходимы для обеспечения орошения всей площади единицы водопользования, следует наметить примерно желательный продольный профиль горизонта воды в оросителе на всем его протяжении; при этом сразу легко будет установить, какие из пунктов потребуют сильного повышения уровня воды в оросителе, а, следовательно и увеличения высоты дамб и стоимости земляных работ. Например, на чертеже 197 видно, что, если бы было поставлено требование обязательного орошения пункта Е, горизонт воды в оросителе пришлось бы поднять до пунктирной линии ($H'_а$—$H'_е$), между тем [illegible] этого возвышенного места (холм), сильно под-

нимающегося над остальным рельефом, можно было бы горизонт воды оросителе сильно понизить, доведя его до линии $H'_а$, $H'_б$, $H'_в$, $H'_г$, $H'_д$, а, следовательно, и удешевить работы. Однако, исключая из орошения какие-нибудь высокие участки, необходимо установить их площадь и затем сопоставить, что выгоднее, поднять ли горизонт воды в оросителе и оросить всю площадь, или же понизить горизонт и выключить соответственную часть площади из орошения. Сопоставляя несколько вариантов решения этого вопроса, можно установить наиболее „экономический" горизонт воды в оросителе. Практика С. Ш. С. Америки и Индии принимает, что холмы, площадью до 0,5 десятины, и увалы, шириною до 30 саж., должны быть сравнены поселенцами, и их не следует принимать во внимание при установлении горизонтов воды в оросителе.

Общие данные для проектирования и расчета оросителей. Определив расчетные расходы и требуемые горизонты воды в оросителе, можно при-



Черт. 198. Типовое сечение оросителя.

ступить к установлению его поперечных сечений и продольного профиля, то-есть к установлению ширины по дну (b), глубины наполнения канала (h), уклона (i), скорости (v). Помимо указанных величин (которые можно определить обычными гидравлическими расчетами, приведенными в главе XIX, или при помощи вспомогательных графиков и таблиц, приведенных там же), для запроектирования оросителя необходимо знание также целого ряда других величин (см. черт. 198), а именно:

а) превышения бермы дамб над наивысшим горизонтом при пропуске форсированного расхода воды через ороситель . δ'
б) величины внутренних откосов . . . . . m'
в) ширины дамб по верху . . . . . k_1'
г) величины наружных откосов, которые могут меняться по высоте . . . . . m_1', m_2' ...

д) ширины площадки между подошвой откоса дамбы и началом резерва . . . . . k_0'

е) глубины резервов . . . . . H_0'

Кроме того, необходимо знание:

ж) коэффициентов ψ и s (к формуле $v_{кр.} = \psi \cdot h^s$) для определения критической скорости, при которой не будет происходить отложение наносов в оросителе;

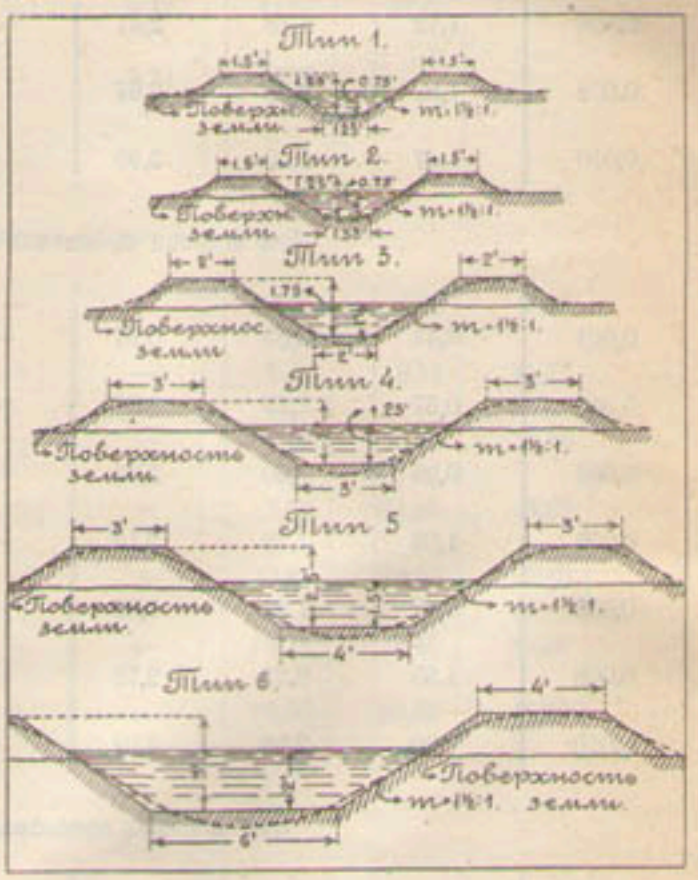
з) максимально допустимой скорости течения воды в оросителе $v_{макс.}$, при которой не будет происходить размыв дна и откосов оросителя.

Все обозначения, приведенные выше, взяты такими же, как и в главе о магистральных каналах (глава XII), там же даны подробные объяснения относительно сущности и роли каждой из перечисленных выше величин. В дальнейшем рассмотрим только численные значения этих величин.

Типы поперечных сечений, ширина оросителя и глубина наполнения. Устанавливая поперечное сечение оросителя, необходимо стремиться к всяческому уменьшению смоченной поверхности, во-первых, для уменьшения величины потерь через фильтрацию, а, следовательно, и для уменьшения питания грунтовых вод, подъема их и заболачивания местности, а во-вторых, для уменьшения расходов, связанных с бетонированием оросителей, в случае, если это потребовалось бы в дальнейшем для повышения коэффициента полезного действия системы. Ханна (Hanna, F. W.—С. Ш. С. Америки) дает следующее правило для определения ширины дна оросителя (b) в зависимости от глубины (h), если b и h выражены в футах:

1) $b = h^2 + 1$ — для оросителей с небольшой пропускной способностью (от 1 до 6 куб. фут./сек.),

2) $b = 2h^2 + 2$ — для оросителей с пропускной способностью от 8 до 20 куб. фут./сек.



Черт. 199. Типы сечения оросителей, согласно практике С. Ш. С.—Америки. (Размеры в футах).

Это правило дает экономические и рациональные сечения; при чем внутренние откосы (m) принимаются равными 1,5 : 1.

Этчеверри указывает, что в американской практике применяются оросители пяти типов (в зависимости от величины расхода), приведенные на чертеже 199. Он же приводит для указанных пяти сечений таблицу (см. таблицу 50) скоростей течения и расходов, при различных уклонах

Таблица 50.

Скорости течения и расходы воды в типовых оросителях, принятых в практике С. Ш. С.-Америки.

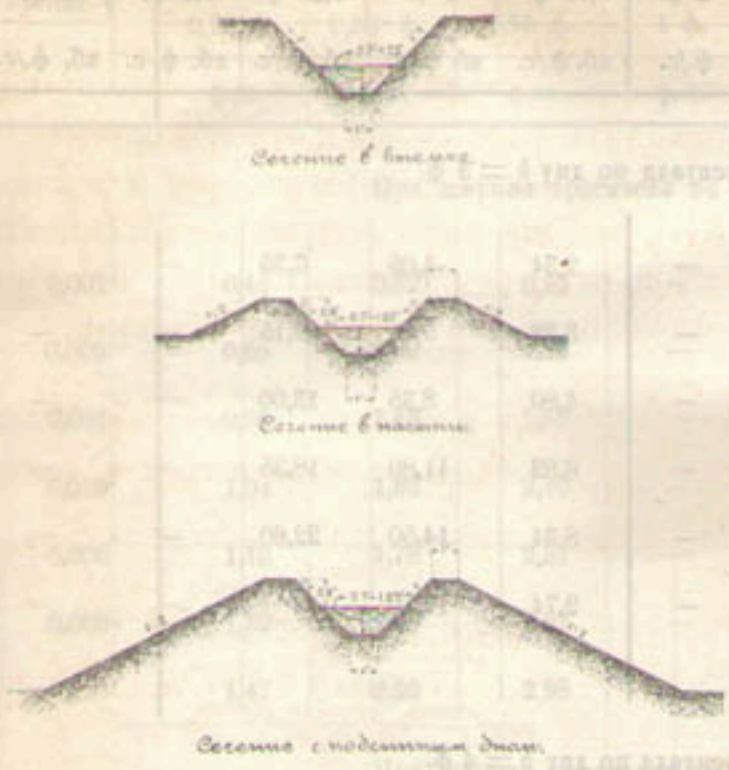
Уклон i	Средняя скорость v. При глубине h:				Расход воды q. При глубине h:			
	0,25 ф.	0,50 ф.	0,75 ф.	1 ф.	0,25 ф.	0,50 ф.	0,75 ф.	1 ф.
	ф./с.	ф./с.	ф./с.	ф./с.	кб. ф./с.	кб. ф./с.	кб. ф./с.	кб. ф./с.
При ширине оросителя по дну $b = 1{,}25$ ф.								
0,001	0,46	0,72	0,93	—	0,19	0,72	1,66	—
0,002	0,65	1,02	1,33	—	0,26	1,02	2,37	—
0,004	0,93	1,45	1,89	—	0,38	1,45	3,36	—
0,005	1,04	1,62	2,10	—	0,42	1,62	3,74	—
0,006	1,13	1,78	2,31	—	0,46	1,78	4,11	—
0,008	1,32	2,05	2,67	—	0,54	2,05	4,75	—
0,010	1,47	2,29	2,98	—	0,60	2,29	5,30	—
При ширине оросителя по дну $b = 1{,}5$ ф.								
0,001	0,47	0,80	0,97	—	0,22	0,96	1,91	—
0,002	0,67	1,13	1,37	—	0,32	1,36	2,72	—
0,004	0,95	1,60	1,95	—	0,45	1,92	3,84	—
0,005	1,06	1,79	2,18	—	0,50	2,15	4,28	—
0,006	1,17	1,96	2,39	—	0,55	2,35	4,70	—
0,008	1,35	2,27	2,75	—	0,63	2,72	5,41	—
0,010	1,50	2,53	3,07	—	0,70	3,03	6,05	—
При ширине оросителя по дну $b = 2$ ф.								
0,0005	0,34	0,58	0,71	0,85	0,20	0,84	1,66	2,98
0,001	0,49	0,82	1,00	1,20	0,29	1,19	2,35	4,20
0,002	0,69	1,16	1,42	1,70	0,41	1,69	3,32	5,94
0,004	0,98	1,65	2,01	2,41	0,58	2,39	4,71	8,43
0,006	1,20	2,03	2,48	2,94	0,71	2,94	5,80	10,30
0,008	1,38	2,33	2,84	3,40	0,82	3,38	6,65	11,90
0,010	1,54	2,60	3,18	3,80	0,91	3,77	7,44	13,30

Таблица 50 (продолжение).

Уклон i.	Средняя скорость v. При глубине h:					Расход воды q. При глубине h:				
	0,75 ф.	1,0 ф.	1,25 ф.	1,5 ф.	2 ф.	0,75 ф.	1 ф.	1,25 ф.	1,5 ф.	2 ф.
	ф./с.	ф./с.	ф./с.	ф./с.	ф./с.	куб. ф./с.	куб. ф./с.	куб. ф./с.	куб. ф./с.	куб. ф./с.
При ширине оросителя по дну $b = 3$ ф.										
0,0005	0,76	0,90	1,04	—	—	2,34	4,05	6,35	—	
0,001	1,09	1,30	1,50	—	—	3,38	5,85	9,15	—	—
0,002	1,55	1,85	2,13	—	—	4,80	8,35	13,00	—	—
0,004	2,20	2,62	3,00	—	—	6,82	11,80	18,35	—	—
0,006	2,69	3,22	3,70	—	—	8,34	14,50	22,60	—	—
0,008	3,14	3,71	—	—	—	9,74	16,70	—	—	—
При ширине оросителя по дну $b = 4$ ф.										
0,00025	—	0,66	0,76	0,85	—	—	3,85	5,82	8,28	—
0,0005	—	0,98	1,12	1,25	—	—	5,46	8,17	11,75	—
0,00075	—	1,19	1,35	1,53	—	—	6,52	10,10	14,35	—
0,001	—	1,37	1,59	1,77	—	—	7,53	11,65	16,57	—
0,002	—	1,94	2,23	2,49	—	—	10,67	16,52	23,40	—
0,004	—	2,75	3,15	3,54	—	—	15,12	23,40	33,20	—
0,006	—	3,36	3,88	4,31	—	—	18,50	28,55	41,60	—
При ширине оросителя по дну $b = 6$ ф.										
0,00025	—	0,71	0,81	0,90	1,08	—	5,29	7,98	11,1	19,4
0,00050	—	1,01	1,17	1,30	1,55	—	7,57	11,50	16,1	27,9
0,00075	—	1,24	1,44	1,60	1,91	—	9,30	14,20	19,8	34,4
0,001	—	1,45	1,68	1,86	2,21	—	10,90	16,60	23,0	39,8
0,002	—	2,06	2,38	2,63	3,13	—	15,50	23,40	32,5	56,4
0,004	—	2,92	3,36	3,74	—	—	21,90	33,10	46,2	—

и глубинах наполнения оросителей. Исчисления произведены при коэффициенте шероховатости $n = 0{,}025$.

Наименьшую глубину наполнения оросителей ($h_{мин.}$) следует принимать не менее 0,20 метр. ($\sim 0{,}7$ фут.) в целях воспрепятствования засорению оросителей, а также в целях уменьшения их смоченной поверхности.



Черт. 200. Типы сечения оросителей (размеры в футах).

Ирригационная система включает в себе значительное количество элементарных оросительных канав или оросителей. Эта многочисленность оросителей заставляет искать способ облегчения массовой их проектировки, какое-нибудь обобщающее допущение, облегчающее задачу. Таким допущением, при указанных малых нормальных расходах оросителей, может явиться принятие для всей системы однотипного поперечного сечения, с одинаковой шириной по дну и одинаковым уклоном откосов.

Для оросителей с форсированным расходом не более 6 кб. фут./сек. и с нормальными от 1,5 до 2,5 кб. фут./сек. при лессовых дамбах, можно рекомендовать однотипное сечение, принятое в проекте орошения Голодной степи, как наиболее рациональное с точки зрения уменьшения потерь и наиболее экономическое по количеству потребных земляных работ (см. черт. 200).

Ширина по дну (b) принята практически минимальной равной 1 футу (0,30 метр.) Внутренние откосы дамб (m') — 1 : 1. Очевидно, что при различных продольных уклонах и глубинах наполнения оросителя, пропускная его способность будет меняться. Если же принять, что расход оросителя остается постоянным, то, очевидно, что каждой глубине наполнения (h) будет соответствовать определенный уклон (i). Минимальной допускаемой глубиной в оросителе, согласно предыдущему, принимается $h = 0{,}7$ фут.; этой глубине должен соответствовать уклон $i_{мак.}$, который и может быть принят, как наибольший допустимый. Само собой разумеется, что получающаяся при этом скорость не должна превосходить предельной величины, при которой начинается размыв русла при данном грунте. При увеличении глубины потока с тем же расходом, его уклон уменьшается и, следовательно, уменьшается средняя скорость протекания воды, которая, однако, всегда должна оставаться больше некоторой заранее определенной величины $v_{нр.}$, за которой уже начинается заиление русла.

Уклон $i_{мин.}$, соответствующий $v_{кр.}$, и, следовательно, наибольшей глубине протекающей воды, есть наименьший, с которым можно вести оросительный (при данном расходе q.) Например, если взять q = 2,5 кб. фут./сек., минимальную глубину наполнения $h_{мин.} = 0{,}7$фут. (≈0,20 метр.), коэффициент шероховатости $n = 0{,}025$, максимальную допустимую скорость $v_{мак.} = 3$ футам, а минимальную скорость, при которой не будет происходить еще заиление $v_{мин.} = v_{кр.} = 0{,}63\ h^{0{,}64}$, то указанное сечение можно применять для уклонов, изменяющихся в пределах от $i = 0{,}000305$ до $i = 0{,}00447$; при тех же условиях, но при расходах q = 2 куб. фут./сек., уклоны могут меняться в пределах от $i = 0{,}000292$ до $i = 0{,}00287$; наконец, при тех же остальных условиях, но при расходах q = 1,5 куб. фут./сек., уклоны могут меняться в пределах от $i = 0{,}000285$ до 0,00162.

Приведенные примеры показывают, что однотипное сечение с минимальной шириной по дну и с минимальной смоченной поверхностью может иметь широкое применение для оросителей, несущих в обычных условиях расход от 1,5 до 2,5 фут./сек. Те же оросители (в виду того, что над горизонтом нормального расхода оставлен запас $\delta' = 0{,}8$ фут. (≈0,25 метр.) до верхней бровки дамб) могут пропустить при большом наполнении значительно больший расход. Если допустить в исключительных случаях такое повышение горизонта, при котором величина $\delta'_{мин.} = 0{,}15$ фут.(≈0,05метр.) то пропускная способность ($q_{фор.}$) оросителей указанного типа, в зависимости от уклона местности будет доходить до 4—8 куб. фут. в секунду. Таким образом данный тип оросителя может иметь широкое применение.

Коэффициент шероховатости. Оросители в земляном русле обыкновенно расчитываются при коэффициенте шероховатости $n = 0{,}025$. Однако, составитель проекта не может быть наперед уверен, что, в силу тех или иных изменений русла, величина этого коэффициента не изменится, т. е. не уменьшится или не увеличится. В первом случае произойдет уменьшение глубины и увеличение скорости, во втором—увеличение глубины и уменьшение скорости в оросителе. Практика устанавливает, что коэффициенты шероховатости земляного русла оросителя приблизительно могут падать до значения $n = 0{,}017$ и увеличиваться до $n = 0{,}030$. Проследим на трех примерах (а именно для расходов: q = 1,5 кб. фут. сек., q = 2,0 кб. фут. сек. и q = 2,5 фут. сек.) как в зависимости от изменения n может меняться глубина и прочие гидравлические элементы оросителей. Возьмем приведенное на черт. 200 типовое сечение с шириной по дну $b = 1$ фут. (0,30 метр.) и внутренними откосами $m' = 1:1$. Как указано было выше, это сечение можно применять в случае, если уклон дна оросителя будет не меньше $i_{мин.}$ и не больше $i_{мак.}$, при чем $i_{мин.}$ должно быть определено при $n = 0{,}030$ и $v_{кр.} = 0{,}63\ h^{0{,}64}$ и $i_{мак.}$ при минимальной глубине $h_{мин.}$ равной 0,7 фут. (0,20 метр.) и $n = 0.017$.

Таблица 51.

Изменение гидравлических элементов оросителя в зависимости от изменения коэффициента шероховатости.

Нормальный расход оросителя $q_{нор.} = 1{,}5$ кб. фут. сек. $= 0{,}042$ кб. мтр./сек.

Гидравлические элементы.	при уклонах					
	$i_{мин.} = 0{,}00041$.			$i_{макс.} = 0{,}000749$.		
	при коэффициентах шероховатости n.					
	$n = 0{,}017$	$n = 0{,}025$	$n = 0{,}030$	$n = 0{,}017$	$n = 0{,}025$	$n = 0{,}030$
Средняя скорость v, в фут./сек.	1,01	0,76	0,66	1,26	0,95	0,83
Площадь сечения ω, в кв. фут	1,49	1,97	2,26	1,19	1,58	1,82
Глубина наполнения h, в футах	0,82	0,99	1,08	0,70	0,85	0,94
Подводный радиус R, в футах	0,45	0,52	0,56	0,40	0,46	0,50
Смоченный периметр Z, в футах	3,31	3,80	4,07	2,98	3,41	3,65

Нормальный расход ороситель $q_{нор.} = 2{,}0$ кб. фут. сек. $= 0{,}056$ кб. мтр./сек.

Гидравлические элементы.	при уклонах					
	$i_{м.н.} = 0{,}00042$.			$i_{макс.} = 0{,}00133$.		
	при коэффициентах шероховатости n.					
	$n = 0{,}017$	$n = 0{,}025$	$n = 0{,}030$	$n = 0{,}017$	$n = 0{,}025$	$n = 0{,}030$
Средняя скорость v, в фут./сек.	1,10	0,82	0,72	1,68	1,26	1,10
Площадь сечения ω, в кв. футах	1,82	2,42	2,78	1,19	1,58	1,82
Глубина наполнения h, в футах	0,94	1,13	1,24	0,70	0,85	0,94
Подводный радиус r, в футах.	0,50	0,57	0,62	0,40	0,46	0,50
Смоченный периметр Z, в футах.	3,66	4,21	4,51	2,98	3,41	3,65

Нормальный расход оросителя $q_{нор} = 2{,}5$ кб. фут. сек. $= 0{,}070$ кб. мтр./сек.

Гидравлические элементы.	при уклонах					
	$i_{мин.} = 0{,}00044$.			$i_{макс.} = 0{,}00207$.		
	при коэффициентах шероховатости n.					
	$n = 0{,}017$	$n = 0{,}025$	$n = 0{,}030$	$n = 0{,}017$	$n = 0{,}025$	$n = 0{,}030$
Средняя скорость v, в фут./сек.	1,18	0,88	0,77	2,10	1,58	1,37
Площадь сечения ω, в кв. футах	2,12	2,83	3,25	1,19	1,58	1,82
Глубина наполнения h, в футах	1,04	1,25	1,37	0,70	0,85	0,94
Подводный радиус r, в футах	0,54	0,62	0,66	0,40	0,46	0,50
Смоченный периметр Z, в футах	3,94	4,55	4,87	2,98	3,41	3,65

Таблица 51 прежде всего показывает, что изменение коэффициента шероховатости весьма влияет на среднюю скорость протекания. Так, например, если ороситель имеет минимальный уклон $i_{мин.}$, то при уменьшении коэффициента шероховатости от $n_{нор.}=0{,}025$ до $n_{мин.}=0{,}017$, скорость может увеличиться на 33%, а, при увеличении коэффициента шероховатости от $n_{нор.}=0{,}025$ до $n_{мак.}=0{,}030$, скорость может уменьшиться на 13%. Соответственно при $i_{мак.}$, v может возрасти на 33% и упасть на 13%.

Глубина изменяется, при изменении коэффициента шероховатости, максимум на 0,33 фута (10 сантиметров) при $i_{мин.}$ и на 0,24 фута (7 сантиметров) при $i_{мак.}$.

Таким образом следует избегать употребления в проекте крайних значений уклонов, установленных исходя, с одной стороны, из минимальной допустимой скорости $v_{кр.}$ и нормального коэффициента шероховатости $n_{нор.}=0{,}025$, а с другой стороны, из минимальной допустимой глубины воды в оросителе $h_{мин.}$ и $n_{нор.}=0{,}025$.

Предельный минимальный уклон надо определять при $n_{мак.}=0{,}030$ и при $v_{кр.}$, а предельный максимальный уклон — при $n_{мин.}=0{,}017$ и $h_{мин.}=0{,}7$ фут. ($\approx 0{,}20$ мет.).

При бетонированных оросителях надо брать средний коэффициент шероховатости $n_{нор.}=0{,}014$ и проверять расчеты, согласно предыдущему, при $n_{мин}=0{,}012$ и $n_{мак.}=0{,}017$.

Предельные скорости. Максимальная скорость течения воды в оросителях допускается для различных грунтов разной, она зависит от силы сопротивления грунта размывающему действию воды. Ниже приведены те предельные скорости, которые могут быть допущены в оросителях при различных грунтах русла.

Таблица 52.

Максимальные допускаемые скорости в оросителях при различных грунтах.

Род грунта.	Максимальная допускаемая скорость $v_{мак.}$	
	в фут., в секунду.	в метрах, в секунду.
Тончайший песчаный грунт	0,50—1,00	0,15—0,30
Легкий песчаный грунт.	1,00—1,25	0,30—0,40
Легкий суглинистый или крупный песчаный грунт	1,50—2,00	0,45—0,60
Обыкновенный суглинистый или гравелистый грунт	2,00—2,50	0,60—0,75
Глинистая почва	2,50—3,00	0,75—0,90
Твердая глинистая почва	3,00—4,00	0,90—1,20

Минимальные скорости определяются из условия, чтобы взвешенные наносы могли быть перенесены из распределителя на поля орошения, не откладываясь в оросителях. Обычно пользуются правилом (где это по условию рельефа возможно), чтобы $v_{мин.} = 1{,}1\, v_{кр.}$, где $v_{кр.}$ есть критическая скорость по Kennedy, то-есть $v_{кр.} = \varphi h^{\varepsilon}$. Величина ε обычно принимается равной 0,64, а величина φ определяется специально для магистрального канала данной системы из наблюдений над установившимися участками его русла, согласно изложенному в главе XVIII—о наносах.

Однако, весьма трудно в равнинных районах выдержать указанные минимальные скорости ($v_{мин.} = 1{,}1\, v_{кр.}$), так что в некоторых случаях приходится мириться с необходимостью периодической очистки оросителей от отложившихся наносов.

Для обеспечения оросителей от заростания водной и сорной растительностью необходимо, чтобы скорости не падали ниже 2 фут. (0,6 метр.) в секунду (см. об этом главу XIX).

Превышение дамб над горизонтом воды. При назначении превышения бровки дамб над горизонтом воды в оросителях надо исходить из наивысшего возможного горизонта, который, очевидно, будет иметь место при пропуске предельного форсированного расхода $q_{фор.}$ и в то же время при коэффициенте шероховатости $n_{макс.}$, характеризующем запущенное русло. Определив высоту наполнения оросителя данного сечения при данном продольном уклоне, при $q_{фор.}$ и $n_{макс.}$ надо оставить еще некоторый запас δ'_0 на случай, если верхняя поверхность дамбы, вследствие езды и ходьбы по ней, а также, вследствие растрескивания, благодаря высыханию дамб (после опоражнивания оросителя), будет разрушена на некоторую глубину. Величина δ_0' может быть принята в 0,10 метра. В обычных условиях работы оросителя нормальный горизонт воды в нем будет значительно ниже. Оставляя над нормальным горизонтом запас δ', равный 0,20—0,25 метра, можно также близко подойти к определению высоты дамб. (о величине δ' более подробно изложено в главе XII – о магистральных каналах).

Ширина дамб по верху, внутренние и внешние откосы. Ширина дамб по верху (k_1') не должна быть меньше 0,30 метра, для того, чтобы человек мог свободно проходить, не разрушая откосов. Принимать большую ширину нет необходимости, ибо, как это уже было указано в главе о магистральных каналах, сопротивление дамб против вымывающей фильтрации создается необходимой их шириной в плоскостях ниже горизонта воды в канале.

Внутренние откосы (m') оросителя можно принимать от 2 : 1 до 1 : 1 в зависимости от рода грунта, из которого сложены дамбы и от тщательности утрамбовки и поливки дамб при производстве работ.

Величина внешних откосов (m_1', m_2', . . .) определяется из условия, чтобы дамба имела такое сечение, при котором поверхность фильтрующихся из оросителя вод не выходила из тела дамбы по способу, указанному в главе XII, на стр. 374—377.

Резервы и кавальеры. Оросители лишь в исключительных случаях проходят в выемке, в большинстве же случаев они прокладываются в дамбах, поэтому вдоль оросителей почти не приходится устраивать кавальеров. Грунт, необходимый для устройства дамб, может быть взят или из водосборных канав, если последние проходят рядом с оросителем, или из специально заложенных, вдоль последнего, резервов. Очевидно, устройство оросителей значительно удешевляется, когда последние расположены рядом с водосборной канавой, ибо грунт вынутый из последней может быть прямо непосредственно использован для устройства дамб оросителей; по количеству этого грунта бывает вполне достаточно. Кроме того, при производстве работ, по водосборной канаве можно пропускать воду по специально устроенной в ней траншее; таким образом грунт, вынимаемый из канавы и укладываемый в дамбы оросителя, будет пропитан водою, так что не потребуется дополнительных работ на поливку и утрамбовку дамб.

Если ороситель проложен вдали от водосборной канавы, то приходится закладывать резервы, по отношению к которым следует предъявлять следующие требования:

а) глубина резервов должна приниматься такой, чтобы вода из них могла бы быть отведена самотеком в ближайшие водосборные канавы и каналы, то-есть не больше 0,6—1,0 метра;

б) дно резервов должно иметь уклон в сторону возможного отвода воды,

в) расстояние от подошвы дамб до верхней бровки резерва (k'_0) должно быть не менее 0,6 метра;

г) откосы резервов должны быть не круче полуторных;

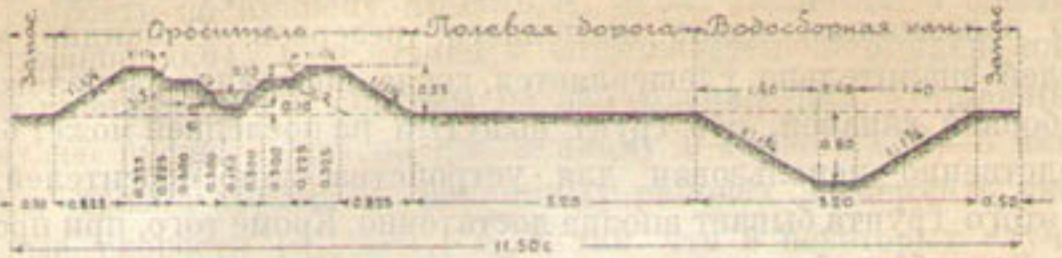
д) вся площадь резервов должна быть засажена деревьями.

При определении площади резервов надо помнить, что грунт, взятый из резервов и сложенный в дамбы, после поливки и утрамбовки сильно уплотняется и уменьшается в объеме; в некоторых случаях уменьшение объема может достигать 20—30%. Наоборот, грунт, вынутый из выемки и сложенный в кавальеры, разрыхляется и увеличивается в объеме, если он не подвергается специальному уплотнению; увеличение объема также может достигать 20—25%. Это обстоятельство необходимо учитывать при исчислениц количества работ и составлении смет, а также при определении площади, необходимой для отвода под резервы и кавальеры. Коэффициенты уменьшения и увеличения объема различных грунтов, встречающихся в районе проектируемой системы, должны быть определены опытным путем в течении периода изысканий.

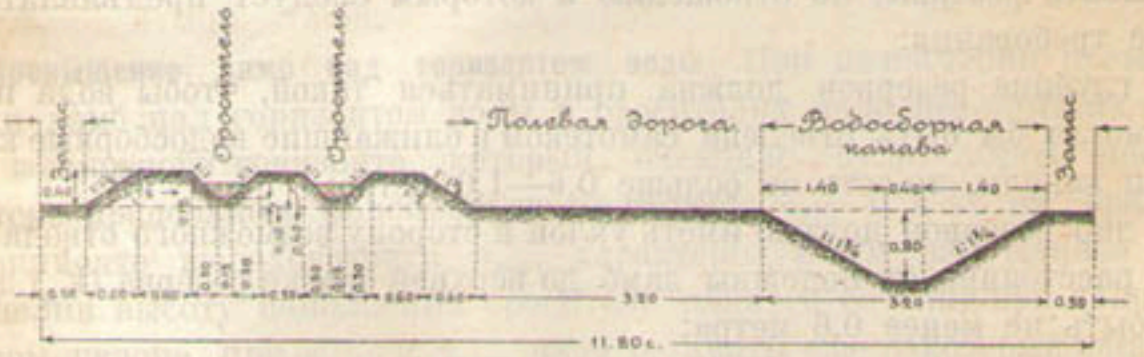
Полосы отчуждения под каналы мелкой сети. Полосы земли, занятые оросителями, их кавальерами и резервами, полевыми дорогами (которые необходимо оставлять вдоль оросителей), водосборными канавами и их кавальерами, должны быть изъяты и отчуждены из общей площади используемой территории.

На чертежах, 201, 202, 203 и 204 показана ширина полос отчуждения под оросители и водосборные канавы, при различных взаимных располо-

жениях последних. Оросители и водосборные канавы приняты определенных размеров, но очевидно, что по указанным схемам не представит труда пересчитать ширину полос отчуждения и для других размеров оросителей и водосборных канав.

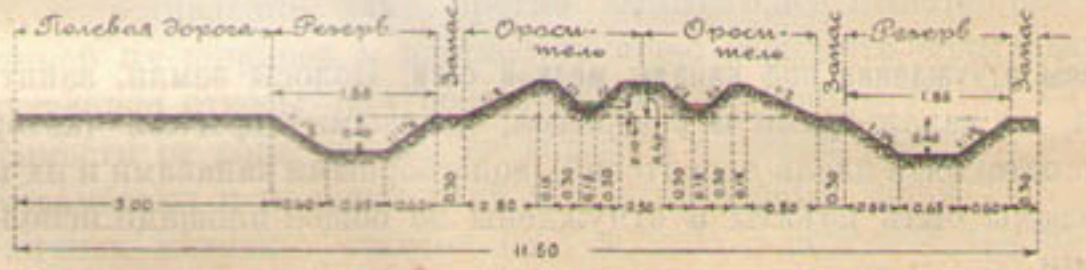


Черт. 201. Полоса отчуждения, в случае если оросительь и водосборная канава проложены рядом. Дамбы оросителя устроены излишне высокими и широкими, в виду избытка земли, вынутой из водосборной канавы, чтобы не устраивать отдельных кавальеров. (Размеры в саженях).



Чертеж 202. Полоса отчуждения, в случае если оросители двух соседних единиц водопользования и, кроме того, водосборная канава проложены рядом. (Размеры в саженях).

Черт. 203. Полоса отчуждения, в случае если ороситель проложен вдали от водосборной канавы. (Размеры в саженях).



Черт. 204. Полоса отчуждения, в случае если оросители двух соседних единиц водопользования проложены рядом вдали от водосборных канав. (Размеры в саженях).

Площадь требуемого отчуждения полезно определять, хотя бы приблизительно, заранее, еще при составлении проекта, для учета неиспользуемой территории.

Бетонирование оросителей.

Бетонирование оросителей имеет пока еще незначительную практику; это вполне понятно, так как бетонирование не дает здесь того исключительного эффекта, в смысле уменьшения земляных работ и потерь воды, как в больших каналах, особенно в холостой части магистрального канала, проходящего обыкновенно в глубокой выемке и по косогору. Оросители же большею частью проходят в дамбах, горизонт воды в них фиксирован в связи с необходимостью орошения высоких участков единицы водопользования, поперечные сечения оросителя в земляном русле весьма малы и близки к предельным, так что уменьшать их при бетонировании в сильной степени невозможно, в силу конструктивных соображений. Таким образом, благодаря бетонированию оросителей, можно достигнуть лишь незначительного уменьшения земляных работ, стоимость же самой бетонной облицовки весьма высокая. Например, по данным проекта орошения Голодной Степи, стоимость земляных работ при устройстве оросителя в земляном русле на одну действительно орошенную десятину обходится в 28 руб. тогда как при бетонировании оросителей на одну десятину приходится 8,8 кв. саж. облицовки; если принять стоимость одной кв. саж. бетонной одежды в 4 руб., то стоимость бетонирования оросителей, приходящаяся на десятину, выразится в 35,2 рубля, то-есть превзойдет основную стоимость устройства оросительной сети. Эти соображения показывают неэкономичность бетонирования мелкой сети, если последнюю рассматривать, как нечто самодовлеющее. Однако, может оказаться в некоторых случаях, что бетонирование оросителей будет вполне рентабельным, если рассматривать влияние бетонирования мелкой сети на всю систему. В этом случае надо принять во внимание, как это показал Знаменский, И. И. в своей работе: „Бетонирование, как один из основных способов сбережения воды в ирригационных системах", нижеследующие обстоятельства.

1. Благодаря уменьшению коэффициента шероховатости с $n_{мак.} = 0{,}030$ до $n_{мин.} = 0{,}017$, минимальный уклон оросителя может быть значительно понижен; например, для типового оросителя, приведенного выше (с шириной по дну в 0,30 мет.), $i_{мин.}$ при бетонном русле может быть доведен до 0,00013 вместо 0,0004 при земляном русле, что для оросителя, длиною в 2,5 килом., даст экономию в падении горизонта воды в 0,67 мет. В связи с этим высота дамб может быть значительно понижена.
2. Так как горизонт воды в распределителе определяется горизонтом воды в голове тех оросителей, которые получают из него воду, и так как при бетонировании оросителей требующийся в их голове горизонт может быть понижен (вследствие уменьшения величины $i_{мин.}$),

то представляется вполне вероятным, что при бетонировании оросительной сети окажется возможным понизить горизонт воды и в распределительной сети и таким образом уменьшить объем дамб распределителей.

3. Если считать средний коэффициент полезного действия системы $\eta_1 = 0{,}50$ и если принять, что 20% потерь приходится на магистральный канал, 10% потерь – на распределители и 20% — на оросители, — то при бетонировании оросителей коэффициент η_1 может повыситься до 0,66. В связи с этим уменьшится потребная пропускная способность главных каналов, распределителей, а также и водохранилищ, если источник орошения беден водою.
4. Благодаря уменьшению количества воды, поступающей в систему, должны уменьшиться и размеры водосборных и сбросных каналов.
5. С уменьшением расходов каналов несколько могут быть уменьшены пропускные отверстия искусственных сооружений, а следовательно, уменьшится и их стоимость.
6. Отчасти должны уменьшиться расходы на эксплоатацию системы.
7. Применяя механизацию бетонирования оросителей, например, при помощи цемент-пушки (Cement-gun), можно значительно понизить стоимость бетонной одежды, а тем самым повысить эффект бетонирования мелкой сети.

Когда источник орошения очень беден, а потребность в воде большая (например, при орошении артезианскими, кягризными водами), когда приходится для орошения поднимать воду из источника орошения на большую высоту, тогда бетонирование мелкой сети, вместе с главным каналом и распределителями, может оказаться явно выгодным.

Толщина бетонной одежды для оросителей применяется от 2 до 4 сант. при чем употребляется, собственно говоря, не бетон, а цементная штукатурка, состава от 1 : 2 до 1 : 4. Облицовка большею частью укладывается на слое песка или песка с гравием, толщиной от 8 до 12 сант., однако, часто также облицовка укладывается непосредственно на тщательно подготовленное, утрамбованное с поливкой, (спланированное) русло. Вопрос о предельно-минимальной толщине облицовки и о типе основания под облицовку еще окончательно не разрешен и требует производства дальнейших опытов и исследований.

Проектирование распределителей.

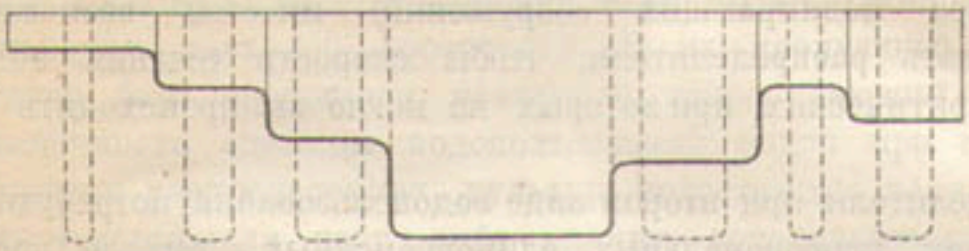
Работа распределителя. Функции распределителей, как это уже указывалось, передаточные и распределительные: они получают воду из магистрального канала и должны передать и распределить ее по оросителям.

Характер работы распределителя вполне определяется принятым в проекте видом водопользования. Рассмотрим два крайних вида:

1) когда распределитель работает непрерывно в течение всего вегетационного периода и, следовательно, с переменным расходом воды;

2) когда распределитель работает периодически с одинаковым расходом воды.

В первом случае режим распределителя будет конформен графику потребления, установленному для всей системы, т. е., примерно, будет иметь вид показанный на чертеже 205 сплошной линией.



Черт. 205. График работы распределителя.

При втором виде график работы распределителя примет вид, показанный на том же чертеже пунктиром, то-есть, в то время, как магистральный канал будет работать непрерывно в течение всего оросительного периода, меняя проносимый расход по заранее установленному графику потребления, распределители должны будут работать тактами, то-есть пропуская временами полный (нормальный) расход, а остальное время—совсем не работая.

Однако, в обоих случаях, распределители должны подавать в оросители требуемое количество воды и в определенные сроки.

При первом виде водопользования распределители часто должны работать не полной нагрузкой. В эти периоды распределители не смогут одновременно давать воду в требуемом количестве всем отходящим из них оросителям, так что потребуется ввести чередование между последними. Чтобы иметь возможность выключать из действия одни оросители и включать другие, необходимо оборудовать распределители поперечными преграждениями. Последние нужны будут также и для поддержания горизонтов воды в распределителях, при пропуске по ним расходов ниже расчетных, на требуемой высоте, обеспечивающей необходимое питание оросителей. Работа при подпоре и, следовательно, со скоростями, обычно, менее критических, создает благоприятные условия для заиления канала, а, следовательно, и увеличивает специальные эксплоатационные расходы по удалению наносов.

При втором виде работы распределителей поперечные преграждения для вышеуказанных целей являются, теоретически говоря, ненужными. Распределитель будет работать всегда одинаковым расходом, равным $Q_{рас}^{нор}$ т. е. таким, при котором он как раз будет удовлетворять требуемым секундным током воды все отходящие от него оросители. Следовательно, в этом случае, с меньшими расходами воды можно совершенно не считаться; нормальный расход распределителя явится в то же время и минимальным,

из которого следует исходить при определении горизонтов воды, потребных для надлежащего командования местностью. В главе XI было указано, что при данном виде водопользования затраты по постройке как самих распределителей, так и искусственных сооружений на них (поперечных преграждений, шлюзиков—оросителей и прочее) могут оказаться значительно меньшими.

Кроме того, при этом виде водопользования (когда распределители работают без подпирающих сооружений) имеется возможность так запроектировать распределители, чтобы скорости течения воды в них были выше критических, при которых не могло бы происходить отложения наносов.

Распределители при втором виде водопользования потребуют меньших расходов, как первоначальных единовременных, так и последующих эксплоатационных, а, кроме того, и значительно меньших забот от водной администрации по водораспределению.

В силу вышеуказанного, необходимо при проектировании принимать второй вид водопользования, при котором распределители будут работать тактами, удовлетворяя одновременно все оросители потребным расходом воды. Таким образом, расход в голове распределителя $Q_{рас.} = mq + \Delta_{рас.}$, где: m — число оросителей данного распределителя, одновременно получающих воду; q — расход воды, требующийся для оросителя; $\Delta_{рас.}$ — потери воды в распределителе.

При составлении графика работы распределителя необходимо иметь в виду нижеследующие положения:

1. Каждый отдельный полив для каждой культуры требует особого такта работы распределителя.
2. Продолжительность работы распределителя в течение каждого такта определяется временем, необходимым для того, чтобы ороситель смог получить и передать необходимое количество поливной воды на общую площадь, занятую в пределах единицы водопользования под данную культуру. К этому следует прибавить время потребное для того, чтобы горизонт воды в распределителе мог бы достигнуть нормальной высоты. Таким образом, продолжительность такта для каждого распределителя определяется: а) продолжительностью работ оросителей и б) временем, которое необходимо для „наполнения" распределителя до нормальных горизонтов.
3. Продолжительность работы всех оросителей для аналогичных поливов одинаковых культур принимается одной и той же. При составлении проекта приходится вначале исходить из предположения, что распределение культур на всех единицах водопользования приближается к проектному, принятому для всей системы. Однако, в жизни может встретиться большая пестрота в распределении культур и сильное отклонение от среднего, проектного, принятого для всей системы; хорошо спроектированная оросительная система, конечно, должна удовлетворять потребность в воде самых разно-

образных хозяйств. Ограничить все хозяйства или хотя бы все единицы водопользования одним и тем же распределением культур было бы неправильно. Система должна быть гибкой. Однако, эта гибкость не должна достигаться удлинением срока работы отдельных оросителей, обслуживающих соответствующие единицы водопользования, так как это повело бы к удлинению срока работы всего распределителя, а, следовательно, вызвало бы значительную трату воды. Гибкость в водопользовании может быть создана возможностью изменения расходов оросителей. В их пропускной способности должен быть предвиден известный запас, дающий возможность обеспечивать единицы водопользования водой при самых разнообразных распределениях культур; недостающее количество воды, требующееся для каких-либо единиц водопользования с ненормальным распределением культур, может быть просто, дополнительно, забрано из магистрального канала, доведено до соответствующего оросителя и передано последнему в течение нормального периода работы распределителя. И, наоборот, когда для каких-нибудь оросителей потребуется меньшее количество воды, расход воды, забираемый распределителем из магистрального канала, может быть соответственно уменьшен. Уменьшение расходов большого количества оросителей (питающихся из одного распределителя) может вызвать существенное понижение того рабочего горизонта воды в распределителе, при котором обеспечивается питание оросителей. Поэтому, при проектировании распределителей, надо всегда предвидеть возможную „игру" горизонта, как от только что изложенных причин, так и от многих других (напр., от изменения коэффициента шероховатости, от отложения наносов и изменения вследствии этого поперечных сечений и продольного профиля распределителя и др.). Когда понижение горизонта превосходит допускаемый при проектировании запас, тогда нужно или вводить подпирающие сооружения, или пропускать по распределителю излишнее количество воды для искусственного поднятия горизонта в нем или, наконец, просто недопускать в плане водного хозяйства такое количество анормальностей в работе оросителей, которое приводит к нерациональной работе и к сильному удорожанию распределителя.

4. При составлении плана водооборота необходимо учитывать время, потребное для „наполнения" распределителей до рабочего горизонта. Будем называть продолжительностью наполнения распределителя тот период времени, который протекает с момента начала открытия щитов головного шлюза распределителя до того момента, когда все оросители по данному распределителю смогут получать свой нормальный расход (то-есть до подъема воды в распределителе до рабочего горизонта). Продолжительность наполнения зависит от длины распределителя и от его гидравлических элементов. При большой длине распределителя продолжи-

тельность наполнения может быть значительной, поэтому при проектировании распределителя необходимо определять и скорости и время протекания воды на разных участках канала в зависимости от степени наполнения его. Временем, необходимым для закрытия головного шлюза-распределителя, можно пренебрегать, считая закрытие мгновенным. Оросители с низко расположенными головами (по отношению к дну распределителя), а также оросители, расположенные в концах распределителей, очевидно, могут быть обеспечены водой в течение бо́льшого промежутка времени, чем оросители с высоко расположенными головами и в начале распределителя, ибо они могут питаться водою из распределителя и в периоды наполнения и опорожнения последних. Однако, в проекте, в запас „прочности", можно принимать, что вся вода, пропускаемая по распределителю с момента открытия головного шлюза и до полного наполнения распределителя, а также с момента закрытия головного шлюза и до полного опорожнения распределителя, будет потеряна и попадет в водосбросную сеть. Если бы встретилась необходимость в использовании указанной воды, то следовало бы, чтобы оросители, находящиеся в начале распределителя и при этом с высоким заложением порога головного шлюзика, имели больший секундный расход, чем находящиеся в конце распределителя и с низким заложением порога, приблизительно во столько раз, во сколько время обеспечения „нижних" оросителей водою больше времени обеспечения „верхних" оросителей.

Расход распределителя. Если установлен вид водопользования и тип водооборота, то нормальный расход распределителя определяется легко, (см. главу XI).

Напомним следующие обозначения:

q_0 — величина хозяйственного тока;

$q_0^{нор.}$ — нормальная величина хозяйственного тока;

$q_0^{фор.}$ — форсированная величина хозяйственного тока;

$q^{нор.}$ — нормальный расход оросителя;

$q^{фор}$ — форсированный расход оросителя;

n_0 — общее число водопользователей, находящихся в пределах единицы водопользования;

n — число водопользователей в пределах единицы водопользования, одновременно получающих воду, согласно принятому водообороту;

m_0 — общее число оросителей, получающих воду из данного распределителя;

m — число оросителей, одновременно получающих воду из данного распределителя;

$\Delta_{op.}^{нор.}$ — потери воды в оросителе при пропуске нормального расхода;

$\Delta_{op.}^{фор.}$ — потери воды в оросителе при пропуске форсированного расхода;

$\Delta^{нор.}_{рас.}$ — потери воды в распределителе при пропуске нормального расхода;

$\Delta^{фор.}_{рас.}$ — потери воды в распределителе при пропуске форсированного расхода;

$Q^{нор.}_{рас.}$ — нормальный расход воды в распределителе.

$Q^{фор.}_{рас.}$ — форсированный расход воды в распределителе;

Очевидно, что

$$q^{нор.} = nq_0^{нор.} + \Delta^{нор.}_{op.};$$
$$q^{фор.} = nq_0^{фор.} + \Delta^{фор.}_{op.};$$
$$Q^{нор.}_{рас.} = mq^{нор.} + \Delta^{нор.}_{рас.} = mnq_0^{нор.} + m\Delta^{нор.}_{op.} + \Delta^{нор.}_{рас.};$$
$$Q^{фор.}_{рас.} = mq^{фор.} + \Delta^{фор.}_{рас.} = mnq_0^{фор.} + m\Delta^{фор.}_{op.} + \Delta^{фор.}_{рас.};$$

Из вышеприведенных общих формул легко определить расходы распределителя в каждом конкретном случае. Например, если принять водооборот по главному каналу и оросителю и если при этом число водопользователей, одновременно получающих воду из оросителя доведено до одного, то

$$n = 1$$
$$m = m_0$$

и формулы примут такой вид:

$$q^{нор.} = q_0^{нор.} + \Delta^{нор.}_{op.}$$
$$q^{фор.} = q_0^{фор.} + \Delta^{фор.}_{op.}$$
$$Q^{нор.}_{рас.} = m_0 q^{нор.} + \Delta^{нор.}_{рас.} = m_0 q_0^{нор.} + m_0 \Delta^{нор.}_{op.} + \Delta^{нор.}_{рас.}$$

и максимальный форсированный расход:

$$_{мак.}Q^{фор.}_{рас.} = m_0 q^{фор.} + \Delta^{фор.}_{рас.} = m_0 q_0^{фор.} + m_0 \Delta^{фор.}_{op.} + \Delta^{фор.}_{рас.}$$

Для придания ирригационной системе гибкости и эластичности, необходимой для приспособления к изменяющимся условиям и требованиям водопользователей, при расчете распределителей необходимо принимать во внимание не только $Q^{нор.}_{рас.}$, но и некоторый повышенный расход, обеспечивающий, в случае нужды, форсированную работу части оросителей. В пределе, при желании обеспечить одновременную форсированную работу всем оросителям, расход распределителя должен быть доведен до $_{мак.}Q^{фор.}_{рас.}$. Форсированная работа распределителя может потребоваться как в первые годы эксплоатации, так и в последующее время в силу разных причин, а именно:

а) благодаря сильному увеличению посевной площади какой-либо культуры, приводящему почти к монокультуре в пределах отдельных единиц водопользования;

б) благодаря усиленным потерям воды;

в) благодаря увеличению хозяйственного тока.

Очевидно, чем больше площадь командования распределителя, тем меньше шансов, что все оросители, получающие из него воду, одновременно потребуют форсированных расходов, то-есть, другими словами, что все поселенцы, живущие по данному распределителю, перейдут на монокуль-

туру одного и того же растения или что потребность в увеличении хозяйственного тока проявится на всех единицах водопользования. На больших распределителях будут встречаться, конечно, отклонения и в одну и в другую сторону и противоположные анормальности, как в распределении культур и в величине хозяйственного тока, так и в потерях воды в обслуживающих их оросителях, будут погашаться; таким образом, в конечном итоге потребный расход в большом распределителе будет приближаться к $Q_{рас.}^{нор.}$.

Наоборот, в малых распределителях вполне возможно ожидать распространения монокультуры одного растения, проявления потребности в увеличении хозяйственного тока на всех единицах водопользования и т. д.

В виду указанных соображений, относительная величина форсированных расходов $\left(\text{то-есть отношение } \frac{Q_{рас.}^{фор.}}{Q_{рас.}^{нор.}}\right)$ должна браться при расчете малых распределителей большей, чем для крупных.

При проектировании больших распределителей, по мере удаления от их головного шлюза и, следовательно, по мере уменьшения площади командования, необходимо принимать все увеличивающиеся отношения $\frac{Q_{рас.}^{фор.}}{Q_{рас.}^{нор.}}$

Величина $(Q_{рас.}^{фор.} - \Delta_{рас.}^{фор.}) - (Q_{рас.}^{нор.} - \Delta_{рас.}^{нор.})$ показывает, какой расход воды в секунду (в продолжение каждого такта работы распределителя) может быть подан на поля, в случае нужды, на дополнительное питание оросителей.

Число оросителей (к), которые смогут работать форсированным расходом определится, очевидно, из следующего соотношения:

$$к = \frac{(Q_{рас.}^{фор.} - \Delta_{рас.}^{фор.}) - (Q_{рас.}^{нор.} - \Delta_{рас.}^{нор.})}{q^{фор.} - q^{нор.}}$$

Отношение $\frac{к}{m_0}$ (где m_0 есть общее число оросителей на данном распределителе) является показателем того, насколько распределитель сможет удовлетворить максимальным требованиям, которые может поставить жизнь при исключительных условиях. Для малых площадей величина $\frac{к}{m_0}$ может доходить до 1, для больших же эта величина может падать до 0,25 и даже ниже.

Из вышеприведенных формул видно, что расчетные расходы распределителя $Q_{рас.}^{нор.}$ и $Q_{рас.}^{фор.}$ можно установить только после того, как выбран тип землеустройства, вид водопользования, после того, как разбита окончательно распределительная и мелкая сеть, ибо величины $m_0, m, n_0, n, q^{нор.}$ и $q^{фор.}$ определить раньше невозможно.

Величина потерь воды в распределителе ($\Delta_{рас.}^{нор.}$ и $\Delta_{рас.}^{фор.}$) может быть определена на основании тех правил и формул, которые приведены в главе XIX. Здесь только напомним, что, с одной стороны, нельзя запроектировать распределитель пока не будут учтены потери в нем, а с другой стороны

нельзя учесть потери, пока не запроектирован распределитель и не определены элементы его сечения, поэтому приходится вести подсчет потерь два раза,—сначала приближенно, а затем окончательно. При приближенном подсчете величина потерь определяется вне зависимости от элементов поперечного сечения и рода грунта, в котором прокладывается распределитель, на основании среднего статистического материала по сему вопросу, приведенного ниже в таблице (см. таблицу 53).

Таблица 53.

Потери в распределителях в зависимости от величины пропускаемого по распределителю расхода.

Расход распределителя.		Величина потерь.
В куб. футах, в сек.	В куб. метрах, в секунду.	В ‰ от расхода, на 1 версту.
7	0,20	5
10	0,28	4
20	0,57	3
25	0,71	2,5
35	0,99	2
50	1,42	1,5
103	2,92	1,0
206	5,84	0,75
343	9,72	0,5

Пользуясь этой таблицей, а также формулами $Q_{рас.}^{нор.} = mq^{нор.} + \Delta_{рас.}^{нор.}$ и $Q_{рас.}^{фор.} = mq^{фор.} + \Delta_{рас.}^{фор.}$ подсчитываются потери и расходы для различных пунктов распределителя, начиная с его конца. Затем определяются, на основании указанных приблизительных расходов, поперечные сечения распределителя в его характерных точках. Зная приблизительные поперечные сечения, можно уже более точно подойти к учету потерь, вычисляя их по специальным формулам, учитывающим как элементы поперечного сечения так и характер грунта, в котором проложено русло канала (см. главу XIX).

Далее определяются уже более точно расходы распределителя, а затем и его поперечные сечения.

Распределитель отдает воду оросителям на всем своем протяжении, поэтому расход его постепенно уменьшается, обращаясь в конце в нуль. Очевидно, что и сечение распределителя также должно уменьшаться вдоль его длины. Однако, непрерывно изменять сечение распределителя неудобно с точки зрения строительной и недопустимо с точки зрения эксплоатационной, так как могут иметь место случаи, когда целая группа оросителей почему-либо не сможет забирать воду из распределителя и расход их поступит вниз по течению. Очевидно, или пропускная способность распределителя должна иметь запас для пропуска этого лишнего расхода или же должны быть устроены на всем протяжении распределителя сбросные приспособления для его отвода.

Однако, наиболее целесообразным решением является промежуточное: распределитель разбивается на отдельные участки, положим, АБ, БВ, ВГ и ГД (см. черт. 206); на всем протяжении каждого участка распределитель имеет одно и то же сечение; так как по мере ответвления оросителей, расход воды в распределителе, а, следовательно, и горизонт воды в нем, будет падать, необходимо предвидеть в конце каждого участка устройство узла сооружений, состоящего из поперечного преграждения, дающего возможность подпирать горизонт воды в распределителе до требуемого уровня, вне зависимости от расхода и сбросного шлюза, через который можно сбрасывать в водоотводную сеть тот излишек воды в распределителе, который получается, если некоторые оросители почему-либо не будут (в продолжение некоторого времени) забирать воду из распределителя; после узла пропускная способность распределителя сразу уменьшается до той величины, которая достаточна для питания остающихся оросителей и она остается постоянной до следующего узла.

Черт. 206. Схема разбивки распределителя на участки, каждый из которых имеет одинаковое сечение на всем протяжении.

Схема промежуточных узлов Б, В, Г показана на чертеже 207, схема конечного узла приведена на чертеже 208. Здесь распределитель разбивается на конечные оросители, кроме того, устраивается конечный сбросной шлюз.

Устройство узлов желательно приурочить к таким пунктам распределителя, где приходится устраивать, благодаря крутому падению

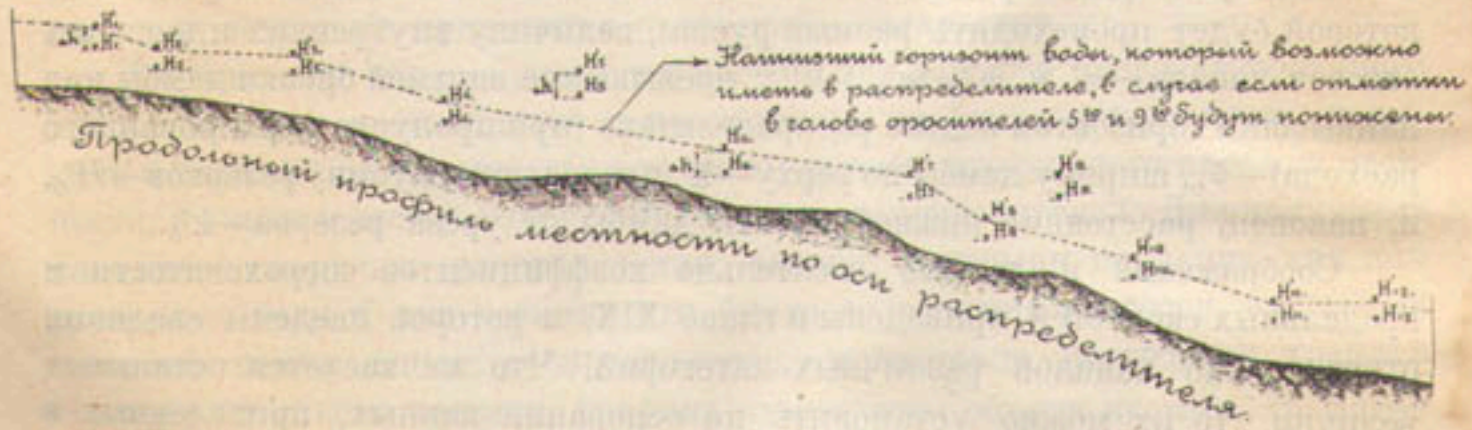
Черт. 207. Схема узлов Б, В и Г (см. черт. 206).

Черт. 208. Схема узла Д (см. черт. 206).

местности, перепады или быстротоки, так как в этих случаях эти последние можно соединять с поперечными прегражденими в одно сооружение для удешевления стоимости и облегчения эксплоатации.

Установление требуемых горизонтов воды в распределителях. Проектный горизонт воды в распределителе должен превышать требуемые горизонты в головах оросителя на некоторую величину. Последняя устанавливается, *принимая во внимание, во-первых, потерю напора в шлюзике-оросителе* (через который вода поступает из распределителя в ороситель) и, во-вторых, возможное понижение коэффициента шероховатости русла распределителя против нормального расчетного и, связанное с таким изменением коэффициента, понижение горизонта воды в канале против проектного. Потеря напора в шлюзике (Δh) должна быть принята не менее 0,10 метра, что касается до понижения горизонта в распределителе при уменьшении в нем коэффициента шероховатости, то оно должно определяться для каждого конкретного случая. Например, для Голодностепского проекта, при переходе от $n = 0{,}025$ к $n = 0{,}017$, понижения горизонтов колебались для распределителей различной величины в пределах от 0,10 до 0,30 метра.

Для установления требуемых горизонтов в распределителе, может быть принят следующий общий метод. По трассе распределителя строится продольный профиль местности (начиная от магистрального канала и до конечного узла), на этот профиль наносятся отметки требуемых горизонтов воды в голове каждого оросителя, получающего воду из данного распределителя. На чертеже 209 они обозначены индексами $H_1, H_2, H_3 \ldots H_n$.



Черт. 209. Схема определения горизонтов воды в распределителе.

Горизонт воды в распределителе при минимальном коэффициенте шероховатости и минимальном рабочем расходе должен быть выше указанных отметок на величину Δh, которая обычно принимается в пределах от 0,10 до 0,20 метров. Могут встретиться случаи, когда отметки горизонтов воды в голове отдельных оросителей будут сильно выступать над общим уровнем отметок остальных оросителей и будут требовать большого повышения горизонта воды в распределителе, а, следовательно, и сильного увеличения высоты дамб, со всеми вытекающими из сего последствиями (см. отметки H'_5, H'_9 на черт. 209). В таких случаях необходимо вновь де-

тальнейшим образом просмотреть как продольный профиль, так и трассу соответствующих оросителей, в целях понижения горизонта воды в их голове. Если изменения их трассы и продольного профиля не дадут желательного понижения отметок горизонта воды в голове оросителей, необходимо выяснить, не будет ли выгоднее, вместо того, чтобы поднимать горизонт воды в распределителе, просто выключить из площади орошения указанных оросителей те высокие участки, которые являются причиной чрезмерного повышения в них горизонта воды. Сопоставляя экономию, получаемую благодаря понижению горизонта воды в распределителе, с тем убытком, который вызывается уменьшением используемой площади, можно подойти к экономическому решению вопроса.

В некоторых случаях возможно будет существенно понизить отметки воды, требующиеся в голове оросителей, применяя бетонирование их, что даст возможность уменьшить уклоны.

Дальнейший ход проектирования распределителя. Установив расчетные расходы $Q_{рас.}^{нор.}$ и $Q_{рас.}^{фор.}$ и наинизшие допустимые горизонты воды, можно перейти к примерной разбивке распределителя на отдельные участки, как это указано на чертеже 206 и к намечению пунктов, в которых требуется устройство поперечных преграждений и сбросов, приноравливая их (как уже указывалось раньше) к сильным переломам рельефа, которые распределитель должен проходить перепадом или быстротоком.

Далее следует установить пределы возможного колебания коэффициента шероховатости — $n_{мин.}$ и $n_{мак.}$, предельные скорости — $v_{мин.}$ и $v_{мак.}$ (минимальную, ниже которой будет происходить заиление канала и максимальную, выше которой будет происходить размыв русла), величину внутренних и внешних откосов канала — m' и m'_1, m'_2 . . . . , превышение верхней бровки дамбы над наивысшим горизонтом воды в распределителе (при пропуске форсированного расхода) — δ'_0, ширину дамбы по верху — k', предельную глубину резервов — H'_0, и, наконец, расстояние нижней бровки дамбы от уреза резерва — k'_0.

Соображения и данные касательно коэффициентов шероховатости и предельных скоростей приведены в главе XIX, в которой сведены сведения относительно каналов различных категорий. Что же касается остальных величин, то их можно установить на основании данных, приведенных в главе XII (о магистральных каналах), в которой даны указания касающиеся водоприводных каналов самых разнообразных величин.

После того как будут выбраны и определены вышеуказанные величины, можно приступить к расчету гидравлических элементов распределителя, следуя тем правилам, которые изложены в главе XIX, посвященной расчету каналов. Напомним здесь еще раз, что требуемые горизонты воды в распределителе для питания оросителей должны быть обеспечены во время пропуска $Q_{рас.}^{нор.}$ при коэффициенте шероховатости $n_{мин.}$ и что верх дамб (осевших, утрамбованных и политых) должен возвышаться на величину δ'_0 над наивысшим горизонтом воды в канале, который получится во время пропуска $Q_{рас.}^{фор.}$ при коэффициенте шероховатости $n_{мак.}$.

При выборе уклона для распределителей, с одной стороны, приходится считаться с отметками воды, необходимыми в голове каждого оросителя, а с другой стороны, с профилем местности, по которой идет трасса распределителя. Выбрать правильный уклон, соответствующий наивыгоднейшему решению в гидравлическом и экономическом отношениях, удается только в результате сопоставления нескольких вариантов (например, варианта устройства распределителя с большим уклоном, с минимумом земляных работ, с наименьшим числом перепадов, при условии выключения некоторой части площади из самотечного орошения или варианта устройства распределителя с малыми уклонами, а, следовательно, с большими земляными работами (высокими дамбами), с большим числом перепадов, но зато орошающего самотечно всю площадь, или, наконец, варианта, при котором распределитель ведется с минимумом земляных работ и орошает самотечно только часть площади, а орошение высоких земель предусматривается механическим подъемом воды, и т. п.). Все данные по проекту окончательного варианта желательно, для наглядности, помещать на продольном профиле распределителя, как, например, это показано на чертеже 210. Здесь указаны места выводов оросителей и их направления, все искусственные сооружения, все гидравлические элементы, поперечные сечения, величина смоченной поверхности при пропуске нормального расхода, время протекания воды от начала распределителя и т. д.

Резервы и кавальеры. Распределители лишь в исключительных случаях проходят в выемке, в большинстве же случаев их приходится прокладывать в полувыемке-полунасыпи или целиком в насыпях; поэтому вдоль распределителя почти не приходится устраивать кавальеров.

Определение объема выемки и насыпи для каждого запроектированного распределителя производится по продольному профилю, при чем площадь выемки и насыпи подсчитывается в точках перегиба продольного профиля местности, а также в местах изменения сечения распределителей. Для получения наглядной картины распределения выемки и насыпи по длине каждого распределителя и для возможности быстрого решения вопросов, связанных с возкой земли вдоль распределителя, желательно построение графика суммарного объема выемки, графика суммарного объема насыпи, графиков площадей выемки и насыпи. В первых двух графиках по оси абсцисс откладываются пикеты и версты распределителя, по оси ординат суммарные объемы выемки и насыпи от головы распределителя до данного пункта. Конечные ординаты этих графиков выражают объемы выемки и насыпи всего распределителя. В последних двух графиках по оси абсцисс откладывается длина распределителя, по оси же ординат площади насыпи и площади выемки. Указанные 4 графика дадут наглядную картину распределения выемки и насыпи по длине распределителя.

При исчислении объема земляной массы, необходимой для дамб, следует учесть уплотнение грунта, происходящее при укладке дамб с поливкой и утрамбовкой, так как объем грунта, забираемого из выемки или

резерва должен быть больше объема дамб на некоторую величину, зависящую от рода грунта и его плотности в естественном состоянии. Наоборот, грунт, вынутый из выемки и сложенный в кавальеры, разрыхляется и увеличивается в объеме. Коэффициенты уменьшения и увеличения объема различных грунтов, встречающихся в районе проектируемой системы, должны быть определены в период изысканий опытным путем.

При подсчете земляных работ может встретиться 3 случая: 1) объем выемки преобладает над объемом насыпи; 2) объем выемки равен объему насыпи и 3) объем насыпи преобладает над объемом выемки.

В первом случае излишек выемки может или укладываться в кавальеры, или перевозиться на те участки распределителя, где преобладает насыпь, во втором случае (самом выгодном в смысле земляных работ), вся земля из выемки укладывается в дамбы и наконец, в последнем случае может быть принято одно из 2-х решений: или недостающая часть грунта может быть взята из резервов, или же он может быть перевезен из выемки ближайших водосборных каналов и с участков распределителя, на которых объем выемки преобладает.

При устройстве резервов или кавальеров, они располагаются по обе стороны распределителя.

При определении размеров резервов и кавальеров можно пользоваться следующими нормами.

1. Глубина резервов должна приниматься такой, чтобы вода из них могла бы быть отведена в ближайшие водосборные канавы и каналы; практически резервы не делают глубже 0,6 — 1,0 метра.
2. Дно резервов для лучшего стока воды должно иметь поперечный уклон. Величина уклона принимается равной 0,01. Скат устраивается, при ширине резерва более 20 метр., по средине резерва, при меньшей ширине сбоку, с внешней стороны резерва.
3. Минимальный продольный уклон резервов (без устройства водоотводной канавки) принимается 0,001.
4. При продольном уклоне резерва менее 0,001, сбоку резерва устраивается водоотводная канавка. Вода из резерва стекает в канавку вследствие поперечного уклона дна и уже по ней отводится из пределов резерва.
5. Расстояние от подошвы дамбы распределителя до бровки резерва (k_0^1) принимается не менее 1,0 метра.
6. Расстояние от бровки резерва до бровки кювета дороги, идущей вдоль распределителя, принимается также равным 1,0 метру.
7. Эту берму, как и весь резерв, необходимо обсаживать деревьями. Полоса деревьев между распределителем и дорогой создаст защиту для дамб и полезное использование бросовых земель, каковыми обычно являются резервы, улучшит гигиенические условия и, наконец, обезопасит проезд по дороге, делая невозможным попадание в резерв.
8. Откосы резервов обычно устраивают полуторными, но в случае если дорога непосредственно примыкает к резерву, то откос по-

следнего (со стороны дороги) делается 1 : 4 и положе, чтобы он мог служить обочиной дороги.

9. В местах отхода от распределителя оросителей, резерв должен прерываться, оставляя свободные полосы с шириною по верху 30—35 метр., для прохода оросителя и для возможности проезда к распределителю. Сопряжение этой полосы с резервом производится откосом 1 : 5.
10. Вода из резервов через водоотводные канавки должна поступать в водосборные канавы единиц водопользования. При пересечении водоотводной канавки с шоссейной или проселочной дорогами прокладываются трубы.
11. На тех участках, где распределители проходят в выемке и где лишнюю землю приходится складывать в кавальеры, от бровки кавальера следует оставлять полосу, шириною не менее одного метра, до бровки двойного откоса канала если откос канала обсыпется и станет, вместо первоначального полуторного, двойным, то все-таки останется между кавальером и распределителем вполне достаточная полоса для прохода и осмотра канала.

Полосы отчуждения под каналы распределительной сети. Полосы земли, занятые распределителями, их резервами и кавальерами, а также дорогами, проложенными вдоль распределителей, должны быть изъяты и отчуждены из общей площади используемой территории.

На чертеже (211) показаны типовые поперечные сечения различных распределителей, взаимное расположение каналов, резервов, кавальеров и дорог и ширина полос отчуждения. Для распределителей других размеров ширину полосы отчуждения следует определять по аналогичной же схеме.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Hanna, F. W. Water Losses in Irrigation Canals and Methods of its Prevention. Engineering and Contracting. oct. 9, 1912.
2. Buckley, R. B. Irrigation Works of India.—London.—1905.
3. Bellasis, E. S. Irrigation Works.—London.—1913.
4. Brown, H. Irrigation.—London.—1907.
5. Davis, A. P. and Wilson, H. M. Irrigation Engineering.—New York.—1919.
6. Etcheverry, B. A. Irrigation Practice and Engineering, Vol. I and I.I—New York.—1916.
7. Fleming, B. P. Practical Irrigation and Pumping.—New York.—1915.
8. King, F. H. Irrigation and Drainage.—New Vork—1922.
9. Kennedy, R. G. Hydraulic Diagrams for Channels in Earth. — Public Works Department, India—1907.
10. Parker, P. The Control of Water.—London—1913.
11. Знаменский, И. И. Бетонирование, как один из основных способов сбережения воды.—Ленинград.—1922.
12. Ризенкампф, Г. К. Главные положения, принятые при разбивке и проектировании распределительной и мелкой сети в проекте орошения 500.000 десятин Голодной Степи. 1914 г. (пояснительная записка к проекту).
13. Ризенкампф, Г. К. Опыт создания теории водооборота в ирригационных системах.—Москва.—1920.

Глава XIV.

Содержание и ремонт каналов различного порядка, входящих в ирригационную систему.

Задачи эксплоатационного штата. После окончания постройки системы она поступает в эксплоатацию. Перед приемкой системы или отдельных ее частей (если работы сдаются постепенно) должно быть произведено испытание как отдельных ее элементов, так и всей системы, то-есть, следовательно, всех каналов и сооружений; также должна быть проверена обезпеченность командования ирригационной сетью над предположенной к орошению местностью. Как испытание всех инженерных сооружений, так и испытание ирригационной системы должно производиться на нагрузку форсированную, сверхнормальную. По отношению к каналам испытание должно быть произведено на пропуск форсированного расхода ($Q_{фор.}$), превышающего максимальный рабочий расход ($Q_{мак.}$), определяемый графиком потребления. Величины $Q_{фор.}$ обычно устанавливаются в инструкции, даваемой строительному штату.

Но, как бы тщательно ни была запроектирована и построена ирригационная система, все-таки эксплоатационному штату приходится затрачивать очень много времени и труда не только по поддержанию системы в порядке, но и по постепенному приспособлению ее к фактически установившейся жизни и на исправление выявившихся недостатков.

Задачи эксплоатационного штата по содержанию каналов (магистральных, распределительных, оросителей и водосборных) сводятся, главным образом, к нижеследующим:

1. К регулированию количества воды, попадающей в каналы. Впуск и выпуск воды должен производиться медленно и осторожно во избежание размывов.
2. К защите канала от переполнения и перелива через дамбы (что может произойти от того, что шлюзы, выводящие воду, будут закрыты или вследствие неправильного впуска воды в канал в большем количестве, чем требовалось и т. п.) путем своевременного сброса

воды из канала и уменьшения количества ее, впускаемого через шлюзы—регуляторы.

3. К защите канала одеждой на тех участках, где донные скорости оказались размывающими или к принятию мер по уменьшению скорости, путем изменения уклона и сечения канала, или путем создания на размываемом участке искусственного подпора (при помощи специального поперечного преграждения).
4. К борьбе с растительностью в каналах.
5. К борьбе с роющими животными.
6. К защите канала в берегах подверженных выдуванию.
7. К принятию мер по уменьшению фильтрации воды на тех участках канала, на которых потери достигают значительных размеров.
8. К очистке каналов от наносов, отложившихся в них вследствие неправильного учета в проекте зависимости между критической скоростью ($v_{кр.}$) и глубиной потока h (при данном механическом составе наносов). Если отложения наносов значительны, эксплоатационному штату приходится принимать специальные меры по уничтожению основных причин, вызывающих засорение канала.
9. К организации скорой помощи для борьбы с прорывами.

Остановимся более подробно на некоторых из перечисленных вопросов.

О впуске воды в канал и выпуске ее из него. Даже в старые каналы вода должна впускаться медленно во избежание размыва; кроме того желательно, чтобы временное (проверочное) наполнение канала до полной глубины производилось недели за 4 до начала поливных операций, чтобы осталось время на ремонт и всякого рода починки, в случае, если в них окажется потребность. Всегда можно ожидать неожиданностей в этом отношении, хотя бы, например, вследствие деятельности землеройных животных,—поэтому поверка каналов перед началом оросительной кампании весьма желательна. Кроме того, предварительный пуск воды в каналы очищает последние от всякого рода скопившегося сора и водорослей и сносит их к поперечным преграждениям, откуда затем они убираются на берег. Пуск воды в первый раз в новые каналы должен производиться еще медленнее и осторожнее, так как дамбы и берега каналов, а также засыпка вокруг сооружений начнут напитываться водою и оседать. Сперва надо пропускать по каналам воду небольшой глубиной, чтобы берега могли забрать в себя воду, частью путем просачивания, частью путем капиллярного подъема; при этом слабые места канала могут быть замечены и исправлены, норы роющих животных могут быть обнаружены и уничтожены, засыпка вокруг сопрягающих крыльев искусственных сооружений, в случае повреждения, может быть исправлена прежде, чем будут повреждены сами сооружения. Слабые места обнаруживаются не сразу, может пройти несколько недель, прежде чем берега достаточно пропитаются водой и обнаружится опасная фильтрация. Если возможно, канал следует испытывать за год или, по крайней мере, за зиму, пред-

шествующую оросительной кампании. Если период испытания не может быть длинным, следует наполнение канала производить постепенно по отдельным участкам, определяемым поперечными преграждениями на каналах. Это сокращает объем воды, который в случае прорыва вытечет из канала и причинит тот или иной вред.

Выпуск воды из каналов должен происходить также весьма осторожно. Внезапное понижение горизонта воды в канале обнажает его откосы, напитанные водою, не успевшей вытечь из грунта. Откосы могут сползти, если они круче естественного откоса данного грунта, находящегося в насыщенном состоянии. При песчаных берегах обратное вытекание из грунта содержащейся в нем воды происходит скорее, откосы таких берегов делают положе, поэтому опасность оползней и обвалов, в этих случаях, меньшая. Обвалы незащищенных берегов чаще происходят в тяжелых почвах и, кроме того, в каналах, работающих при сравнительно больших скоростях. В последних откосы берегов обычно близки к вертикальному и требуется меньшее внутреннее давление скопившейся в грунте воды, чтобы вызвать оползни.

Особенно надо следить за тщательным заделыванием прорывов, происшедших в период максимальной подачи воды, так как желание как можно скорее вновь пропустить по исправленному каналу воду полным расходом, вследствие большой нужды в ней, заставляет пренебрегать требованием медленного пуска воды в канал.

О защите канала от переполнения и перелива через дамбы. Этому вопросу было посвящено должное внимание в главе о магистральных каналах (XII), поэтому не будем на нем вновь останавливаться.

О борьбе с размывом отдельных участков канала. Проектирующий стремится использовать максимальные допустимые скорости ($v_{доп.}$), чтобы уменьшить сечение канала и сэкономить на земляных работах. Однако, достаточно было принять во время проектирования коэффициент шероховатости несколько большим, чем он оказался в действительности, чтобы фактические скорости превзошли допустимые для данного грунта и начался бы размыв. Недостаточные данные о заложении грунтов по трассе канала могут повести также к неправильному назначению $v_{доп.}$, так как грунт может оказаться в действительности более мягким и размываемым, чем было принято проектировщиком. На сопряжениях участков канала с большими глубинами с участками с малыми глубинами может образоваться кривая спада, с сравнительно большими уклонами. Если это обстоятельство не было принято во внимание, фактически скорости будут больше проектных и, в случае, если они превысят $v_{доп.}$, образуется размыв ложа канала. Наконец, целый ряд других обстоятельств второстепенного значения может также повести к образованию на некоторых участках канала размывающих скоростей. Борьбу с размывом можно вести в двух направлениях, или укрепляя ложе канала на размываемых участках какой-

нибудь одеждой, могущей сопротивляться существующим скоростям или уничтожая причину размыва, т. е. большие скорости, при помощи специально устраиваемых поперечных преграждений.

При укреплении размытых участков обычно не пытаются восстановить их первоначальное правильное очертание, одежда устраивается по выработанному ложу, после придания ему плавных очертаний. В тех случаях, когда предполагают применить бетонную облицовку, первоначальное сечение восстанавливается. На закруглениях наносы, отложившиеся на внутренней стороне, надо передвигать к наружной для заполнения образовавшегося размыва ниже допустимого предела и только после этого приступать к устройству одежды.

Применяется одежда различных типов в зависимости от величины скоростей, а именно: хворостяная выстилка, защитный слой гравия, одиночная мостовая, двойная мостовая, каменная облицовка на растворе, бетонная и цементная облицовки. Остановимся несколько на первых двух типах одежды, об остальных говорилось уже раньше.

Хворост применяется довольно часто для защиты русла от размыва так же, как и для предупреждения размыва вокруг искусственных сооружений. Хворостяная одежда служит недорогим средством защиты, в особенности там, где под рукой имеется ивняк или когда на прилегающих к каналу землях можно достать гребенчук. Sarcobatus vermiculatus [Hook] Torr также употребительны в некоторых местностях, хотя срок их службы короче.

Выстилка из гребенчука широко применена на некоторых каналах; кустарник в этих случаях закладывается в борозды, устроенные по каналу и прикрывается сверху землей, взятой из соседней борозды. Этот род защиты стоит очень дешево, но может применяться только при условии выпуска воды из канала. Если защиту требуется устроить во время операционного сезона, то ветки гребенчука можно связать в пучки и привязать их к проволоке, протянутой и прикрепленной кольями к земле. Этот способ применяется для предупреждения размыва берегов, (у уреза воды), течением или волнением воды. Иногда требуется уменьшить фильтрацию через дамбу и тем обезопасить ее от размыва; в этих случаях, покрывая откосы гребенчуком создают большую шероховатость, что способствует отложению на них ила. Последний удерживается настилкой из кустарника и образует илистую пленку. Кустарник в этих случаях расстилается толстым слоем и удерживается на месте плетеной сеткой, прикрепляемой к деревянным свайкам (диаметром 7—8 сант.), забитым в откос через несколько метров (3—4 метра) друг от друга. Такое укрепление может прослужить от 3-х до 4-х лет; если наносы отложатся за это время в таком количестве, что кустарник и сетка покроются защитным слоем, то, очевидно, что служба их будет длительнее.

Выстилка из гребенчука должна укладываться комлевой стороной против течения; способ укладки ее такой же, как черепиц на крыше; работы должны вестись вверх по течению.

Защитный слой из гравия (отсыпь) с успехом может применяться в тех случаях, когда фактическая скорость течения воды в канале немного превосходит $v_{доп.}$ (примерно, до 1,20 – 1,40 м/сек.), т. е. предел, с которого начинается размыв ложа канала. Слой гравия в 7—8 сант. толщиной может оказаться достаточно тяжелым, чтобы прикрыть земляное русло от дальнейшего размыва. Гравий обычно рассыпается от верхней бровки дамбы или бермы по откосу вниз, а если нужно и по дну; рассыпка идет вручную.

Одиночная мостовая, как мы уже упоминали, может быть употреблена, когда скорости течения доходят до 1,5 метров, двойная мостовая — до 2,25—2,5 метров. При больших скоростях необходимо применение бетонной, цементной облицовки или каменной на растворе. Применявшаяся прежде облицовка из дерева теперь почти совсем оставлена, вследствие короткого срока службы дерева в условиях работы ирригационных каналов, а также вследствие возростания цен на лес.

О борьбе с растительностью в каналах. Растительность, с которой приходится бороться в ирригационных системах, следует разделить на три группы:

1. В первую следует отнести растения целиком находящиеся в воде (водные растения). Их корневая система развивается ниже смоченной поверхности, а надземная часть внутри потока. Сюда относятся:

а) Рдест (Potamogeton), составляет наиболее часто встречающуюся разновидность. Корни этих растений сидят в дне и в откосах канала, а надземная часть расстилается вниз по течению. В длину они могут достигать 2 метров; по виду напоминают конский хвост. Растение многолетнее. На новых системах этот вид растений иногда не появляется в продолжении нескольких лет; затем, вдруг, в течение одного года может покрыть всю систему каналов. Potamogeton любит свет; поэтому он распространяется особо сильно в неглубоких каналах,—распределителях и оросителях. На главных каналах и ветвях, в особенности если вода сильно замутнена, он развивается весьма слабо. Под мостами, в туннелях и вообще затемненных местах, он встречается в малом количестве или совершенно отсутствует. С увеличением температуры рост усиливается. Быстрота роста может доходить до 15 сантиметров в день. Большое количество этих растений может значительно сократить пропускную способность канала, что создает необходимость или уменьшить рабочий расход, или увеличить глубину, или освободить канал от растительности. Существуют примеры, когда сильное развитие растительности уменьшало пропускную способность канала на 50%. В течении одного оросительного сезона приходится от одного до трех раз, а иногда и до

четырех, срезывать растения или применять другие способы к их удалению.

б) Лютик (Ranunculus delphinifolius Torr.), также часто встречается в ирригационных каналах. Это растение многолетнее; оно имеет погруженные в воду листья и желтоватые цветы, около 6 мм. в диаметре. Водный лютик оказывает такое же влияние на уменьшение пропускной способности канала, как и прудовая трава. Иногда лютик после созревания (в сентябре) сам ломается у корня и освобождает таким образом русло к концу операционного сезона.

в) Водяной мох (Fontinalis), черная трава (Juncus qerardii Loisel), водоросли (Alga), лишаи приносят гораздо меньше вреда, чем указанные выше. Мелкие растения, могут прикрепляться к другим растениям, а также к земле и камням.

2. Ко второй группе можно отнести растения, у которых корневая часть находится в воде, а стебель в значительной степени выступает из воды (полуводные растения). Сюда относятся: камыши, тростник, водная трава и Paspalum distichum L. Названные растения (полуводные) могут причинять еще большие препятствия течению воды (если условия благоприятны для их развития), чем растения принадлежащие к первой группе. Они развиваются на мелководных участках канала (на пологих откосах, у уреза воды; на затопляемых бермах, если сечение канала проходит в полувыемке — полунасыпи). Стебли этих растений (особенно камыша и тростника) крепкие и они сламываются с большим трудом. Водная трава является однолетним растением, она захватывает участки с глубинами меньше 0,3 метра, поэтому особый вред она причиняет оросителям, отводам и мелким распределителям. Эта трава может отрастать в длину до 0,45 метр. в месяц.

3. К третьей группе надо отнести сорные травы, растущие по берегам каналов и на примыкающих к ним землях (береговые растения). Сорные травы, попадая в каналы, сносятся течением и засоряют участки у искусственных сооружений. Кроме того, семена этих трав, попадая в каналы, переносятся вместе с водою на поля поселян, и, проростая там, покрывают сорной травой большие площади.

Виды сорных трав, растущих по берегам каналов, изменяются в зависимости от почвенных и климатических условий. Наиболее часто встречаются — бурьяны, костер (Bromus secalinus L.), медунки (Medicago hispida, Medicago arabica (L.) Huds.) Джонсоновская трава (Andropogon halepensis (L.) Brot.), Бермудская трава (Cynodon Dactylon (L.) Pers.) и лозняк.

Первая трава, после созревания, легко сламывается у корня и может, перекатываясь ветром, рассыпать по дороге свои семена, создавая благоприятные условия для быстрого размножения.

Medicago arabica часто достигает нескольких фут высоты и бывает так густа, что мешает проезду по дамбам и бермам. Она может также распространяться и свисать в воду, стесняя течение, особенно на мелких распределителях. Отмирая, они попадают в канал и причиняют те же затруднения, то есть засоряют участки канала у искусственных сооружений. Это растение считается двухгодичным.

Костер и другие разновидности этой травы почти не вредят; имея небольшую высоту, они не мешают пользоваться дамбами, бермами и не стесняют живого сечения канала.

Antropogon halepensis, опускаясь ниже горизонта воды, стесняет течение. Раз привившись, она с трудом поддается искоренению. Она размножается семенами и от корня.

Cynodon Dactylon не причиняет особого вреда по отношению к работе канала, так как она помогает укреплению поверхности откосов и берм; рост ее незначителен. На распределителях и оросителях, работающих с перерывами (при водообороте), она может распространяться по дну этих каналов, увеличить шероховатость и стеснить живое сечение. Эта трава не выносит низких температур, — корни ее погибают. Серьезный вред она причиняет, укоренившись на полях (куда семена попадают вместе с поливной водой). Рост ее наиболее энергичен ранней весной. Она хорошо выносит соли, засуху и затопление, но не выносит тени.

Лозняк часто встречается на каналах у уреза воды. Как и другие деревья и кустарники, он скорее вреден, чем полезен, ибо мешает пользоваться берегами при очистке и осмотре каналов.

Борьба с зарастанием каналов ведется различными способами, из которых главными являются:

1) Срезывание и скашивание.
2) Протаскивание цепей.
3) Пастьба скота.
4) Опрыскивание особыми растворами (химический способ).
5) Уничтожение действием солнечных лучей, в случае опорожнения канала.
6) Нефтенирование.

1. Срезывание и скашивание применяются в тех случаях, когда стебли растений гибки, легко гнутся, но не ломаются. Для срезывания применяются особого рода пилы или ножи, передвигаемые по дну и по откосам; они представляют небольшие стальные полосы

и когда с зубьями по обеим сторонам. Вдоль пилы укреплены тяжести, которые позволяют подводить ее под основание растений для срезки, как раз выше корней; к концам пилы прикреплены тяги для управления. В С.-Ш. С. Америки для этой цели употребляется пила патентованная под названием „Зимсеновская подводная пила для срезки травы" (Ziemsen Submarine Weed Cutting Saw) [1]. Для управления пилой требуется 2 рабочих и для уборки срезанных и всплывших растений от 1 до 3 рабочих. Последнее производится обыкновенно с мостов и поперечных преграждений. Зимсеновская пила дает хорошие результаты, если встречается только один рдест. Там, где вместе с рдестом встречаются мелкие растения — мох и черная трава, пилу приходится часто чистить, ибо растения забивают зубья. Пила применяется в таких руслах, глубина которых не позволяет применять обыкновенную косу. В небольших распределителях, по которым может пройти человек, обыкновенная коса для скашивания водных и полуводных растений дает хорошие результаты. Обкашивание применяется также довольно часто для удаления береговых растений. Если бермы и дамбы имеют ровные поверхности и, кроме того, площадь подлежащая скашиванию значительна, употребляют довольно успешно сенокосилки, что значительно удешевляет работу. Существуют косилки разных типов, приспособленные к работе на откосах. Иногда бывает достаточно одного скашивания в течение оросительного сезона, а в некоторых случаях требуется эту операцию произвести два и даже три раза.

2. Протаскивание цепей применяется в тех случаях, когда стебли растений, отмирая, становятся хрупкими. Применяется тяжелая цепь, которая протаскивается двумя лошадьми, припряженными к ее концам. Вместо цепи употребляют иногда проволочный канат или волокуши из рельсов. При молодых более гибких растениях цепь, канат и рельсы проходят поверх растений, не ломая их, поэтому в этих случаях применение этого способа не рационально. Если растения, успевающие вырасти за лето, не сильно стесняют пропускную способность канала, то удаление их откладывают на осень, когда растения становятся хрупкими и когда применение способа протаскивания цепей вполне целесообразно. Кроме того, следует отметить, что глубина воды в каналах во время работы должна быть не слишком большой, чтобы лошади могли передвигаться по дну.

Стоимость срезывания и скашивания обходится дороже протаскивания цепей примерно в 2 раза.

3. Борьба с зарастанием каналов пастьбой овец и коз может быть применена с успехом там, где растительность по каналам

[1]) Изготовляется Aschert Bros, Cedar Lake, West Bend, Wis.

представляет из себя питательный корм, где нужно бороться с зарастанием берегов, дамб, надводных откосов канала, а не смоченной поверхности. Если каналы работают с перерывами (при водообороте), этот способ применим и для уничтожения растительности по подводной поверхности канала. Обычно пользуются овцами, так как они, утаптывая берега и не портя их (как крупный скот), съедают траву ближе к корню и, кроме того, довольствуются более скудной пищей. Пастьба крупного скота вредит каналам и не должна допускаться.

Опыт ирригационной системы Солт Ривер (Salt River) показал, что выпас овец и коз по берегам каналов не только уменьшает расходы по удалению береговых растений (Джонсоновской травы по преимуществу), но также, вследствие уплотнения берегов, почти, выводит роющих животных, портящих дамбы. Овцы поедают многие виды сорных трав, а также солерос (Salicornia) и древесные листья, но водную траву они едят только тогда, когда она находится в молодом возрасте. На 1 версту каналов и распределителей системы Солт Ривер требовалось в среднем около 10 овец или 14 коз. Прирост стада, вскармливаемого указанной растительностью, а также получаемая с овец шерсть более чем покрывали себестоимость выпаса.

4. Химический способ в текучей воде дает гораздо меньший эффект, чем в стоячей. Различают два вида применения этого способа: а) напитывают почву достаточным количеством яда, чтобы, обеспложив ее, убить растение и не дать в дальнейшем взойти семенам; б) опрыскивают ядом надземные части растений, которые, впитав в себя ядовитый химический состав, погибают сами и не дают семян для дальнейшего размножения. Второй способ дешевле первого, но за то создается только временный эффект.

По исследованиям Грея (Gray, G. P.) на опытной станции в Калифорнии, наиболее выгодным средством для опрыскивания являлся водный раствор мышьяковистого натра. Каждые 100 литров раствора содержали 0,4 кгр. мышьяковистого ангидрида и 0,2 кгр. гидрата окиси натрия. Такой раствор действовал уничтожающе на береговые растения. Будучи применен во вневегетационный период, он уничтожал корень на глубину от 0,60 – 1,20 метра. Вышеуказанные результаты получались в сравнительно влажных районах, в более же сухих местностях результаты оказались менее удовлетворительными, повидимому, вследствие значительного испарения до момента впитывания капель раствора, получающихся во время обрызгивания. В этих случаях советуют эмульсировать раствор с помощью мыла или обрызги-

ванию раствором предпосылать обрызгивание водою. Даже шесть последовательных обрызгиваний растений не причинило никакого вреда почве, так что этим способом можно пользоваться также для уничтожения сорных трав на полях. Стоимость материала (вышеуказанного раствора), расходуемого на одну десятину, сильно заросшую сорными растениями, обходилась в условиях опыта около 7—8 рублей.

Раствор мышьяковистого натра точно также дал наилучшие и наиболее экономные результаты при применении первого способа, то есть при пропитывании им почвы у корней растений. Другие растворы (например, с серной кислотой, с железным и медным купоросом, с нефтяными остатками, обработанными серной кислотой и пр.) дали худшие результаты.

5. Водные растения можно убить подвергая их действию лучей солнца в течение от 3 до 8 дней. Данный способ применим и очень удобен в тех случаях, когда каналы в течение оросительного сезона наполняются и опоражниваются несколько раз в связи с планом разверстки воды. С этой целью выгодно вводить водооборот сложный, то есть по главному каналу, распределителю и оросителю для того, чтобы возможно большая часть каналов системы могла находиться на некоторое время опорожненной. Однако, надо помнить, что при слабых берегах попеременный впуск и выпуск воды может причинить обвал откосов, что впуск должен производиться очень медленно и осторожно, поэтому в конечном итоге следует признать, что вводить водооборот только в целях борьбы с водной растительностью в каналах не рационально, особенно на больших каналах и распределителях (с расходом свыше 1—1,5 кб. метра в секунду).
6. Нефтенирование дна и откосов в целях борьбы с растительностью может оказаться выгодным в исключительных условиях (при очень дешевой нефти). Обычно расходы, производимые при нефтенировании, велики, действие же нефтенирования кратковременно, ибо нефть быстро вымывается текучей водой.

О борьбе с землеройющими животными. В орошаемых районах землеройющие животные, поселяющиеся в берегах канала, весьма сильно затрудняют содержание последнего. Их норы обыкновенно имеют выход в канал на незначительной высоте над горизонтом воды, поэтому они являются слабыми пунктами, с которых может начаться прорыв дамб. Особенно опасны только что проделанные норы в насыпях. В некоторых районах борьба с роющими животными или заделка прорывов, вызванных ими, может оказаться самой крупной статьей расходов по эксплоатации канала. Надо иметь в виду, что при водообороте, роющие животные могут проделать норы как раз в то время, когда канал стоит опорожненным так что их выходные отверстия могут расположиться весьма низко и при

новом заполнении канала вода неминуемо попадет в вырытые в берегах проходы и при наличии соответствующих условий прорвет их. Когда же каналы работают без водооборота при неизменном горизонте поддерживаемом поперечными преграждениями, норы располагаются в берегах выше поверхности насыщения.

Существует много различных видов землеройных животных, причиняющих вред каналам и полям. Наиболее часто встречающимся и причиняющим наибольшие затруднения является гоффер или мешетчатая крыса.

Гоффер по своим размерам занимает промежуточное положение между мелким кротом и крупной крысой. Они обладают короткими ногами, маленькими ушами и глазками и короткой гладкой шерстью. Отличительным их признаком являются большие карманы в складках кожи плеч (у головы). Карманы могут иметь от 3 до 5 сантиметров в глубину, уходя под кожу плеч. Они служат для переноса пищи. В наполненном состоянии карманы более чем вдвое увеличивают объем головы. Их пища — исключительно растительная. Выбор ими для своих нор берегов каналов объясняется скорее стремлением укрыться от затопления, которое может их постичь на прилегающих орошаемых полях, чем близостью питьевой воды. Они проделывают ходы на 15—30 сант. ниже поверхности берм и дамб. Диаметр ходов от 3 до 6 сант.; расположение ходов самое разнообразное от длинных прямых линий до целых сетей сложных, извилистых направлений. Направление ходов можно определить по холмикам расставленным примерно в расстоянии 4—5 метров друг от друга. Эти холмики образуются выбрасыванием вырытой земли; когда вся земля выброшена на поверхность, отверстия закрываются изнутри и сообщение с поверхностью земли таким образом уничтожается, остается один выход.

С гоффером можно с успехом бороться отравлением, если класть яд в их норы. Для этого надо проследить выход из норы и положить туда приманку, в виде отравленной растительной пищи (например, картофель и морковь, порезанные на куски). Для отравления пищи можно пользоваться стрихнином, например, всунув кристалик стрихнина в надрез каждого кусочка пищи или посыпав последнюю порошком из стрихнина с сахарином. Применяется также ловля гофферов капканами, которые ставятся в норы. Однако этот последний способ следует считать более сложным.

Суслики пользуются охотно чужими норами, их собственная землеройная деятельность небольшая, норы их вначале бывают невелики, они обыкновенно увеличиваются к концу лета. По своим привычкам это животные дневные, они любят выходить на поверхность берегов. Потревоженные они встают на задние лапки, сохраняя одно мгновение вертикальное положение. Из предосторожности они строят свои норы на небольших возвышениях, чтобы можно было с них издали видеть приближающихся врагов. Дамбы каналов обычно возвышаются над окружающей местностью и уже это одно может служить объяснением, почему так много находят в них сусликов.

С последними можно также бороться отравлением. Приманка с ядом кладется в отверстие норы или по близости от него. Наиболее успешно происходит отравление ранней весной, когда землеройки выходят из зимней спячки и когда зеленого корма мало. В начале лета можно в виде приманки класть отравленное зерно, а позднее — что нибудь более вкусное (репу или свеклу, нарезанные на кусочки). Ловля капканами дает также удовлетворительные результаты особенно весной (в период случки, когда они наиболее беззаботны). Наконец, можно их убивать впуском сероуглерода в норы.

Мускусные крысы отличаются тем, что роют дамбы с внутренней стороны по направлению к наружной, причем они начинают врываться в берег под горизонтом воды (погружаясь на 0,30 метра и даже ниже). Мускусные крысы представляют ценность из за своего меха. Мясо их употребляют в пищу. Их можно уничтожать отравлением—стрихнином или мышьяком с морковью и репой. Но лучшие результаты дает ловля капканами и охота с ружьем.

Из других животных необходимо отметить полевых мышей и крыс. Они причиняют вред на малых распределителях и оросителях и особенно в насыпях и засыпках вокруг искусственных сооружений. Более крупные разновидности полевых крыс строят иногда свои норы в берегах каналов. Борьба с ними возможна или путем отравления или путем поощрения их естественных врагов—соколов, сов, барсуков, скунсов и ласк, которые также весьма полезны для уничтожения гофферов и сусликов. Однако, иногда вред от барсуков и скунсов может превысить приносимую ими пользу.

Итак, борьба с землеройными животными обычно ведется отравлением пищи ядом (по преимуществу стрихнином), ловлей капканами, охотой и удушением ядовитыми газами (от одной до двух ложек сероуглерода наносится на какой-нибудь поглотитель, например, вату или навоз, и затем бросается как можно дальше в нору, при этом отверстие норы закрывается, так что образующийся тяжелый газ удушает животных). Но, кроме указанных общих способов, иногда, на сильно пораженных вредителями участках, применяются с успехом еще нижеследующие:

1. В дамбе, вдоль ее, закладывается тонкая перемычка из грунта пропитанного нефтью. Гофферы не трогают таких дамб.
2. Если в каналах откладывается песок, его следует при очистке, складывать по поверхности дамб для образования песчаного защитного слоя, в котором животным трудно удержать свои норы открытыми. Они в таких случаях переходят в другие места.
3. В дамбах, вдоль их (в расстоянии примерно 1 метра от уреза воды), выкапываются канавы, глубиною от 1 до 1,30 метра; в эти канавы помещается сетка из оцинкованной проволоки с отверстиями в 1—1,5 сант., после чего канавы вновь засыпаются. Сетка не дает возможности роющим животным проходить дамбы насквозь.

4. На дамбах и вблизи них производится выпас овец. Овцы, съедая растительность чисто до корня, выживают животных—вредителей каналов.

Что касается покрытия канала бетонной облицовкой, то хотя она и предохраняет от прорывов, но расходы по ее устройству не могут окупиться только одним этим обстоятельством. Если же одновременно можно использовать и некоторые другие преимущества, даваемые бетонной одеждой, то применение ее может оказаться весьма выгодным.

О защите каналов, проложенных в легких, подверженных выдуванию грунтах. Если канал проложен в таком грунте, то ему могут угрожать две опасности: он может быть до некоторой степени засыпан этой, переносимой ветром, песчаной пылью, и наоборот, на некоторых участках канала его берега могут подвергнуться выдуванию с последующим дальнейшим разрушением. В С.-Ш. С. Америки, на системе North Platte, в которой главный канал на протяжении 75 верст проложен в почвах, подверженных выдуванию, были произведены испытания различных способов защиты. Приведем перечень этих способов и полученные результаты.

1. Полоса вдоль участка канала была огорожена и защищена от крупного скота, ибо последний разбивает поверхностный слой почвы, разрыхляет его и способствует выдуванию. Изгородь, таким образом, давала возможность получить полосу земли, защищенную от вытаптывания и разрыхления. Этого было достаточно, чтобы солончаковая трава принялась сама собой и закрепила почву.
2. Дамбы канала (на некотором протяжении) были покрыты легким слоем конского навоза с соломой. Как только в таком прикрытии образовывались бреши, ветер начинал снизу поднимать солому и постепенно совсем сносил ее, вновь оголяя почву. Солома давала некоторую защиту в том случае, когда ее запахивали или вкапывали в грунт.
3. Дамбы канала (на некотором протяжении) сверху и по внешнему откосу были покрыты слоем гравия в 7, 5—10 сант. Такая защита применялась только тогда, когда карьеры гравия отстояли недалеко, не более 2,25 верст. Этот тип защиты оказался наиболее устойчивым.
4. Применялось покрытие внешнего откоса хворостяной выстилкой, давшее хорошие результаты, однако такая настилка может очень легко и быстро быть уничтоженной огнем.
5. В откосы впахивалась сорная трава, получаемая в каналах. Результаты удовлетворительны.
6. Были также испробованы цементная одежда, сырая нефть, сахарная патока и угольная смола, но ни одно из этих средств не оказалось удовлетворительным.

7. Производилась засадка полосы в пределах границ отчуждения канала для закрепления верхнего слоя почвы. Результаты благоприятные.

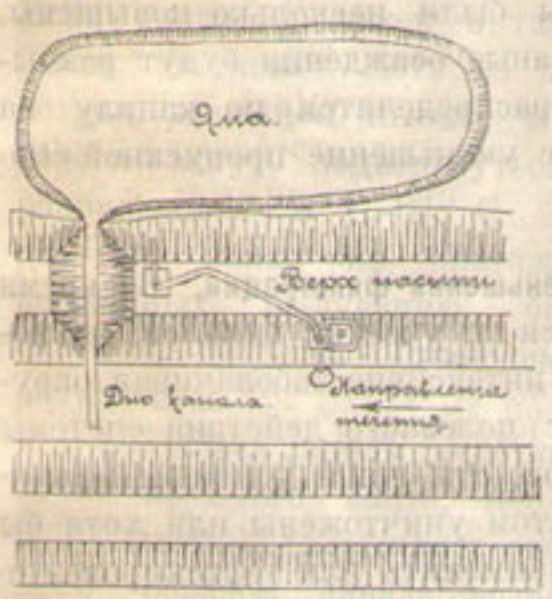
Чтобы помешать песку, сдуваемому с поверхности почвы, накапливаться у канала и в каналах, применяют иногда заграждения от песка на подобие снежных защитных щитов на железных дорогах. Для того, чтобы песок и песчаная пыль, сдуваемые в канал, не скоплялись в большом количестве в одном каком-нибудь пункте и не создавали местных „пробок", желательно, чтобы на участках канала, проходящих в грунтах подверженных выдуванию, скорости течения воды были несколько повышены. Благодаря большим скоростям течения песчаные осаждения будут размываться и переноситься. В результате они распределятся по каналу на значительном протяжении и местное сильное уменьшение пропускной способности не сможет иметь место.

Об искусственном заилении канала для уменьшения фильтрации. Во время эксплоатаци системы постепенно выясняются те участки каналов, на которых фильтрация воды происходит весьма интенсивно, заболачивая окружающую местность, уменьшая коэффициент полезного действия системы и угрожая иногда даже безопасности каналов. Эти очаги усиленной фильтрации должны быть эксплоатационным штатом уничтожены или хотя бы ослаблены. Для этой цели можно было бы применить или нефтенирование смоченной поверхности каналов или покрытие ее бетонной, цементной или глиняной одеждой как это указывается в главе XIX.

Здесь мы остановимся еще на одном способе, который в некоторых случаях легко и дешево может быть осуществлен. Он заключается в создании искусственной илистой пленки, той или иной толщины, на дне и смоченных откосах канала. Искусственное заиление можно создать двояким путем: или пуском в канал воды, несущей значительное количество ила, который затем будет отлагаться по его смоченной поверхности, благодаря специально созданному несоответствию между глубинами и скоростями, или нанесением ила во внеполивное время на места, пораженные фильтрацией. Первый способ подходит к таким случаям, когда целая система расположена в песчаном грунте и нуждается в покрытии илистой пленкой; второй способ можно применять для обычных условий, когда только короткие участки каналов, проходящие в пористых почвах, нуждаются в создании илистой одежды. Ил, впускаемый в канал, не может отлагаться равномерным слоем по всей его длине, поэтому следует количество подаваемого ила определять с некоторым запасом, чтобы обеспечить оседание илистой пленки достаточной толщины всюду, где это требуется. Основным условием успешности применения как первого, так и второго способа является наличие в канале скоростей, при которых осевший ил не будет размываться. После того как ил отложился, для его смыва водою требуются большие скорости течения, чем при переносе илистых частиц во взвешенном состоянии. Морозы, в течение зимнего периода, могут нару-

шить цельность илистой одежды и, при первых весенних поливных операциях, она может быть снесена.

Для возможности проведения массового покрытия ложа каналов илистой одеждой необходимы дешевые методы производства работ, то есть дешевая добыча илистого грунта, дешевая транспортировка и дешевая укладка его. Всем поставленным условиям в значительной степени удовлетворяет способ, проводящий гидравлические методы работы. Сущность его заключается в следующем. Вдоль канала ищут залежи глины и закладывают карьер. Разработку ведут гидравлически, путем разрыхления глины струей воды, вытекающей из насадки под давлением нескольких атмосфер. Получаемую жидкость кашицу (из воды с глиной) направляют в специально устроенную яму вблизи канала (см. черт. 212), откуда через водослив, расположенный несколько выше дна ямы, она направляется далее по деревянному желобу в канал. Для равномерного смешивания грязевой кашицы с водой, протекающей по каналу, деревянный желоб проложен поперек всей ширины канала и кашица вытекает через отверстия в желобе, устроенные на определенных расстояниях друг от друга (см. фотогр. 1). Илистые частицы, попав в водный поток, взвешиваются им и переносятся вниз по течению. В тех местах, где требуется отложение илистой одежды, необходимо уменьшить скорость течения до очень низких пределов (напр., согласно опытам, произведенным на главном канале системы Grand Valley в С. Ш. С.-Америки, при глубине потока в 0,40 сант. и при скоростях в 30 сант. в секунду и выше, осаждения илистых частиц не наблюдалось; таковое получалось, когда скорость падала до 15—12 сант. в секунду). Уменьшения скорости течения можно достигнуть при помощи устройства временных поперечных преграждений в канале, создающих подпор.

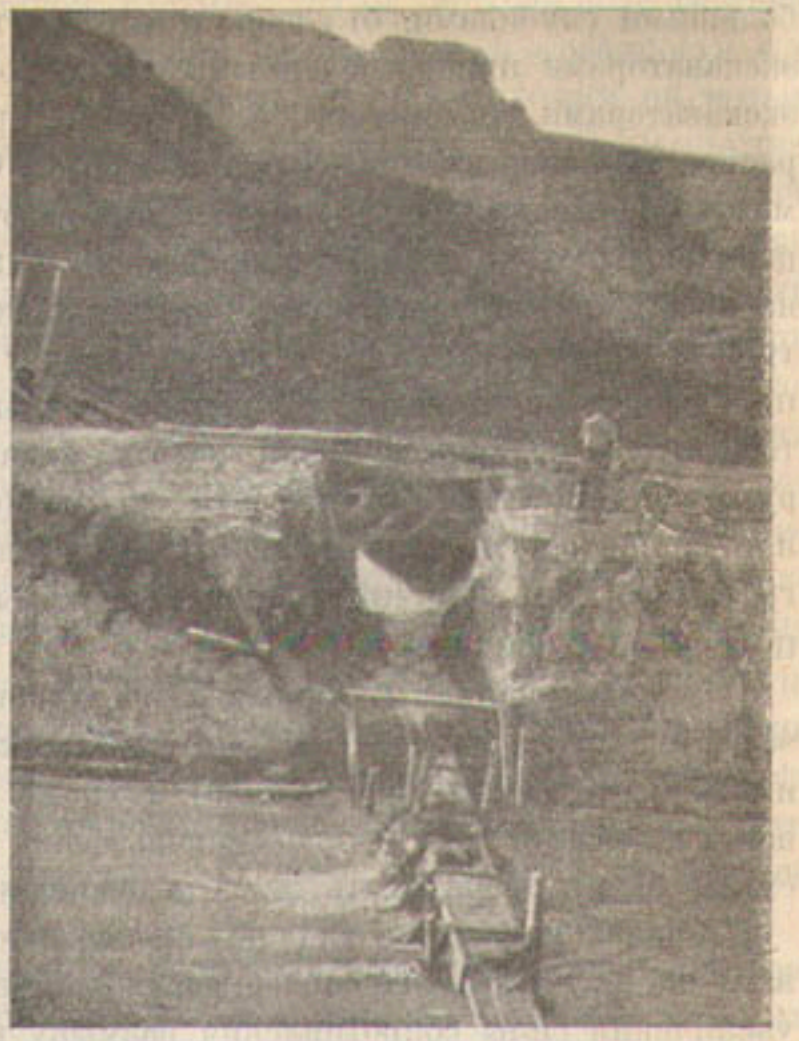


Черт. 212. Схема устройств для кальматирования канала.

Сущность второго способа заключается в подвозке илистого грунта, рассыпке его по ложу канала, в разбивке особыми волокушами комьев и в разравнивании всего насыпного слоя; затем канал на заиляемом участке наполняется водою, которая в течение суток поддерживается поперечными преграждениями в стоячем состоянии, после чего горизонт воды понижается до глубины в 0,30 метр. и по каналу четыре раза пропускается обыкновенная борона для запудлингования ила. Пудлингование также может быть произведено пропуском по каналу (с мокрым еще илом) тяжелой цепи или впуском в канал стада овец.

После пудлингования надо дать поверхностному слою канала выстояться и просохнуть и только после этого допускать первый пропуск воды.

Илистая одежда, положенная по ложу канала (второй способ), или илистая пленка, отложившаяся на смоченной поверхности (первый способ), будут, очевидно, уменьшать живое сечение, а следовательно и пропускную способность канала. Поэтому, при проведении каналов в сильно фильтрующих грунтах, необходимо поперечные сечения устраивать с некоторым запасом, оставляя место для будущей илистой одежды от 15 до 30 сант. При прохождении через гравелистые участки оставляется запас для одежды толщиною в 30—45 сант. (то есть, следовательно, канал отрывается на 30—45 сант. глубже проектных отметок).



Фот. 1. Деревянный жолоб с отверстиями через 2 фута, сквозь которые поступает в канал насыщенная илом вода.

Об удалении излишних наносов, отложившихся в каналах. В главе XII и XVIII даны методы проектирования и правила, следуя которым можно избежать (в будущей ирригационной системе) отложения наносов; однако многие из существующих систем построены без соблюдения указанных правил и, кроме того, всегда возможны случаи неправильного учета местных коэффициентов, входящих в формулы расчета незаиляющихся каналов, так что на практике сплошь и рядом приходится считаться с значительными отложениями наносов в различных частях ирригационной системы, а также и с тем, что расходы по удалению их в большинстве случаев являются наиболее крупной частью общих эксплоатационных расходов. Наносы выгоднее удалять из малых каналов чем из больших, поэтому, если нельзя запроектировать систему так, чтобы ил доносился до полей орошения, надо обеспечить, хотя бы, чтобы на главном канале и распределителях средние скорости течения были выше критических и чтобы ил выносился в отводы и в оросители. Способы борьбы с отложением наносов зависят, главным образом, от быстроты отложения и их количества. Где быстрота отложения не велика и где имеется запас в пропускной способности канала, там можно допустить отложение наносов до тех пор, пока не накопится количество, достаточное для экономического удаления их. Для удаления наносов существуют различные способы: а) широко применяется отгребание наносов

к верхним бровкам дамб и берм Λ-образными волокушами, протаскиваемыми по каналу с помощью лошадей или трактором; этим способом восстанавливается поперечное сечение канала, а также поднимаются его берега, так что, в случае нужды, можно впоследствии воспользоваться большими глубинами; б) удобно и выгодно также пользоваться небольшими экскаваторами приспособленными для подобных работ (например, хотя бы экскаваторами системы Ruth'a, простыми, практичными и дешевыми, весьма распространившимися в последние годы в С. Ш. С. А); удаление наносов может производиться без прекращения работы канала, ибо экскаватор может передвигаться по бермам и дамбам; в) если возможно канал опоражнивать на время чистки, применяют, при небольшом количестве наносов, ручной труд и конную упряжь; г) на участках с большим отложением наносов, при дешевом ручном труде, иногда устраивают параллельные русла для того, чтобы, не останавливая работу канала, пропуская воду по одному руслу, можно было бы очищать другое (оставшееся без воды) вручную или конной тягой; д) наносы, откладывающиеся впереди поперечных преграждений при наличии подпора, могут быть смыты течением воды, когда подпор будет спущен.

Перемешивание и разрыхление боронами слоя наносов увеличивает эффект смывающего действия водного потока. Однако, смыв наносов может иметь место только при условии, что вода, поступающая в канал, не насыщена наносами. Чем меньше использована его „взвешивающая сила", тем скорее будет происходить смыв отложившихся наносов.

Удаляя наносы из канала, проложенного в насыпи, следует складывать их не на верхней поверхности дамбы, а на внешних откосах, для увеличения силы сопротивления размыву и уменьшения фильтрации. Если наносы песчаного характера, их следует откладывать не только на внешних откосах, но также, хотя бы, небольшой слой должен быть уложен и на внутренних откосах, для ослабления роющей деятельности животных, о чем уже говорилось.

О содержании бетонированных каналов. Одним из преимуществ бетонной облицовки является уменьшение стоимости содержания каналов, благодаря тому, что облицовка препятствует обильному росту водяных растений, размыву и заилению, действию на берега роющих животных и возникающим отсюда прорывам, а также вымыванию дамб в результате фильтраций. Обычно, стоимость содержания каналов с бетонной облицовкой сравнительно невысока. Повреждения вызываются, главным образом, плохой подготовкой земляного ложа, *на которое кладется облицовка, недостаточной толщиной* дамб, недостаточной величиной откосов. В одном случае на системе Umatilla (С. Ш. С. Америки) трещины в облицовке вызвали сильную фильтрацию, начался размыв позади облицовки, приведший в конце концов (в виду недостаточной ширины дамб) к прорыву канала. В глубоких каналах, при быстром опорожнении, вода, скопившаяся в грунте за облицовкой, может, под действием мороза, выпереть облицовку и нарушить ее цельность.

Кроме того, если откосы взяты недостаточно покатыми, грунт, насыщенный водою (имея меньший угол естественного откоса), стремясь сползти, может также разрушить бетонную облицовку (см. фотогр. V). Наконец следует помнить, что применение бетона, даже, при сравнительно высоких скоростях, не страхует от появления водной растительности. Моховидные растения значительной длины могут прикрепляться к облицовке, в особенности к ее откосам. Обыкновенно растения удаляются орудием похожим на мотыку с лезвием, служащим продолжением ручки (см. фотогр. IV). Этим орудием растения соскабливаются и затем сносятся течением. В течение одного сезона могут потребоваться три или четыре очистки. Где имеется такая растительность, там среднее значение „n“ в формуле Kutter'a оказывается около 0,016, независимо от того, будет ли поверхность бетона шероховатой, неровной или очень гладкой. На главном канале Tieton в Штате Вашингтон, где скорости прибликаются к 3 метрам в секунду, растения все-таки прикреплялись к бетону, в особенности по близости от горизонта воды, хотя поверхность бетона была совершенно гладкой. Эти растения уничтожались посредством выпуска воды из канала на 2 или на 3 дня и при том в такое время, когда прикрепление их к берегу делалось слабее; при обратном впуске воды практически все растения отрывались от облицовки и уносились. Наблюдения, произведенные на этом канале, обнаружили в течение оросительного сезона совершенно правильные колебания значения коэффициента „n“ в формуле Kutter'a, происходящие от влияния растительности. Весною, когда канал чист, значение „n“ было около 0,012; за лето оно поднималось до 0.013.

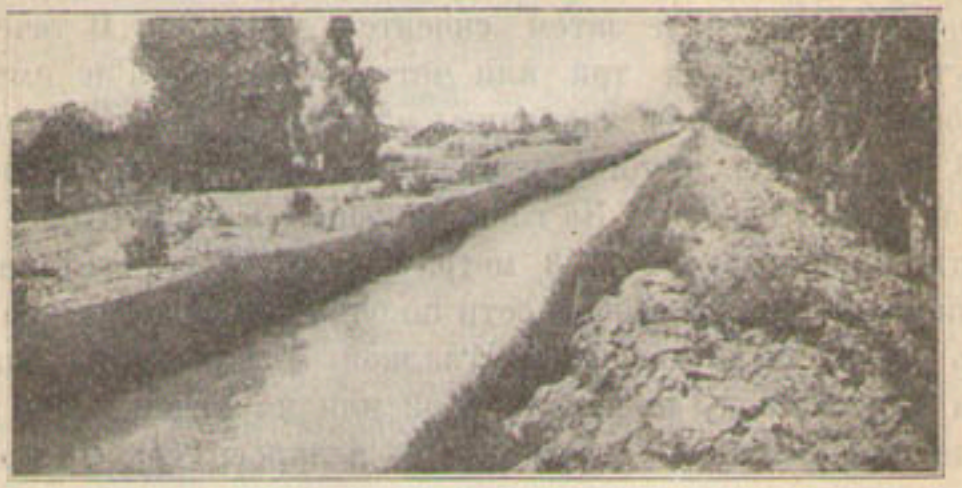
На некоторых каналах водная растительность достигает такого развития, что требуется применение тех же способов удаления ее, как и в земляных руслах. Однако это бывает сравнительно редко и только в случае очень тонкой облицовки, так что обыкновенно расходы по очистке канала от растительности падают до минимума.

Эксплоатация правильно построенных бетонированных каналов сводится к мелкому текущему ремонту, по преимуществу, заключающемуся в нижеследующем:

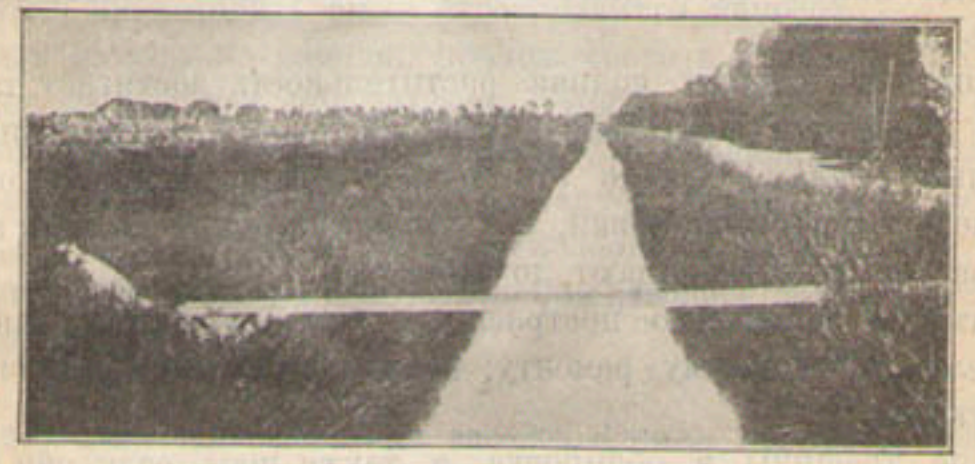
а) Мелкие трещины в облицовке, а также швы, если они не заполняются наносами и не становятся водонепроницаемыми, должны быть залиты жидким цементным раствором. Иногда борются также впрыскиванием под облицовку воды с глиной или перекрытием швов и трещин календритом, особым материалом вроде асфалтированного войлока, который при нагревании хорошо приклеивается к бетону; поверх календрита кладется цементная смазка.

б) В случае оползании нагорных откосов в глинистом грунте, в случае выпирания дна от давления грунтовых вод или вследствие выпучивания, облицовку на пострадавшем участке приходится иногда выполнять заново, при этом предварительно прокладывается дренаж и ложу земляного русла придается правильное очертание.

Разрушения бетонной облицовки вследствие сползания откосов земляного ложа, выпучивания грунта, давления грунтовой воды, температурного расширения, имеют место только в случае неправильно запроектированного и построенного канала (отсутствие дренажа, отсутствие швов в облицовке и прочее), поэтому расходы, связанные с перестройкой разрушенных частей канала, должны быть отнесены на основную строительную стоимость, а не на эксплоатацию.



Фотогр. II. Канал вскоре после очистки от растительности ($n = 0{,}022$).

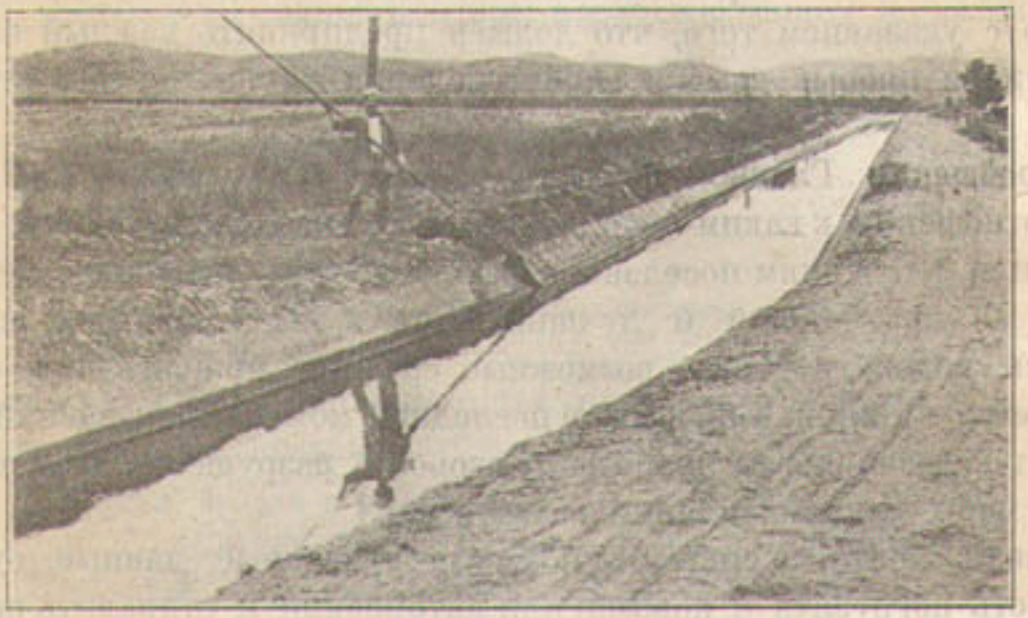


Фотогр. III. Тот же канал (фот. II) при сильном развитии растительности ($n = 0{,}029$).

Организация скорой помощи при прорывах дамб. К сожалению, приходится констатировать, что до сего времени обращается слишком мало внимания на организацию „скорости помощи", обеспечивающей быстрое прибытие людей с необходимыми инструментами и материалами к местам прорывов и разрушения каналов. Скорая помощь должна дать возможность восстанавливать быстрейшим образом разрушенные берега и при этом с небольшими расходами. При хорошей организации скорой помощи возможно будет, в большинстве случаев, обходиться без выпуска воды из канала через водосбросы, с целью опорожнения

поврежденного участка. В этом отношении заслуживают внимания и подражания начинания американского ирригационного инженера Адамса (Adams, K. M. — С. Ш. С. Америки), предпринятые им на одной из ирригационных систем. Сущность организации, проведенной в жизнь Адамсом, заключается в следующем.

Помимо административного и служебного персонала, ведающего эксплоатацией, необходимо по мнению Адамса, чтобы и все остальные лица, имеющие какое-нибудь касательство к оросительной системе, например, ремонт-



Фот. IV. Удаление моха на бетонированных каналах.

Фотогр. V. Разрушение бетонной облицовки и размыв под нею.

ные рабочие, водопользователи-поселенцы и пр., знали бы, что им надо делать в случае, если они заметят начинающееся разрушение и прорыв дамб. Задача их заключается в немедленном сообщении необходимых сведений администра-

тивному персоналу, в главную контору системы. Обычно большинство всех сообщений о прорывах поступает от живущих вблизи каналов, однако опыт показывает, что сообщаемые данные по большей части, бывают ошибочны и вводят Главную Контору в заблуждение относительно размера и характера катастрофы. Весьма важно поэтому, чтобы информатор точно знал, на что надо обращать внимание и какие сведения необходимы Главной Конторе для незамедлительного принятия наиболее решительных действий. В этих целях необходимо в домах поселенцев, рабочих и других лиц, живущих в непосредственной близости от каналов, расклеить инструкцию с указанием того, что должен предпринять каждый заметивший разрушение и прорыв дамб и какие сведения он должен сообщить Главной Конторе.

В сообщении Главной Конторе должно быть указано: а) место прорыва по отношению к каким-либо хорошо известным сооружениям, верстовым столбам или владениям поселенцев, расположенных непосредственно вблизи прорыва; б) кратчайший и лучший путь к месту прорыва, если дороги покрылись водой, а также возможные средства приближения, если берег канала смыт; в) ширина прорыва в последний момент наблюдений; г) расход воды, вытекающей через прорыв; д) скорость разрушения берега; е) какие приняты меры для ликвидации катастрофы.

Главная Контора системы, получив указанные данные, будет иметь возможность погрузить в повозки или автомобили и отправить снаряжение, инструменты, а также и персонал, требующиеся для ликвидации прорыва. Кроме того, в качестве предупредительной меры, должны быть погружены и готовы к отправке такие материалы и инструменты, которые могут потребоваться при самых худших предположениях относительно размера катастрофы.

В Главной Конторе должно быть заранее установлено, какие комплекты материалов и инструментов необходимы для ликвидации прорывов различной величины. Эти комплекты должны быть подобраны и упакованы, чтобы в любой момент, в случае нужды, их можно было бы быстро погрузить.

Для ликвидации мелких прорывов, по данным Адамса, необходим комплект следующих инструментов и материалов:

2 плотничных топора;
2 кувалды;
2 молотка 3-фунтовых;
2 молотка камнебойных;
2 топора малых;
2 дюжины машинных болтов размером $\frac{1}{2}'' \times 11\frac{1}{2}''$ с шайбами и 2-мя гайками на каждый болт;
3 ящика с гвоздями различной крупности;
Сетка из оцинкованной проволоки для перекрытия ею места прорыва в дамбе;
1 кусок парусины такого же размера;
1 моток вязального шнура;

2 больших мешечных иглы;
1 двухметровая поперечная пила;
1 багор;
1 большие клещи;
2 пары водонепроницаемых штанов для хождения в воде;
1 лента и связка колышков;
2 ручных пилы;
1 стальной плотничный наугольник;

В случае прорывов более крупных, дополнительно к вышеуказанному комплекту, посылают еще нижеследующие предметы, которые должны находиться в складах Главной Конторы в уже сложенном и связанном виде:

3 кирки с ручками;
6 лопат;
2-е козел для пилки с 30″ ногами;
100 фут. ¾″ манилльского каната;
2 насаженных на ручки мотыги;
2 цепи с крючками;
2 связки (по 100 шт.) цементных мешков;
1 диафрагмовый насос.

Наконец, в случае очень крупных прорывов, следует, еще дополнительно к предыдущим, посылать:

Брусья, бревна и доски:

3 штуки 0,15 × 0,15 метр. длиною 6 метров.
3 „ 0,15 × 0,15 „ „ 5 „
10 „ 0,05 × 0,15 „ „ 5 „
6 „ 0,10 × 0,10 „ „ 5 „
2 „ 0,05 × 0,10 „ различной длины,
100 погонных метр. досок сечением 0,05×0,15 м. различной длины,
30 штук досок 0,05 × 0,25 метр., длиною 5 метров.

Скрэпера:

6 штук скрэперов (типа slip scraper),
2 параконных скрэпера (типа fresno scraper).

Вышеперечисленные материалы должны всегда иметься на готове на складе.

По данным Адамса, для ремонта 1—2 метрового прорыва, все необходимые инструменты, материалы и люди могут быть погружены на один пятиместный автомобиль Форда и доставлены к месту работ со скоростью 45 километров в час (по хорошей дороге). Люди, материалы и инструменты, потребные для заделки прорыва, шириною свыше 3 метров, могут быть доставлены на одном или нескольких грузовых автомобилях со скоростью от 22 до 45 километров в час (по хорошей дороге).

При небольших прорывах (до 3 метров в свету) можно применять с успехом следующий метод. Место прорыва перекрывается сеткой из оцинкованной проволоки, которая кладется на внутренний откос канала и укрепляется на нем (с обеих сторон от прорыва) метровыми шпильками. Шпильки надо располагать на некотором расстоянии от краев прорыва; при достаточном удалении от места прорыва, все они могут быть размещены выше уровня воды. Затем поверх проволочной сетки кладется

парусина и натягивается с помощью мешков с землей, привязанных к верхнему и нижнему краям. После этого с берега набрасывается земля на те места дна канала, где вода просачивается под парусину. Чтобы предупредить слишком большой прогиб, проволочная сетка (после того, как доступ воды в прорыв прегражден) подпирается одним или двумя подкосами. Затем укладываются два ряда мешков с землей, на расстоянии 2 метров один от другого. Промежуток между ними заполняется глиняной набивкой, непроницаемой для воды. Одновременно может вестись отсыпь земли для придания дамбе надлежащего профиля.

Таким способом, как показывает американский опыт, можно в течении 20—30 минут, после прибытия скорой помощи, ликвидировать довольно серьезные прорывы, при чем достаточно 3—5 человек для всей работы.

Литература.

1. Harding, S. T. — Operation and Maintenance of Irrigation Systems. 1917 r. New York.
2. Bliss, G. H. — Prevention and Eradication of Weeds and Moss in Canals and on Canal Banks, 1913, Second Conference of Operating Engineers, Boise, Idaho.
3. Dibble, B. and Parry, T. W. — Control of Moss Weeds and Willows on the Minidoka Project, 1917, Sixth Conference of Operating Engineers, Boise, Idaho.
4. Mc. George, W. T. — Fate and Effect of Arsenic Applied as a Spray on Weeds, Journal of Agricultural Research, Dec. 13, 1915.
5. Shaw, W. T. — Ground Squirrel Control, 1916, Popular Bull. 99, Washington Agricultural Experiment Station, Pullman, Wash.
6. Bell and Piper. — Extermination of Ground Squirrels, Gophers and Prairie Dogs in North Dakota, 1915, Circular 4, North Dakota Agricultural Experiment Station.
7. Haltom. A. I. — Use of Sheep and Goats for Cleaning Banks of Canals and Laterals on the Salt River Project, Arisona, Reclamation Record, June, 1916.
8. Adams, K. M. — Handling Breaks in Irrigation Canal Embankments.—Engineering News—Record. October 6, 1921.
9. Fortier, S. — Concrete Lining as Applied to Irrigation Canals. Bull. 126. U. S. Office of Experiment Stations.
10. Etcheverry, B. A. — Conveyance of Water. 1916. New York.
11. Carpenter, L. G. — Losses from Canals from Filtration or Seepage. Bull. 48. State Agricultural College, Fort Collins, Col.
12. Mead and Etcheverry. — Lining of Ditches and Reservoirs to Prevent Seepage Losses. Bull. 188. Agricultural Experiment Station, Berkeley, California.
13. Знаменский, Н, И. — Бетонирование, как один из основных способов сбережения воды в ирригационных системах. 1923 г. Петроград.

Глава XV *).

Мельчайшая сеть и способы полива.

Мельчайшая сеть.

Общее. Оросители являются последним звеном ирригационной системы, если ее рассматривать как водопередаточное сооружение, имеющее целью доставить воду из источника орошения к поселенческим участкам. Задачи ее в смысле обслуживания общественных нужд на этом заканчиваются, но остается еще осуществить конечную цель орошения — увлажнение почвы в пределах участков. Для этого требуется:

1) распределить воду по территории поселенческого участка с тем, чтобы она могла быть доставлена в любую точку его,

2) перевести воду из состояния тока, в котором она до сих пор находилась в каналах, в состояние почвенной влажности на полях и

3) отвести избыточные воды (поверхностные и почвенные), неусвоенные почвой орошаемого участка и стекающие с него, с тем, чтобы предотвратить заболачивание и засоление участка

Первая и третья задачи осуществляются сетью канав, подводящих воду к отдельным „полям", на которые разбивается орошаемый участок, и отводящих от них избыточную воду; вторая же выполняется сетью канав, валиков и проч., при помощи которых вода распределяется по орошаемому полю и производит увлажнение почвы. Совокупность приводящих канав, расположенных в пределах единичного хозяйства, а также прочих технических приспособлений и устройств, с помощью коих производится полив, мы будем называть „хозяйственной поливной сетью" или просто „поливной сетью", а „хозяйственной водосборной сетью" совокупность канав и технических устройств, имеющих целью отвод избыточной воды.

Обе эти сети должны быть в работе тесно связаны между собой, и полный комплект всех подводящих и отводящих воду в пределах единичного хозяйства устройств мы будем называть „хозяйственной сетью" или „мельчайшей сетью".

---

*) Глава XV написана И. И. Знаменским.

Описание работы мельчайшей сети и производства поливов. Терминология предмета. В состав мельчайшей сети входят:

а) поливная сеть:

1) подводящая канава,
2) распределяющие канавы,
3) поливные канавы (в более совершенной сети означенные в п.п. 1—3 канавы могут быть заменены лотками и трубами.
4) канавки, борозды, валики на полях для производства самой операции полива;

б) сеть хозяйственных водосборных канав или хозяйственных водосборов, отводящих избыточную воду с отдельных полей и передающих ее в водосборную сеть общего пользования (иногда водосборной канавой служит нижележащая поливная канава);

в) сеть „хозяйственных сбросных канав" или „хозяйственных сбросов", устраиваемых в конце распределяющих и поливных канав для сброса оставшейся неиспользованной воды в водосборную сеть, и

г) искусственные сооружения на означенных канавах.

Черт. 213. Разбивка мельчайшей сети на поселенческом участке при равномерном уклоне местности.

Предположим, что мы имеем оросительную сеть, показанную на черт. 213. Ороситель подводит воду к поселенческим участкам, расположенным вдоль него, размерами 125 × 250 саж. (площадь участка, следовательно, 8,3 десятины). Предположим, что вода подается „хозяйственным током" в 2 сек/фута и поступает в распоряжение каждого отдельного хозяина на 8 часов, в течение коих на участок будет, следовательно, доставлено 168 куб. саж.; при норме полива, скажем, в 80 куб. саж. на десятину, этого количества будет достаточно для полива двух десятин, т. е., примерно, около $^1/_4$ части всего участка. Эта вода должна быть использована хозяином для полива культур, в данный момент в ней наиболее нуждающихся, которые находятся на различных „полях", I, II, III и т. д., на которые земледелец разбивает свой участок в целях рационального сельскохозяйственного его использования.

Следует попутно заметить (подробнее об этом см. ниже), что с точки зрения полива поливные площадки должны быть не слишком больших размеров в направлении длины пути протекания воды (размер l черт. 213), так как в противном случае будет невозможно получить равномерное увлажнение поля.

В соответствии со стоящей перед водопользователем задачей полива всего своего участка, по наивысшим точкам должны быть проведены „по-

ливные канавы" (ae, bf, cg, dh, a′e′, b′f′,...a″l″, и т. д.). из которых вода и будет тем или иным способом распространяться по участку и увлажнять его.

В отличие от термина „канал", применявшегося до сих пор при рассмотрении оросительной системы, все каналы, находящиеся в пределах единичного хозяйства, в дальнейшем именуются „канавами".

„Поливные канавы", в свою очередь, должны получать воду из канав ad, a′d′, назначение коих заключается в том, чтобы забрать воду из оросителя и передать ее в поливные канавы. Эти канавы будут исполнять в пределах единичного участка ту же роль, какую в оросительной системе играют распределители, и мы будем в дальнейшем называть их „распределяющими канавами" (однако, распределяющие канавы могут иногда одновременно играть роль и поливных канав).

Иногда, однако, бывает, что по условиям рельефа (бугры и проч.) „распределяющие канавы" не могут начать питание „поливных канав" сразу за оросителем, а имеют некоторую „холостую" часть. Такие канавы мы будем называть „подводящими канавами" (черт. 221).

Для собирания и отвода избыточной воды, неусвоенной почвой поливаемой площадки и стекающей с нее, служат „хозяйственные водосборные канавы"; они должны иметь соединение с водосборной канавой, отводящей воду со всего участка и впадающей, в свою очередь, в канавы водосборной сети общего пользования. Кроме того, на случай, если вода из распределяющих или поливных канав не будет, по каким либо причинам, полностью использована для орошения, желательно концы этих канав соединить с водосборной сетью „сбросными канавами", роль коих будет аналогична с таковой для сбросных каналов общей сети.

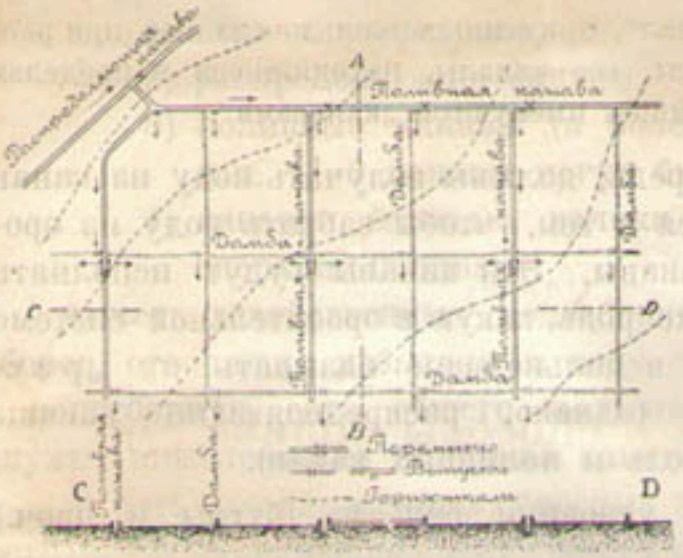
Вода, поступающая из поливной канавы на поливаемую площадку, распределяется в пределах ее различными способами, из которых главнейшими являются: а) полив затопляемыми площадками, б) полив напуском, в) полив бороздами.

Имеется ряд разновидностей этих основных способов полива, имеются и другие, реже применяющиеся, способы—подпочвенное орошение, дождевание; ниже они будут подробно рассмотрены, здесь же мы полагаем необходимым, в целях лучшего уяснения нижеследующего, вкратце осветить читателю основные, наиболее распространенные приемы увлажнения почвы.

Один из распространенных способов полива заключается в том, что орошаемое поле разделяется невысокими валиками на ряд замкнутых небольших площадок, площадью 0,6—0,2 десятины и менее; поступающая на них вода, разливаясь в пределах площадки, будет покрывать ее слоем небольшой глубины (например, при норме полива в 100 куб. саж. на десятину средняя глубина затопления получается около 0,04 саж.). Вода остается на площадке до тех пор, пока она частью не впитается в землю, частью не испарится, избыточная же вода отводится водосборными кана-

вами. Этот способ носит название „полив затопляемыми площадками" (чеками) (черт. 214 и фот. I) (на фотографии показаны чеки весьма малых размеров).

Он применяется при пологих рельефах местности.



Черт. 214. Полив затопляемыми площадками (чеками) прямоугольного очертания.

При увлажнении почвы способом „напуска" вода, выливающаяся из поливных канав на орошаемое поле, стекает по нему тонкой простыней, увлажняя на своем пути почву (черт. 215 и 216 и фот. II).

Остаток воды на конце поля сбрасывается опять-таки в хозяйственные водосборные канавы и отводится в водосборную сеть. Полив „напуском" применяется при средних уклонах местности.

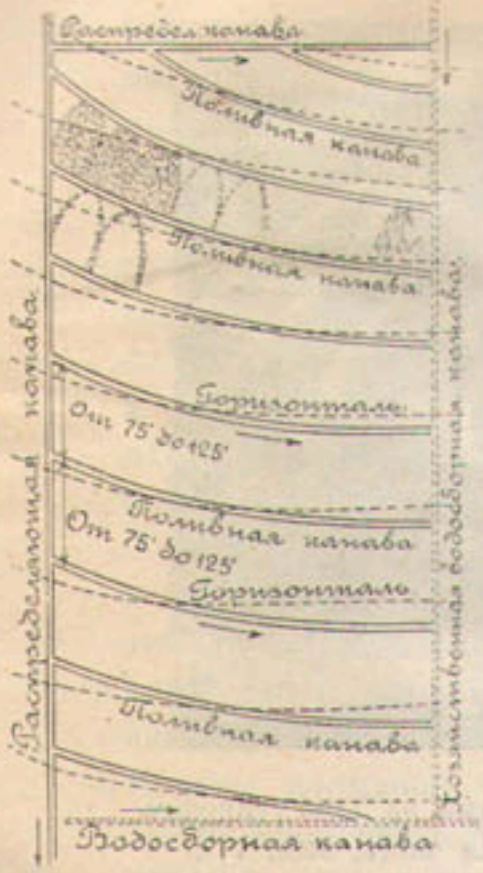
При поливе „бороздами" по полю проводятся в расстоянии 0,5 – 1,5 мтр. неглубокие, 0,10 – 0,20 мтр., канавки (фот. III и IV) и вода, протекая по ним, всасывается в почву и по капиллярам распространяется в пространстве

Фот. I. Полив чеками фруктового сада J. A. Widstoe.

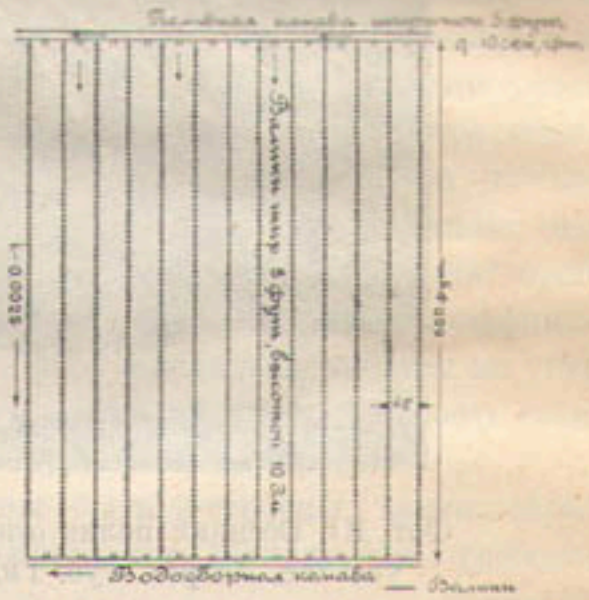
между бороздками. Остающаяся в конце борозд вода сбрасывается в водосборную сеть.

В зависимости от способа полива, от величины „хозяйственного тока" и ряда других обстоятельств (рельеф, почва и проч.), „хозяйственный ток", поступающий в „распределяющую канаву", будет распределяться ею либо по нескольким „поливным канавам", либо будет передан в одну „полив-

ную канаву". При поливе он будет разделяться на ряд отдельных расходов, которые будут поступать в отдельные борозды, площадки, полосы, на которые разбивается орошаемое поле. Эти мельчайшие расходы можно называть также токами с прибавлением названия способа полива: „бороздной ток", „ток затопления", „ток напуска" и проч.



Черт. 215. Полив свободным напуском при поливной сети, проходящей поперек наибольшего уклона.



Черт. 216. Орошение люцерны напуском полосами вблизи Gridley, Калифорния.

Фот. II. Полив напуском полосами.

Общие требования, которым должна удовлетворять мельчайшая сеть. Общие требования, которым должна удовлетворять мельчайшая сеть, могут быть сформулированы следующим образом:

1) Так как мельчайшая сеть имеет своим назначением обслуживание данной единицы землепользования, то сеть каждого хозяй-

ства должна быть прежде всего независимой от соседних хозяйств. Каждое хозяйство должно иметь свой выпуск из ороси-

Фот. III. Осенний полив озимых бороздами на Тингутинском участке, Астрах. губ. Гидромодульная часть, вып. VII.

теля, сброс в водосборную сеть общего пользования, расположенные, по возможности, в пределах своего участка.

Фот. IV. Полив хлопка бороздами в Голодной Степи.

Это требование, будучи хозяйственно необходимым, является вместе с тем вполне естественным, так как мельчайшую сеть каждый хозяин строит за свой счет, а интересы отдельных водополь-

зователей, связанных между собою получением воды из одного и того же оросителя, являются зачастую диаметрально противоположными. Проведение сети общей для нескольких хозяйств имело бы результатом постоянные ссоры между ними и нарушение одними водопользователями интересов других, что и без того постоянно наблюдается в практике поливных хозяйств.

2) Поливная сеть должна командовать всей площадью участка, за исключением отдельных бугров, могущих быть орошенными путем механического подъема воды или в случае спланирования, если площадь их невелика. Соответственно этому, распределяющая канава должна проходить по наивысшим точкам участка, а поливные канавы должны быть расположены таким образом, чтобы распространение воды в пределах поливаемой площадки было обеспечено. Выполнение этого требования весьма важно с точки зрения „коэффициента земельного использования" орошаемого участка. Очевидно, что чем выше будет этот коэффициент, тем на большую площадь будут распределяться затраты на устройство сети и, следовательно, тем дешевле будет стоимость сети на одну десятину действительно орошаемой площади.

3) Канавы поливной сети должны быть устроены таким образом, чтобы пропускать соответствующий им расход. Это требование ясно без особых пояснений.

4) Так как устройство мельчайшей сети ложится довольно большим расходом на земледельца, то представляется весьма желательным, чтобы канавы поливной и водосборной сетей были бы сразу проведены наиболее целесообразно. Поэтому с точки зрения техники полива отдельные „поля", к которым доставляют воду поливные канавы, должны иметь не слишком большой размер в направлении пути протекания по ним воды, так как в противном случае неизбежны будут переувлажнение верхних частей поля и недоувлажнение нижних; с сельско-хозяйственной же точки зрения „поля" должны быть разбиты таким образом, чтобы допускалась возможность замены одного типа севооборота другим, не стеснялось передвижение сельско-хозяйственных машин и орудий и проч.

5) В целях уменьшения потерь воды во время протекания ее по поливной сети последняя должна быть устроена таким образом, чтобы длина пробега была по возможности минимальной, а сечения канав должны иметь форму, обеспечивающую минимум фильтрации.

6) Удовлетворяя вышеприведенным требованиям рациональности, мельчайшая сеть должна быть вместе с тем устроена таким образом, чтобы для выполнения ее требовалось возможно меньше земляных работ. Удельные цифры, показывающие кубатуру земляных работ, приходящуюся на одну десятину, могут быть в этом отношении весьма показательными.

7) Сеть должна быть оборудована надлежащим количеством шлюзиков, выпусков, перемычек и прочих искусственных сооружений, дабы работа с нею требовала в дальнейшем минимума затрат на ее содержание и, по возможности, упрощалась бы операция полива.
8) Так как поливная сеть должна главным образом проходить в насыпях, то нелишне будет сказать, что при устройстве внешних резервов необходимо обеспечивать отвод воды во избежание заболачивания и засоления отдельных частей участков. Копание внешних резервов в виде отдельных замкнутых ям совершенно недопустимо также и потому, что они портили бы участок и уменьшали бы площадь, используемую в сельско-хозяйственных целях.
9) Наконец, кроме канав поливной сети, хозяйство должно быть оборудовано водосборными и сбросными канавами, отводящими излишнюю воду с пределов хозяйства.

Общий ход проектирования мельчайшей сети. При приступе к проектированию мельчайшей сети предполагаются разрешенными вопросы подвода оросительной воды к отдельным поселенческим участкам и отвода с них излишней воды, а равным образом вопросы колонизации и водооборота. Следовательно, должны быть известными: трасса оросителей, горизонты воды в них, величина хозяйственного тока, размер единицы водопользования и разбивка ее на единичные участки.

Конечно, и здесь, как и вообще при составлении оросительного проекта, приходится итти путем последовательного приближения и после составления проекта мельчайшей сети может выясниться необходимость исправления тех или иных проектных для нее заданий.

Перед приступом к трассированию сети и расчету ее, необходимо прежде всего выяснить требующееся в смысле рационального увлажнения почвы расстояние между поливными канавами, так как „зона влияния поливных канав" (считая по направлению, к ним перпендикулярному) (размер l на черт. 213) имеет свой максимальный и оптимальный предел. Она является переменной в различных условиях рельефа и естественно-исторических факторов и вместе с тем она зависит от способа полива и от величины поливного тока.

Если с течением времени один способ полива будет заменен другим, или же будет изменена величина поливного тока, то может потребоваться или отбросить какую-либо поливную канаву, или добавить новую (переход от данного способа полива связан, кроме того, с переделкой оросительных устройств на самих полях (валики, борозды и проч.); однако, это нужно будет не всегда, так как зона влияния поливных канав не может быть определена с математической точностью, а лишь в известных пределах, которые являются до некоторой степени приемлемыми для различных способов полива.

Наконец, нужно задаться известной величиной напора при выпуске воды из поливных канав на поле, из оросителя в распределяющую канаву и проч. с тем, чтобы можно было выявить требующиеся горизонты в различных частях поливной сети и проверить достаточность горизонта воды в оросителе.

Когда эти вопросы разрешены, можно будет приступать к трассированию мельчайшей сети и ее расчету. Прежде чем перейти к этому вопросу, мы коснемся здесь некоторых особенностей, присущих канавам мельчайшей сети.

Канавы мельчайшей сети должны обычно пропускать незначительные расходы 2—4 секундо-фут., за исключением некоторых способов полива (напуска полосами, полива затопляемыми площадками больших размеров), когда величина хозяйственного тока значительно увеличивается. Канавы имеют сравнительно небольшую длину, работают короткими тактами и во время работы многократно загораживаются перемычками как с целью подпора горизонтов, так и в целях водораспределения.

Удельная длина канав, т. е. длина на одну десятину—весьма значительна и выражается в десятках сажен.

Постройка канав производится более грубо, чем сооружение оросителей.

Обеспечение незаиляющей „скорости" в поливных канавах, даже в предположении равномерного движения, зачастую весьма затруднительно, и практически, принимая во внимание характер их работы, от этого условия приходится отказываться заранее. Откладывающиеся наносы должны переодически вычищаться водопользователями и могут итти либо на усиление дамб, либо быть использованы как материал для планировки, удобрения и проч.

Периодическая чистка канав необходима и для уничтожения сорной растительности, условия для развития которой здесь в силу периодичности работы канав весьма благоприятны. Наоборот, весьма важным является вопрос о недопущении размыва в канавах поливной сети, так как наличие такового будет связано с весьма неблагоприятными результатами в виде углубления дна, понижения горизонта воды и уменьшения площади командования. Колебания уклонов дна могут быть в силу предыдущих соображений допущены в гораздо более широких пределах, чем это мы имеем, например, для каналов оросительной сети.

Гидравлический расчет поливной сети, как это можно видеть из предыдущего, не будет отличаться особой точностью и может вестись более упрощенно. В условиях русской ирригации канавы поливной сети проводятся обычно и вовсе без всякого расчета; однако, результаты от этого, как это будет изложено при описании результатов обследования мельчайшей сети голодностепских хозяйств, получаются весьма неутешительные.

В вышеизложенных соображениях имелись в виду, как это обычно и бывает, особенно в русских условиях, небольшие размеры индивидуальных хозяйств, в масштабе, скажем, до десятка десятин. Частные фермы в капиталистических хозяйствах и коллективные хозяйства у нас могут иметь,

однако, размеры значительно большие в масштабе, скажем, несколько сот десятин. В этом случае хозяйство будет занимать несколько единиц водопользования и в пределах каждой единицы водопользования сеть может быть проведена с большей свободой, без тех ограничений, какие ей ставит наличие на единице водопользования нескольких хозяйств.

Разбивка сети в плане. Изложенные выше требования, которым должна удовлетворять поливная сеть, должны быть приняты во внимание прежде всего при разбивке сети в плане. Подводящие или распределяющие канавы должны для каждого хозяйства иметь свой выпуск из оросителя и должны быть затрассированы таким образом, чтобы подводящие и распределяющие канавы проходили по наивысшим точкам данного „поля".

Поливные канавы могут быть проведены исходя из двух различных принципов. Либо трассирование их производится, используя все выгоды рельефа, и в плане в этом случае они могут получить извилистый характер, с чем связана будет и разбивка участка на „поля" неправильной формы и неравновеликих по площади.

Либо поливные канавы, пренебрегая некоторыми выгодами рельефа, проводятся по прямым линиям в целях разделения участка на „поля" геометрически правильной формы с прямолинейными очертаниями.

Не касаясь вопроса о разнице в стоимости сети и обеспечении командования над местностью при том и другом способе разбивки, так как это выяснится в конкретных цифрах при рассмотрении каждого данного случая, мы приведем здесь только некоторые соображения сельско-хозяйственного характера:

Всякое культурное хозяйство ведет эксплоатацию земли по определенной системе земледелия и севооборота. В связи с этим каждый отдельный участок разбивается на ряд постоянных, более или менее равных между собой „полей", занятых разными культурами, обработка и полив коих ведутся в той или иной мере самостоятельно. Чтобы можно было стройно выдерживать этот хозяйственно-экономический план, весьма важно, чтобы мельчайшая сеть была проведена таким образом, чтобы хозяйственный план мог в нее беспрепятственно укладываться; в этом смысле разбивка на „поля" прямолинейной и по возможности равновеликой формы является, конечно, более удобной. Особенное значение она приобретает в тех случаях, когда для сельско-хозяйственных работ пользуются крупными машинами, тракторами и проч., требующими достаточно больших площадей более или менее правильной формы.

В соответствии с характером рельефа местности эти условия могут быть осуществляемы различным способом.

При равномерном уклоне местности, распределяющие канавы, проводятся по линии уклона, а поливные канавы в направлении горизонталей, но, конечно, с требуемым уклоном. В зависимости от очертания горизонталей по отношению к границам участка разбивка сети будет произведена согласно схем, указанных на черт. 213, 217, 218, 219, 220 и 221.

В случае, если участки имеют вид прямоугольника и уклон близок к той или иной границе участка, распределяющие канавы проводятся вдоль, а поливные поперек уклона местности, параллельно границам участка, а отдельные „поля" получают форму близкую к прямоугольной, достаточно удобную с точки зрения сельскохозяйственной (черт. 213 и 217).

Если направление уклона не совпадает с границами участков, то могут быть применены, в зависимости от разных обстоятельств, либо схемы черт. 218 и 219, либо схема по черт. 220, когда распределяющая канава перерезает участок в направлении диагональном. Эта

Черт. 217. Разбивка мельчайшей сети на поселенческом участке при равномерном уклоне местности.

Черт. 218 и 219. Разбивка мельчайшей сети на поселенческом участке при равномерном уклоне местности.

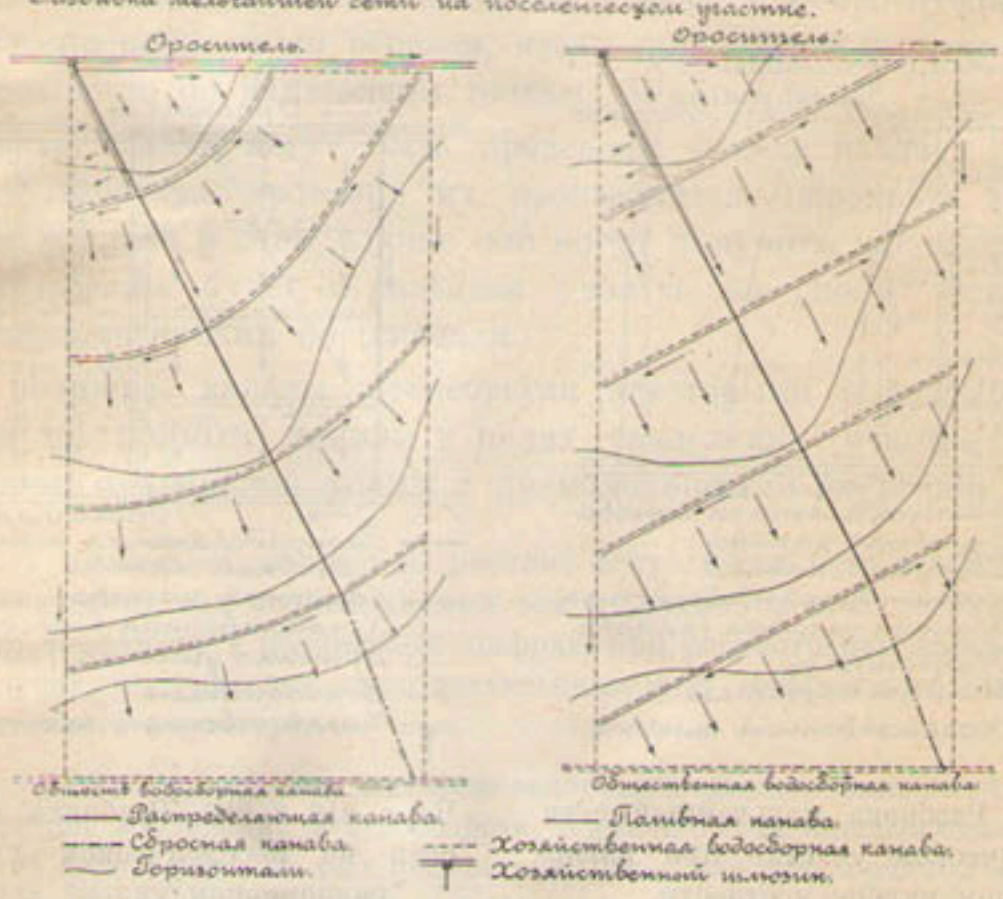
последняя схема делается уже обязательной, когда на участке имеется ясно выраженный водораздел (черт. 221). Поливные канавы в двух последних случаях могут итти либо в направлении горизонталей, сообразно с требующимся для них уклоном (черт. 220а), либо быть проведены по прямым линиям (черт. 220б).

Если в пределах участка землепользования местность имеет волнистый микрорельеф, то поливные канавы, будучи проведены по возвышенным местам, будут иметь командование в обе стороны и схема разбивки сети выразится согласно черт. 222. Подобная же разбивка может быть применена и в очень ровной местности, когда в пределах поля разница отметок ничтожна (черт. 223).

Разбивку поливной сети следует вести таким образом, чтобы, обеспечивая все требования, ей предъявляемые, она требовала бы вместе с тем возможно меньшего объема земляных работ. С этой точки зрения, насколько, конечно, это позволяют условия микрорельефа, поливные канавы двусто-

роннего действия могут оказаться более выгодными, так как в этом случае может быть также сокращена и длина распределяющих и водосборных канав.

Что касается хозяйственной водосборной сети, то она в рационально устроенном хозяйстве должна отводить избыточную воду с каждого „поля" и передавать ее в общую водосборную сеть. Канавы, отводящие воду с отдельных полей, должны быть проводимы по низшим точкам „поля", а канавы, отводящие воду со всего участка, должны быть проведены по наинизшим точкам участка.

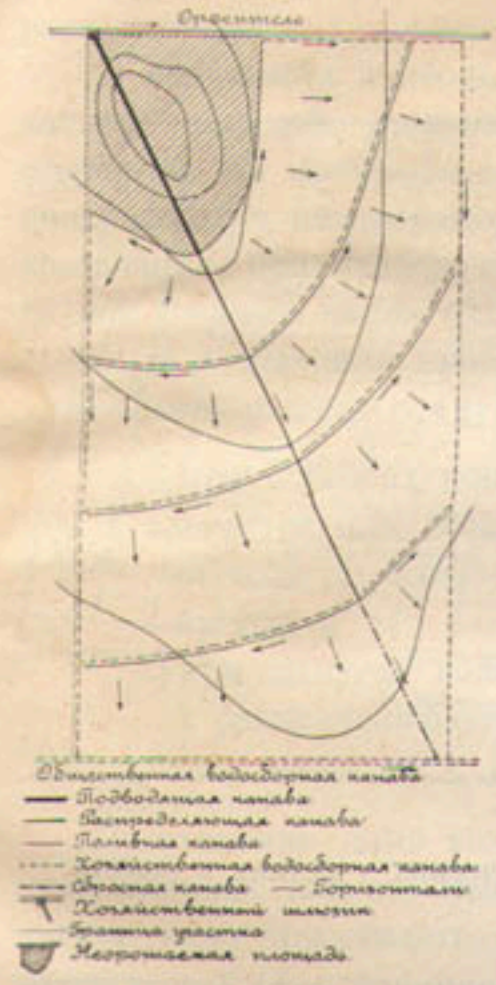


Черт. 220 а и б. Разбивка мельчайшей сети на поселенческом участке при наличии водораздела.

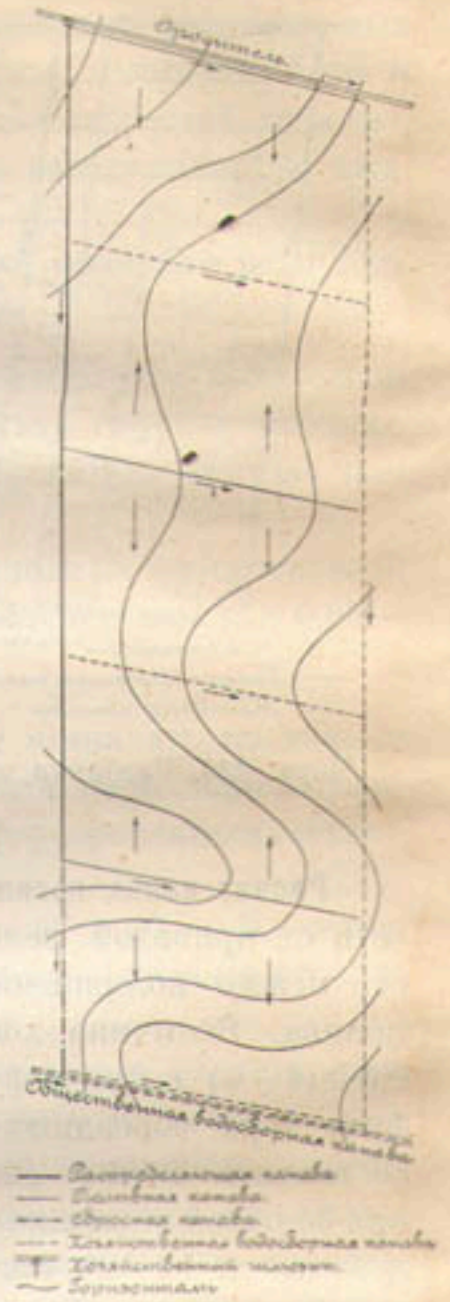
На практике, при разбивке сети, приходится встречаться с различными условиями микрорельефа в разных частях одного и того же участка; поэтому в пределах участка могут встречаться различные схемы разбивки, с различными их комбинациями и видоизменениями, особенно, если принять во внимание, что в действительности участки зачастую, например, при холмистых рельефах, будут иметь форму неправильных очертаний, а не прямоугольную. Может быть и иное решение вопроса, когда приходится подгонять микрорельеф под построенную поливную сеть и производить планировку местности.

Масштаб плана, требующийся для разбивки мельчайшей сети. В целях составления проекта оросительной сети требуется иметь, как мы видели выше, план местности в масштабе 100 метр. в сантим. с горизонталями через 0,20 метра.

Для трассирования мельчайшей сети нужна более детальная съемка, так как высотные изменения в пределах 0,20 метра могут оказать существенное влияние на разбивку сети. Поэтому для окончательной разбивки сети желательно иметь съемку через 0,10 метра и план в масштабе 25 метров в сантиметре. Американцы в этих целях делают съемку через 0,15 метра. Однако, при съемке плана следует иметь в виду следующие соображения. При первоначальной замочке девственной почвы происходят значительные и неравномерные изменения микрорельефа, зависящие от характера почвы и от процессов, связанных с почвообразованием. Тяжелая глинистая почва может не дать никакой осадки и даже, наоборот, может выпучиться, тогда как рыхлая лессовая почва может заметно осесть. Особенно большое влияние на изменение микрорельефа могут оказать термитники, для которых, по наблюдениям Н. А. Димо, осадка верхнего метра почвы после полива достигает 0,10—0,20 метра.



Черт. 221. Разбивка мельчайшей сети на поселенческом участке при наличии водораздела.



Черт. 222. Разбивка мельчайшей сети на поселенческом участке в волнистой местности.

Поэтому детальная съемка участка до его предварительной замочки не представляется рациональной, и более целесообразно — до замочки участка пользоваться имеющейся съемкой, а детальную съемку производить только после замочки участка и окончательного изменения его микрорельефа. Первоначальная разбивка сети будет при этом произведена по плану с горизонталями через 0,20 метр., а окончательное выправление сети после замочки участка по плану с горизонталями — через 0,10 метра.

Мельчайшая сеть строится самими водопользователями и зачастую проводится не только без такого подробного плана, но и без всякого плана; после первоначальной замочки участка, когда сама вода покажет все детали рельефа, производят соответствующие исправления сети. Результаты

зачастую получаются весьма неудовлетворительные, сеть приходится по нескольку раз переделывать, в связи с чем земледельцу приходится нести затраты, значительно превосходящие расходы, связанные с подробной съемкой своего участка.

Черт. 223. Разбивка мельчайшей сети на 7 поселенческих участках в ровной местности (полив чеками).

Расчет канав поливной сети. Расходы канав поливной сети будут зависеть от принятой величины хозяйственного расхода и от распределения его между поливными канавами, что зависит в свою очередь от способа полива. Величина хозяйственного расхода колеблется обычно в пределах 0,5—(4—6) секундо-фут, величины мельчайшего тока от долей секундо-фута (при бороздных поливах) до 1—2 секундо-фут (исключение могут составлять полив „напуском полосами" и „затопляемыми площадками" при большой величине последних, при которых иногда хозяйственный расход доходит до 16—20 секундо-фут, а мельчайший ток—до 4—5 секундо-фут).

В указанных довольно широких пределах будет находиться и требующаяся пропускная способность канав поливной сети.

Когда величины хозяйственного расхода и поливных токов выяснены, определение пропускной способности отдельных канав поливной сети производится следующим образом.

Если на данном участке имеются подводящие канавы, то их пропускная способность, очевидно, должна быть равна величине хозяйственного тока.

Распределяющие канавы получают из оросителей или подводящих канав хозяйственный расход и распределяют его между двумя или более поливными канавами, либо могут передавать весь этот расход в одну поливную канаву. Это будет зависеть от того, какие культуры и на каких „полях" должны получить воду в данный полив, от величины „полей", обслуживаемых отдельными поливными канавами и других соображений.

Следовательно, распределяющая канава должна пропускать хозяйственный расход либо на всей своей длине, либо на значительной ее части, а поливные канавы — либо весь хозяйственный расход, либо величину в 2—3 раза меньшую.

В отношении наибольших допускаемых скоростей можно руководствоваться таблицей, приведенной на стр. 424. Что касается минимальных скоростей, то, принимая во внимание характер работы поливной сети и почти полную невозможность обеспечения незаиляющих скоростей, от этого требования приходится отказываться и считаться с необходимостью ежегодной очистки канав от наносов.

При назначении проектных горизонтов в канавах поливной сети следует иметь в виду следующие соображения:

1) при способах полива, предусматривающих затопление поля слоем текучей или стоячей воды—следует обеспечить глубину такового от 0,04 до 0,10—0,15 метр. (при поливах бороздных этого не требуется) и
2) при выпуске воды из поливных канав на поле и из оросителей в распределяющие канавы должен быть обеспечен напор в 0,05—0,10 метр.

Превышение дамб над горизонтом воды следует назначать по тем же соображениям, как это изложено в главе XIII. Запас над нормальным горизонтом надо предвидеть около 0,20 метра и над форсированным можно принять в 0,10 метра.

Ширина дамб по верху может быть взята около 0,20—0,30 метра, внутренние откосы $1^1/_2$:1 до 1:1, внешние же откосы назначаются из условий фильтрации, как об этом указывалось выше.

Глубина канав назначается из условий гидравлического расчета, при чем минимальное наполнение не следует брать меньше 0,20 метра.

Коэффициент шероховатости, считаясь с краткими периодами работы поливных канав и более грубым их исполнением, чем оросителей, можно предвидеть не менее 0,025—0,030. Однако, проверки должны быть произведены и в предвидении возможности, в силу каких-либо причин, уменьшения шероховатости до 0,017—0,020.

В главе XIII приведены типы сечений канав поливной сети, применяющиеся в американской практике.

Водосборная хозяйственная сеть. Водосборная хозяйственная сеть имеет своим назначением собирать воду, неиспользованную почвой во время полива и стекающую к пониженным местам поливаемых площадок. Так как полное усвоение всей поливной воды возможно только в порядке исключения и поверхностный сток будет всегда иметь место, то и устройство хозяйственной водосборной сети является совершенно необходимым. На практике в примитивных хозяйствах водосборная сеть нередко отсутствует и в таких случаях наблюдается заливание дорог, соседних участков и пр.

Без устройства водосборной сети совершенно невозможна промывка солонцов.

Надобность в хозяйственных водосборах может отпасть только при очень совершенных способах полива, например, дождевание и подпочвенное орошение, когда вся вода используется целиком на полях.

Водосборная сеть не имеет назначением полное дренирование полевых участков и, в случае необходимости такового, дренажную сеть следует предвидеть особо. Надобности в гидравлическом расчете водосборных хозяйственных канав практически нет, так как при минимальной глубине их в 0,50 метр. и минимальной ширине их по дну—0,20 метр. пропускная способность их получается с достаточным запасом. Необходимо, конечно, чтобы был обеспечен соответствующий уклон канав.

Откосы не должны быть слишком крутыми, так как в этом случае возможны обвалы их и образование подпруд, препятствующих стоку и нарушающих правильную работу канав. В зависимости от грунта откосы могут колебаться от 1:1 до 2:1.

Сбросная хозяйственная сеть. Роль сбросной сети на участках водопользования чисто хозяйственная,—сбрасывать в водосборную сеть из распределительных и поливных канав остатки воды, не могущие быть использованными для поливов.

Действительно, благодаря работе с подпертыми горизонтами известное количество воды, занимающее нижнюю часть сечения канав, является мертвым запасом, а, кроме того, в случае неполного разбора по каким-либо причинам воды из распределяющих канав, в них могут получиться излишки, ненужные для целей орошения и подлежащие сбросу.

Таким образом желательно чтобы все распределяющие и поливные канавы не заканчивались тупиком, а имели выход в водосборную сеть.

Удельные цифры работ по устройству мельчайшей сети. В виду скудости материалов в литературе по означенным вопросам, мы вынуждены ограничиться приведением лишь в качестве примеров данных, полученных при разработке проекта мельчайшей сети в проекте орошения Голодной Степи, а также результатов обследований, произведенных на существующих хозяйствах в Голодной Степи в период 1915—1916 гг. (Работы агронома К. М. Зубрика).

Проектные данные приводятся для равнинного и холмистого рельефов.

Результаты обследований мельчайшей сети в Голодной Степи 1915—1916 гг. Сеть строилась поселенцами без всяких съемок, в результате чего ее приходилось по нескольку раз переделывать и исправлять (в связи с этим увеличивалась поливаемая самотеком площадь, т. е. возрастал коэффициент земельного использования).

Количество земляных работ, приходящееся на одну десятину, при этом получалось, примерно, вдвое большим, чем по проектным исчислениям (см. таблицы 54 и 55), хотя удельная длина водосборной хозяйственной

ТАБЛИЦА 54

характеризующих данных для мельчайшей сети, согласно материалов проекта орошения Голодной Степи.

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ.	Равнинный рельеф		Холмистый рельеф.		Примечание.
		в десятинах.	в % %	в десятинах.	в % %	
1	Валовая площадь надела в контуре	10,5	100	9,77	100	В обоих случаях цифры приведены для полива затопляемыми площадками.
2	Площадь под общественными канавами и дорогами	0,8	7,62	0,85	8,7	
3	Действительно орошаемая площадь наделов	9,70	92,38	8,92	91,3	
4	Коэффициент земельного использования, не включая мельчайшей сети	0,924		0,913		
5	Площадь под канавами поливной сети	0,255	2,43	0,326	3,33	
6	" " водосборными канавами	0,286	2,72	0,296	3,03	
7	" " оросительными валиками	0,128	1,22	0,130	1,32	
8	" " постройками и дворами	0,141	1,34	0,168	1,72	
9	" " действительно обрабатываемая ...	8,89	84,7	8,09	81,9	
10	Коэффициент земельного использования, включая мельчайшую сеть	0,847		0,819		
11	Удельная длина $\left(\frac{\text{общая длина}}{\text{валов. площ. орош.}}\right)$ канав поливной сети	пог. саж. 58,4		пог. саж. 79,1		
12	Удельная длина канав водосборной хозяйственной сети	пог. саж. 49,6		пог. саж. 61,6		
13	Удельная длина оросительных валиков	пог. саж. 88,5		пог. саж. 93,6		
14	Объем земляных работ по мельчайшей сети на десятину валовой площади (удельный объем земляных работ):	куб. саж.		куб. саж.		
	а) насыпи	11,30		10,79		
	б) выемки	6,68		6,52		
	Всего	17,98		17,31		

сети на обследованных участках имела длину более, чем вдвое меньшую, чем по проекту (на многих участках водосборной сети не было и вовсе). Наоборот, удельная длина канав поливной сети, а также удельный объем земляных работ, по проекту получалась значительно меньше, чем на обследовавшихся хозяйствах (58,4 и 79,1 саж., против 108,5 саж. и соответственно 17,98 и 17,31 куб. саж. против 27,95 куб. саж.). Так как в проекте разобраны два крайних условия рельефа Голодной Степи—равнинный и холмистый, обнимающие собой и условия существующих голодностепских хозяйств, то выявленная экономия в длине канав сети и в кубатуре земляных работ должна быть отнесена за счет рационализации в проектировании и устройстве сети.

Канавы поливной сети на обследовавшихся хозяйствах далеко не всегда обеспечены достаточным уклоном; зачастую они проведены параллельно поверхности земли и имеют участки даже с обратным уклоном.

Таблица

характеризующих данных для переселенческих

Наименование участков. / Наименование характеризующих данных.	Участок № 28.		Участок № 31.		Участок № 53.		Участок № 169.	
	Десят.	%	Десят.	%	Десят.	%	Десят.	%
Валовая площадь участка	10,40	100	9,90	100	11,98	100	9,50	100
Площадь под усадьбой и дорогами	0,05	0,48	0,17	1,71	0,42	3,53	0,26	2,14
Площадь неороспаемая: бугры и солончаки	0,51	4,22	0,75	7,59	8,73	72,84	1,74	18,37
Орошаемая площадь наделов	9,84	94,60	8,98	90,70	2,83	23,63	7,50	78,86
Площадь под канавами поливной сети	0,79	7,56	1,18	11,90	1,02	8,54	0,90	9,46
Площадь под канавами хозяйственной водосборной сети	—	—	—	—	—	—	—	—
Площадь под оросительными валиками	0,20	1,91	0,19	1,93	0,12	1,00	0,20	2,09
Площадь действительно обрабатываемая	8,85	85,10	7,61	76,87	1,69	14,09	6,40	67,46
Удельная длина $\left(\frac{\text{об. дл.}}{\text{вал. пл.}}\right)$ канав поливной сети . . . . . п. с.	110,10	—	150,40	—	143,24	—	133,05	—
Удельная длина канав хозяйственной водосборной сети . . . . . п. с.	—	—	—	—	—	—	—	—
Удельная длина оросительных валиков п. с.	131,25	—	181,41	—	121,54	—	143,47	—
Объем земляных работ на десятину валовой площади:								
а) канавы поливной сети: насыпь. к. с.	19,74	—	30,18	—	11,34	—	19,28	—
выемка. к. с.	7,48	—	8,45	—	7,22	—	9,02	—
б) хозяйственные водосборные канавы: выемка. к. с.	—	—	—	—	—	—	—	—
в) оросительные валики: насыпь. к. с.	2,62	—	3,43	—	1,11	—	5,19	—
Всего удельный объем земляных работ:								
насыпь. к. с.	22,36	—	33,66	—	12,46	—	24,47	—
выемка. к. с.	7,48	—	8,45	—	7,22	—	9,02	—
Стоимость устройства мельчайшей сети на 1 десятину	28,56	—	—	—	39,82	—	36,00	—
Максимальный уклон канав	0,0013	—	0,0003	—	Парал. поверх земли.	—	—	—
Минимальный уклон канав	—0,0008	—	—0,0006	—		—	—	—
Ежегодные эксплоатационные расходы (чистка, обкашивание, ремонт дамб, валиков и пр.)	10—14 раб. дней	—	60 раб. дней	—	30 раб. дней	—	—	—
Площадь поливной площадки, в десятинах	0,018	—	0,009	—	0,011	—	0,012	—

ц а 55

участков в Северо-Восточной части Голодной Степи.

Участок № 170.		Участок № 205.		Участок № 207.		Участок № 73.		Участок № 37.		В среднем.		Примечание.
Десят.	%	Десят.	%	Десят.	%	Десят.	%	Десят.	%	Десят.	%	
8,16	100	8,16	100	8,16	100	9,18	100	9,69	100	9,46	100	
0,07	0,87	0,10	1,22	0,25	3,06	0,97	10,57	0,46	4,75	0,31	3,27	
—	—	—	—	—	—	—	—	0,70	7,23	1,38	14,58	
8,09	99,13	8,06	98,78	7,91	96,94	8,21	89,43	8,53	88,02	7,77	82,15	
0,65	8,00	0,51	6,27	0,41	5,01	0,51	5,5	1,06	10,92	0,78	8,12	
—	—	0,10	1,27	0,11	1,31	0,15	1,6	1,26	13,00	0,18	1,91	
0,24	2,88	0,15	1,87	0,20	2,39	0,20	2,21	—	—	0,17	1,81	
7,20	88,30	7,30	89,38	7,19	88,23	7,35	8,02	6,21	64,10	6,64	72,61	
110,91	—	83,58	—	70,71	—	87,15	—	87,82	—	108,55	—	
—	—	28,55	—	26,47	—	20,70	—	156,35	—	25,79	—	
172,79	—	129,29	—	143,63	—	185,73	—	—	—	134,35	—	
15,15	—	15,09	—	14,71	—	7,73	—	23,58	—	17,42	—	
7,90	—	4,93	—	4,81	—	3,77	—	12,62	—	7,35	—	
—	—	1,54	—	2,62	—	1,74	—	41,69	—	5,62	—	
6,05	—	2,36	—	3,88	—	4,29	—	—	—	3,10	—	
21,20	—	17,45	—	18,59	—	12,03	—	23,58	—	20,60	—	
7,90	—	4,93	—	4,81	—	3,77	—	12,62	—	7,35	—	
16,17	—	28,31	—	37,62	—	24,51	—	—	—	—	—	
Парал. поверх. земли.	—	—	—	0,00008	—	0,0009	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	−0,007	—	—	—	—	—	
0,019	—	0,030	—	0,021	—	0,016	—	0,017	—	0,016	—	

Так как для устройства земляных перемычек земля иногда бралась из самих канав, то в последних имеются отдельные ямы и полное опорожнение канав не представляется возможным.

Резервы закладывались зачастую в виде отдельных ям, не имеющих стока, что способствовало заболачиванию и засолению участков и уменьшало площадь земли, используемой под культуры.

Водосборная сеть на многих участках отсутствовала вовсе и вода сбрасывалась на дороги, соседние участки, усадьбы и проч., образуя иногда целые озера. Сооружения при впуске водосборных хозяйственных канав в водосборную сеть общего пользования отсутствовали и благодаря перепадам в этих местах везде получились размывы, что привело и самих крестьян к мысли о необходимости устройства соответствующих сооружений.

Недостаточное количество мостиков являлось причиной переезда через канавы, что портило их и способствовало их заилению.

В тех случаях, когда от земляных перемычек и от примитивных способов питания канав путем разрывания дамбочек переходили к устройству деревянных сооружений, не только получалась экономия в труде и увеличение прочности канав, но и уменьшалась стоимость очистки таковых. Вышесказанное приводит к мысли о желательности технической помощи поселенцам при проведении мельчайшей сети и подтверждает рациональность мысли, возникшей при составлении проекта орошения Голодной Степи, об организации технических контор, которые на основах хозрасчета могли бы оказывать помощь поселенцам. В круг их деятельности должны были бы входить не только составление проекта сети и постройка ее, но и производство пробного полива с устранением дефектов сети, выявляющихся после полива, благодаря неравномерности осадки почвы.

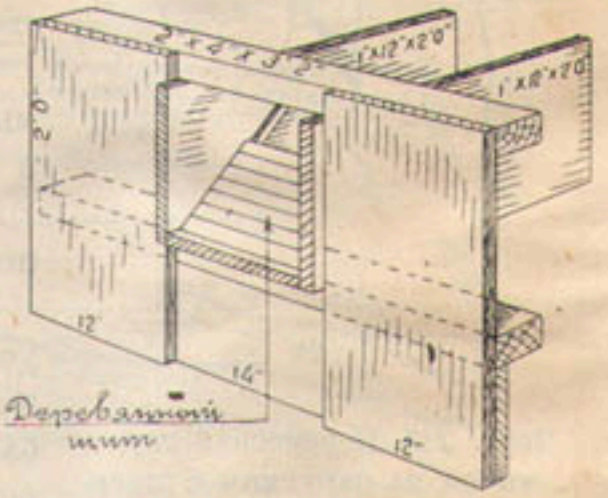
Может быть, не лишним будет здесь отметить еще одно обстоятельство, выявившееся при обследовании и касающееся порядка колонизации вновь орошаемых районов внутри единицы водопользования. Дело в том, что целинные почвы требуют для первоначальных поливов токов большей мощности, так как девственные почвы жадно впитывают воду и малыми токами ее трудно догнать до конца поливаемой площадки. Чтобы иметь возможность осуществить это на практике, желательно, поэтому, чтобы заселение в пределах данной единицы водопользования не производилось единовременно, а шло последовательно из года в год; в этом случае можно в первые годы предоставить в распоряжение хозяина мощные токи воды и этим значительно облегчить операцию полива вновь орошаемых земель.

Сооружения на мельчайшей сети. Головные шлюзики устраиваются для выпуска воды из оросителей в подводящую или распределяющую канаву; если из оросителя одновременно питается несколько хозяйств, то основное требование к ним заключается в том, чтобы они в открытом состоянии, по возможности, имели автоматическое регулирование и пропускали хозяйственный расход.

Если в каждый данный момент вода из оросителя поступает только на одно хозяйство, автоматического регулирования не требуется и конструкция их может быть проще.

Однако, головной шлюзик хозяйства, стоящий на общественном оросителе или отводе, должен быть достаточно солидным и конструктивным, чтобы во первых, при открытом состоянии забирать свободно всю потребную воду, а при закрытии давать минимум фильтрации и, в третьих, должен быть контролируем и запираем.

Хозяйственные шлюзики употребляются в голове поливных канав для регулирования расхода или для полного преграждения прохода воды в данную поливную канаву; они работают только во время полива и устраиваются более простого типа. Пример возможной конструкции приведен на черт. 224.



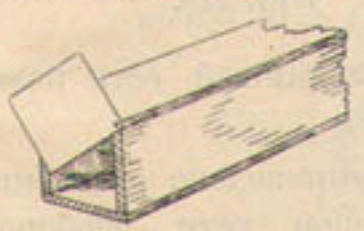
Черт. 224. Деревянный хозяйственный шлюзик со щитом.

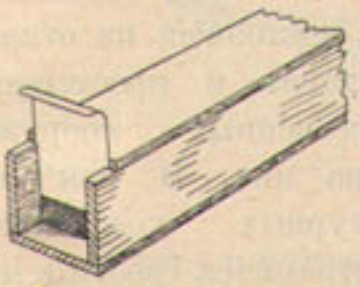
Выпуски служат для подачи воды из поливных канав на орошаемое поле. В более совершенных хозяйствах они представляют бетонные или деревянные трубки (черт. 225—226) в примитивных хозяйствах вода выпускается на поле путем разрытия дамбочек поливных канав (фот III).

Перепады устраиваются на канавах хозяйственной сети, для преодоления уклона местности, если последний чрезмерно велик и возможен размыв грунта.

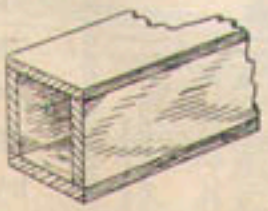
Поперечные преграждения устраиваются на распределяющих канавах с целью регулировки и подъема горизонта воды в них до высоты, требующейся для питания вышележащих поливных канав.

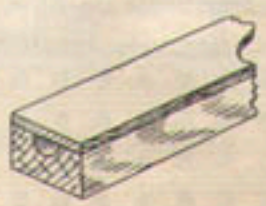
Там, где на распределяющих канавах требуется устройство перепадов, последними обычно пользуются так же как поперечными преграждениями.

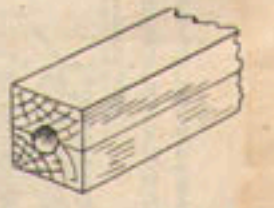




Черт. 225. Поливные выпуски.





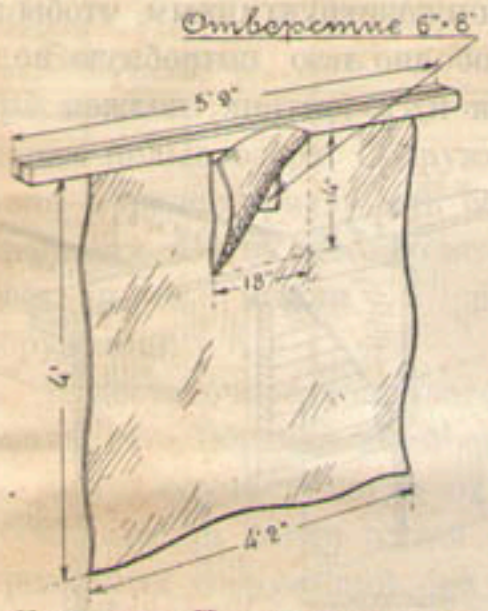


Черт. 226. Поливные выпуски для питания борозд.

Перемычки ставятся на поливных канавах в целях их преграждения в том месте, где вода выпускается на поливную площадку. С этой целью в благоустроенных хозяйствах применяют легкие переносные перемычки из железа, дерева, парусины, в хозяйствах примитивных устран-

вают земляные перемычки, которые по миновании надобности вновь разрывают.

На черт. 227 показана переносная перемычка из парусины с отверстием для деления расхода, необходимым в тех случаях, когда полив производится в нескольких местах поливной канавы. При установке ее деревянный брус кладется на дамбочки поливных канав, а парусина растягивается вверх по течению и свободный конец ее и бока загружаются землей.

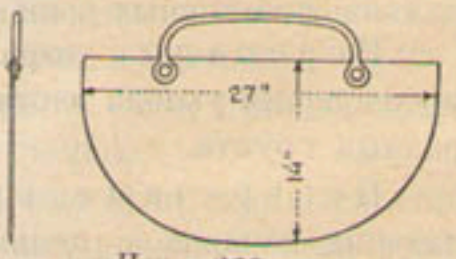


Черт. 227. Переносная перемычка из парусины с отверстиями.

На черт. 228 показана переносная перемычка в виде железного щита, втыкаемого в дно и откосы канав.

Размеры перемычек должны быть, конечно, сообразованы с размерами канав.

Концевые лотки или выпуски устраиваются в местах впадения канав поливной сети в водосборы, при впадении менее глубоких водосборных канав хозяйственной сети в водосборы общественного пользования, т. е. там, где получается разность в отметках дна соединяющихся друг с другом канав; они устраиваются в виде отмостки дна и откосов соединяющихся канав, в виде бетонной облицовки и проч.

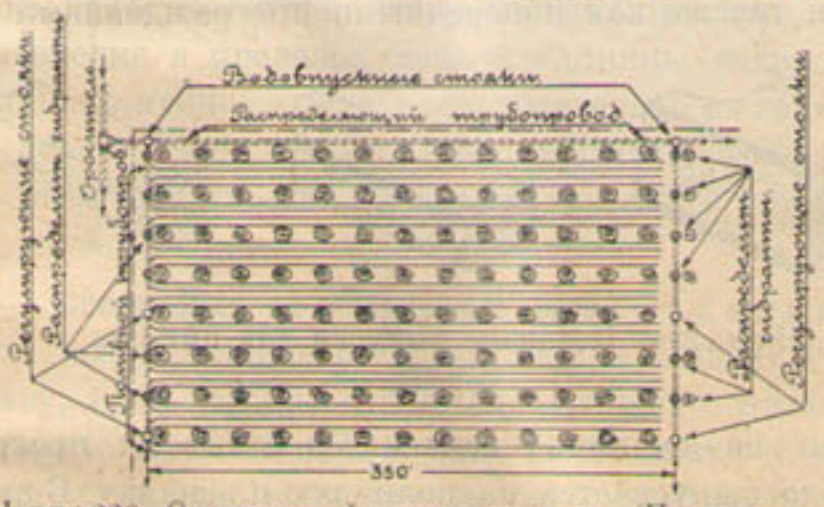


Черт. 228.

Мосты и трубы на канавах мельчайшей сети устраиваются для возможности передвижения по участку и их приходится относить к сооружениям мельчайшей сети, так как необходимость их вызывается наличием последней; по конструкции они должны быть легкими и недорогими.

(Подробно об искусственных сооружениях на мельчайшей сети излагается в курсе „Гидротехнических сооружений“).

Поливная сеть из трубопроводов. Выше было приведено описание поливной сети обычного типа, состоящей из открытых канав и простейших искусственных сооружений на них. В наиболее культурных хозяйствах, где стремятся свести к минимуму потери воды в мельчайшей сети, для распределения воды в пределах хозяйств применяются закрытые трубопроводы из бетона, клепанного же-

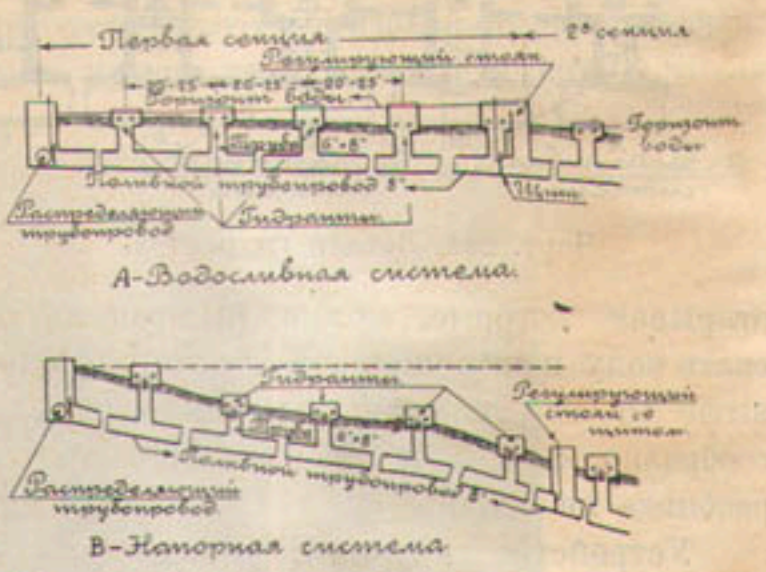


Черт. 229. Орошение фруктового сада. (Поливная сеть из подземных напорных трубопроводов, питающих полевые борозды).

леза, чугуна или дерева, при наличии коих потери воды при передаче ее в пределах поливного хозяйства почти совершенно уничтожаются.

Вместе с тем при этом создается maximum свободы при вспашке и обработке, повышается коэффициент полезного использования земельной площади и операция полива делается легкой и свободно управляемой.

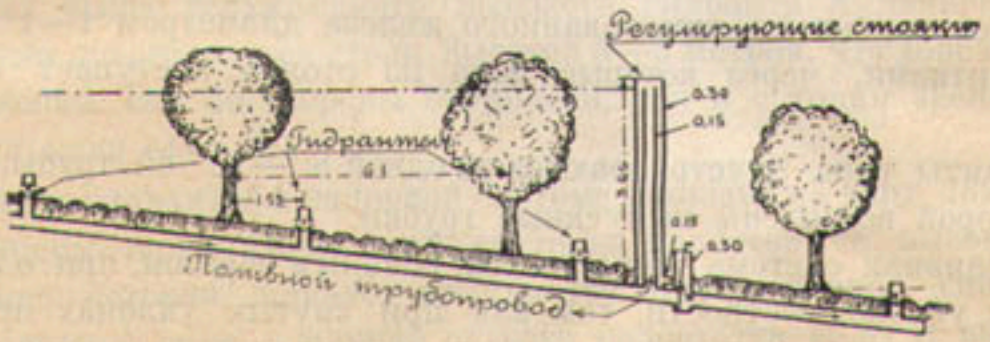
Поливная сеть из трубопроводов, благодаря высокой стоимости первоначального устройства, получила сравнительно небольшое распространение и применяется в некоторых штатах Северной Америки, главным образом, в Калифорнии, и в несколько меньшей степени в штатах Вашингтон и Айдаго в условиях высоко рентабельных культур, с одной стороны, и острого недостатка в воде,—с другой.



Черт. 230. Поливная сеть из подземных напорных трубопроводов.

Поливная сеть в виде трубопровода состоит из следующих элементов (черт. 229, 230, 231, 232):

1) распределяющий трубопровод, передающий воду из оросителя в поливной трубопровод; назначение его таково же, как и распределяющих канав в обычной сети;
2) поливной трубопровод, работа коего аналогична таковой для поливных канав;
3) гидранты (черт. 232), посредством коих вода из поливного трубопровода передается в борозды, в шланги и проч.; они заменяют выпуски в случае поливных канав обычного типа;



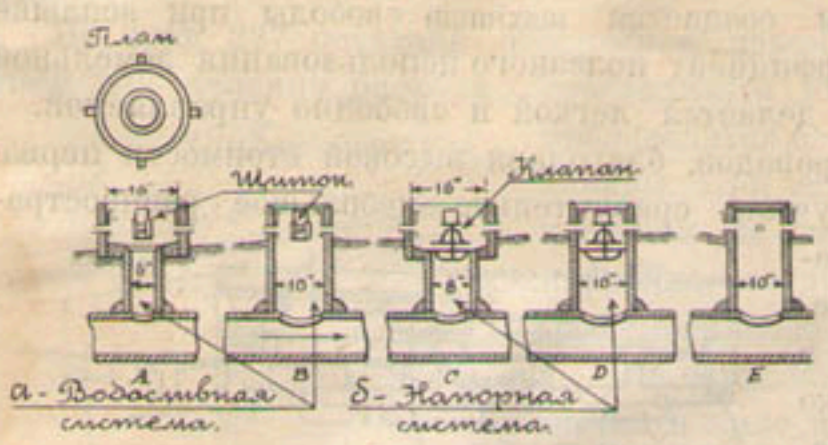
Черт. 231. Орошение подземными трубами.

4) регулирующие стояки, разделяющие трубопровод на ряд секций, в каждой из коих поддерживается одинаковое давление или подпирается вода до определенного горизонта (черт. 233).

Трубопроводы укладываются в траншеи на глубине не менее одного фута с тем, чтобы избежать повреждения их во время обработки поля.

По способу устройства стояков и регулирования протекания воды в трубах различают системы водосливную и напорную.

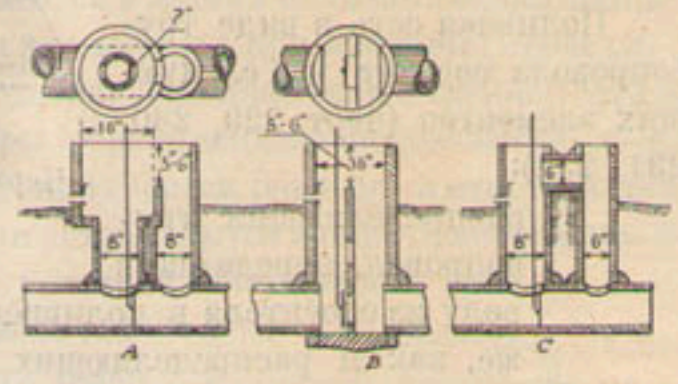
В водосливной системе (черт. 230 А) поливной трубопровод разделяется регулирующими стояками на ряд секций, в каждой из которых вода подпирается до определенного уровня.



Черт. 232. Детали гидрантов.

Регулирующий стояк имеет водосливное устройство (черт. 231 и 233), посредством которого уровень воды в секции подпирается до требующегося горизонта. В нижней части стояков имеются отверстия, открывая которые, можно прекращать орошение данной секции и спускать воду в нижележащие секции. Гидранты обыкновенно не делаются выше 16" над поверхностью земли, сообразно с чем и производится разбивка на секции.

Устройство гидрантов в водосливной системе показано на черт. 232 А и В; тип А состоит из 6—8" трубы, поставленной вертикально и перекрывающей 6—8" отверстие в поливном трубопроводе. Соединение между ними делается на жирном цементном растворе составом 1 : 2. К верхнему концу трубы около поверхности земли присоединяется отрезок 16"-ой трубы от 6" до 18" высотой и дно между обеими трубами заливается цементным раствором. По окружности 16"-ой трубы вставляются трубки из оцинкованного железа диаметром 1—1¹/₂", закрываемые щитками, через которые вода из стояка поступает на поле в борозды.



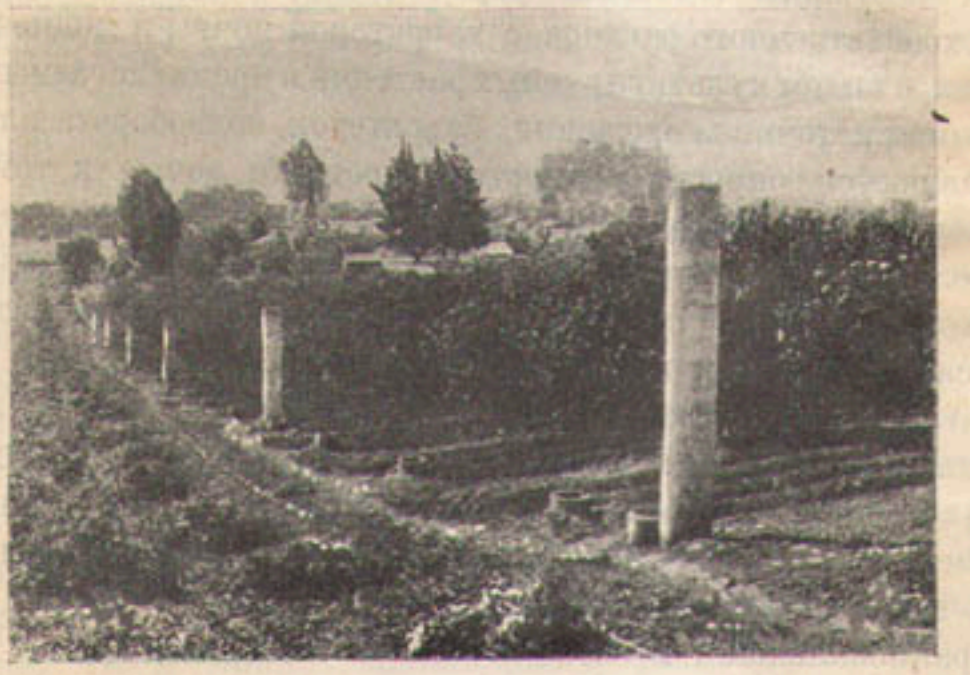
Черт. 233. Типы регулирующих стояков.

Гидранты типа В устраиваются из одной 8"—12"-ой трубы, в верхней части которой вставлены выпускные трубки.

Водосливная система применяется, главным образом, при однообразном и пологом уклоне местности, так как при крутых уклонах пришлось бы располагать регулирующие стояки слишком часто, что имело бы следствием удорожание системы.

В местностях с крутыми или неравномерными уклонами, а также в случаях, если распределительная линия пересекает ряд котловин, применяется напорная система (черт. 230 Б), в которой в отдельных секциях поддерживается одинаковое давление воды, не превосходящее безопасного для трубы значения. Так как вода в трубопроводе находится под напором, то регулирование притока воды в гидранты достигается специальными клапанами, и они возвышаются над поверхностью земли

лишь постольку, поскольку это необходимо для размещения выпускных трубок и клапанов. Регулирующие стояки располагаются обыкновенно с таким расчетом, чтобы длина отдельных секций не превосходила бы 150—180 метров, а напор в них был не больше 4—5 метров. Регулирующие стояки закрываются щитом, помещаемым с верховой стороны стояка, и вода стремится отжать щит и профильтроваться вниз. Для уменьшения фильтрации применяются специальные приспособления, прижимающие щиты к пазам, или же щит устраивают с низовой стороны стояка; в последнем случае, однако, стояк нужно делать такой высоты, чтобы



Фот. V. Орошение трубами. Линия распределительных гидрантов и регулирующих стояков; из гидрантов через отверстие в них вода поступает в борозды, видные с правой стороны от линии трубопроводов. Farmer's Bulletin, № 906.

верх его был выше верха самого высокого гидранта в данной секции; при этом может потребоваться стояк высотой 3—5 метров, что конечно, вызывает возражения как со стороны стоимости, так и с точки зрения загромождаемости поля (фот. V).

Устройство гидрантов в напорной системе показано на черт. 232 С, Д и Е.

Главнейшим недостатком этой системы является ее высокая стоимость, взамен которой, однако, получается почти полное уничтожение потерь в поливной сети; в случае острого недостатка воды и высоко рентабельных культур, применение поливной сети из трубопроводов может оказаться экономически выгодным.

Способы полива.

Общее. Операция полива должна быть произведена таким образом, чтобы почва на всей площади поливаемого поля получила равномерное увлажнение в количестве, соответствующем установлению в ней влажности практической капиллярности, чтобы вода, доставленная к границе поля,

была использована внутри его с минимумом непроизводительных потерь (испарение, сброс, фильтрация ниже корневой зоны), и чтобы самый полив оказывал наименьшее уплотняющее влияние на почву.

В целях более полного использования оросительной воды, способ полива и его отдельные элементы должны соответствовать как комплексу естественно-исторических факторов, характеризующих орошаемый участок, так и тем бытовым и хозяйственным условиям жизни, какие имеются в наличии или предполагаются после устройства орошения.

Способы полива и отдельные их элементы должны быть сообразованы с рельефом местности и общим характером состояния ее поверхности, с величиной хозяйственного расхода, с характером почвы и подпочвы орошаемого участка, с видом культивируемых растений и предполагаемым севооборотом, с режимом источника орошения, характером водооборота и проч.; далее, сюда прибавляются вопросы стоимости подготовки почвы к тому или другому способу полива, характер исполняемых при этом работ, т. е., имеют ли они длительное значение или являются только временными, требующими повторения в следующий оросительный сезон, продолжительность и стоимость самой операции полива, количество требующейся для этого рабочей силы и проч. Большое значение может иметь и привычка населения к производству полива тем или иным способом, или, наоборот, незнакомство его с искусственным орошением, так как в этом случае, конечно, легче приучить земледельцев к наиболее рациональному способу полива; однако, далеко не всегда принятые населением способы полива будут вместе с тем наиболее рациональными и экономическими.

Для окончательного решения вопроса о преимуществе одних способов полива перед другими потребуется также сопоставить, с одной стороны, величины и стоимости продукции, получающиеся при различных способах полива, с затратами по устройству поливной сети и производству поливов, и с количеством израсходованной оросительной воды; эти сравнения дадут нам возможность судить как о рентабельности полива, так и о „степени полезного использования оросительной воды" и позволят вывести заключение о том, насколько удачно выбран способ полива и не следует ли его заменить другим, более подходящим для данных естественно-исторических условий.

> Решение этих вопросов, конечно, относится к ведению опытных станций, учреждение и существование каковых во всяком орошаемом районе является насущной необходимостью.

Земледельцы в практической жизни лишены, однако, возможности так точно и подробно расценивать выгоды от способа полива, тем более, что в одних и тех же условиях достаточно благоприятные результаты могут получаться при нескольких способах полива. Узнавая постепенно мельчайшие особенности своего участка и переходя к более культурному хозяйству, земледелец, сообразуясь со своими силами и указаниями опытных станций, может постепенно совершенствовать операции полива, переходя

от более простых, дешевых способов полива ко все более и более совершенным.

Общая характеристика различных способов полива. Существует довольно значительное количество способов увлажнения почвы, имеющих более или менее широкое распространение, которые, однако, можно разделить на две основные группы.

В первую группу мы отнесем те способы полива, при которых тем или иным способом производится сплошное затопление всей орошаемой площадки небольшим слоем воды. При этом вода будет либо стекать от верхнего конца площадки к нижнему, производя на своем пути увлажнение почвы, либо, будучи задерживаема невысокими валиками, окаймляющими орошаемую площадку, она будет покрывать ее, образуя небольшие, мелкие водохранилища; из них вода будет частью впитываться в почву, увлажняя ее, частью будет теряться на испарение в атмосферу. Увлажнение почвы происходит в обоих указанных случаях движением воды сверху вниз под действием, главным образом, силы тяжести. Эту группу мы назовем „группой затопления"; в нее будут входить различные разновидности полива напуском, затопляемыми площадками и т. п.

При способах полива второй группы, сплошного затопления площадок не производится, а увлажнение достигается при протекании воды по мелким, но часто расположенным канавкам. В этом случае увлажнение совершается, главным образом, капиллярным движением воды снизу вверх и в стороны от канавок, сообразно чему и расстояния между ними выбираются таким образом, чтобы линии капиллярного распространения влаги из соседних канавок пересекались друг с другом, дабы на орошаемой площадке не оставалось неувлажненных мест.

Вне этих двух основных групп, предусматривающих наиболее распространенные способы полива, отдельно можно поставить увлажнение дождеванием и подпочвенное орошение. При дождевании, как это видно из названия, вода подается на орошаемую площадку в виде искусственного дождя, а при подпочвенном орошении увлажнение производится из напорных труб с водопроницаемыми стыками, из которых увлажнение производится исключительно капиллярно передвигающейся в почве влагой. Однако, эти способы дороги, а последний—подпочвенное орошение—может с выгодой применяться только при соответствующем характере подпочвы; они имеют до сих пор ограниченное распространение.

Успехи, достигнутые в самые последние годы в усовершенствовании техники дождевания и уменьшения стоимости дождевательных устройств, в связи с широкими перспективами, открываемыми этим способом, дают основание полагать, что в недалеком будущем дождевание должно найти себе более широкое распространение.

Выбор способа полива и его отдельных элементов. Из длинного ряда факторов, оказывающих влияние на выбор способа полива, наиболее важными являются уклон и состояние поверхности орошаемого участка, величина хозяйственного тока, поступающего в распоряжение земледельца, характер

почвы и подпочвы; в некоторых случаях режим водотока также может существенно повлиять на способ полива (например, лиманное орошение). Наконец, характер культивируемых растений может оказать доминирующее влияние при выборе способа полива, хотя большинство культур дают земледельцу в этом отношении достаточную свободу выбора.

Когда способ полива уже выбран, окончательное согласование его с естественно-историческими условиями орошаемого участка может быть достигнуто изменением величины поливного тока и размеров поливных площадок.

а) Рельеф. Условия рельефа оказывают первенствующее влияние на выбор способа полива и в значительной степени, особенно в крайних пределах, определяют его. При поливах канавками их можно проводить не по линии наибольшего падения местности, а извилисто, с соответствующим для них уклоном, соответственно допустимой без размыва почвы наибольшей скорости протекания в них воды, почему эта группа поливов и может быть применена при крутых уклонах местности до 0,10—0,20. Наоборот, при слабых уклонах местности эта группа поливов неприменима, так как протекание воды в канавках при практически применяющихся величинах поливного тока, 0,01—0,06—0,12 сек. фута будет очень медленное и будет трудно, а иногда и невозможно, догнать воду до конца орошаемой площадки; кроме того, операция полива будет при этом тянуться очень долго.

Поливы группы затопления, наоборот, более соответствуют пологому рельефу местности, 0,001 и менее, до 0,003 – 0,005, а отдельные способы этой группы—свободный напуск—до 0,02. Для крутых уклонов этого рода поливы непригодны, так как при этом будут происходить размывы почв и полив будет сопровождаться большими потерями на поверхностный сток.

Как видно из вышеизложенного, при выборе способа полива приходится, в первую очередь, считаться с рельефом местности, особенно при крайних его значениях; для умеренных уклонов местности возможно с успехом применять поливы как первой, так и второй группы.

б) Хозяйственный ток и дробление его при операции полива на поливные струи. Различные системы полива позволяют земледельцу той же опытности обращаться с большим или меньшим хозяйственным током: так, например, поливы затоплением, делая операции наиболее простыми и дешевыми, допускают применение высоких величин хозяйственного тока; наоборот, поливы канавками требуют более кропотливых манипуляций для распределения воды между многочисленными канавками и потому обычно в этих случаях величина хозяйственного тока получает меньшее значение.

С точки зрения техники полива имеет также значение дробление хозяйственного тока на мельчайшие поливные струи, пропускаемые по отдельным канавкам, площадкам, полосам и пр., на которые разбивается орошаемое поле. Действительно, крайним группам тяжелых глинистых и легких песчаных почв свойственны и предельные значения скорости усвоения влаги почвой, что определяет в свою очередь требующуюся для различных почв продолжительность увлажнения. Проницаемые почвы быстро поглощают влагу, тогда как почвы малопроницаемые требуют продолжительного увлажнения. Соответствие между впитыванием воды в почву и поступлением ее на делянку имеет большое значение в смысле экономного расходования поливной воды.

Если, например, в проницаемых почвах скорость движения воды по делянке будет слишком мала, то большая часть воды просочится ниже корневой зоны и не будет использована растениями; может даже случиться, что воду нельзя будет догнать до конца орошаемой площадки. На практике это выявляется очень рельефно, например, при поливе девственных почв, жадно впитывающих воду первых поливов; в связи с этим для них первое время приходится применять токи большей мощности, чтобы иметь возможность догнать воду до конца площадки. Наоборот, при слабо-проницаемых почвах преувеличенная скорость протекания воды по делянке будет иметь результатом незначительное усвоение влаги почвой и, следовательно, большое количество сбросной воды.

Вместе с тем, скорость протекания воды должна быть сообразована со способностью почвы сопротивляться размыву, сопровождающемуся вымывом из нее полезных солей.

С указанными обстоятельствами приходится считаться земледельцу, когда он ставит себе задачей рационализацию поливов; увеличение, либо уменьшение продолжительности полива при данных условиях и выбранном способе полива может быть достигнуто изменением величины поливного тока (поливной струи).

В различных условиях рельефа скорость при одинаковой величине поливного тока будет различной и потому желательная величина поливного тока будет зависеть также от уклона площадки; она будет изменяться также и для различных почв, более или менее быстро усваивающих воду.

Наконец, на величину поливного тока оказывает влияние „длина пробега воды" от места выпуска ее из поливной канавы до сброса в водосборную канаву в нижней части поля, т. е., иначе говоря, длина орошаемой площадки. Верхние части орошаемого поля, ближе находящиеся к поливной канаве и соприкасающиеся с водой большее время, получаются вообще более увлажненными, чем нижние его части, и, чтобы сгладить разницу в увлажнении,

особенно при длинных площадках, желательно уменьшить время пробега воды, что достигается увеличением поливного тока.

в) Почвенные условия. Способ полива должен быть согласован с почвенными условиями орошаемого участка, так как они определяют характер усвоения и размещения влаги в почве и ее расходования; это особенно резко сказывается для крайних пределов почвенных условий.

Почвам проницаемым, крупно-зернистым, свойственно преимущественно вертикальное распространение влаги при незначительном лишь ее передвижении в стороны; наоборот, в почвах слабо проницаемых, мелко-зернистых, горизонтальное перемещение влаги выражено более резко и достигает больших численных значений, вследствие более высокой капиллярности этих почв.

Поэтому, для первой группы почв более подходящими являются поливы группы затопления, тогда как почвы слабо-проницаемые более соответствуют поливам канавками. В случае почв, имеющих промежуточный характер, может быть применена та или иная группа поливов в зависимости от совокупности остальных факторов.

Отрицательным свойством полива затоплением на тяжелых почвах является склонность последних к сплыванию и спеканию с образованием корки после их высыхания. Это заставляет избегать в этих случаях полива затоплением, так как корка вредно действует на молодые растения и может быть причиной их гибели. С этой точки зрения для тяжелых почв предпочтительным является увлажнение канавками, так как если корка все же и образуется (напр., от атмосферных осадков), то полив будет способствовать размягчению ее и может в некоторых случаях даже парализовать вредное действие ее на растения.

г) Характер культур. Некоторые культуры требуют вполне определенного способа полива и к таковым относится, например, рис, нуждающийся в постоянной, слабо проточной воде, пропашные растения, требующие грядовой культуры и потому соответствующие поливам канавками.

Многие же растения могут культивироваться при разных способах полива и решающее влияние в этом случае оказывают факторы иного рода.

д) Режим источника орошения. Поливы затоплением требуют, вообще говоря, бо́льших оросительных норм, чем поливы канавками, и с этой точки зрения можно сказать, что поливы канавками должны применяться в случае ограниченных запасов воды в источнике орошения, тогда как затопление более подходит к богатым водой источникам орошения.

Режим питающего водотока может оказать в некоторых случаях решающее значение при выборе способа полива, что, например, имеет место в тех случаях, когда весною в течение короткого периода времени в источнике имеется обильное количество воды, а летом, наоборот, в ней испытывается острый недостаток. В этих случаях орошение затоплением, позволяющее по самой технике полива пользоваться большими величинами хозяйственного тока и, следовательно, дающее возможность в течение короткого периода паводка оросить большие площади, может оказаться более подходящим, чем бороздчатые поливы. Крайние примеры такого рода мы видим, например, на нашем Юго-Востоке, где водотоки переполняются весною водой и почти совершенно пересыхают в течение летнего периода; это и послужило причиной распространения в этом районе лиманного орошения, являющегося примером однократного орошения затоплением; такое же явление мы имеем в оросительной практике Египта, использовавшего паводковые воды Нила путем устройства громадных, однократно затопляемых бассейнов.

Выше мы привели ряд руководящих соображений при выборе способа полива. В практике жизни, однако, далеко не всегда можно говорить о выборе способа полива, наиболее соответствующего естественно-историческим условиям орошаемого поля и требованиям максимума экономической выгодности. Не говоря уже о том, что земледелец не располагает для этого всеми необходимыми сведениями о своем участке, ему приходится считаться с силами и средствами своего хозяйства. Молодые поселенцы, например, не обладают большей частью ни достаточными средствами, ни опытом в орошении; поэтому пример соседей, традиции жизни района и средства, находящиеся в распоряжении земледельца, на первое время могут заставить его применять простейшие способы полива. По мере накопления средств и знаний, изучения поливного хозяйства вообще и своего надела в частности, по мере повышения уровня агротехники, земледелец может постепенно переходить к более совершенным способам полива, оборудовать сеть необходимыми искусственными сооружениями и проч.

Работы на поселенческом участке, связанные с его орошением. Когда орошение какого-либо участка совершается впервые, то работы по искусственному увлажнению почвы в порядке их постепенности будут заключаться в следующем:

1) В очистке местности от естественной растительности (кустарников, деревьев и пр.).
2) В первоначальной планировке почвы, исполняемой согласно с находящимися в распоряжении земледельца средствами (нивеллир, уровень, на глаз), для получения достаточно ровных, с однообразным уклоном поверхности, орошаемых площадок, во избе-

жание застоев воды в пониженных местах и недостаточного увлажнения местных повышений рельефа.

3) В первоначальном устройстве мельчайшей сети согласно произведенного земледельцем изучения рельефа своего надела.

4) В пробном поливе участка, выявлении деформаций поверхности земли и требующихся дополнительных работ по планировке участка и переустройству мельчайшей сети.

5) В окончательном выправлении мельчайшей сети и производстве дополнительной планировки участка, согласно тех результатов, которые выявятся после первоначальной замочки.

6) И, наконец, в самом производстве поливов.

Очистка местности от естественной растительности. Характер работ будет зависеть, конечно, главным образом от рода растительности, покрывающей поле, будет ли это тот или иной сорт травяных растений, мелкий или более крупный кустарник, или мелкая древесная растительность. Обычно в районах полупустынь нашего Туркестана, Кавказа и Юго-Востока, где применяется искусственное орошение, мы не встречаем более или менее крупной растительности, удаление которой было бы связано со значительным расходованием труда и денег. Мелкая растительность и кустарник могут быть удалены глубокой вспашкой, удалением отдельных кустов и затем сжиганием их в рядах или кучах. Для освобождения поля от более крупных кустарников иногда пользуются железнодорожными рельсами от 12 до 16 фут. длиной или тяжелыми деревянными брусками, обитыми железом, которые протаскиваются по полю сначала в одном направлении и затем в другом; в некоторых случаях применяют устройство из двух сболченных рельсов, согнутых для усиления действия их в V-образную форму. Лучшим временем для производства этих работ считают морозное время, когда кустарник ломается у самой поверхности земли, после чего остатки растительности могут быть удалены вручную кирками и затем сожжены. В некоторых районах штата Колорадо, Вайоминг и Юта, с целью убить кустарниковую растительность, применяется обильное затопление в течение одного сезона, после чего погибший кустарник легко удаляется или может быть сожжен. Однако, этот способ по многим причинам рекомендовать не приходится.

В некоторых случаях в легких и рыхлых песчаных почвах бывает затруднительно культивировать новые земли, благодаря наличию сильных ветров, которые несут песчаную пыль, засыпают канавы, уносят семена или даже вырывают свежие растения. В таких случаях кустарник вырывают вручную, так как это меньше расстраивает почву, и складывают в рвы через 3—18 метров под прямыми углами к действию ветра, что создает защиту от действия сильных ветров.

Что касается древесной растительности, то она редко достигает сильного развития в районах, предназначенных к искусственному орошению. Ее удаление состоит в рубке деревьев и затем удалении пней; работа

производится различными путями: вручную, пнекорчевателями, применением взрывных работ, сжиганием пней в ямах и проч. Эти работы обычно обходятся довольно дорого и, в случае их необходимости, ложатся крупным накладным расходом на стоимость орошения.

Планировка орошаемых полей. Приготовление достаточно ровной поверхности поля имеет своим назначением создать условия, благоприятные для равномерного увлажнения почвы и для уменьшения бесполезных потерь воды при ее распределении в пределах поливной площадки. Если эта работа будет проделана недостаточно тщательно, то пониженные места получат избыточное количество воды, тогда как повышенные части поля будут увлажнены недостаточным образом; следствием этого явится излишнее расходование поливной воды, пониженные урожаи с недоувлажненных и переувлажненных мест и уменьшение общей урожайности данного участка. Вместе с тем, увеличится стоимость самой операции полива, благодаря большей трудности распределения воды по полю, и в окончательном результате экономия от сокращения планировочных работ будет убыточной для земледельца.

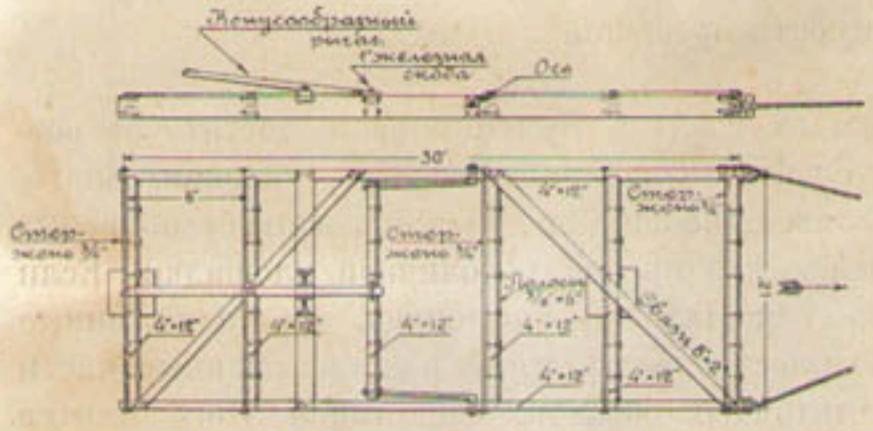
Необыкновенно тщательная разделка туземными земледельцами полей в Туркестане, большое внимание, уделяемое планировке полей американскими фермерами, являются показателем, что земледельцы орошаемых районов хорошо понимают необходимость тщательной планировки и учитывают выгоды, от нее получающиеся.

Характер работ и объем их будут существенно зависеть как от характера почвы, уклона поля и состояния его поверхности, так и от предполагаемого способа полива и выбора отдельных его элементов.

Фот. VI. Постройка валиков скреперами Фресно.
B. A. Etcheverry.

Что касается приспособлений, при помощи которых производится планировка, то они зависят прежде всего от количества работ и от дальности транспортировки. Когда, например, местность состоит из ряда возвышений, более или менее значительной высоты, и землю надо транспортировать сравнительно на большое расстояние, удобно пользоваться скреперами Фресно (конной лопатой), фот. VI, приводимыми в движение конной тягой.

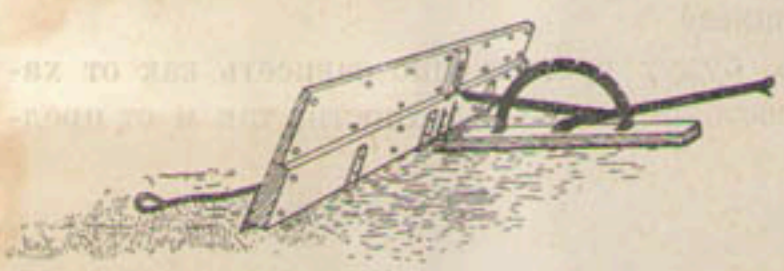
Для предварительной подготовки неровной поверхности поля, связанной со срезкой небольших возвышений, сравнительно равномерно расположенных, при небольшом расстоянии транспортировки, можно с успехом пользоваться волокушей, показанной на черт. 234.



Черт. 234. Прямоугольная волокуша для предварительной планировки поля.

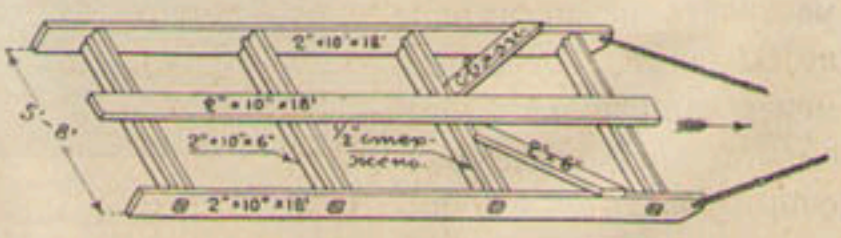
Она состоит из прямоугольной рамы в 30 фут. длиной и 12 фут. шириной и брусьев размером $4'' \times 12''$, поставленных на ребро; в нее вделано шесть поперечных брусков, укрепленных внизу железными полосами $^3/_8'' \times 6''$. Все поперечины, кроме четвертой, считая от головы, укреплены неподвижно в раме. Четвертая поперечина вращается на горизонтальной оси и изменением нажима рычага можно регулировать толщину съема земли. Вся машина имеет прочную конструкцию, весит около 55 пудов и приводится в движение шестнадцатью лошадьми.

При менее волнистой поверхности поля и более близкой отвозке употребляется иногда устройство, показанное на черт. 235; оно состоит из щита, длиной от 10 до 16 фут., шириной в 2 фута, сделанного из 2-х дюймовых досок, обитых внизу стальным листом, и задней части, снабженной рукояткой и приспособлениями для регулирования угла стояния передней полосы и поддержания ее положения. Подобные волокуши, в зависимости от их размеров, требуют для своего передвижения от четырех до шести лошадей.



Черт. 235. Волокуша для предварительной планировки.

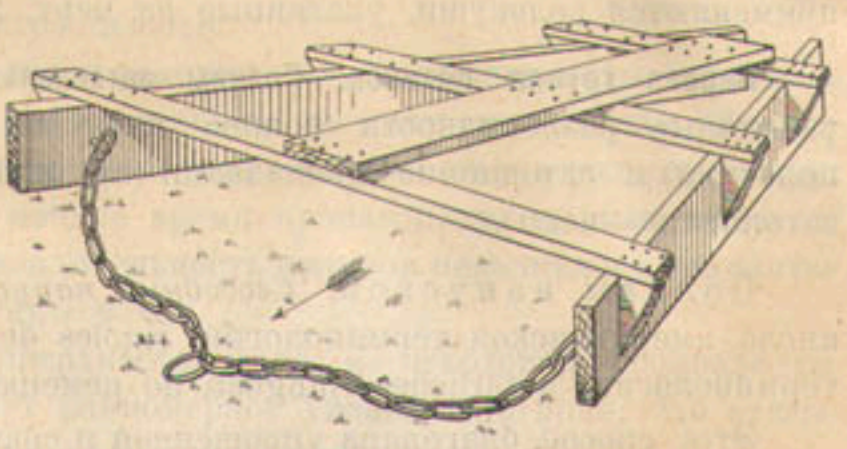
Описанные устройства дают, однако, только предварительную планировку, а для окончательного выглаживания поля пользуются другими приспособлениями. Последние применяются также в тех случаях, когда поверхность земли в ее первоначальном состоянии не имеет очень больших неровностей.



Черт. 236. Волокуша для планировки поля.

В этих случаях земля предварительно вспахивается и затем тщательно боронуется, после чего по полю пускаются в двух направлениях волокуши, простейший вид коих показан на черт. 236.

Волокуша имеет прямоугольную форму; продольные бруски размерами 2″ × 10″, длиной от 16 до 20 фут., расставлены друг от друга на расстоянии от 5 до 8 фут.; к ним прикреплены 4 – 5 поперечных брусков от 5 до 8 фут. длиной, поддерживаемых железными стержнями; последние соединены болтами с продольными брусками, что, в связи с поперечными схватками, сообщает системе достаточную жесткость. Две крайние поперечины немного наклонены назад и их нижняя поверхность приподнята дюйма на два над дном боковых брусьев с тем, чтобы предупредить слишком глубокое врезание в землю. Поперечные брусья снабжены железными резаками. При ширине этого устройства в 5 фут. для его передвижения требуются четыре лошади.



Черт. 237. Волокуша для устройства оросительных валиков.

Фот. VII. Планировка поля волокушей.

Для планировки применяются и другие, самые разнообразные виды волокуш, один из коих показан на фотографии VII.

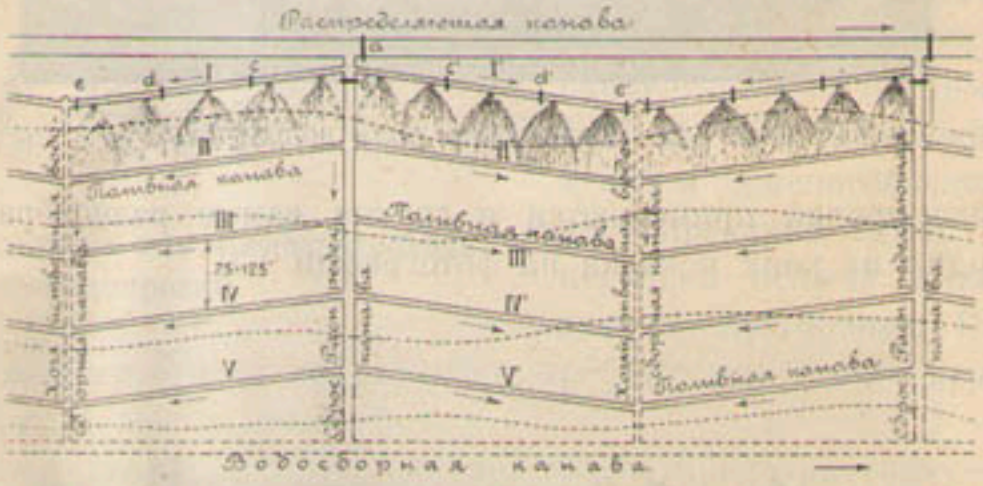
Фот. VIII. Подготовка поля для напуска полосами. Устройство валиков. Twin falls, Айдаго. Farm. Bull., № 1243.

В тех случаях, когда при поливе поле разделяется валиками на отдельные площадки или полосы, для устройства оросительных валиков применяются волокуши, указанные на черт. 237 и фот. VIII.

Первая группа поливов. Поливы затоплением. К этой группе относятся различные разновидности полива напуском свободный напуск, напуск полосами) и затопление площадками (примитивное затопление, культурное затопление—чеки).

Поливы напуском. *Свободный напуск* (wild or free flooding по англо-американской терминологии, rigoles de niveau, razes по французской терминологии, natürlicher Hangbau по немецкой).

Этот способ, благодаря упрощенной и сравнительно дешевой подготовке полей для поливов, получил весьма широкое распространение и применяется главным образом для орошения зерновых культур, люцерны, клевера и пр. Сущность способа и самая операция полива заключается в следующем (черт. 238). На распределяющей канаве ниже места выхода из нее поливных канав 1 и 1′ вода подпруживается и, в зависимости от величины хозяйственного расхода, направляется либо в поливные канавы 1 и 1′, либо только в одну из них. В поливной канаве 1 вода в свою очередь подпруживается перемычкой, поставленной в точке *c* и выливается на орошаемую площадку либо через специально устроенные выпуски, либо через прорезы в дамбочках, либо, наконец, переливаясь через дамбочку поливной канавы. Далее, вода стекает тонким слоем по



Черт. 238. Полив свободным напуском, поливная сеть проходит поперек уклона местности.

площадке в направлении ее уклона и сообщает на своем пути почве требуемое увлажнение. Излишки воды, неиспользованные почвой, стекают в водосборные канавы, и либо отводятся в общую водосборную сеть, либо используются для орошения нижележащих частей участка.

Движение воды по полю между поливными канавами ничем не стеснено, чем и объясняется самое название способа.

Планировка обычно делается не тщательная и заключается главным образом в снятии отдельных бугров и засыпке пониженных мест, благодаря чему подготовка поля обходится дешево.

Во время полива земледелец направляет движение воды, стремясь к наиболее равномерному ее распределению по полю и облегчая ей продвижение до конца площадки; с этой целью он, работая в воде, действует во время полива лопатой. В ночное время производство полива является более затруднительным. Производительность поливов невелика и выражается практически в 0,1 – 0,3 десятины в час.

Недостаточно ровная поверхность поля и некоторая громоздкость поливных операций затрудняет равномерное увлажнение поля, что сказывается в конечном итоге на уменьшении урожайности.

Хозяйственный расход обычно изменяется от одного до двух секундо-фут. Опытный земледелец может справиться с током в 3—4 секундо-фута, разделяемым между несколькими поливными канавами, но для среднего земледельца оперирование током выше 2 секундо-фут, может оказаться затруднительным.

Предельные значения уклонов, при которых применяется этот способ полива, составляют около 0,001—0,020. Расстояние между поливными канавами, в зависимости от уклона местности и характера почвы, изменяется от 10 до 60 метров и для достижения более равномерного увлажнения по длине площадки и уменьшения потерь на фильтрацию ниже корневой зоны предпочтительно располагать поливные канавы возможно ближе. Практикой выработано среднее, наиболее желательное, расстояние от 20 до 40 метров, причем для почв проницаемых следует брать меньшие, а для почв с меньшей проницаемостью большие расстояния между поливными канавами. Желательно, чтобы между поливными канавами каждая площадка имела, по возможности, однообразный уклон и потому в местах резких переломов местности полезно устраивать дополнительные поливные канавы.

Примеры из практики. При орошении полей люцерны и клевера в штате Монтана, поливные канавы прокладываются с уклоном 0,002—0,004; расстояние между ними изменяется в зависимости от характера местности, уклона и конфигурации поверхности и величины поливного тока, будучи в среднем около 25 м. Расходы поливных канав колеблются от 1,5 до 4 секундо-фут, большие расходы делятся между двумя-тремя поливными канавами. Перемычки из парусины ставятся на расстояниях 25—40 м. При величине тока в 2 секундо-фута два человека орошают за 24 часа 2,5—3,7 десятины, давая, таким образом, производительность полива в час 0,10—0,15 десятины.

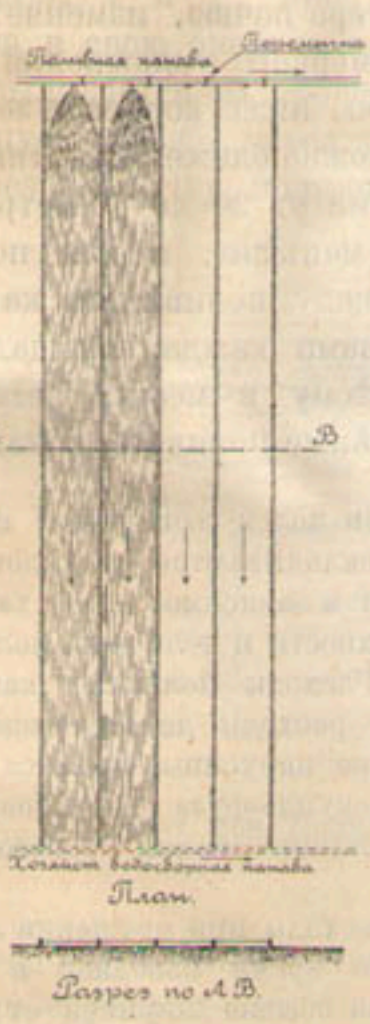
В системе Salt Lake Basin хозяйственные расходы при орошении люцерны изменяются от 4 до 6 секундо-фут. во время паводков и от 1 до 3 секундо-фут.—в межень. Полосы делаются обычно шириной от 60 до 150 м. Вода, стекающая с полос, поступает в водосборные канавы, из которых ею орошаются нижележащие участки.

Напуск полосами или *регулируемый напуск* (border method of irrigation по англо-американской терминологии, irrigation par inondation по французской).

Сущность этого способа заключается в следующем (черт. 239). Орошаемое поле разделяется на ряд полос, длинных в направлении уклона, до 200 м. и более, но узких, 10—20 м., тщательно спланированных и отделенных одна от другой невысокими валиками. Вода, поступающая в поливную канаву и подпруженная в соответствующем месте перемычками, выливается на полосы через выпуски (трубки, шлюзики), устроенные в дамбочках поливной канавы или же через прорезы в ней. Двигаясь затем тонким слоем от верхней части полосы к нижней, вода производит увлажнение почвы, излишки же стекают в водосборную канаву и, либо отводятся в водосборную сеть, либо используются вновь для орошения нижерасположенных полос.

Напуск полосами является сравнительно молодым способом; он получил за последние годы, несмотря на свою дороговизну, широкое развитие в орошаемых районах Северной Америки, главным образом для зерновых и кормовых культур.

Напуск полосами применяется при уклонах местности 0,001—0,005, так как в случае более сильного падения местности полив был бы связан с нежелательными последствиями (размыв легких почв, большие потери на сток и недостаточное увлажнение тяжелых почв).



Черт. 239. Полив напуском полосами.

S. H. Beckett, инженер Бюро Общественных работ, производивший изучение полива полосами в системе San-Ioaquino Valley, считает, что для легких суглинков допустимы уклоны до 0,005, а для более тяжелых, медленно увлажняющихся почв, заилившиеся суглинки (silty clay soils) от 0,0008 до 0,003.

При тяжелых почвах и уклонах более высоких, чем вышеуказанные, удовлетворительные результаты увлажнения, по наблюдениям S. H. Beckett'a, получить почти невозможно.

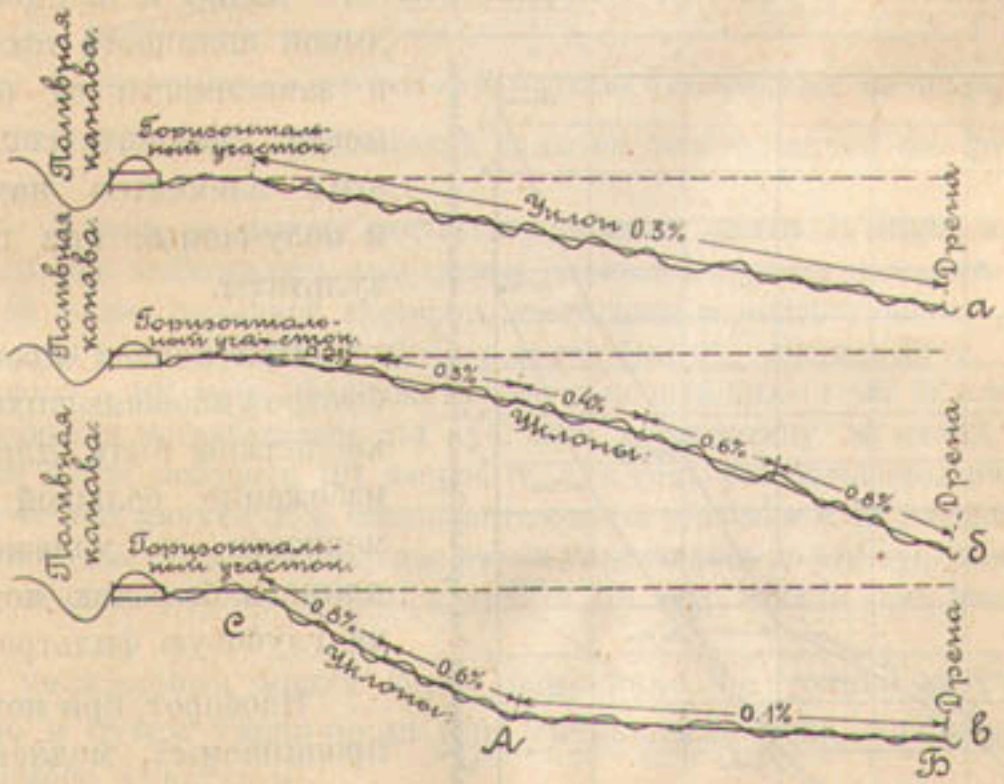
Подготовка поверхности почвы делается в Америке чрезвычайно тщательно; особенное внимание обращается на тщательную планировку в поперечном направлении, чтобы дать возможность воде равномерно распространяться по всей ширине полосы и создать условия как бы широкого, но мелкого канала. В этом отношении американцы дошли, повидимому, до предела и планировка поля ведется таким образом, чтобы в поперечном направлении разность отметок отдельных точек не превосходила бы 3—6 см. Планировка поля в продольном направлении делается менее тщательно, так как вода, распространившись уже по всей ширине полосы, свободно стекает далее в направлении уклона вдоль полосы. В неко-

торых случаях делают начальный участок полосы по длине, примерно, равной ее ширине, горизонтальным, с тем, чтобы вода, вытекающая из поливной канавы, имела тенденцию в силу горизонтальности местности распространяться сразу по всей ширине полосы. Так как глубина воды вдоль полосы постепенно уменьшается, вследствие ее просачивания в почву и испарения, то для получения движения с незамедленной скоростью, является желательным, если только это возможно по местным условиям, чтобы уклон вдоль полосы увеличивался, как это и показано на черт. 240-б.

Однако, это является далеко не всегда осуществимым по причине дороговизны возникающих при этом работ по планировке и вместе с тем и не слишком желательным, так как это будет связано с обеднением почвы питательными веществами.

В случае резкого уменьшения уклона местности по длине полосы (черт. 240-в), во избежание неравномерности увлажнения участков AC и AB, в точке A желательно устройство дополнительной поливной канавы.

Подготовка участка к орошению и тщательная планировка поверхности поля обходится довольно дорого, но благодаря этому увеличивается уро-



Черт. 240. Продольные профиля типовых полос с показанием поверхности земли до и после планировки.

жайность (по сравнению, например, со свободным напуском), упрощается и ускоряется операция поливов, соответственно чему и удешевляется производство поливов.

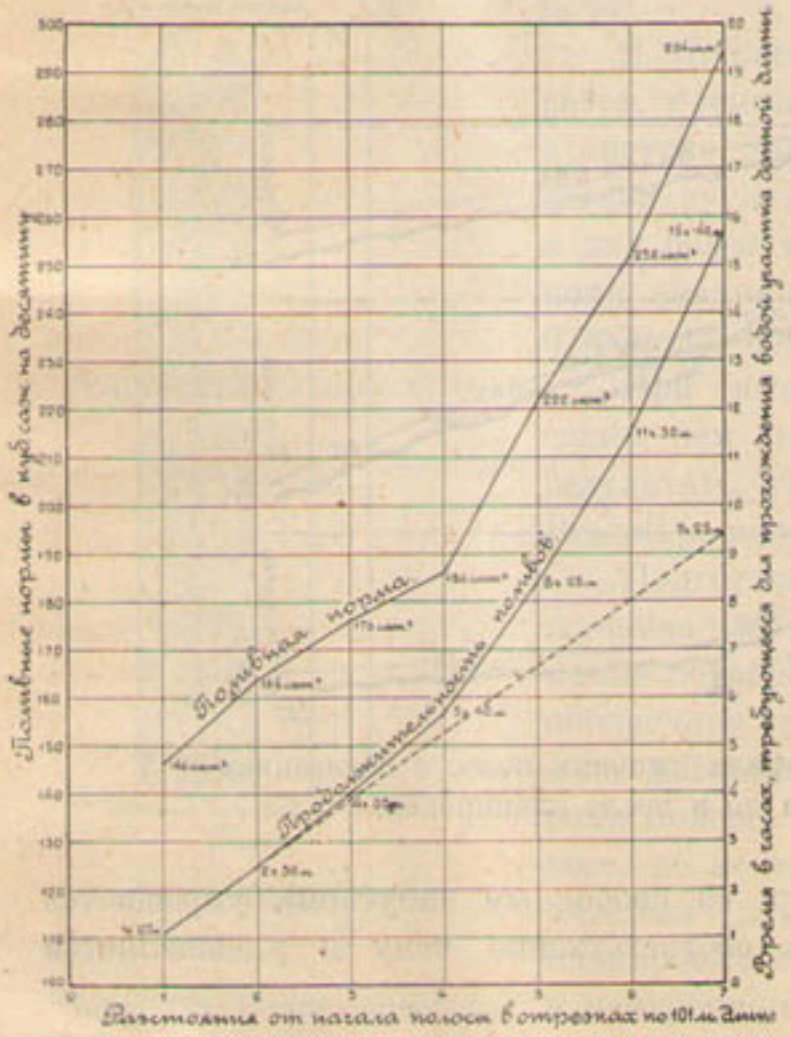
Опыты R. W. Allen'a на опытной станции системы Umatilla дают цифровое освещение по вопросу о влиянии хорошей планировки поля и оборудования сети выпусками для регулирования количества поливной воды. Для сравнения были взяты два участка одних и тех же размеров,

с одинаковой почвой, орошавшиеся одним и тем же способом; расход поливных канав в обоих случаях был одинаковым—3,5 секундо-фута.

На участке, хорошо спланированном и оборудованном выпусками, полив продолжался один час и было израсходовано за полив 100 куб. саж. воды на десятину, тогда как на участке, орошавшемся свободным напуском, имевшем неровную поверхность поля и не снабженном выпусками, поливная норма, благодаря большим потерям, была 480 куб. саж. на десятину, а полив потребовал $4^3/_4$ часа.

Валикам, разделяющим поле на отдельные полосы, придается обычно при постройке высота от 9 до 15″, в среднем около 12″, так что после осадки они имеют высоту 9—10″. Ширина валиков по низу изменяется от 3 до 10 фут. Они обычно устраиваются на много лет, так как расходы, затраченные на их сооружение, не могут быть покрыты в течение одного сезона. В тех случаях, когда для земледельческих работ применяются машины, форма валиков и их откосы должны быть сообразованы с возможностью для машин переезжать через них без особых трудностей, почему в этих случаях откосы их должны быть сделаны достаточно пологими и соответственно увеличена их ширина в основании.

Размеры полос, особенно длина их, должны быть сообразованы с уклоном орошаемого участка, с характером его почвы и подпочвы, величиной поливного тока и проч.; в зависимости от более или менее удачного согласования этих элементов находятся и и получаемые при поливе результаты.



Черт. 241. Зависимость между длиной полос, временем увлажнения и поливной нормой по опытам в штате Айдаго.

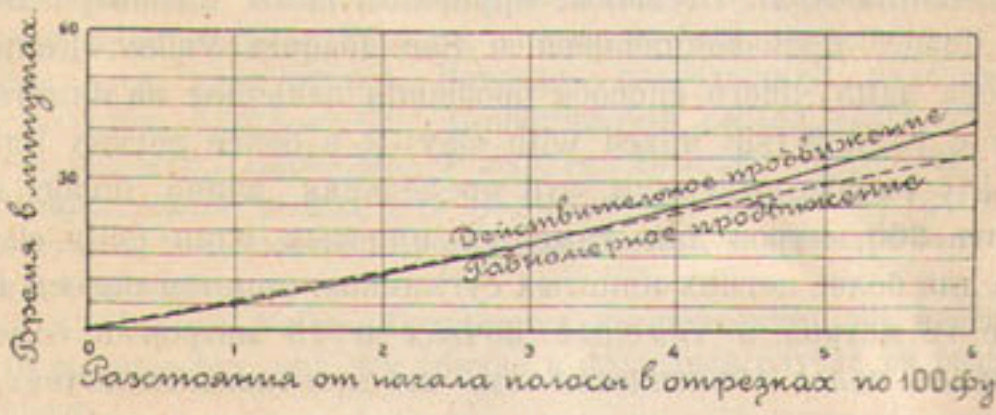
При почвах проницаемых, быстро увлажняющихся, полосы не должны быть длинными во избежание большой неравномерности в увлажнении по длине и больших потерь воды на глубокую фильтрацию.

Наоборот, при почвах мало проницаемых, медленно увлажняющихся, длина полос, с целью увеличения времени увлажнения, может быть допущена значительно большей.

В пределах одних и тех же условий рельефа и почвы, время увлажнения и величина поливной нормы находятся в тесной связи с длиной полос (черт. 241). Как видно, время

протекания воды и соответственно величина поливной нормы увеличиваются значительно быстрее увеличения длины полос.

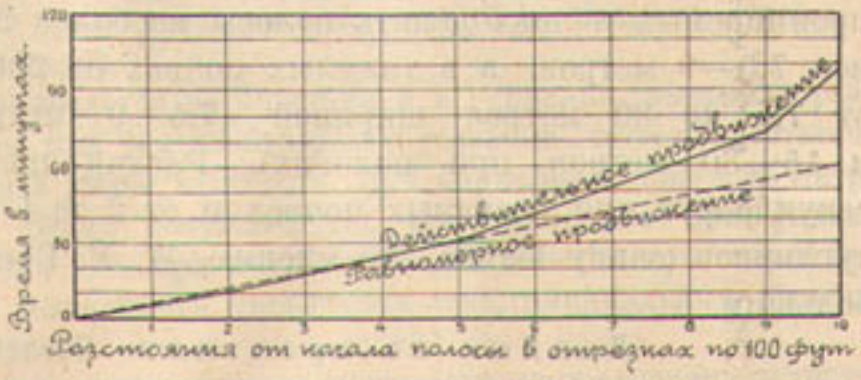
То же самое подтверждают опыты, произведенные P. E. Fuller'ом и L. C. Marr'ом на системе Salt River Valley, штат Аризона, где длина полос в пористых почвах изменялась от 180 до 300 метр. при расходе в поливных канавах в 8,5 секундо-фут. и ширине полос 15 метр. (черт. 242 и 243). При длине полосы в 180 метр. скорость движения воды по орошаемому участку была близка к равномерной, что служит косвенным показателем того, что и потери не были при этом слишком велики, наоборот, при увеличении длины свыше 180 метр. время протекания воды по нижней части полосы резко увеличивалось, что сопровождалось большими потерями на глубокую фильтрацию.



Черт. 242. Скорость продвижения воды на полосе длиной 600 футов.

К тому же самому результату пришли опыты B. Rigby в штате Айдаго, где наблюдались результаты поливов напуском полосами в гравелистой почве, засеянной клевером, достигшим к моменту полива, 25 августа высоты в 14″; расход поливных канав был $2^1/_4$ секундо-фута. При длине полосы в 101 метр продолжительность полива была 1 час 22 минуты и для орошения потребовалось 214 куб. саж. на десятину за полив, тогда как при длине полосы в 707 метров (т. е. в семь раз большей), полив длился 22 часа 42 минуты (т. е. продолжительность его была в 16 раз больше), соответственно с чем оросительная норма увеличилась до 570 куб. саж.; орошение последнего участка полосы, длиной в 101 метр, заняло семь часов времени.

Время увлажнения может быть изменяемо не только за счет длины делянки, но и путем увеличения или уменьшения тока, сообразно с уклоном орошаемого участка и с характером почвы. При проницаемых почвах желательно ускорить время увлажнения, в целях уменьшения потерь, для чего поливной ток следует увеличивать, тогда как в мало проницаемых почвах, наоборот, для увеличения времени протекания воды



Черт. 243. Скорость продвижения воды на полосе длиной 1000 футов.

по полосе, ему придают меньшие значения. Кроме того, величина поливного тока должна быть сообразована с уклоном местности и характером почвы с тем, чтобы при чрезмерно больших значениях его не происходил бы размыв почвы и вымыв из нее питательных веществ. Особенно важное значение это имеет при первых поливах, когда растения еще не взошли и не оказывают замедляющего влияния на протекание поливной воды.

Опыты, производившиеся в течение 8 лет R. W. Allen'ом и H. K. Dean'ом в штате Орегон для определения желательных размеров полос, привели их к заключению, что в целях уменьшения потерь и равномерного увлажнения почвы, полосам следует придавать длину от 20 метров для крупнозернистых почв при больших уклонах поля и до 90 метров при почвах мелко-зернистых и более ровной местности; желательная ширина полос—от 6 до 12 метров.

Исследования S. H. Beckett'a, ирригационного инженера Бюро Общественных Дорог, производившиеся в San Ioaquin Valley, Калифорния, в целях выбора наилучшего способа орошения люцерны на илистых почвах, смешанных с глиной (silt mixed with clay) и в более легких илистых суглинках (silty loam), выяснили, что предельная длина полос не должна превосходить 300 метров для тяжелых илистых глин (silty clay loam) и 200 метров для более легких илистых суглинков, при чем полосы не должны быть шире 12 метров в тяжелых почвах и 15 метров в более легких. Разная ширина полос объясняется тем, что при тяжелых почвах, медленно усваивающих влагу, применяются меньшие значения поливных токов и потому для возможности равномерного распространения воды по всей полосе они должны иметь меньшую ширину.

Что касается расхода поливных канав, то S. H. Beckett рекомендует для тяжелых почв назначать его величину из расчета 5,4 секундо-фута на десятину площади. Таким образом, при размерах полосы 12×300 метров, канавы должны пропускать, в случае тяжелых почв, ток около 2 куб. фут. в секунду.

Если принять во внимание указания некоторых практиков, что поливной ток для тяжелых почв должен быть не больше 40% такового для средних суглинков (medium loams), то для полосы указанных выше размеров с средне-суглинистой почвой, желательный поливной ток будет 5 куб. фут. в секунду.

W. E. Pockard, производивший в 1914—1917 годах изучение способов полива на оросительной системе Imperial Valley, Калифорния, советует в проницаемых почвах делать полосы не более 200 метров длиной и шириной 7,5—9 метров, а в тяжелых почвах от 200 до 400 метров длиной и от 7,5 до 30 метров шириной (7,5—9 метров при крутых уклонах и 15—30 метров при пологих). Расход поливных канав от 3 до 8 секундо-фут при песчаных почвах и от 2 до 4 секундо-фут. для песчаных суглинков (sandy loams), по мнению W. E. Pockard'a, не будет слишком большим.

Данные из практики. Обследования Бюро Общественных Дорог 52 типичных делянок в различных частях штата Айдаго показали, что длина полос изменяется от 75 до 800 метров, в среднем составляя 400 метров при ширине их от 5 до 30 метров, в среднем 20 метров.

В юго-западной части штата Техас, где около половины земель орошается полосами напуском, полосы делаются обычно небольших размеров; длина их редко превосходит 100 метров, а ширина делается не более 7,5 метров. При суглинистой почве, токе в 2 секундо-фута и уклоне 0,0004—0,008 для увлажнения полосы на глубину в 2 фута требуется 15 минут. При культивировании промышленных растений в Lower Rio Grande полосы делаются еще меньше, 3—5 метров шириной и 30—60 метров длиной.

В Sacramento Valley, в Калифорнии, полосы устраивают длиной 18—500 метров и шириной от 9 до 15 метров. В виду чрезвычайно тяжелых почв, хозяйственный ток в 5 секундо-фут. делится между 10—15 полосами, так что на одну полосу приходится поливной ток только от 0,33 до 0,50 секундо-фут.

В San Ioaquin Valley, в Калифорнии, где большая часть почв—песчаные суглинки, длина полос изменяется от 50 до 800 метров, а ширина от 9 до 30 метров. Размеры полос 90—400 метров на 15—22 метра считаются наилучшими. Наиболее подходящими уклонами местности считаются 0,0015—0,003. Хозяйственный расход изменяется от 10 до 20 секундо-фут. Циркуляр в округе Modesto определяет минимальный хозяйственный расход в 15 секундо-фут., при чем он при поливе разделяется по 2—3 полосам. Производительность полива при этом определяется в 1,1 десятины в час.

В Imperial Valley, Калифорния, хозяйственный ток изменяется от 1 до 10 секундо-фут, при чем обычно в последнем случае он разделяется на 5 полос.

Производительность полива доходит иногда до 1,25 десятины в час, при чем работает один человек.

В Rillito Valley, Аризона, полосы устраиваются 200 на 9 метров при поливном токе в 2 секундо-фута. Производительность полива 0,2—0,25 десятины в час, причем с поливом справляется один человек, а полив полосы продолжается от одного до трех часов.

В Salt River Valley, Аризона, полосы делаются 30—50 фут. шириной и 210—400 метров длиной. Хозяйственный расход в 7,5—10 секундо-фут разделяется на 2—4 полосы. С поливом справляется один человек.

В Butterfield Live Stock Company, Айдаго, хозяйственный расход 3—10 секундо-фут. разделяется по 3—4 полосам.

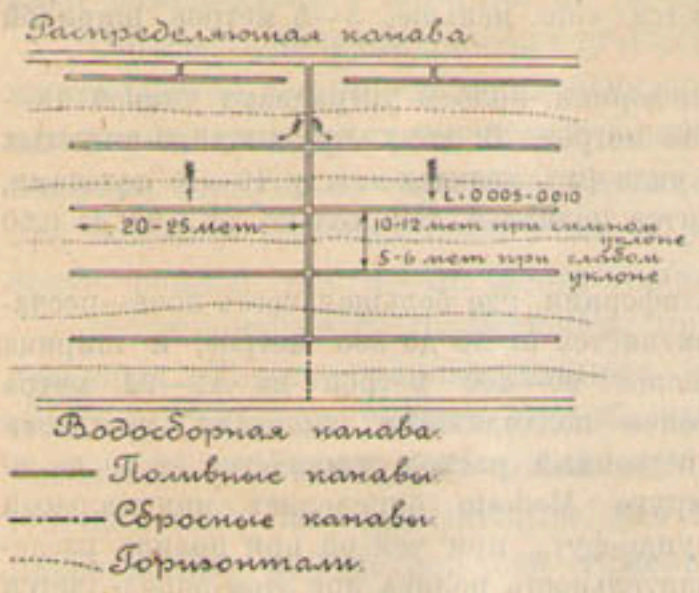
Разновидности полива напуском, применяемые во Франции и Германии.

а) Естественная односкатная система (natürliche Hangbau, rigoles de niveau, irrigation par razes).

Этот способ применяется во Франции и в Германии главным образом для орошения лугов, при чем необходимым условием считается достаточно большой естественный уклон местности. При нормальном токе в 30 литров в секунду (около одного секундо-фута), его применяют при уклонах местности не меньших 0,03; при местности более пологой этот способ применяют только при возможности увеличения тока; минимальным уклоном, однако, считают 0,01.

В случае однообразного уклона местности, направления поливных канав близки к прямолинейному (черт. 244), при волнистой местности поливные канавы следуют горизонталям (черт. 245).

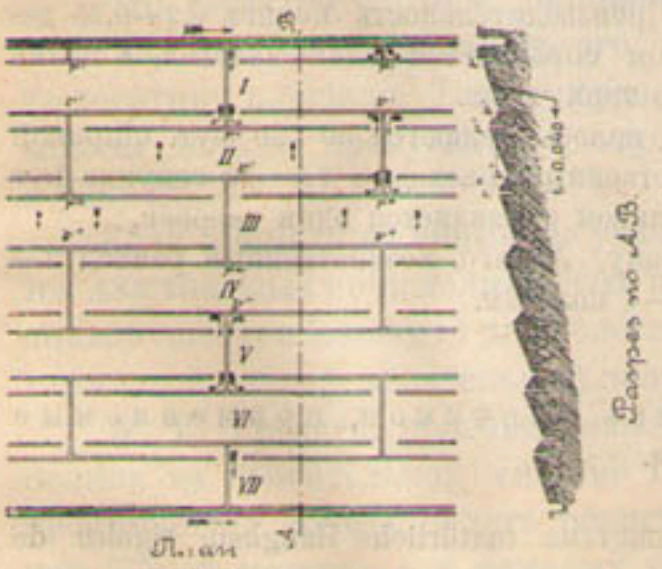
Длина поливных канав делается от 20 до 30 метров, а расстояние между ними при средних уклонах и проницаемости почвы—не больше 20 метров. В Германии ширина и расстояние между поливными канавами делается несколько меньше,



Черт. 244. Односкатная естественная система в ровной местности без водосборных канав на каждой делянке.

Черт. 245. Односкатная естественная система в волнистой местности с водосборными канавами на каждой делянке.

от 10 до 12 метров при сильных уклонах, и 5—6 метров при слабых уклонах. Водосборные канавы либо устраиваются на каждой полосе (черт. 245), либо вода, стекающая с каждой делянки, собирается в нижнюю поливную канаву.



Черт. 246. Искусственная односкатная система.

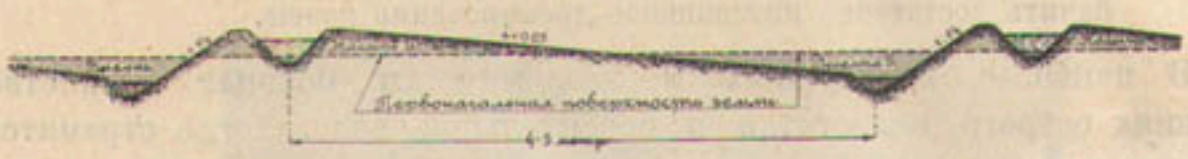
Полив напуском из канав, проведенных не горизонтально, а под известным уклоном (irrigation par razes, Hangbau mit geneigten Rieselrinnen) по существу не отличается от описанного подробно выше полива свободным напуском, и мы поэтому ограничимся здесь упоминанием об этих способах.

Искусственная односкатная система (Irrigation par plans inclinés, künstlicher Hangbau) применяется, главным образом, для орошения лугов в тех случаях, когда уклон местности меньше 0,03. В этих случаях орошенный луг разбивается на ряд полос с уклоном 0,03, вода на которые подается из соответствующих поливных канав. При этой системе количество потерь на поверхностный сток велико и обычно применяется повторное использование оросительной воды (черт. 246). Водосбор v' расположен на одной высоте с поливной канавой r' и служит для орошения нижеследующего участка.

Длина поливных канав делается в среднем около 30 метров. Расстояние между ними не должно быть слишком большим, как с целью уменьшения земляных работ, так и для возможности более частого расположения водосборов и лучшего дренирования луга. Обычно оно делается от 4 до

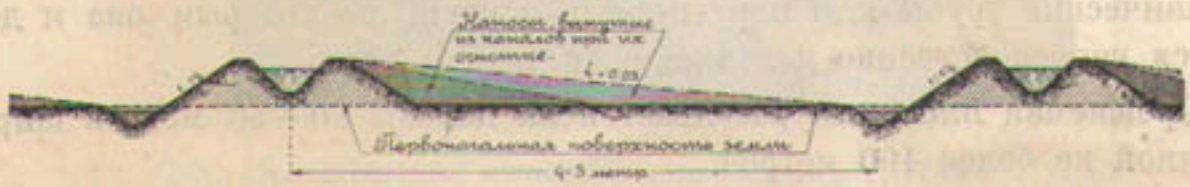
5 метров, иногда, когда уклон местности позволяет уширить полосы без особого увеличения земляных работ, встречаются полосы 10—15 метров шириной.

Поверхность земли подвергается коренной переработке, земля, требующаяся для устройства насыпной части *a*, берется из выемки *б* (черт. 247).



Черт. 247. Искусственная односкатная система; скаты устраиваются сразу.

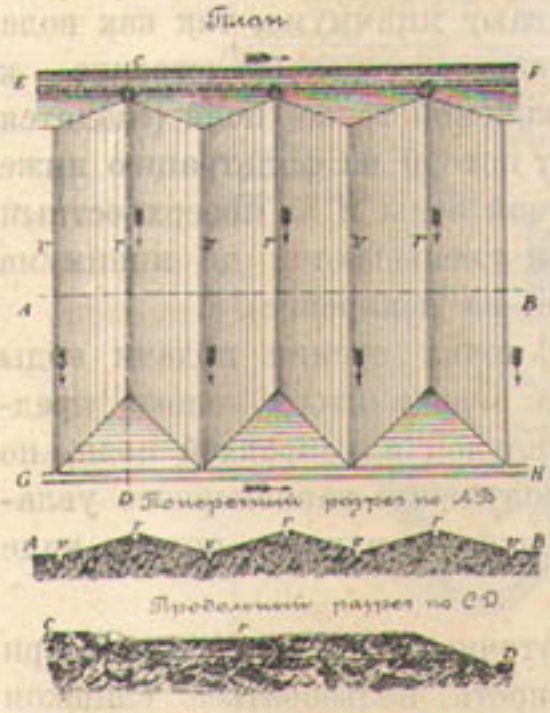
Для удешевления системы иногда строят сначала только поливные и водосборные канавы, а требуемый уклон полосе придают постепенно в течение ряда лет, путем разравнивания получающихся от очистки каналов наносов (черт. 248).



Черт. 248. Искусственная односкатная система; постепенное устройство скатов.

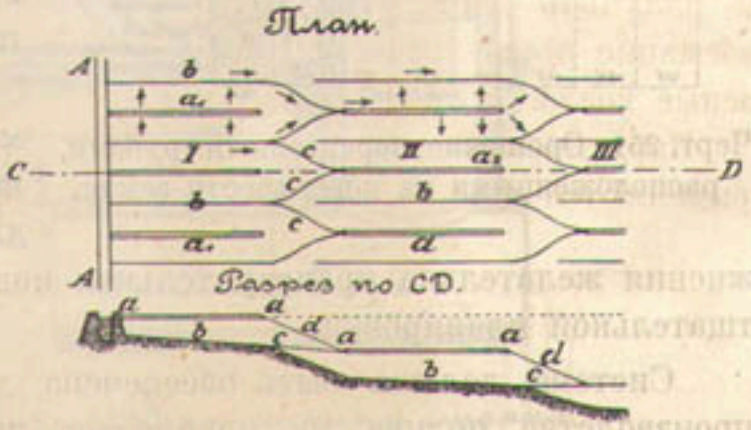
Стоимость устройства очень велика.

Недостатками, кроме ее дороговизны, являются затруднительность передвижения сельско-хозяйственных машин и повреждение верхнего, плодородного слоя почвы. Применение ее ограничено поэтому главным образом небольшими площадями.



Черт. 249. Искусственная двускатная система.

Двускатнаясистема (Irrigation par ados, Rückenbau) отличается от предыдущей лишь тем, что поливная канава орошает в обе стороны, соответственно чему орошаемые полосы расположены по обе стороны от нее (черт. 249). Размеры отдельных



Черт. 250. Двускатная система с повторным использованием воды.

частей, примерно, те же, что и при односкатной системе. Иногда, впрочем, в Германии применяются более широкие скаты от 16 до 56 метров. Эта система носит иногда название полива гребнями.

На черт. 250 показана двускатная система с повторным использованием воды, применяемая на длинных скатах (до 100 метров) (Etagenrückenbau). В этом случае водосборы b первого яруса работают на следующем ярусе уже как поливные канавы.

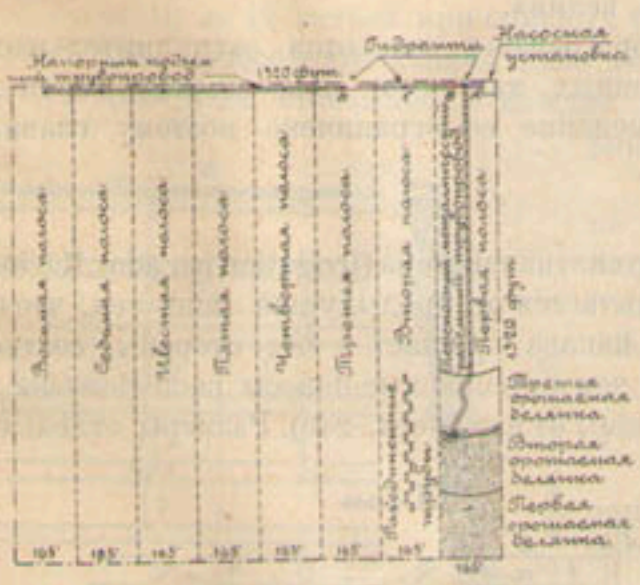
При применении в заболоченных местах эта система позволяет обеспечить достаточно интенсивное дренирование почвы.

В наиболее культурных и экономически мощных хозяйствах, в условиях острого недостатка в оросительной воде, когда стремятся довести до минимума как потери в пути в поливной сети, так и бесполезные потери на полях, полив напуском приобретает существенные изменения.

Поливная сеть обычного типа из открытых канав заменяется, как это описано выше, системой напорных трубопроводов (черт. 230); из последних через гидранты (черт. 232) вода поступает в разъемные переносные металлические трубы или парусиновые кишки, по которым она и доставляется непосредственно к поливаемым точкам поля.

Орошаемая площадка разбивается на полосы 30—50 метров шириной и длиной не более 400 метров.

Полосы поливаются частями, и после окончания поливки части полосы, трубы снимаются, производится полив следующей части полосы, а освободившиеся трубы переносятся на соседнюю полосу (черт. 251 и фот. IX).



Черт. 251. Орошение переносными трубами, расположенными на поверхности земли.

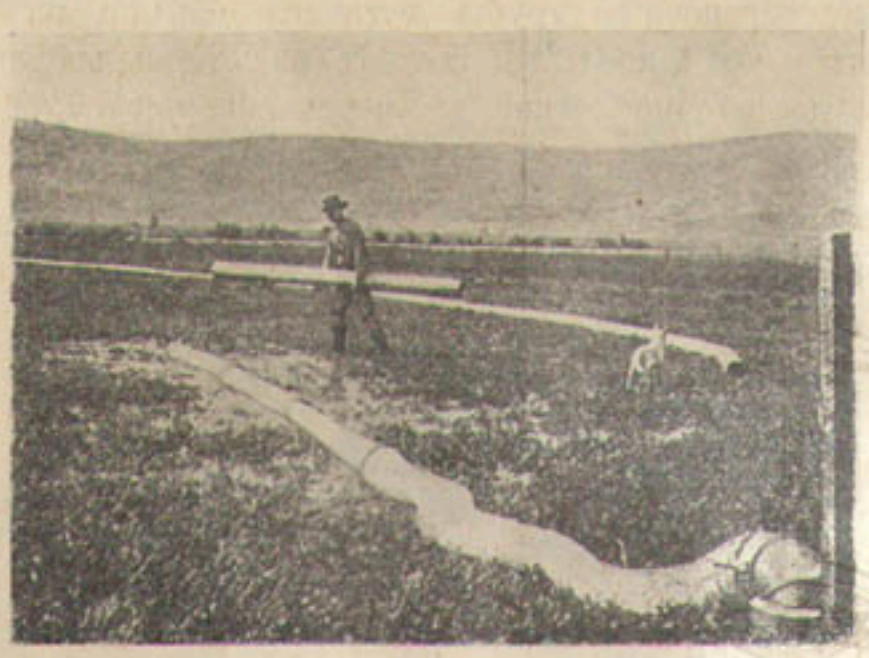
При этом способе полива не только уничтожаются потери в поливной сети, но и потери на полях достигают минимума, так как вода доставляется непосредственно к увлажняемой точке поля (сводятся на нет потери на фильтрацию ниже корневой зоны и на поверхностный сток и уменьшаются до минимума потери на испарение).

С точки зрения подачи воды можно ограничиться только предварительной планировкой поля, но для получения равномерного увлажнения желательна предварительная подготовка поверхности поля в виде тщательной планировки.

Система должна быть обеспечена достаточным напором, чтобы при производстве полива не появлялась надобность пользоваться слишком широкими трубами.

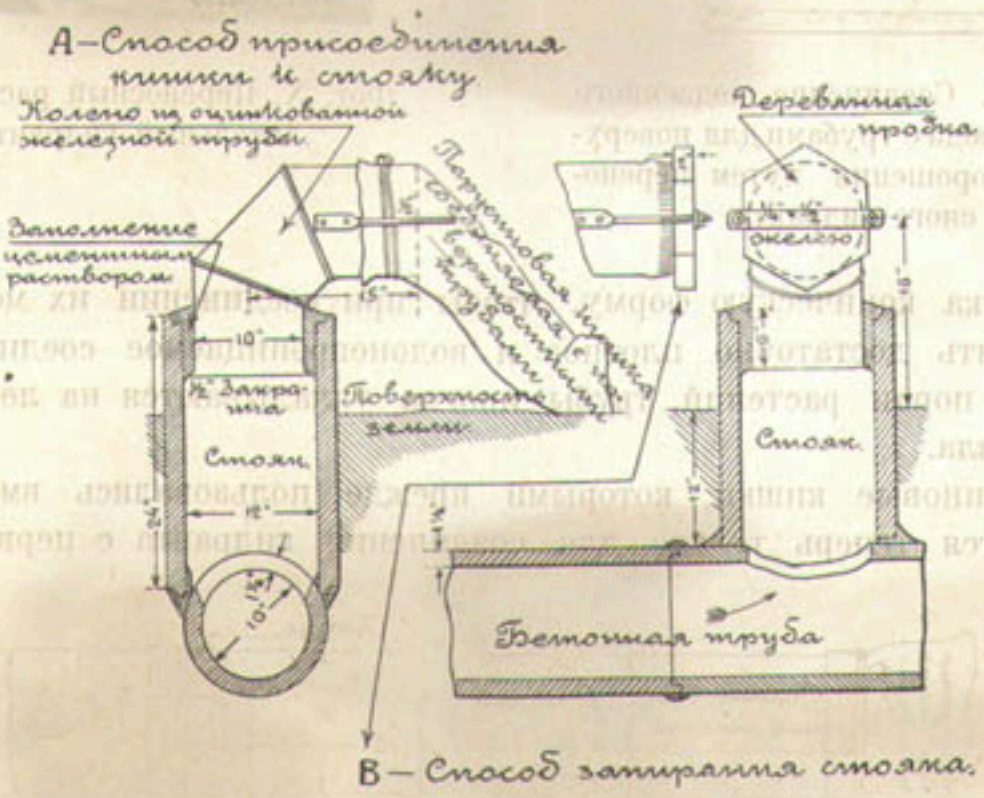
Гидранты, соединяющие подземные напорные трубы с трубами, расположенными по поверхности поля (черт. 252), обычно представляют кусок бетонной трубы, поставленной вертикально и соединенной на цементном растворе с подземной трубой; с верхней стороны к этой трубе

прикреплено колено из железной оцинкованной трубы, к которому присоединяется парусиновая кишка, передающая воду в переносные трубы.



Фот. IX. Орошение люцерны переносными трубами. (Справа в углу виден гидрант, подающий воду из подземного трубопровода. B. A. Etcheverry)

Когда орошения из данного гидранта не производится, он закрывается деревянной пробкой, как это показано на черт. 252.

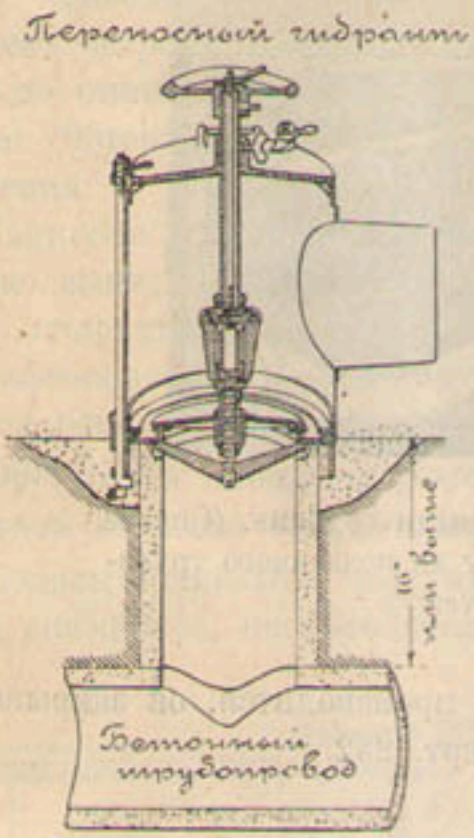


Черт. 252. Бетонный гидрант, с приспособлением для присоединения к нему переносных труб.

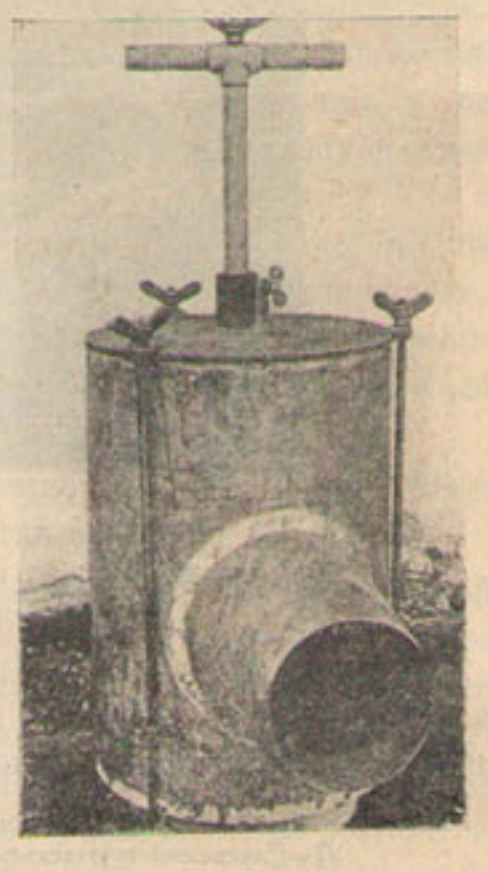
Иногда запирание гидранта производится клапаном, прикрепленным к вертикальной бетонной трубе, а соединение гидранта с переносными тру-

бами производится легким железным переносным гидрантом (черт. 253 и фот. X).

Разъемные переносные трубы делаются обычно из оцинкованного железа диаметром от 4 до 12″ и состоят из отдельных звеньев длиной около 10 фут., достаточно легких для переноски (черт. 254). Один их конец



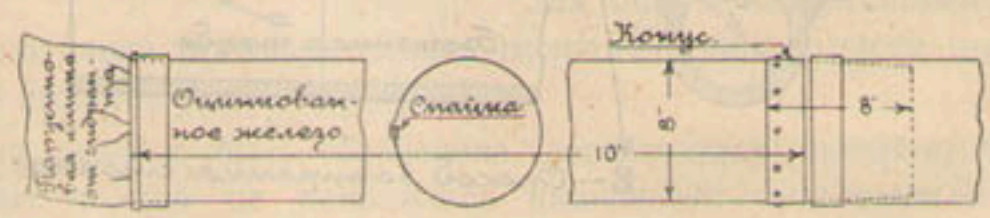
Черт. 253. Соединение подземного трубопровода с трубами для поверхностного орошения путем переносного гидранта.



Фот. X. Переносный распределительный гидрант.

имеет слегка коническую форму, чтобы при соединении их можно было бы получить достаточно плотное и водонепроницаемое соединение. Во избежание порчи растений, трубы иногда укладываются на легкие переносные козла.

Парусиновые кишки, которыми прежде пользовались вместо труб, применяются теперь только для соединения гидранта с первым звеном



Черт. 254. Переносные трубы из оцинкованного железа.

трубы (черт. 252); они делаются на 1″ больше диаметра оцинкованной трубы. Срок службы обыкновенной парусиновой кишки от $1^1/_2$ до $2^1/_2$ сезонов и для придания ей большей прочности она иногда осмаливается или покры-

вается краской. Если вместо труб пользуются кишкой, то длина ее не должна быть больше 15 метров.

Величина поливного тока изменяется от 1 до 2 секундо-фут. и при токе в 2 секундо-фута один человек может полить за 12 часов 1,5 десятины при увлажнении почвы на глубину до 6″; при длине звеньев в 10 фут. для орошения одной десятины нужно пройти около 5,5 верст. При поливном токе свыше 2 секундо-фут. присоединение и разъединение труб становится более затруднительным и требует работы двух человек.

Полив переносными трубами является особенно уместным при очень проницаемом и ровном поле, когда воду трудно прогнать к концу поливного участка без больших потерь; это имеет особенное значение при малых значениях поливного тока.

Описанный способ полива, хотя и очень совершенный в смысле полезного использования оросительной воды, имеет, однако, вследствие своей дороговизны, крайне ограниченное применение; родиной его является Южная Калифорния, где он применяется для полива люцерны и кормовых культур и меньшей степени для полива садов и других культур.

Полив затопляемыми площадками (chek method of irrigation, basin method по англо-американской терминологии, Ueberstauung, Staubereiselung по немецкой, submersion по французской, полив чеками, палами, чальное орошение, как его называют у нас). Полив затоплением является одним из древнейших способов увлажнения почвы и применяется в Египте, Индии, Китае, Западной Европе, Америке, у нас в Туркестане, на Кавказе и проч.

Сущность способа заключается в следующем. Орошаемое поле разбивается валиками на ряд отдельных замкнутых площадок, наполняемых водой и образующих широкие, но мелкие резервуары. Задержанная в них вода частью испаряется, частью просачивается в почву и увлажняет ее.

Вода остается на площадке либо до тех пор, пока вся она полностью не впитается в почву, либо остатки ее сбрасываются в водосборную сеть. Последнее может делаться с целью ускорения сельско-хозяйственных работ, если вода впитывается медленно и просыхание почвы затягивается. Такой случай мы имеем, например, на Мугани, где при поздних паводках позднее просыхание почвы и соответственное запоздание посевов зачастую имеют результатом уменьшение урожайности.

Положительной стороной этого полива является равномерность увлажнения почвы, если она, конечно, предварительно надлежаще спланирована; вместе с тем, почва более или менее равномерно обогащается питательными веществами, находящимися в воде как во взвешенном, так и растворенном состоянии. Вредные насекомые и животные уничтожаются и зимний полив затоплением достаточной длительности специально применяется, например, для уничтожения филоксеры на виноградных полях.

Недостатками этого полива являются высокие поливные нормы, вымывание полезных солей, большое уплотнение почвы, а кроме того, некоторые растения не любят этого способа полива. По мнению такого специалиста, как J. A. Widtsoe, недостатки этого способа превышают его достоинства и, например, в Америке он постепенно вытесняется поливом напуском или бороздным орошением, в зависимости от местных условий.

Как и полив напуском, затопление применяется в различных более или менее культурных формах.

При примитивном орошении отдельные площадки имеют большие размеры в десятки и сотни десятин. Вода напускается на неспланированную почву, и сплошное затопление площадки достигается увеличением глубины затопления, при чем все же отдельные бугры могут остаться неувлажненными; это имеет следствием необходимость в больших поливных нормах. Выпусков (трубок, шлюзиков) обыкновенно не устраивается, а для впуска воды на площадке разрывают в соответственных местах оградительные валики. Полезное использование воды невелико, но зато подготовка к поливу обходится дешево.

Фот. XI. Вид поля, подготовленного для полива прямоугольными чеками.

В противоположность этому примитивному затоплению, которое будем называть по аналогии со свободным напуском, „свободным затоплением", мы будем различать „затопление культурное", „регулируемое" (полив чеками). Площадки (фот. XI) делаются небольших размеров, $^1/_{16}$—$^1/_4$ десятины, поверхность площадки планируется и слой напускаемой воды сводится к минимуму в 0,08—0,10 метра; для наполнения и опорожнения площадок устраиваются выпуски (трубки, шлюзики); требующиеся поливные нормы значительно меньше, чем при „свободном затоплении".

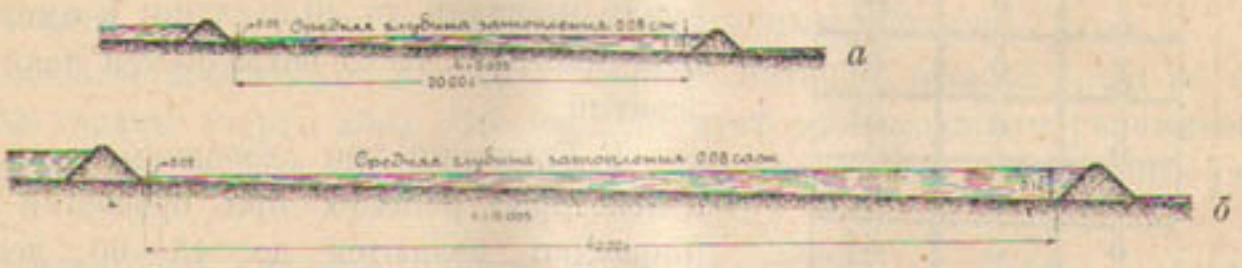
Полив затоплением применяется при пологих уклонах местности 0,003—0,001 и меньше, так как в случае больших падений местности дамбочки при одной и той же высоте их пришлось бы устраивать слишком часто, что удорожило бы стоимость подготовки полей к поливу и сделало бы применение этого способа нецелесообразным.

Полив чеками применяется для зерновых культур, люцерны, клевера, для лугов, фруктовых садов, риса и проч. В Египте, Индии и в Америке иногда применяют его для полива сахарного тростника; в Закавказьи его применяют также для полива хлопка.

Орошаемое поле разбивается на отдельные площадки двумя рядами валиков, один из коих, мы будем называть его продольным, проходит в

направлении горизонталей или близко к нему, а другой, примерно, перпендикулярно первому ряду.

Расстояние между продольными валиками определяется в зависимости от уклона местности и сообразуясь со средней глубиной затопления площадки. Чем больше допустить глубину затопления, тем реже нужно располагать продольные дамбочки, но зато тем выше будет минимальная поливная норма и сильнее должна быть конструкция валиков. Так, например, при расположении валиков по черт. 255-*а* необходимая минимальная поливная норма получается $2400 \times 0{,}05 = 120$ куб. саж. на десятину, тогда как при расположении по черт. 255-*б* минимум поливной нормы получается в 192 куб. саж. Таким образом, с точки зрения экономии в поливных нормах, конечно, в предположении, что поверхность земли спланирована и отдельные ямы и бугры выравнены,—продольные валики нужно



Черт. 255. Полив затопляемыми площадками.

проводить возможно чаще; поперечные валики при этом располагаются таким образом, чтобы получить желательную площадь чек.

Если при разбивке чек исходить из величины определенной минимальной поливной нормы, то при данном уклоне площадки расстояние между продольными валиками получается вполне определенным. Например, для местности с уклоном 0,003, величине поливной нормы в 120 куб. саж. на десятину (черт. 255-*а*) (при принятом минимальном затоплении в верхнем конце площадки, в данном случае 0,02 саж.) требующееся расстояние между продольными валиками получается в 24 сажени.

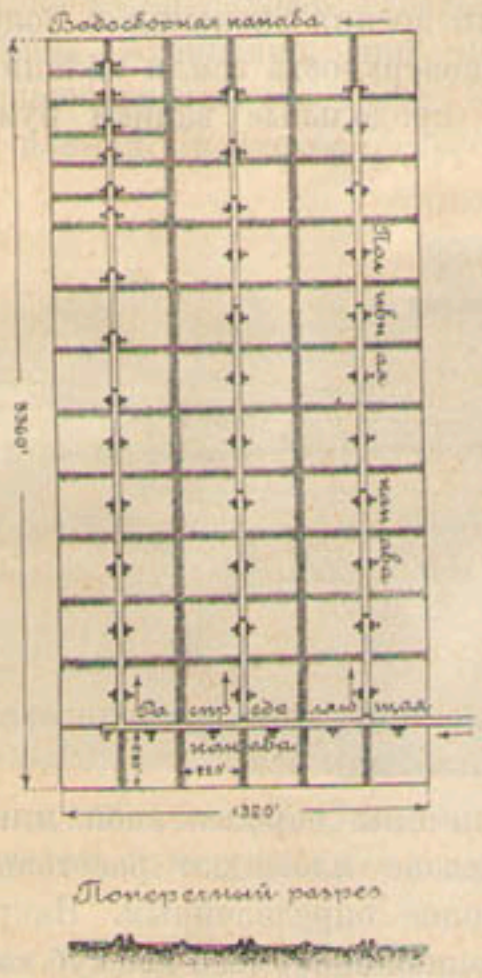
При затоплении культурном, когда к воде относятся бережно и стараются экономно ее расходовать, расстояние между продольными валиками и, соответственно, площади отдельных чек делаются небольшими, тогда как при свободном затоплении, при расточительном обращении с водой, площади чек значительно больше и соответственно больше и расстояние между продольными валиками.

Минимум глубины затопления верхней стороны чек около 0,04—0,06 метра, а с низовой 0,10—0,20 метра.

В Фергане при поливе чеками приток воды прекращают, когда вода хорошо смочит повышенные места и в общем покроет местность на 0,08—0,10 метра; валики при поливе хлопка делают высотой не более

0,20 метра. На Мугани затопляют „чалы“ более глубоким слоем до 0,20 метра над высшими точками участка.

При „культурном“ затоплении, чеки делаются небольших размеров и площадь их изменяется обычно от 0,10 до 0,95 десятины. Американская практика выработала площади чек 0,15—1 десятина, наиболее желательными считаются чеки 0,3—0,6 десятины. В Туркестане площади „пал“ вообще невелики; в Самаркандской области, например, $^1/_{10}$, $^1/_8$—$^1/_4$ десятины, в Фергане $^1/_6$—$^1/_3$ десятины. В Исфаринской системе при орошении садов „палы“ делают площадью от 0,03 до 1,33 десятины, в среднем, около $^1/_3$ десятины. На Мугани, наоборот, площадь „чал“ делается довольно большой, около десятины и выше.



Черт. 256. Разбивка на прямоугольные чеки фермы в 37 десятин вблизи Modesto — Калифорния.

При затоплении „свободном“, площадкам придаются значительно большие размеры. В Мугани в первые годы ее орошения „чалы“ имели площадь до 20 десятин; в американской практике часто встречаются чеки 3—7 десятин.

В Германии при свободном затоплении в некоторых районах при орошении лугов площадки делаются до 45—90 десятин; в некоторых случаях были применены даже площадки в 350—400 десятин, но такое устройство оказалось невыгодным. При больших размерах площадок в Германии проводится внутри их осушительная сеть, служащая вместе с тем и для более равномерного распределения оросительной воды. Эта система в Германии при пологих рельефах и проницаемой почве дала хорошие экономические результаты при небольших размерах первоначальных затрат.

Валики делаются либо прямолинейными, либо проводятся, следуя очертаниям горизонталей. Первый способ (черт. 256) применяется для однообразных ровных участков, когда подобное направление их не связано с существенным увеличением объема земляных работ; он дает более правильную разбивку полей и более удобен для применения земледельческих машин.

Разбивка поля на чеки, направленные по горизонталям (черт. 257), применяемая при волнистой местности, не дает этих удобств, но зато способствует уменьшению земляных работ; на практике, при разбивке чек приходится считаться также с направлением дорог, границами участков, оросительными каналами, вследствие чего такие пограничные чеки имеют неправильную форму.

При орошении фруктовых садов в Америке применяется форма квадратных чек, ограничивающих каждое отдельное дерево (basin irrigation) (черт. 258).

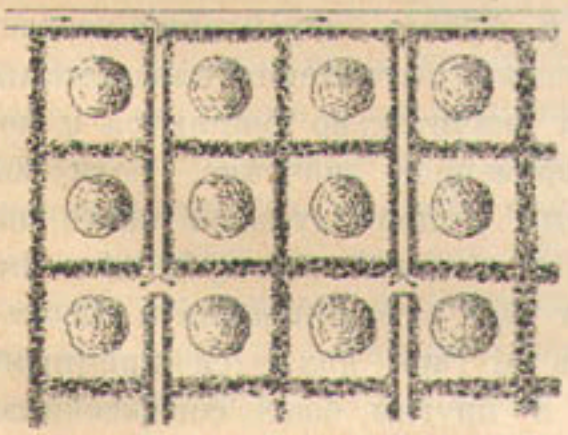
Так как при этом некоторые садовники находят вредным непосредственное соприкасание воды с корою дерева, то при планировке чек вокруг дерева устраивают возвышения, как это показано на черт. 259, или устраивают около дерева второй ряд валиков.

Черт. 257. Разбивка поля на чеки по очертаниям горизонталей.

Подача воды в чеки производится различным образом.

Наиболее желательно непосредственное питание каждой чеки из поливной канавы (черт. 256), что способствует равномерности увлажнения отдельных чек и дает более равномерное распределение взвешенных наносов.

В некоторых случаях, однако, вода из поливных каналов подается только в верхние чеки, из которых она затем перепускается в нижераспо-



Черт. 258. Орошение фруктовых садов, затопляемыми чеками.

ложенные чеки. Шлюзики, устраиваемые с этой целью в поперечных валиках, располагаются в таком случае не по прямой линии, а в шахматном порядке (черт. 260). Это делается с целью более равномерного распределения воды в

Черт. 259. Планировка чек во фруктовых садах.

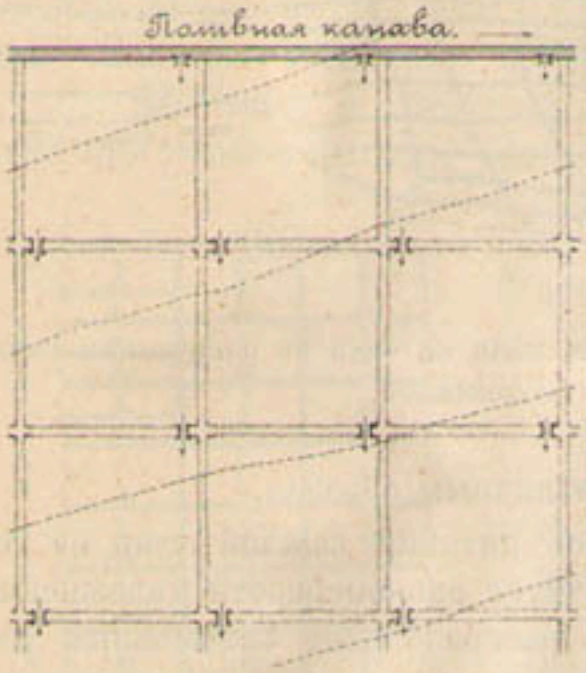
пределах каждого бассейна, для предупреждения размыва почвы и образования русла по кратчайшему направлению между впускными отверстиями.

Иногда не устраивают и этих шлюзиков и предоставляют воде по наполнении верхнего бассейна переливаться через раздельные валики в следующий и т. д. С этим связано, однако, переувлажнение верхнего бассейна и преимущественное отложение в нем наносов.

Так как операция полива весьма несложна и заключается, главным образом, в открытии соответствующих шлюзиков, то хозяйственные токи

обычно применяются больших размеров, от 5 секундо-фут. для площадок небольших размеров и 20 секундо-фут для больших.

Полив производится быстро и это делает применение этого способа особенно подходящим в тех случаях, когда источник орошения во время паводка несет в течение сравнительно короткого количества времени значительные количества воды, а в остальную часть вегетационного периода вода имеется в недостаточном количестве. Применяя полив затопляемыми площадками, можно использовать в широкой степени период паводков для увлажнения возможно больших площадей с тем, чтобы в течение остального времени восполнять увлажнение почвы в тех размерах, в каких это позволяет режим источника орошения. Такой случай мы имеем, например, в бассейне р. Аракса, имеющем максимальный расход около 143 куб. саж. в секунду, при наименьших расходах в течение вегетационного периода от 6 до 9 куб. саж./сек.: при валовой площади Муганской степи около 190.000 десятин, вполне понятно, впредь до урегулирования течения р. Аракса, стремление населения использовать паводковые воды и применение затопления площадками. Однако, выгоды применени этого способа значительно умаляются и получают во всяком случае лишь кратковременное значение, если мы вспомним, что в той же Мугани, по данным Гидромодульной части, на однократное весеннее затопление расходуется свыше 500 куб. саж. на десятину, с чем связаны подъем грунтовых вод, заболачивание и засоление; эти отрицательные стороны орошения в Мугани являются причиной намечающейся там тенденции к переходу к другим, более совершенным способам полива.



Черт. 260. Полив чеками с перепуском воды из верхних чек в нижние.

Примеры из практики. В ирригационных округах Modesto и Turlock оросители рассчитаны на расход 10—20 секундо/фут., при чем фермеры получают воду в порядке очереди в течение короткого промежутка времени. Размер поливного тока 5 секундо/фут. Полив начинается с верхних площадок с тем, чтобы использовать для орошения нижних воду, просачивающую через отдельные слабые места в валиках или проходящую через прорывы в них; при обратном порядке получается переорошение нижних чек.

В San Joaquin Valley, район Kern, Калифорния, участок земли в 11.000 десятин в одном отрезе, разбит на площадки и используется для люцерны. Местность имеет уклон 0,0004—0,001. Площадки имеют в среднем площадь около 15 десятин, максимум до 75 десятин. Высота валиков 0,30—

0,50 метра, ширина по дну 3,6—5,5 метра; валики надлежаще скруглены и используются для посевов. В последнее время в Калифорнии отказались от устройства больших площадок и теперь редко можно найти площадки больше, чем две десятины.

В Германии при орошении лугов затопляемые площадки доходят до 9 десятин, хотя, как выше указано, в некоторых случаях величина их бывает и значительно выше; иногда применяются специальные меры для равномерности увлажнения и распределения наносов. Глубина затопления в верхнем конце 0,05 метра, в нижнем 0,20—0,25 метра, так что средняя глубина затопления 0,12—0,15 метра; гребень валика возвышается над горизонтом воды на 0,20—0,25 метра. Луга затапливаются только весной и осенью, дабы не повредить растений отложениями наносов.

Во Франции применяют полив затопляемыми площадками для зимнего орошения виноградников с целью убить филоксеру; с этой целью их затапливают на срок от 40 до 60 дней для слабопроницаемых почв и около 30 дней—для более проницаемых. На сильно проницаемых почвах этот способ не применяют из опасения подъема грунтовых вод и повреждения ими корней растений. Средняя глубина затопления около 0,40 метра; есть примеры затопления виноградников и на 1,00 метр в течение пяти месяцев без каких-либо повреждений для них. Дамбы возвышаются на 0,30 метра над нормальным горизонтом воды в бассейнах и часть их, подверженная волнению, защищается дерновaнием или иным способом. Размеры площадок не делаются меньше 0,02 десятины и не больше 14 десятин.

Полив затопляемыми площадками с постоянным притоком воды. После заполнения бассейнов водой на требуемую глубину, приток воды не прекращается, но вместе с тем выпускные отверстия открываются и регулируются таким образом, чтобы приток воды равнялся ее расходу. Этим способом орошаются рисовые поля, так как рис для успешного произрастания требует, чтобы корни его постоянно находились в воде.

Фот. XII. Рисовые поля в Туркестане.

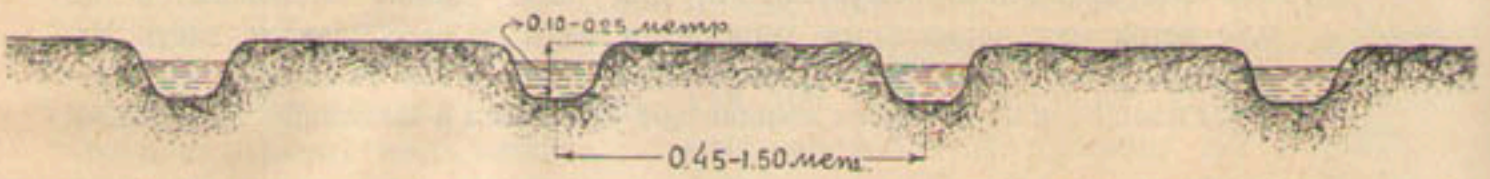
В Туркестане при орошении риса (фот. XII) поля выравниваются почти горизонтально, палы делаются размером от нескольких десятков кв. саж. до $^1/_6$ десятины. Валики высотой 0,30 метра имеют прорезы, через которые вода стекает в нижерасположенные делянки. Затопление производится на глубину 0,04—0,10 метра и горизонт воды поддерживается на такой высоте, чтобы головки растений выступали из воды, что необходимо для дыхания растений; поэтому вместе с ростом растений глубина затопления увеличивается.

Рис держится беспрерывно под водой в течение 85—100 дней, за исключением времени подготовки к посеву и самого посева (иногда впрочем делают перерывы для освежения почвы); вода спускается за неделю до жатвы.

Вторая группа поливов. Поливы канавками. Эта группа поливов обычно носит название бороздного полива, так как отдельные канавки, по которым вода распространяется по орошаемому полю, принято называть бороздами. В качестве разновидностей бороздного полива мы рассмотрим в дальнейшем полив так называемыми мелкими бороздами и распространенный в Туркестане полив джояками (глубокие борозды, отличающиеся также своим расположением в плане).

Полив бороздами (furrow irrigation – по англо-американской терминологии, infiltration, arrosage à la raie – по французской, Einstauung— по немецкой терминологии).

Полив бороздами имеет большое распространение в орошаемых районах; он применяется для орошения садов, огородов, виноградников, хлопка,



Черт. 261. Поперечный разрез борозд.

бахчей, для всяких культур, требующих грядовой обработки, а равным образом и для зерновых и кормовых культур.

При этом способе полива вода распределяется по орошаемому полю рядом неглубоких борозд, глубиной 0,10—0,25 метра (черт. 261), проведенных друг от друга на расстоянии 0,5 – 1,5 метра, по которым вода протекает мелкими струйками равномерно по всем бороздам (фот. XIII).

Фот. XIII. Полив бороздами. J. A. Widtsoe.

При этом почти невозможно избежать полива без сброса и иногда, особенно в тяжелых почвах, сознательно идут на значительный сброс, используя остающуюся воду на нижележащем поле.

Полив бороздами применяется и в несколько иной форме, когда воду в бороздах подпруживают и оставляют до полного впитывания в почву.

Под действием капиллярных сил, вода из борозд распространяется во все стороны и увлажняет пространство между ними. Борозды должны

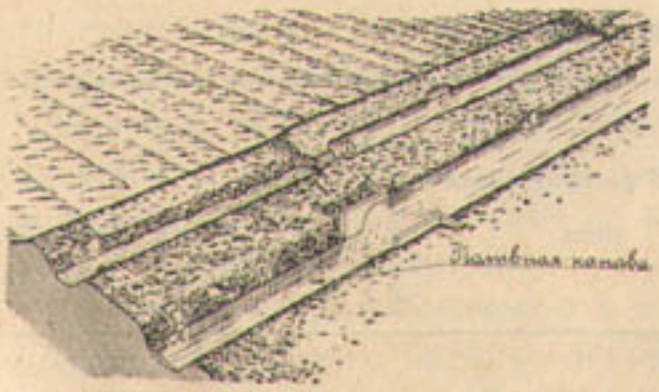
быть расположены достаточно близко одна от другой, чтобы сферы увлажнения отдельных борозд взаимно пересекались и между ними не оставалось неувлажненного пространства, что может случиться, если расстояние между бороздами будет назначено слишком большим.

При поливе вода в поливной канаве подпруживается тем или иным способом и отводится в серию борозд. Для удобства распределения, зачастую вода отводится не из самой поливной канавы, а из небольших ее ответвлений, питающих несколько борозд (черт. 262).

Равномерность распределения воды между отдельными бороздами в значительной степени зависит от способа питания борозд. В более примитивных хозяйствах подача воды в борозды производится через прорезы в дамбах поливных канав или их ответвлений; этот способ является вместе с тем и самым неточным, так как распределение воды совершается на глаз, и бороздный расход может сильно уменьшиться, если оставить борозду без присмотра на полчаса и более. Распределение воды требует неослабного внимания со стороны земледельца и все же не может быть вполне равномерным; полив ночью затрудняется.

Черт. 262. Питание борозд из ответвлений поливной канавы.

В культурных хозяйствах применяются более совершенные способы распределения воды по бороздам; для примера приведем описание одного из них (черт. 263). Постоянные поперечные преграждения из дерева или бетона разделяют поливную канаву на ряд бьефов, в которых вода поддерживается на определенном уровне. Через выпуски в дамбах в виде трубок, заложенных на 2—3″ ниже горизонта воды (черт. 225 и 226), вода из поливной канавы поступает в боковые ответвления, расположенные рядом с ней и служащие для питания серии борозд.



Черт. 263. Применяемый в Америке способ распределения воды по бороздам.

Боковые ответвления разбиты на бьефы, в каждом из коих поддерживается определенный горизонт.

Во избежание размыва низовой дамбочки во время наполнения бокового ответвления, последняя укрепляется против месторасположения выпускной трубки в точках Б (черт. 263). Каждое отдельное боковое ответ-

вление имеет длину 6—20 метров, поверхность воды в нем горизонтальна и, следовательно, в каждую трубку поступает одно и то же количество воды. Отдельные бьефы отделяются один от другого земляной дамбочкой с водосливом и, в случае переполнения какого-либо бьефа, вода из него переливается в нижележащий. Описанное устройство позволяет производить полив и в ночное время.

Недостатками системы являются затруднительность существенного изменения величины бороздного тока и сравнительно быстрое разрушение деревянных частей; в целях увеличения срока службы применяется, иногда их креозотирование.

Равномерность распределения воды по бороздам оказывает большое влияние на величину урожайности; в таблице 56 показаны результаты опытов в этом направлении с сахарной свеклой в Колорадо.

Почва делянок—тяжелый суглинок, борозды длиной в 105 метр.

Таблица 56.

Число поливов.	СПОСОБ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ ПО БОРОЗДАМ.	Оросительная норма в куб. саж. на десятину.	Поливная норма, в куб. саж., на десятину.	Урожай, в пуд., на десятину.	Урожай, в %
2	Деревянные трубки	230	115	734	118
2	Прорезы в дамбах	233	116,5	624	110
4	Деревянные трубки	574	143,5	950	121,5
4	Прорезы в дамбах	584	145,5	782	100

Такие же результаты получились в 1905—1906 гг. в Lovcland Колорадо при сравнении урожаев на опытном поле и на прилегающей к нему ферме (табл. 57).

Таблица 57.

Число поливов.	НАЗВАНИЕ ПУНКТОВ ОПЫТОВ.	Год.	Способ распределения воды.	Оросительная норма в куб. саж. на десятину.	Поливная норма, в куб. саж., на десятину.	Урожай, в пуд., на десятину.	Урожай, в %
3	Опытное поле	1905	Деревянные трубки .	470	157	875	120
3	Прилегающая ферма .	1905	Прорезы в дамбах . .	995	332	730	100
2	Опытное поле	1906	Деревянные трубки . .	360	180	1 280	115,5
2	Прилегающая ферма . .	1906	Прорезы в дамбах . .	968	484	1.100	100

Как видно из этих опытов, применение трубок для питания борозд не только увеличивает на 15 – 20% урожайность, благодаря более равномерному увлажнению, но и уменьшает величину оросительной нормы (табл. 57).

Для протекания воды по бороздам, последние должны быть обеспечены достаточным уклоном, поэтому бороздной полив неприменим в случае слабых падений местности, 0,001 и ниже, при наличии коих он должен быть заменен поливом затопляемыми площадками.

Уклоны местности 0,003 —0,005 являются весьма подходящими для бороздного полива, так как, с одной стороны, при этом обеспечивается достаточная скорость продвижения воды, и, с другой стороны, не будет опасности размыва почв. При сильных падениях местности, во избежание размыва почв, борозды проводятся не по линии наибольшего уклона, а либо в направлении горизонталей с требуемым уклоном, либо применяется зигзагообразное расположение борозд (джоячный полив).

Гибкость бороздного полива в смысле его широкой приспособляемости к уклонам местности является одним из многих положительных качеств этого способа.

Бороздный полив может с успехом применяться при самых разнообразных почвах, кроме очень проницаемых и солонцеватых почв. Ограничение для очень легких почв объясняется крайне незначительным продвижением капиллярной влаги при этих условиях (см. нижеприводимые опыты Кинга, стр. 526), так как потребовалось бы слишком густое расположение борозд, в связи с чем увеличилась бы стоимость работ по проведению борозд и увеличилась бы площадь под самими бороздами, неиспользуемая для посадки растений. Кроме того, полив сопровождался бы большими потерями ниже корневой зоны, так как в проницаемых почвах отношение скоростей вертикального и горизонтального продвижения влаги будет велико и соответственно полезное использование оросительной воды будет невелико.

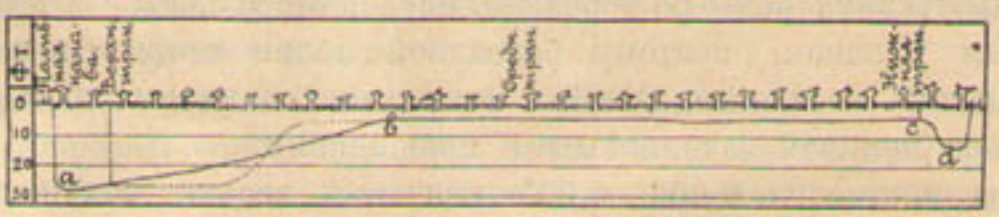
В почвах, склонных к осолонению, при капиллярном поднятии воды вместе с ней будут продвигаться также и соли, благодаря чему на поверхности грядок могут откладываться солевые скопления, что и заставляет в таких случаях избегать бороздного полива.

Наоборот, в тяжелых почвах, склонных в случае полива их сверху к спеканию и образованию корки, действие бороздного полива наиболее полезно, так как поднимающаяся по капиллярам вода размягчает корку и ослабляет вредное ее действие.

Как видно из изложенного, и в отношении почвенных условий область применения бороздного полива весьма широка.

Как показали опыты R. H. Loughridge'a, при протекании воды по бороздам, в верхней и нижней частях борозд почва получает избыточное увлажнение по сравнению с таковым в средней их части (черт. 264). Это объясняется более продолжительным временем протекания воды по верхней части борозды и дополнительным влиянием фильтрации из по-

ливной канавы с одной стороны, и наличием избыточной воды в конце борозды, разливающейся по полю до окончательного впитывания в почву— с другой (кроме, конечно, случаев полива со сбросом). Очертания кривой a, b, c, d, e, показывающие характер увлажнения поля в продольном



Черт. 264. Кривая вероятного продольного увлажнения от поливной канавы до конца борозды в суглинистом грунте.

направлении будут, конечно, меняться в каждом отдельном случае в зависимости от характера почвы и длины борозды; при увеличении длины борозд неравномерность увлажнения будет увеличиваться и величина потерь ниже корневой зоны будет возрастать.

R. H. Loughridge на основании наблюдений в Южной Калифорнии над бороздами в суглинистом грунте приводит следующие цифровые данные относительно характера увлажнения почвы в вертикальных разрезах, сделанных в различных частях по длине четырех борозд (табл. 58).

Таблица 58.

МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЕ РАЗРЕЗА.	Смоченная площадь.		Количество впитанной воды.	
	В кв. фут.	В %	В куб. фут.	В %
Вверху борозд	468,0	100	34,6	100
В середине борозд	57,5	12,3	5,5	15,9
Внизу борозд	66,0	14,1	4,8	13,9
Конец борозд (излишки воды)	310,0	66,2	29,4	85,0

Из таблицы видно, что вертикальное сечение мокрой почвы в верхней части борозд в 30 футах от поливной канавы почти в 4 раза больше таковых в нижней и средней частях борозд; соответственно этому и количество воды, впитанной в однофутовом сечении в верхней части борозд примерно, в 3,5 раза больше, чем в средней и нижней частях вместе.

В плотной глине, имеющей непроницаемую подпочву, увлажнение в различных частях борозд получилось гораздо более равномерным, чем при суглинистых грунтах (sandy loam), как это можно видеть из нижеприводимой таблицы 59 (для сечения длиной в один фут вдоль борозды); это вполне понятно, так как скорость поглощения влаги плотной глиной значительно меньше, а потому и неравномерность увлажнения в разных частях борозд, происходящая благодаря различной продолжительности их увлажнения, получается значительно меньшей.

Таблица 59.

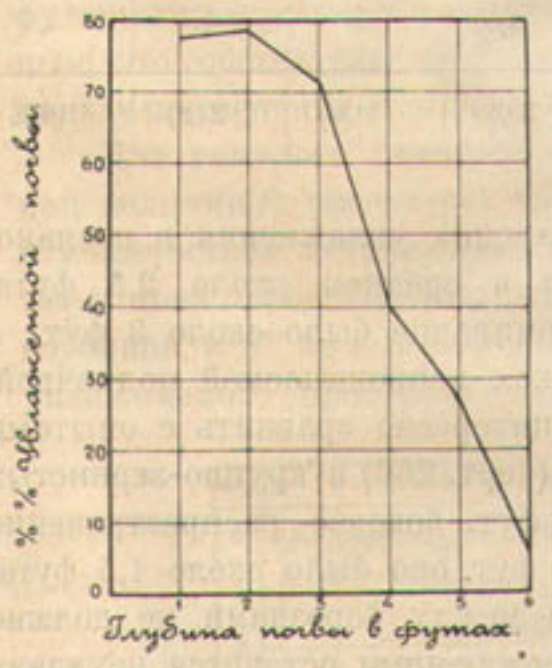
МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЕ РАЗРЕЗА.	Площадь.		Количество впитанной воды.	
	В кв. фут.	В % %	В куб. фут.	В % %
В верхней части борозды	72	100	6,36	100
В средней	60	83,4	4,52	71,0
В нижней	56	77,8	3,44	54,0

Так как при поливе бороздами, как впрочем и при всяком другом, желательно возможно более равномерное увлажнение поля, то и длина борозд должна быть сообразована с характером почвы и не должна быть чрезмерно велика.

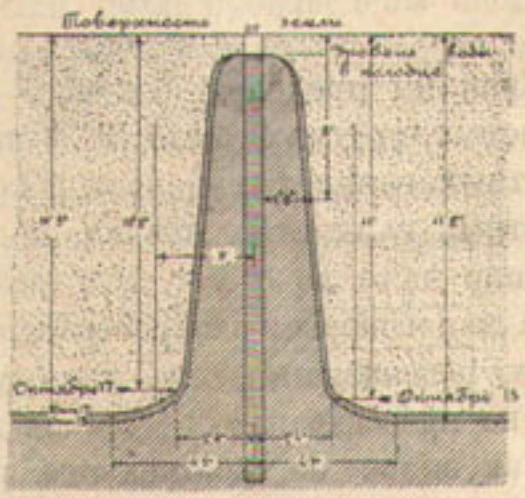
В американской практике длина борозд колеблется от 60 до 400 метр.; для средних суглинков (ordinary sandy loam) не рекомендуется делать борозды длинее 200 метров, а для пористых песчаных почв не свыше 100 метр.; наиболее желательны в первом случае борозды около 100 метр. длиной и 60 метров и менее во втором.

Во Франции длина борозд делается не более 100 метров.

Опыты R. H. Loughridge'a для определения характера увлажнения почвы в направлении поперечном к бороздам для легких суглинистых почв (черт. 12), хрящеватых тяжелых суглинков (черт. 13) и тяжелых суглинков (черт. 17) показали, что во всех случаях



Черт. 265 Увлажнение песчано-суглинистой почвы на различных глубинах.



Черт. 266. Боковое распространение воды в песчаных почвах по опытам King'a.

почва весьма неравномерно увлажняется как в глубину, так и в боковом направлении, а равно и в смысле количеств воды, удерживаемых на различных глубинах, что объясняется неодинаковыми в различных точках

величинами сопротивления проникновению воды. В легких суглинках вода имеет тенденцию двигаться вниз сильнее, чем в стороны и смоченная поверхность, как это можно видеть из черт. 12, суживается довольно быстро ниже глубины двух фут., образуя коническую фигуру; количество сухой неувлажненной почвы существенно увеличивается вместе с глубиной, при чем особенно резкий скачек наблюдается при переходе от 3-х-футовой к 4-х-футовой глубине и ниже, как это можно видеть из чертежа 265.

Средняя глубина просачивания была в суглинке около 46″, а наибольшая в тех местах, где просачивание находилось под влиянием пласта щебня, доходило до 72″ и более. Ход просачивания во время полива характеризуется данными таблицы 60, при чем следует отметить, что борозды были мелки и вода по ним шла слоем не более $^1/_2$″.

Таблица 60

Изменение площадей увлажнения в суглинистой почве во время полива.

Время в часах	Б	О	Р	О	З	Д	Ы
	I–IV	V–VI	VII–VIII	IX–X	XI–XII	XIII–XIV	XV–XVI
	Увлажненная площадь в кв. фут.						
24	19,50	6,25	9,50	7,25	10,25	8,00	8,00
48	32,25	13,50	20,00	16,00	15,50	14,25	9,25
72	17,25	3,00	6,00	4,25	5,25	—	1,25
96	—	—	—	3,00	—	—	—
Всего	69,00	22,75	35,50	30,50	31,00	22,25	18,75

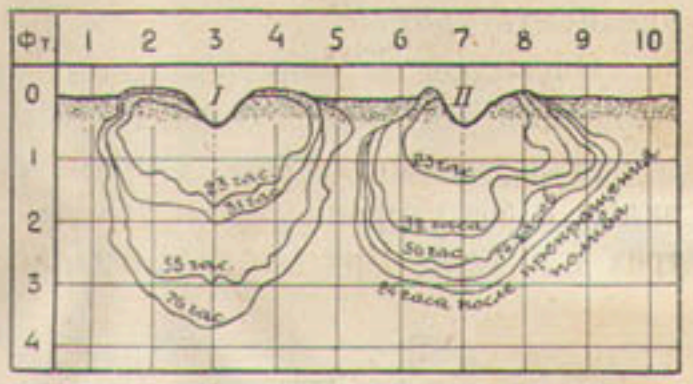
Крайним пределом бокового распространения увлажнения в песчано-глинистых грунтах было 3 фута, будучи в среднем около 2,5 фута, в плотных глинистых почвах боковое просачивание было около 3 фут., а в плотных глинистых почвах, подстилавшихся непроницаемой подпочвой, доходило даже до 5 фут. Эти результаты интересно сравнить с опытами King'a над боковым распространением воды (черт. 266) в крупно-зернистых песках, показавшими, что на глубине 11 фут. боковое распространение воды не превосходило 2′4″, а на глубине 5 фут. оно было около 1,5 фута.

Как видно из изложенного, расстояние между бороздами не должно быть велико, так как в противном случае между ними останется неувлажненное пространство и величина урожая будет уменьшаться.

Интересны в этом отношении опыты, произведенные в течение двух лет над картофелем в штате Wisconsin; при расстоянии между бороздами в $2^1/_2$ фута и при пропуске воды по каждой борозде, получался урожай 317,3 бушеля на акр, против 277 бушелей при орошении через борозду, причем урожай в условиях увлажнения одними только атмосферными

осадками выражался в размере 211,6 бушеля. Влияние орошения выразилось таким образом в добавочном урожае в 105,7 бушеля на акр, и при орошении через борозду эффект уменьшается на 40,2 бушеля или на 38%. Два самых крайних участка поля находились при этом в наихудших условиях увлажнения, так как расстояния середины гряды от орошаемой борозды были в них $3^3/_4$, что соответствует расстоянию между бороздами в 7,5 фута, при чем урожай на этих грядах был только на 7,9 бушеля больше урожая на неорошенных участках, т. е. фактически действие орошения было сведено почти к нулю. Исследования, сделанные в этом направлении Бюро Irrigation Investigations of the U. S. Department of Agriculture, также привели к подобным же результатам и показали, что при орошении через борозду урожай уменьшается более, чем на 20%.

С целью изучения влияния глубины борозд на характер увлажнения, R. H. Loughridge'ем и S. Fortier было проделано несколько опытов. Результаты опытов для суглинков при бороздах глубиной 10″ и 5″, по которым вода пускалась на семь часов, показаны на черт. 14 и 15; при глубоких бороздах боковое распространение влаги превосходило почти вдвое таковое при мелких бороздах, при чем в случае мелких борозд увлажнение распространялось до самой поверхности почвы, тогда как при глубоких бороздах верхний полуфутовый слой оставался неувлажненным; это обстоятельство говорит в пользу применения глубоких борозд.



Черт. 267. Изолинии просачивания под глубокими поливными бороздами в тяжелом глинистом грунте.

Для тяжелого глинистого грунта были также произведены наблюдения над величиной смоченной площади (в одно-футовом вдоль борозд сечении) и количеством поглощенной воды для борозд глубиной 5″ и 8″, результаты коих представлены на черт. 267 и 268 и в таблице 61; борозды глубиной в 8″ не выявили каких-либо преимуществ с точки зрения ширины увлажняемого пространства по сравнению с 5″-ми бороздами, но зато

Черт. 268. Изолинии просачивания под мелкими поливными бороздами в тяжелом глинистом грунте.

выяснилось преимущество глубоких борозд с точки зрения лучшего усвоения влаги почвой (табл. 61).

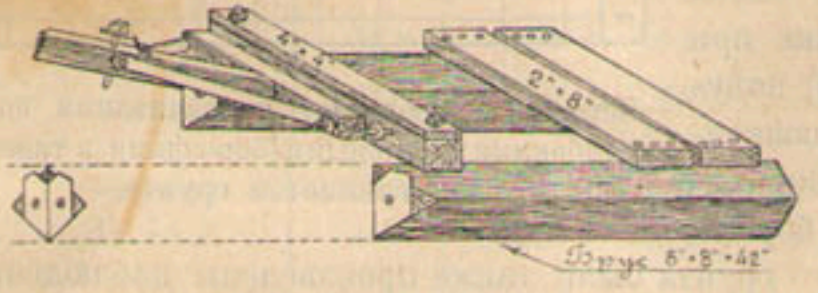
Таблица 61.

Характер борозд.	Смоченная поверхность, в кв. фут.	Количество поглощенной воды, в куб. фут.
	Через сутки после полива.	
Борозды глубиной 8″ (для двух борозд)	19	2,06
Борозды глубиной 5″	15	1,79

Количество влаги, усвоенной участком в одну десятину при 4200 пог. саж. борозд, было при глубоких бороздах $= \frac{2.06 \times 8400}{343} = 176,7$ куб. саж. и $\frac{1.79 \times 2400}{343} = 153,5$ куб. саж. при мелких бороздах. Можно было бы либо уменьшить в первом случае поливную норму, либо, применяя ту же норму, увеличить урожай.

Очевидно, в силу указанных причин, в последнее время имеется тенденция устраивать более глубокие борозды в 8–9″.

Для устройства борозд применяется простой окучник или плуг с развалом в обе стороны; кроме того, применяются салазки, состоящие из двух, трех или более брусьев, поставленных на ребро; они связываются между собою в задней части досками $2'' \times 8''$, на которые становится рабочий, и в передней части брусом, служащим для прикрепления к нему тяги (черт. 269). В передней части режущие брусья заострены в виде буквы *V* и обиты железом.



Черт. 269. Салазки для устройства борозд.

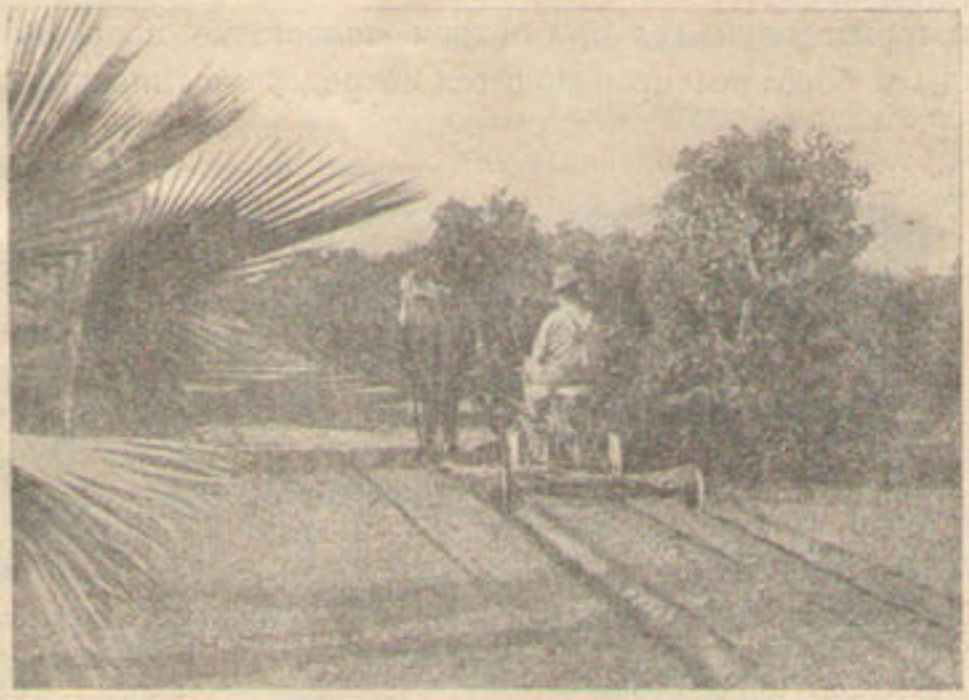
Для устройства глубоких борозд в 8—9″ иногда пользуются двух или четырехрядным культиватором, при пользовании которым проведение борозд совершается в 2—3 раза скорее (фот. XIV).

Для однолетних культур борозды постепенно запахиваются, для культур многолетних—они устраиваются на несколько лет.

Величина бороздного тока должна быть сообразована с уклоном борозды и ее длиной, с характером почвы, требующей более или менее длительного увлажнения, сопротивляемостью ее размыву.

Величина хозяйственного тока, поступающего в распоряжение земледельца, и способы, применяемые им для распределения воды по бороздам, могут иметь решающее значение на величину бороздного тока. Например, при питании борозд через прорезы в дамбах поливной канавы, практически трудно разделить ток в один секундо-фут больше, чем на 10 равных частей, хотя иногда может быть желательно иметь поливной ток от 0,005 до 0,02 секундо-фута.

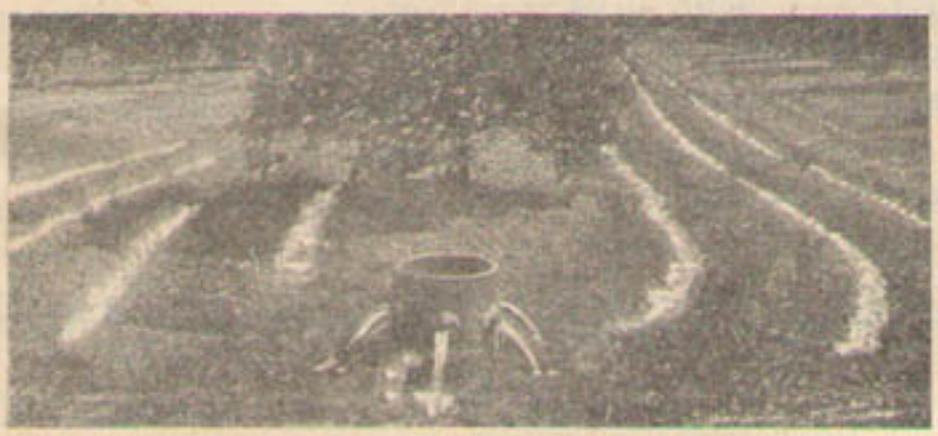
Величина хозяйственного расхода при бороздном поливе изменяется от нескольких долей секундо-фута до 4 и более секундо-фут; для небольших ферм применяется часто ток от 0,5 до 1,5 секундо-фут. Бороздный ток в американской практике колеблется от 0,005 секундо-фут. до 0,06—



Фот. XIV. Устройство глубоких борозд культиватором.

0,08—0,1 секундо-фута; низшие пределы применяются для тяжелых, медленно увлажняющихся почв. При легких почвах, в целях уменьшения потерь в верхней части борозды, ток увеличивается.

Величину поливного тока часто меняют во время самого полива: сначала, чтобы быстрее догнать воду до конца борозды, ток увеличивают в 3—4 раза, после чего его уменьшают до нормы.



Фот. XV. Орошение трубами с распределением воды по бороздам.
Farmer's Bulletin, № 899.

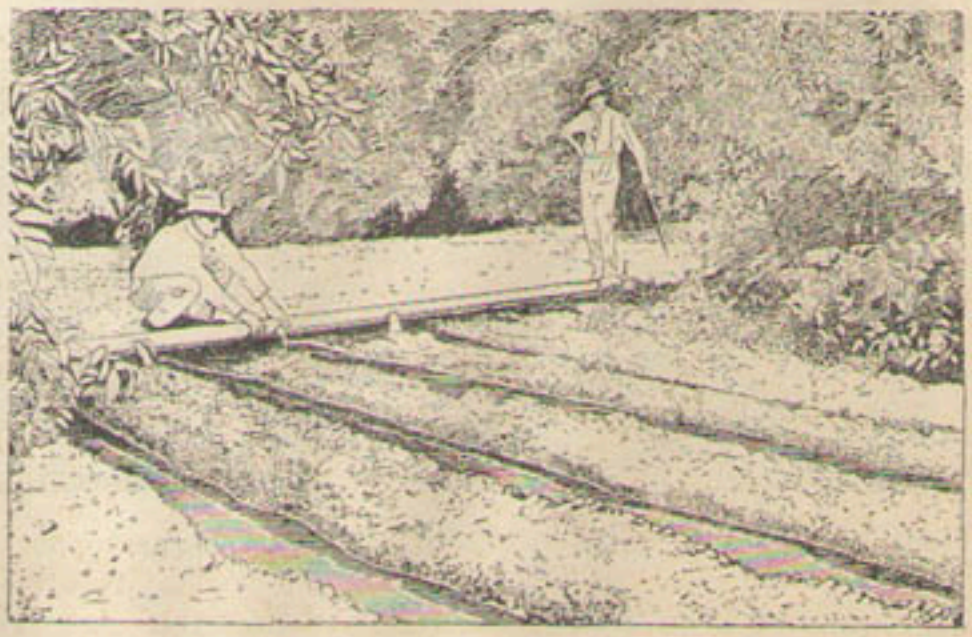
В целях лучшего использования воды, сбросные воды обычно собираются в водосбор и затем распределяются по бороздам нижележащего участка поля.

Время протекания воды по бороздам изменяется от 3 до 48 часов и зависит от нормы полива. По опытам проф. R. W. Fischer'a в Bitter Road

River, Монтана, для увлажнения тяжелых суглинков на глубину в 4 фута и на 3 фута в стороны требуется, например, от 12 до 18 часов.

Don Bark считает необходимым производить полив люцерны при почвах средней плотности и средних уклонах в течение 24 часов, для зерновых около 12 часов.

В некоторых случаях, при остром недостатке в оросительной воде, подача воды к бороздам производится посредством описанных выше систем

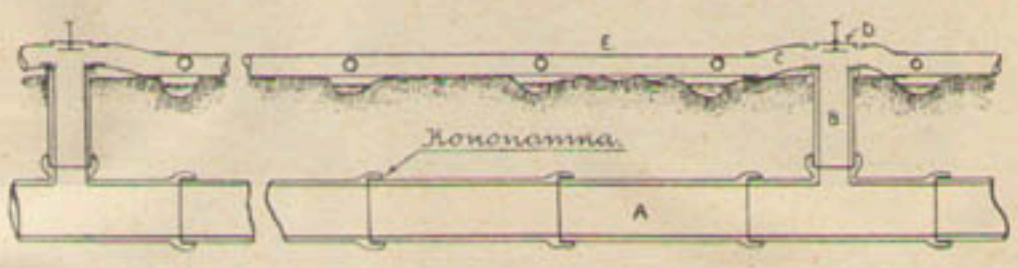


Фот. XVI. Орошение трубами. Питание борозд производится из трубопровода, расположенного между гидрантами.

напорных подземных трубопроводов, а передача воды из них в борозды делается через выпускные трубки в гидрантах (фот. XV) или иным способом (фот. XVI, черт. 270).

Один гидрант питает обычно от 5 до 6 борозд.

Увлажнение производится протекающей по бороздам водой; неравномерность увлажнения вдоль борозд, а равно и потери ниже корневой зоны сохраняются без изменения.



Черт. 270. Орошение трубами. Питание борозд производится из трубопровода, расположенного между гидрантами.

Распределение воды между бороздами регулируется щитками и может поэтому производиться достаточно точно.

Недостатком системы является ее дороговизна.

Примеры из практики. В Payette Valley, Айдаго, хозяйственный ток при поливе бороздами применяется в 4 секундо-фут и более; вода разделяется по бороздам помощью деревянных трубочек. В случае крутых уклонов, величина хозяйственного тока значительно уменьшается. Длина борозд изменяется от 90 метров при крутых уклонах до 180 метров и более при более пологих. Время, требующееся для увлажнения почвы, изменяется от 3 до 36 часов в зависимости от длины борозд и характера почвы.

Фруктовый сад в 7,4 десятины в Jakima Valley, Вашингтон, орошается бороздами в 192 метра длиной при величине хозяйственного тока в 0,35 секундо-фут. Единовременно орошается половина сада и полив продолжается 48 часов.

В Hood River, Орегон, борозды делаются длиной в 105 метров и проводятся через 0,9 метра, поливной ток в 0,025 секундо-фута пускается через борозду на 48 часов.

При орошении вблизи Twin Falls, Айдаго, поливные канавы проводятся по возможности параллельно с уклоном 0,002—0,005 на расстоянии 90—150 метров одна от другой. Борозды идут в направлении наибольшего падения под прямыми углами к канавам поливной сети. Перемычки на поливных канавах ставятся в конце каждого участка, имеющего падение в 12″. Деревянные выпускные трубки заложены в низовой дамбе на 3″ ниже подпорного горизонта в поливной канаве; они имеют длину 16—24″; каждая трубка служит для питания нескольких борозд. Для фермы в 144 десятины требуется около 30 перемычек и 1800 выпускных трубочек.

В Jakima Valley во время посева борозды устраиваются на расстоянии 18—24″ одна от другой, но после того, как растение разовьет корневую систему, производится полив через борозду. В суглинке (sandy loam) при бороздах длиной в 200—400 метров для достаточного увлажнения почвы требуется беспрерывное протекание воды в течение двух дней, что обычно связано с большими потерями ниже корневой зоны.

Сравнение бороздного полива с поливом затоплением. Наблюдений этого рода произведено весьма мало и они не могут считаться исчерпывающими; мы приведем здесь результаты трехлетних опытов на Мургабской Гидромодульной станции, поставленных агрономом М. Перескоковым: следует, однако, указать, что опыты ставились с иной целью и изучение бороздного полива производилось лишь попутно.

Как видно из нижеприведенных таблиц (62, 63 и 64), при бороздном поливе получается почти во всех случаях более продуктивное использование оросительной воды, особенно резко выразившееся в опытах 1916 года, когда при отсутствии полива во время цветения, в среднем, урожай на 1 куб. саж. оросительной воды выразился в 0,229 и 0,476 пуда соответственно для полива затопляемыми площадками и бороздами, а при наличии полива во время цветения в 0,175 и 0,363 пуда.

Более высокое использование оросительной воды, широкая область применения бороздного полива в отношении топографических и почвенных условий, согласованность с агротехническими условиями для ряда культур и проч., послужили причиной широкого распространения бороздного полива и, например, в американской жизни бороздной полив все более и более вытесняет полив затоплением.

Таблица № 62.

Опыты Мургабской Гидромодульной станции в 1914 г.

Схема поливов.	Предпосевный полив.	Поливная норма.	Оросительная норма.	Урожай в пудах на 1 десятину.	Урожай на 1 куб. саж. воды.	
					в пудах.	в %%.
			Затопление.			
1-4—1	150	90	90×6=540	127	0,235	100
			Борозды.			
1-4—1	150	60	60×6=360	125	0,348	148
			Затопление.			
1-4—1	225	90	90×6=540	174	0,322	100
			Борозды.			
1-4—1	225	60	60×6=360	166	0,462	143,4

Таблица № 63.

Опыты Мургабской Гидромодульной станции в 1915 г.

Оросительная норма.	Урожай с 1 десятины в пудах.	Урожай на 1 куб. саж. оросительной воды:		ПРИМЕЧАНИЕ.
		в пудах.	в %%.	
	Затопление.			Из ряда опытов взяты случаи с оросительной нормой 300—400 куб. саж.
3×100=300	137	0,457	103,0	
4×100=400	186	0,465	104,7	
2×150+1×100=400	164	0,410	93,3	
В среднем:	**162**	**0,444**	**100**	
	Борозды.			
5×60=300	168,5	0,562	126,6	
6×60=360	181,5	0,505	113,7	
4×75=300	138	0,460	103,6	
5×75=375	171	0,457	103,0	
В среднем:	**165**	**0,496**	**111,6**	

Таблица № 64.

Опыты Мургабской Гидромодульной станции в 1916 г.

Схема поливов.	Предпосевный полив.	Поливная норма.	Оросительная норма.	Урожай в пудах на 1 десятину.	Урожай на 1 куб. саж. воды.		Примечание.
					в пудах.	в % %	
			Затопление.				
0–3–0	225	200	200×3=600	143,7	0,24	104,8	
0–4–0	225	200	200×4=800	158,4	0,198	86,4	
0–3–0	225	150	150×3=450	129,5	0,288	132,0	
0–4–0	225	150	150×4=600	115,4	0,192	83,8	
		В среднем:		136,8	0,229	100	
			Борозды.				
0–4–0	225	75	75×4=300	142,9	0,476	207,8	
			Затопление.				Взяты для сравнения результаты, полученные на опытном поле № 4, как не подвергшемся после полива действию ливня.
0–3–1	225	200 и 100	200×3+100×1=700	122,9	0,175	100	
0–3–1	225	150 и 100	150×3+100×1=550	102,9	0,187	106,8	
0–4–1	225	150 и 100	150×4+100×1=700	114,0	0,163	93,2	
		В среднем:		113,3	0,175	100	
			Борозды.				
0–4–1	225	75 и 60	75×4+60×1=360	134,5	0,374	213,5	
0–4–1	225	60	60×5=300	116,7	0,389	222,1	
0–5–1	225	60	60×6=360	119,8	0,333	190,0	
		В среднем:		123,7	0,363	207,3	

Полив мелкими бороздами (corrugation method).

Полив мелкими бороздами в 4—5″ глубиной, с пропуском по ним небольших поливных струек, имеет большое распространение в американской и русской оросительной практике, особенно при наличии больших падений местности 0,01 и более; в последнем случае борозды не следует направлять по линии наибольшего уклона.

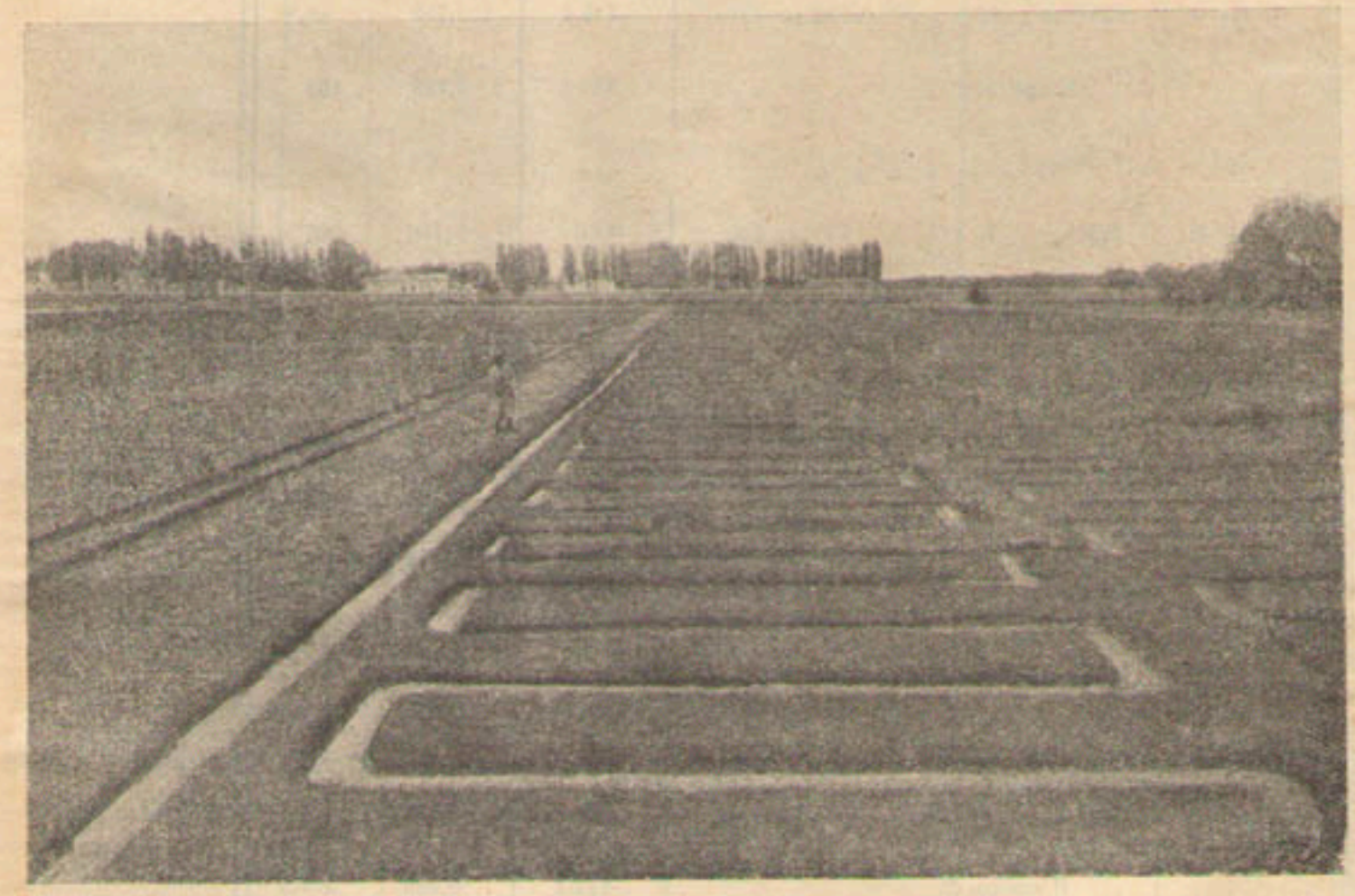
Расстояния между бороздами и длина их назначаются в обычных пределах. В легких почвах борозды делают шире, чем в тяжелых, чтобы уменьшить возможность размыва; равным образом они делаются шире для

многолетних культур, в предвидении возможности частичного их завали-вания при сборе урожая.

Наиболее, может быть, крупным преимуществом мелкобороздного полива является возможность его применения при очень крутых уклонах, когда другие способы полива могут быть применены только при условии терра-сирования поля, сопровождающегося, однако, большими затратами и не всегда рационального, особенно при тонком слое плодородной почвы.

Иногда мелко-бороздной полив с успехом применяется в соединении с напуском полосами, при чем в этом случае роль борозд заключается в равномерном распределении воды поперек и вдоль поля.

Минимальные затраты по подготовке поля и устройству борозд делают этот способ особенно пригодным для новых поселенцев, которые таким



Фот. XVII. Зигзагообразные джояки. А. И. Шах-Назаров.

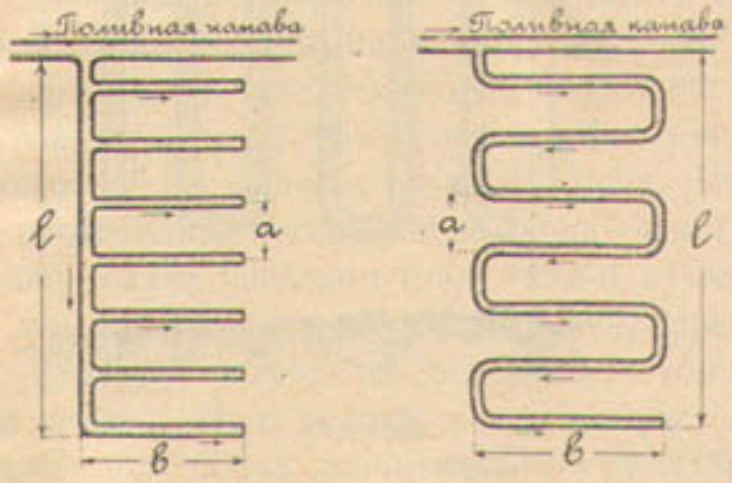
образом могут в кратчайший срок использовать находящиеся в их распо-ряжении новые земли.

Недостатком мелко-бороздного полива являются большие расходы по-ливной воды, большие количества труда и времени, необходимые для про-изводства поливов.

Медленность производства поливов является причиной того, что земле-делец занят ими в течение всего вегетационного периода, затрачивает на них большое количество труда и не имеет возможности использовать часть своего времени для других хозяйственных работ.

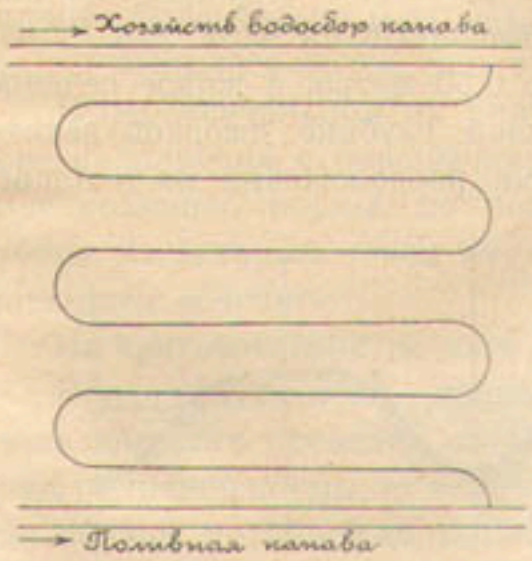
Полив джояками. В Туркестане имеет большое распространение применяемый в туземном орошении полив посредством джояков (фот. XVII), представляющих глубокие извилистые борозды гребенчатой или зигзагообразной формы (черт. 271); змейки проводят со слабым уклоном вдоль горизонталей, благодаря чему делается возможным применение джояков для участков с крутыми уклонами, что является одним из достоинств джоячного полива.

При поливе впускают воду в борозду и, по заполнении до требуемой высоты нижнего колена данной змейки или гребешка, его отделяют земляной перемычкой, (черт. 272в), затем, по заполнении следующего колена, ставят таким же образом вторую перемычку и т. д., пока не будут заполнены все колена; вода подпирается до высоты на 0,025—0,05 метра ниже предполагаемой линии посадки растений (черт. 273) и задерживается до полного впитывания через дно и откосы джояков.

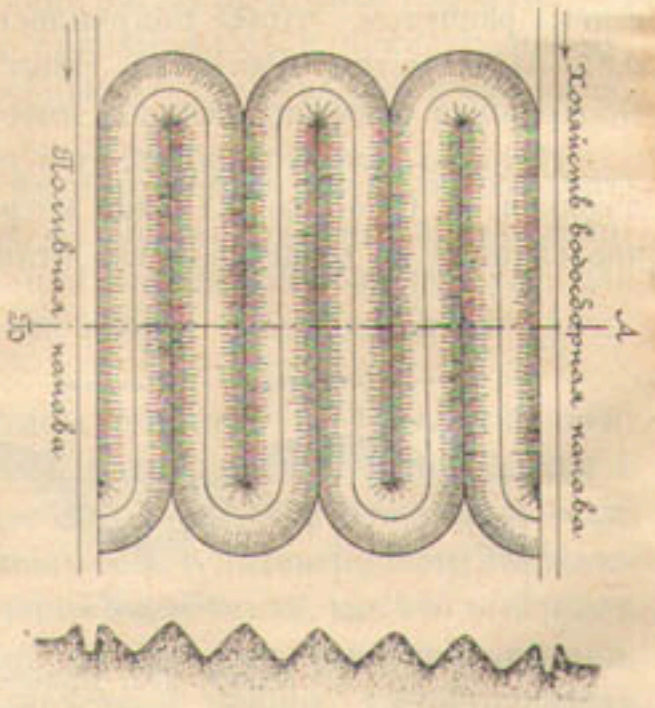


Черт. 271. Гребенчатое и зигзагообразное расположение джояков.

Такой способ полива применим в тех случаях, когда емкость джояков достаточно велика, чтобы вместить требуемую поливную норму; в противном случае нужно пропускать воду сквозным



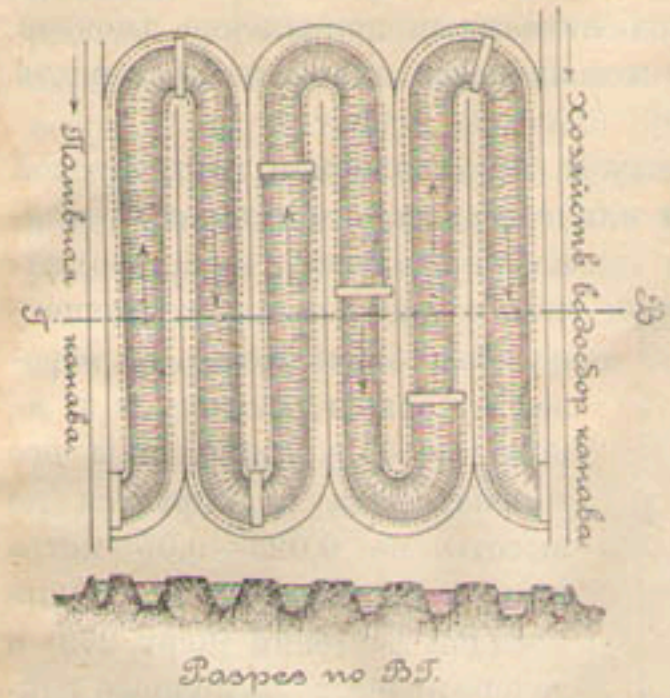
Черт. 272 а. Борозды намечены омачем.



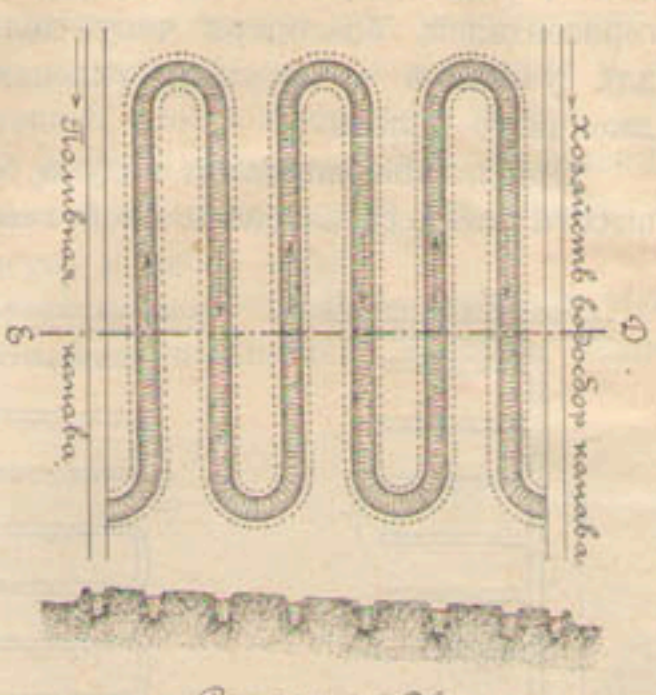
Черт. 272 б. Кетменями насыпаны гряды.

током, сбрасывая излишки воды, либо устраивая в конце джояка перемычку.

Расстояние между джояками находится в зависимости от проницаемости почвы, от рода культур, требующих того или иного расстояния между растениями.



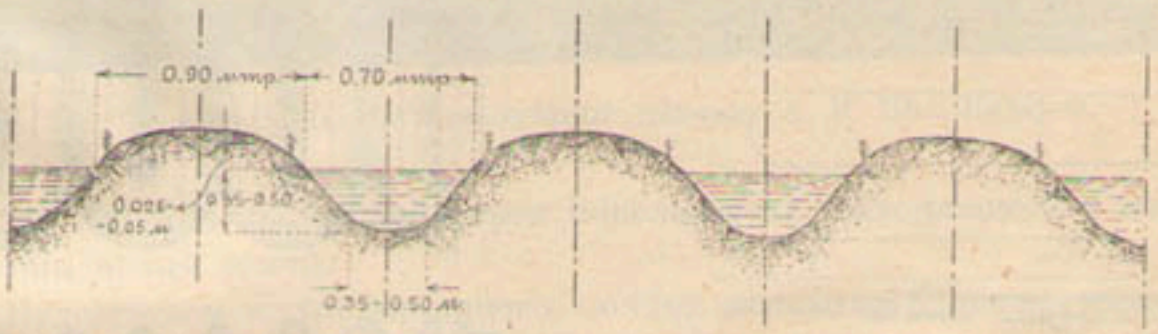
Черт. 272 в. Арыки залиты водой, подпертой перемычками (пунктиром показаны ряды растений).



Черт. 272 г. После окучки (емкость арыков уменьшилась).

Грядки делаются шириной около 0,90 метра, а при культуре бахчей — и более широкими. Джоякам придается ширина по верху 0,6—0,9 метра; иногда джояки устраивают шириной не более половины ширины гряд, с тем расчетом, чтобы получилось достаточно земли для гряд высотой 0,35—0,50 метра. Растения садят в лунки по обеим сторонам грядки Поперечный профиль джояков имеет вид, показанный на черт. 273.

Глубина джояков колеблется от 0,20 до 0,50 метра, а живое сечение джояков от 0,045 до 0,11 кв. метра; в большой глубине джояков заключается одно из существенных отличий (кроме расположения их в плане)



Черт. 273. Поперечный разрез джояков.

от обыкновенных борозд, более мелких, как мы видели выше. Американская практика, пришедшая к выводу о рациональности устройства глубоких борозд, подтверждает в этом отношении поливные приемы туземной туркестанской техники.

Отдельные змейки джояков b (черт. 271) бывают разной ширины: часто встречается ширина в 5—8 саж. Длина поливных площадок l (черт. 271), а, следовательно, и количество грядок, поливаемых одним джояком, сообразуется как с принятой шириной змеек, так и с желательной полной длиной змеек, которая часто делается в 150—200 метров. Поливным площадкам обыкновенно придают длину 50 -60 метров.

В зависимости от размеров гряд и джояков, на одну десятину приходится от 6.000 до 10.000 метров джояков, что соответствует емкости их в 700—1.300 куб. метров.

Джояки в Туркестане устраиваются следующим образом: прежде всего при помощи омача намечается на поле очертание их оси (черт. 272-а), после чего рабочие кетменями отгребают в обе стороны землю и насыпают островерхую гряду требуемой ширины (черт. 272-б). Предпосевную поливку производят указанным выше способом, устраивают перемычки (черт. 272-в) и производят посев, когда вода еще не совсем всосалась в почву. Семена садят гнездами (черт. 272-в, пунктир) непосредственно над линией, до которой намокла почва, так, чтобы корешки устремлялись в сырую землю, а ростки при выходе на поверхность имели дело не с замокшей, а с рыхлой землей. При окучке, к кустам растений подсыпается земля, а самый джояк получается значительно суженным (черт. 272-г), тогда как гряды расширяются.

Насколько существенно уменьшается емкость джояков после перекопки, можно видеть из опытов Туркестанской сельско-хозяйственной станции; до перекопки джояки, близкие к треугольной форме, имели на уровне рядов растений ширину 0,72 метра, при глубине в 0,28 метра, так что при длине около 6.400 пог. метров на десятину они вмещали в себя 650 куб. метров воды; после перекопки сечение их приближалось к прямоугольному, ширина была только 0,34 метра при глубине в 0,12 метра и емкость джояков уменьшилось более, чем вдвое.

В первоначальном их виде джояки были приспособлены для однократного наполнения с перемычками, так как их емкость соответствовала величине поливной нормы, но после перекопки они использовались уже для работы постоянным током со сбросом, что вполне объясняется их уменьшившимся сечением.

На приготовление джояков для 1 десятины требуется 11—15 рабочих дней.

Продолжительность полива джояками одной десятины колеблется в очень широких пределах от 17 до 40 часов и более; она зависит от величины поливной нормы, от величины поливного тока и интенсивности впитывания почвой поливной воды. Большое значение имеет также, как это выяснили опыты Р. Р. Шредера на Туркестанской сельско-хозяйственной станции, пропашка джоячных борозд перед производством полива, увеличивающая интенсивность впитывания в $1^1/_2$—2 раза.

Для сравнения джоячного полива с поливом затоплением в 1913 году были произведены немногочисленные к сожалению, опыты на Голодностепской опытной станции И. Мастеровым.

Опыты были произведены для различных схем распределения поливов при величине поливной нормы во всех случаях в 100 куб. саж. на десятину и оросительной в 400 куб. саж.

Результаты опытов показали в трех случаях из четырех увеличение урожайности при джоячном поливе на 9,5—29% против полива затоплением, и выявили увеличение в первом случае процента выхода сырца первого и второго сборов на 4—11%, а также процента выхода волокна.

Туземные земледельцы также считают джоячный хлопок лучшим по качеству, так как цена за него, например, в Ферганской области стояла на 20—30 коп. выше на пуд, чем за разбросной хлопок.

Чисто огородная тщательность, которая имеет место в Туркестане при джоячной культуре и производство большей части работ мускульным трудом имеют в результате громадную затрату рабочей силы. Обследования ирригационного хозяйства в бассейне р. Чирчика, произведенные И. Сусловым, выяснили, что, например, на культуру джоячного хлопка затрачивается на разных системах следующее количество рабочей силы.

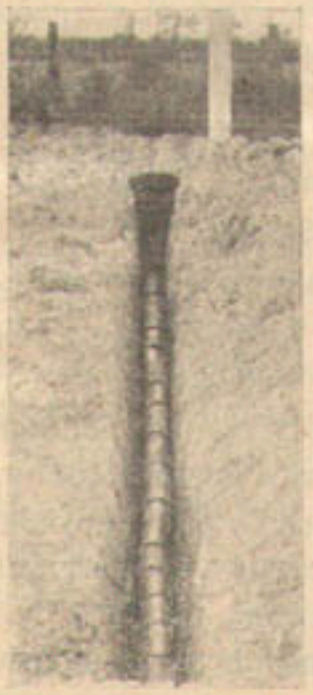
Таблица 65

Название системы.	Пахота (3 вспашки).		Бороно-вание (одно).		Разделка джолков.	Посев.	Полив (шесть).	Окучи-вание. (два).	Полка и прогежив. (два).	Жатва и вязка снопов.	Вязка и укладка.		ВСЕГО.	
	Волов.	Мужч.	Волов.	Мужч.	Мужч.	Мужч.	Мужч.	Мужч.	Мужч.	Мужч.	Волов.	Мужч.	Волов.	Мужч.
Карасу и Бактемир.	20,4	9,4	2,2	1,1	11	2,6	4,8	30,2	9,0	16,0	3,2	2,0	25,8	86,6
Боссу и Зах . .	20,4	9,9	2,2	1,1	11	2,6	4,8	30,2	9,0	23,0	3,2	2,0	25,8	93,3
Ханым .	17,4	4,5	2,2	0,9	11	2,6	4,8	30,2	9,0	23,0	3,2	2,0	22,8	88,0

Джоячная культура является наиболее трудоемкой и, следовательно, наиболее дорогой, что и составляет ее основной недостаток; если даже признать доказанным увеличение продукции при джояках, то все же требуется выяснение, на сколько излишняя затрата рабочей силы оправдывается увеличением урожайности.

Подпочвенное орошение (Subsurface irrigation — по англо-американской термикологии, irrigation souterraine — по французской). При этом способе полива вода распределяется по орошаемому полю напорными подземными трубопроводами с водонепроницаемыми стыками (фот. XIX), от которых идет система поливных трубопроводов с открытыми швами (фот. XVIII). На линии поливных трубопроводов расположен ряд регулирующих стояков описанной выше конструкции (черт. 274 и 233). Если будет закрыта нижняя задвижка и вода в поливном трубопроводе будет

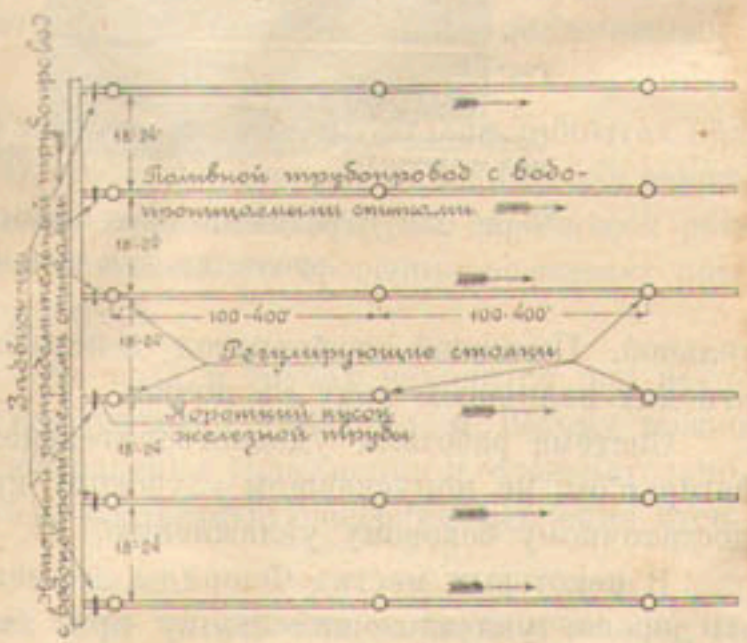
находиться под давлением, то она будет поступать в почву через открытые швы между трубами и производить ее увлажнение. Если же нижняя задвижка будет открыта, а приток воды из распределительного трубопровода в поливной будет прекращен, то поливной трубопровод будет высасывать воду из почвы и работать как дренаж.



Фот. XVIII. Подпочвенное орошение. Оросительный трубопровод с водопроницаемыми стыками. S. Fortier.

Фот. XIX. Подпочвенное орошение. Напорный трубопровод с водонепроницаемыми стыками. S. Fortier.

Для возможности успешного применения подпочвенного орошения должны быть соблюдены следующие основные условия. Почва должна обладать достаточной капиллярностью, чтобы вода, просачивающаяся из труб, могла подниматься до корневой зоны и иметь вместе с тем достаточное распространение в стороны; во избежание больших потерь на глубокое просачивание, подпочва должна подстилаться непроницаемым слоем. Не рекомендуется применять подпочвенное орошение в случае почв богатых солями, так как безпрерывный ток влаги снизу вверх может иметь последствием концентрацию солей на поверхности почвы и засоление поля. Так как одновременное наличие всех этих обстоятельств не всегда имеется на-лицо, то и подпочвенное орошение, в особенности в связи с дороговизной его устройства, получило до сих пор ограниченное распространение, применение же его в мало-подходящих естественных условиях в некоторых случаях закончилось неудачей.



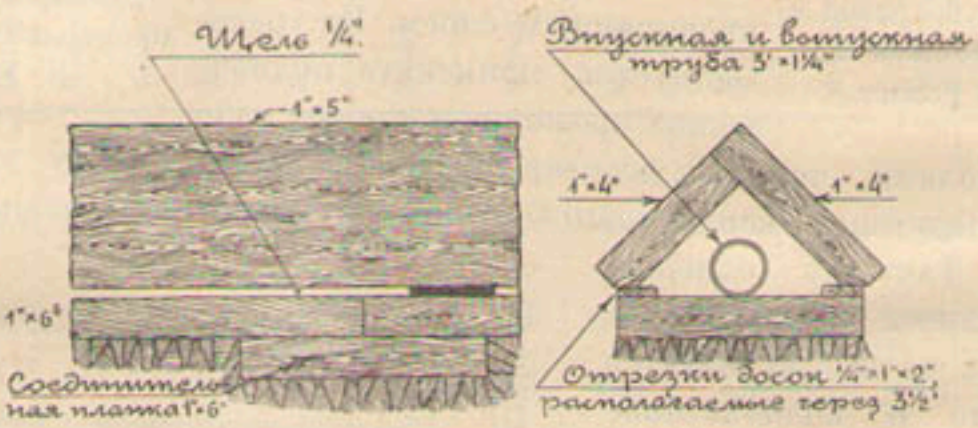
Черт. 274. Подпочвенное орошение.

Подпочвенное орошение с различными видоизменениями своей конструкции применялось в ограниченных размерах для орошения фруктовых садов в Южной Калифорнии, Техасе, Колорадо, Канзасе и Флориде.

Подпочвенное орошение, примененное во Флориде, в местности Sanford, имело следующее устройство (черт. 274).

Напорный распределительный трубопровод из глазированных гончарных труб заложен по возвышенным частям поля на глубине 16—18″; диаметр труб 4—5″ при длине каждой трубы в $2^1/_2$ фута. Стыки устроены в виде раструба и залиты цементным раствором для достижения их водонепроницаемости.

От главного полевого трубопровода отходит система поливных труб, положенных впритык одна к другой с открытыми швами также на глубине 16—18″. Эти трубы также гончарные, диаметром 3″ и длиной 12″; они имеют уклон от 0,0004 до 0,0026 и проведены через 18—24″ одна от другой. Поливной трубопровод получает воду от распределительного трубопровода через особые регулирующие стояки, соединенные с последним короткими отрезками 2″-ых стальных труб; впуск воды в поливной трубопровод или же выключение его производится путем поднимания или опускания специальных задвижек. Если нижние отверстия в регулирующих стояках закрыть, то вода, переливаясь через раздельную стенку, создает напор в вышележащей части трубопровода, благодаря чему вода из него будет поступать в почву и увлажнять ее. Когда орошения не производится, нижнее отверстие открывается и вода стекает свободно по поливному трубопроводу и далее в водосборную сеть, составляющую продолжение ороси-



Черт. 275. Деревянные трубопроводы, работающие как для орошения, так и для дренажа.

тельной. Поливной трубопровод действует при этом уже, как дренаж, и отводит излишнюю воду из почвы.

Система работала удовлетворительно; почва песчаная, подстилаемая hardpan'ом, не допускавшим глубокого просачивания и способствовавшим достаточному боковому увлажнению.

В некоторых местах Флориды применяется устройство трубопроводов из дерева, увлажняющих почву при закрытых щитах в регулирующих стояках и работающих как дрены—при открытых щитах. Устройство их ясно из черт. 275; 3-х футовые куски железных оцинкованных $1^1/_4$″ диаметром труб служат как для питания трубопровода, так и для соединения его с линией дрен и имеют затворы для соответственного регулирования.

Положительной стороной подпочвенного орошения является уничтожение потерь на испарение воды с поверхности поля и уменьшение потерь на сток; поэтому можно ожидать в этом случае значительного увеличения поливного модуля и действительно некоторые мелиораторы (Wilson, Don Bark, C. Раунер) указывают на величину поливного модуля 185—370 десятин на один секундо-фут. Однако, нормы модуля должны сильно зависеть от капиллярной способности почв и характера подпочвы и при неблагоприятных сочетаниях этих факторов представляется вероятным весьма существенное уменьшение поливного модуля, благодаря увеличению потерь на глубокую фильтрацию. F. H. King приводит следующие данные, основанные на некоторых опытах, произведенных при подпочвенном орошении. При 3" трубах, заложенных на глубине 18" и расположенных через 10 фут., для увлажнения поля было израсходовано 170 куб. саж. воды на десятину и увлажнение было произведено только на ширине 3 фут. над каждой линией труб. На другой делянке, где почва была более пористой, потребовалось около 560 куб. саж., причем трубы были расположены только через 5 фут.

Очевидно, условия почвы и подпочвы в этом случае мало благоприятствовали устройству подпочвенного орошения и имели место громадные потери воды на глубокую фильтрацию. В подобных естественных условиях, когда отпадает основное преимущество этого способа в виде экономии в оросительной воде, устройство подпочвенного орошения становится уже малорациональным. Наоборот, при поливном модуле, достигающем вышеуказанных высоких значений, можно ожидать благоприятных результатов; действительно, увеличение поливного модуля, сопровождаемое уменьшением размеров водоприводящих каналов и сооружений на них, попеременная работа системы то в целях увлажнения почвы, то для отвода излишней влаги — рисуют благоприятные перспективы для подпочвенного орошения.

Так как боковое увлажнение почвы, как это мы видели в опытах над бороздными поливами, имеет лишь небольшое распространение и для равномерного увлажнения почвы придется закладывать трубы на близком расстоянии, то для распространения подпочвенного орошения возникает препятствие чисто экономического характера.

Необходимо, однако, помнить, что вода в трубах находится под некоторым напором, создаваемым регулирующими стояками и потому можно ожидать более интенсивного распространения увлажнения и, следовательно, более редкого расположения труб и соответствующего удешевления стоимости трубопроводов.

Вопрос увлажнения различных почв из подземных трубопроводов, их расположения горизонтального и вертикального не освещен пока в достаточной мере опытными исследованиями; можно пожелать, чтобы он был включен в программы работ соответствующих опытно-научных организаций.

Другими преимуществами подпочвенного орошения являются:

а) сведение к минимуму предварительных работ по планировке поля, хотя все же надлежащая планировка должна привести и здесь к лучшим результатам;

б) незагроможденность полей оросительными канавами, что дает возможность свободного передвижения по ним земледельческих машин и позволяет использовать для посевов всю площадь поля.

Основным недостатком подпочвенного орошения является дороговизна первоначального устройства, делающая его применение возможным только для высокорентабельных культур. Однако, это положение не может считаться бесспорным, если принять во внимание изложенные выше соображения.

Далее следует указать на засоряемость труб корнями растений, тянущимися к источникам влаги в почве, на порчу и разрушение труб по этой причине, заиление труб благодаря отложению взвешенных наносов и проч. Самое определение мест, требующих ремонтных работ, также может представить некоторые затруднения.

В силу указанных причин, эксплоатационные расходы при подпочвенном орошении могут достигать значительных размеров.

Физико-химические качества поливной воды являются менее благоприятными, так как вода, протекающая по подземным трубам, будет более холодной и будет содержать меньше кислорода, чем при обычных способах полива.

В Южной Калифорнии и в штате Юта в некоторых районах подпочвенное орошение потерпело неудачу, несмотря на то, что на его устройство были затрачены крупные суммы денег и работы производились весьма тщательно; некоторые объясняют это характером почв, песчаных и гравелистых, обладающих небольшой капиллярной способностью и мало подходящих к требованиям, предъявляемым в этом отношении подпочвенным орошением. Наоборот, в других районах, например, в штате Канзас, при суглинистых и илистых почвах, подпочвенное орошение дало блестящие результаты.

Л И Т Е Р А Т У Р А.

1. B. A. Etcheverry.— Irrigation Practice and Engineering. Use of Irrigation Water. 1915.
2. F. H. King.– Irrigation and Drainage. 1922.
3. H. M. Wilson.—Irrigation Engineering. 1912.
4. I. A. Widtsoe.—The Principles of Irrigation Practice. 1914.
5. S. Fortier.—Use of Water in Irrigation. 1915.
6. F. H. Newell.—Irrigation in the United States. Third edition.
7. L. M. Wilcox.—Irrigation Farming. 1913. New-York.
8. Report of third Annual Conference of Operating Engineers. Held in Idaho. February 1914.
9. M. Provost, prof.—Drainage et Irrigation. 1911.
10. A. Ronna.—Les Irrigations. Les canaux et les systèmes d'irrigation.
11. Lévy Salvador.—Hydraulique Agricole. Les Irrigations.
12. Friedrich.—Kulturtechnischer Wasserbau. 1922.
13. S. Fortier.—Practical information for beginners in irrigation. Farmer's Bulletin, № 263. U. S. Department of Agriculture. 1915.
14. S. Fortier.—The border Method of Irrigation. Farmer's Bulletin. № 1243. U. S. Department of Agriculture. 1922.
15. R. H. Loughridge.—Distribution of water in the soil in furrow irrigation. Bulletin 203.
16. J. C. Marr.—Corrugation Method of Irrigation. U. S. Depart of Agriculture Farmer's Bulletin. № 1348. 1923.
17. S. Fortier.—Irrigation of Alfalfa. Farmer's Bulletin. № 865. U. S. Department of Agriculture.
18. E. J. Wickson.—Irrigation in field and garden. Farmer's Bulletin. № 138. U. S. Departm. of Agriculture. 1901.
19. S. Fortier.—Irrigation of Orchards. Farmer's Bulletin. № 882. U. S. Departm. of Agricult. 1917.
20. F. W. Roeding.—Irrigation of sugar beets. Farmer's Bulletin. № 392. U. S. Dept. of Agriculture. 1910.
21. E. J. Wickson.—Irrigation in fruit growing. Farm. Bulletin. № 116. U. S. Dep. of Agriculture. 1910.
22. W. MC. Laughlin.—Irrigation of grain. Farmer's Bulletin. № 399. U. S. Departm. of Agriculture. 1910.
23. F. W. Stanley.—Surface Irrigation for Eastern Farms. Farmer's Bulletin. № 399. U. S. Departm. of Agric. 1917.
24. F. W. Stanley.—The Use of concrete pipe in Irrigation. U. S. Dept. of Agriculture. Bull. № 906. 1921.
25. New Reclamation Era. №№ 5 and 8. 1924.

26. С. Ю. Раунер.—Искусственное орошение земельных угодий. 1897.
27. А. Н. Костяков.—Основные элементы расчета оросительных систем и их изучение. 1919.
28. Отчет Гидромодульной части за 1913 год, часть II.
29. Гидромодульная часть. Вып. 7. Гидромодульные исследования в Европейской России в 1914 году. Москва. 1916.
30. Гидромодульная часть. Вып. 8. Материалы по изучению водопользования в Туркестане в 1914 г. Москва. 1916.
31. Гидромодульная часть. Вып. 9. Материалы по изучению оптимального модуля орошения в Туркестане в 1914 г. Москва. 1916.
32. Известия Туркестанской сельско-хозяйственной опытной станции. Вып. V. 1913.
33. Вестник ирригации. № 1. 1923 г.
34. Шарпантье де Косинья.—Земледельческая гидравлика. 1895 г.
35. Вестник ирригации. № 7—8. 1923.
36. „ „ № 9 1923.
37. „ „ № 8 1924.
38. „ „ № 9 1924.
39. А. И. Шахназаров.—Сельское Хозяйство в Туркестанском Крае. 1908.

Глава XVI.

Общие задачи водоотводной сети. Заболачивание и засоление почв. Схема мероприятий по предупреждению этих явлений.

Общие задачи водоотводной сети.

В задачи водоотводной сети входит удаление из пределов района орошения „лишней", избыточной воды и избытка вредных солей. Избыток воды может оказаться как в водоприводных каналах, то есть в главном канале, в распределителях и оросителях, так и на поверхности орошаемой территории или в самой почве и подпочве. Избыток вредных солей может оказаться как в пределах почвенного слоя между уровнем грунтовых вод и поверхностью земли, так и в самой грунтовой воде.

Удаление избыточных вод производится с целью недопущения подъема уровня грунтовых вод и солевых скоплений выше опасного для растений горизонта и с целью создания водного, воздушного и солевого режима в почве, наиболее благоприятного для жизни растений.

Сеть каналов, отводящих избыточную воду с поверхности орошаемой территории и из недр почвы и подпочвы, регулирующая уровень грунтовых вод, водный, воздушный и солевой режим почвы, носит название водосборной. Водосборная сеть может состоять или сплошь из открытых канав и каналов, или же часть ее (обычно в пределах участков отдельных поселян или единиц водопользования) может быть устроена из закрытых, так называемых, дренажных труб. Эта последняя часть водосборной сети носит специальное название дренажной.

Наконец, сеть каналов, отводящих избыточную воду из различных пунктов главного канала, распределителей и оросителей носит название водосбросной.

Водосборная и водосбросная сети составляют в общем водоотводную сеть.

Итак, к задачам водоотводной сети надо отнести прежде всего предохранение района орошения от заболачивания и засоления. Когда район, предполагаемый к орошению, засолен или заболочен в своем естественном состоянии (еще до орошения), тогда на водоотводную сеть ложится также задача предварительной мелиорации местности в целях улучшения ея

почвенных условий, то есть, задачи осушения всей территории и удаления из почво-грунтов вредных солей.

Наконец, водоотводная сеть должна также защищать соседние нижележащие территории (прилегающие к орошаемому району) от заболачивания и засоления, которыее могут произойти вследствие сброса на них излишних вод из района орошения, вследствие подъема уровня грунтовых вод, выклинивания дренажных вод и т. д.

Прежде чем перейти к технике устройства водоотводной сети (см. главу XVII), остановимся несколько подробнее на тех явлениях, с которыми приходится ей бороться, то есть, на заболачивании и засолении почв.

В результате орошения практически неизбежен подъем грунтовых вод, а если почва и подпочва содержат соли, то и подъем солей. Когда уровень грунтовых вод поднимется до корневой зоны растений, начинается явление заболачивания местности, сущность которого описана на стр. 133—138. Когда вредные соли поднимаются до корневой зоны и скопляются в этой зоне свыше допускаемых пределов начинается явление засоления. Заболачивание и засоление являются обычными спутниками орошаемых районов. В зависимости от глубины залегания естественных горизонтов грунтовых вод и от количества и качества солей, сосредоточенных в толще почво-грунта между уровнем грунтовых вод и поверхностью земли, срок выявления указанных явлений может сильно колебаться; при неблагоприятных условиях заболачивание и засоление могут реально почувствоваться уже на второй, третий год и потребовать принятия специальных мер борьбы. Вопросы предохранения орошаемых районов от указанных последствий орошения требуют сугубого внимания как со стороны проектирующего, так, впоследствии, и со стороны эксплоатационного штата.

Заболачивание.

В главе VIII (стр. 133—138) дана характеристика этого явления, поэтому здесь полагаем возможным остановиться только на некоторых дополнительных соображениях.

Источниками питания грунтовых вод в орошаемом районе и основными причинами заболачивания являются:

а) фильтрация из каналов водоприводной сети:
   1. из магистрального канала,
   2. из распределителей,
   3. из оросителей;

б) фильтрация из реки во время прохода высоких вод и вообще при высоком стоянии горизонта;

в) фильтрация, непосредственно через толщу почвы орошаемых полей, той части поливной воды и атмосферных осадков, которые остаются неиспользуемыми корнями растений;

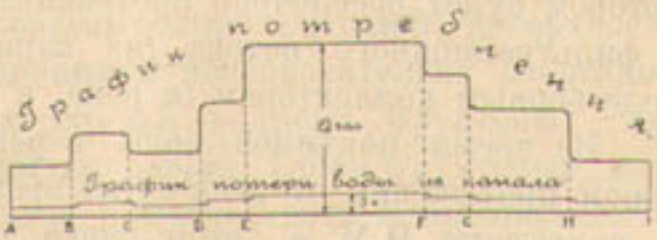
г) фильтрация дренажных вод, а также сбросы поверхностных вод с вышележащих участков.

Указанные четыре источника создают дополнительное питание основных грунтовых вод, полнимают их естественный горизонт, изменяют степень минерализации, изменяют конфигурацию залегания поверхности грунтовых вод и прочее. Остановимся несколько подробнее на каждом из вышеперечисленных источников питания грунтовых вод и заболачивания местности.

Фильтрация из водоприводящих каналов. В главе VIII-й (стр. 159—166) разобрана сущность процесса фильтрации воды из каналов и рассмотрены факторы, влияющие на величину фильтрации, поэтому здесь остановимся только на изменениях в режиме грунтовых вод, вызываемых фильтрацией из каналов.

На всем протяжении магистрального канала теряется в среднем от 10% до 20% воды, забираемой головным шлюзом из источника орошения (см. стр. 170—171, табл. 37), то есть от 0,1 до 0,2 $Q_{гол}$. Этот колоссальный поток воды, вытекающий через смоченную поверхность канала в грунт образует под каналом на всем его протяжении (см. черт. 79) водяной „гребень“ LKKL, с вершиной, упирающейся в канал, и основанием (L L) лежащим на первоначальном горизонте грунтовых вод. В течение года этот поток внесет в подпочву орошаемого района, очевидно, громадное количество воды: если обозначим величину расхода потока, вытекающего через смоченную поверхность главного канала, через $S_{гл.}$, то $S_{гл.} = \beta Q_{гол.}$, где β — есть коэффициент, показывающий какая часть расхода главного канала теряется на фильтрацию. Величина β, очевидно, должна меняться в течение года, в связи с изменением температуры воды (протекающей по каналу), величины смоченной поверхности, скорости течения и т. п. (см. стр. 159—167); величины $Q_{гол}$ и $S_{гл.}$ достигают наибольшей величины в разгар оросительного сезона. Однако, в общем график потерь воды из канала не будет конформен графику потребления (см. черт. 276).

Весь расход $S_{гл}$ будет неравномерно распределяться по каналу; на некоторых его участках величина просачивания будет значительно превышать средние нормы, благодаря галечному и песчаному грунту и другим благоприятным факторам, образуя усиленные „очаги фильтрации“, и, наоборот, на других участках величина просачивания может падать до самых минимальных размеров. Благодаря тому, что поток, протекающий по каналу, постепенно уменьшается по мере удаления от головного шлюза, в среднем должен также уменьшаться по течению и фильтрационный поток.



Черт. 276. График потерь воды из магистрального канала.

Главный канал пересекает всю орошаемую местность большею частью поперек склона, так что и направление фильтрационного потока, выте-

кающего на всем протяжении из канала, будет примерно перпендикулярно к направлению течения естественных грунтовых вод. Фильтрационный поток, образуя водяной холм KL_1N_1P на естественной поверхности (NTH_1) первоначального грунтового потока (см. черт. 277), неминуемо должен создать подпор грунтовых вод с верховой стороны, так как фильтрационная вода, постепенно прибывая и не имея стока, будет накапливаться

Черт. 277. Изменение естественного горизонта грунтовых вод, создаваемое фильтрационным потоком из магистрального канала.

в ложбине PN_1N. Уровень воды из положения PN_1N перейдет в положение PN_2N, затем в положение PN_3N и, наконец, дойдет до положения PN_4N, при котором уровень грунтовых вод на всем протяжении с верховых участков до самого канала будет иметь падение в одну и ту же сторону, при котором фильтрация из канала со стороны Рр должна будет прекратиться, вследствие подтопления канала с верховой стороны грунтовыми водами. Вследствие высокого подъема уровня грунтовых вод с верховой стороны, полоса земли РО вдоль канала будет находиться в угрожающем состоянии с точки зрения заболачивания и только в том случае, если грунтовые воды с верховой стороны смогут получить какой-нибудь выход (например, через овраги и боковые речные притоки, пересекающие канал), явление заболачивания может быть ослаблено или даже совсем избегнуто. Что касается низовой стороны, то здесь естественный уровень грунтовых вод TH_1 постепенно поднимается до KL_2MH_1, при котором будет обеспечено протекание естественного потока грунтовых вод и фильтрационного потока (из канала) по направлению к естественным водосборным коллекторам (к реке, к оврагам и прочее).

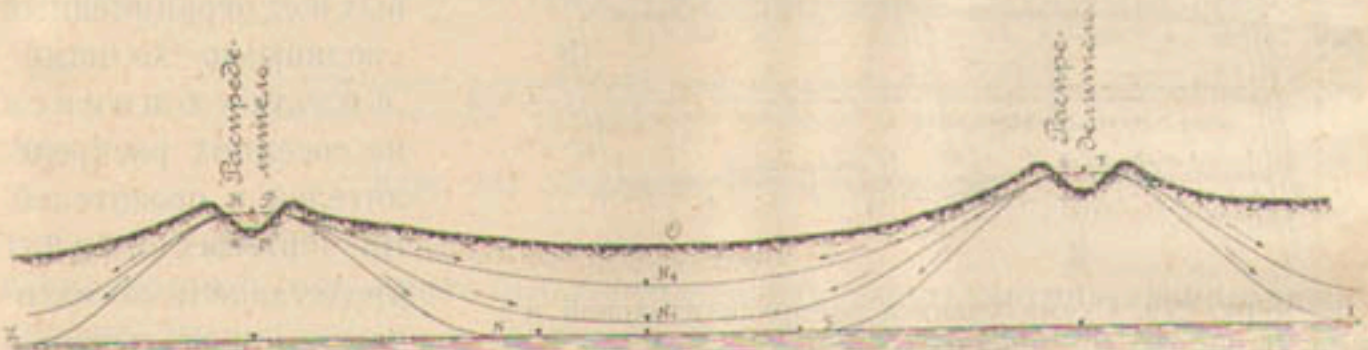
Во время подъемов воды в реке, горизонт грунтовых вод на некотором протяжении от реки будет временно подниматься из положения H_1M в положение H_2M, а затем снова опускаться. Благодаря кратковременности стояний высоких горизонтов и медленности течения грунтовых вод, подпор со стороны реки не может распространяться далеко и создать заболачивание. Однако, все-таки надо иметь в виду, что вследствие постоянного колебания горизонта воды в реке будет также колебаться и уровень грунтовых вод вблизи реки. Колебания эти будут происходить значительно медленнее, они будут отставать, но все-таки будут иметь место.

Вышеуказанным обрисовывается общий характер явлений, получающихся в связи с фильтрацией воды из главного канала, однако, целый

ряд дополнительных факторов может значительно исказить основную схему явлений.

Не весь фильтрационный расход $S_{гл.}$ будет попадать в подпочву орошаемого района, так как магистральный канал в пределах своей холостой части большею частью проходит вдали от района орошения, пересекая или пойму или проходя в глубокой выемке в высоком береге реки; проходя по пойме, канал может заболотить всю пойменную полосу, проходя же в глубокой выемке высокого берега, канал не только не сможет заболотить окружающую местность, но, наоборот, будет играть роль дренажного канала.

Очевидно, в каждом конкретном случае не представит затруднения установить в каких районах фильтрационный поток, вытекающий из главного канала, будет поступать под почву орошаемой местности, а также определить в грубом приближении, в пределах, величину расхода этого потока.



Черт. 278. Изменение горизонта грунтовых вод, создаваемое фильтрационным потоком из распределителей.

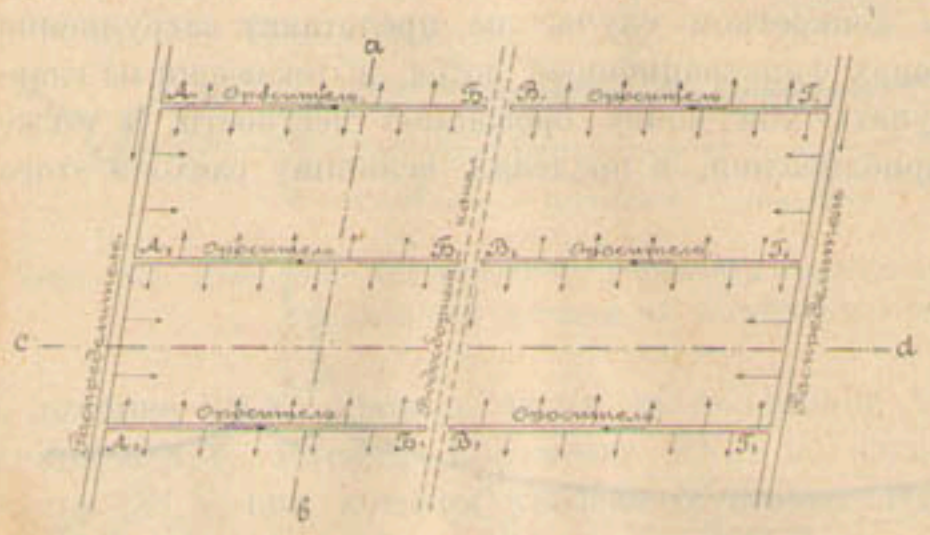
Перейдем теперь к фильтрационному потоку, образующемуся под распределителями и оросителями. На черт. 278, показана схема явления: под каждым распределителем и оросителем, во время их работы, образуется водяной холм, первоначальная поверхность грунтовых вод LX получает очертание $LKPN_1STX$, затем, благодаря притоку воды в ложбины PN_1S, в случае отсутствия стока грунтовых вод (по направлению, параллельному трассам распределителей), поверхность последних постепенно поднимается, принимая последовательно очертания PN_2S, и т. д.; в пределе возможен случай подъема грунтовых вод до поверхности почвы и даже покрытия почвы слоем грунтовых вод. Если вспомнить схему распределительной и мелкой сети и предположить, что глубокой водосборной сети не существует (весьма частый случай в наших туземных системах) и что фильтрующаяся из каналов вода не может просачиваться сквозь подпочву в естественный коллектор, то не трудно придти к заключению, что заболачивание местности будет неизбежным.

В правильно запроектированных ирригационных системах распределители и оросители работают тактами, то есть или работают полным расходом или совсем не работают. В периоды когда они не работают,

очевидно, „водяные холмы" исчезают, фильтрационный поток прекращается и горизонт грунтовых вод постепенно падает до уровня LX, то есть до того горизонта, который создается прибавлением фильтрационного потока из главного канала к естественным грунтовым водам.

Если в систему не введен водооборот и, следовательно, распределители и оросители постоянно работают, явление заболачивания будет происходить значительно скорее.

В самом деле, как видно из чертежа 279, на котором указана схема распределительной и мелкой сети, в пределах каждой полосы, ограниченной распределителями и оросителями, например, хотя бы, полосы A_2 $Б_2$ B_2 $Г_2$ $Г_3$ B_3 $Б_3$ A_3, создается поток грунтовых вод, ограниченный „водяными холмами" фильтрующимися из соседних распределителей и оросителей. На чертежах 280 и 281 представлены схематические продольный и поперечный разрезы участка и показано постепенное изменение горизонта грунтовых вод, в начале, вследствие как поступления фильтрационного потока из распределителей (см. черт. 280; поверхность грунтовых вод имеет сперва положение LT, затем PNGS, потом PN_1S; очевидно, она может подняться и выше, в случае если грунтовому потоку нет выхода), так и из оросителей



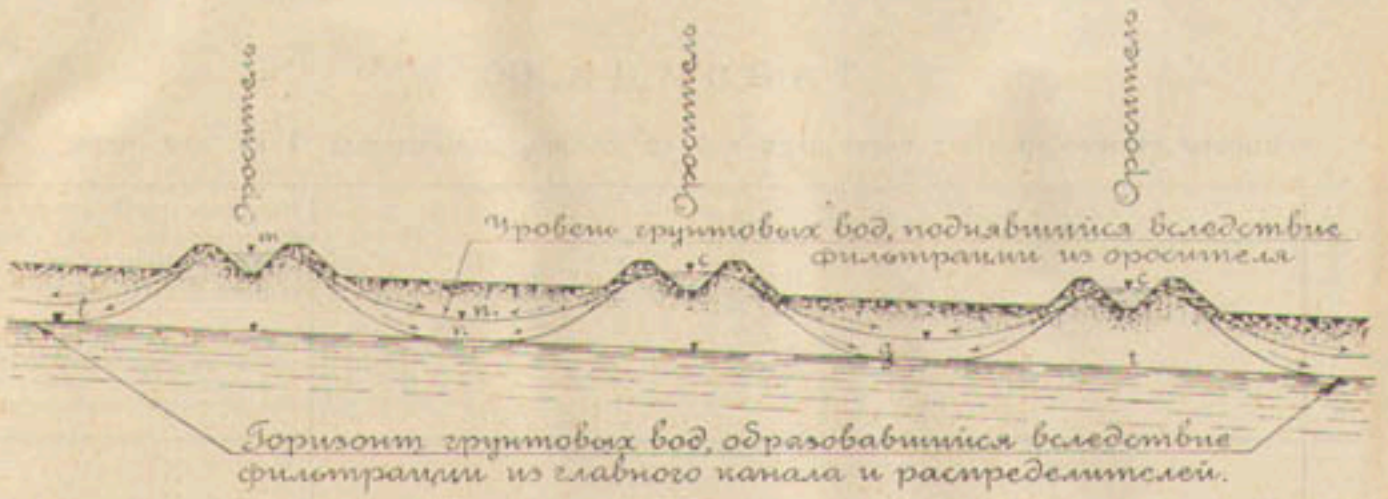
Черт. 279. Схема участка распределительной и мелкой сети.

Черт. 280. Разрез по *cd* (см. черт. 279).

(см. черт. 28_1; поверхность грунтовых вод lngt, которая образуется вследствие фильтрации из главного канала и распределителей, должна еще повыситься вследствие фильтрации из оросителей и занять сперва положение mnc, а затем mn_1c и выше). Неглубокий водосборный канал k (см. черт. 280), сооруженный между распределителями для отвода излишних поверхностных и сбросных вод из распределителей, оросителей и с полей,

очевидно, не сможет бороться с постепенным подъемом грунтовых вод до тех пор, пока эти последние почти совсем не подойдут к поверхности земли.

Приведенная выше характеристика влияния фильтрующихся из водоприводных каналов вод на режим естественных грунтовых вод является



Черт. 281. Разрез по *ab* (см. черт. 279).

схематической, она имеет целью представить общую картину происходящих явлений (и при том не с количественной, а с качественной стороны) для тех случаев, когда орошаемая местность не имеет дренирующей подпочвы, способной воспринимать весь фильтрационный поток из каналов и отводить его из пределов орошаемого района, не поднимая особо высоко горизонт грунтовых вод.

Фильтрационная вода из водоприводной сети каналов является главным источником заболачивания, так как ежесекундно в подпочву орошаемого района поступает поток с суммарным расходом, равным $S_{кан.} = (1 - \eta) Q_{гол.}$, где η — есть коэффициент полезного действия системы; например, при $\eta = 0{,}50$ (что очень часто встречается) $S_{кан.} = 0{,}5 Q_{гол.}$, то есть половина воды, забираемой из источника орошения, будет поступать в подпочву, заполняя пустоты между частицами грунта.

Объем пор различных грунтов колеблется в пределах от 40% (крупный песок) до 56% (глина) от общего объема почвы (см. таблицу 54). Количество воды, которое необходимо до полного насыщения почвы, зависит от состояния ея первоначальной влажности; очевидно, что для насыщения почвы, находящейся в состоянии гигроскопической влажности, потребуется гораздо больше воды, чем при влажности максимальной капиллярности. В последнем случае свободный объем пор, который может заполняться фильтрационной водой, следует, в грубом приближении, принимать для крупнопесчаного грунта в 24% и глинистого грунта—в 8% от общего объема грунта. Следовательно, 1 кб. саж. воды, поступающая в подпочву, может довести до состояния полного насыщения 100 : 24 = 4,16 кб. саж. песчаного и 100 : 8 = 12,5 кб. саж. глинистого грунта, находившегося первоначально в состоянии влажности максимальной капиллярности.

На основании данных таблиц 2-й и 6-й (см. стр. 17 и 26) и вышеприведенных соображений, определены для наиболее распространенных родов почв высоты столбов грунта с основанием в одну кв. саж., которые могут быть насыщены одной куб. саж. фильтрующейся воды, при чем рассмотрены два случая: грунт первоначально находится в состоянии гигроскопической влажности и в состоянии влажности максимальной капиллярности; полученные данные сведены в общую таблицу (см. таблицу 66).

ТАБЛИЦА 66.

Высоты столбов грунта с основанием в 1 кв. сажень, насыщаемых 1 кб. саж. воды.

№№ по порядку.	РОД ПОЧВЫ.	Объем пор в % % от общего объема почвы.	Объем воды в % % (от общего объема почвы) при гигроскопическ. влажности.	Объем воды в % % (от общего объема почвы) при влажности максимальн. капиллярности.	Остающийся объем в % % (от общего объема почвы), который может быть занят свободной водой.	Высота столба грунта с основанием в 1 кв. саж., который может быть насыщен 1 кб. саж. воды.	
						при состоянии влажности максимальной капиллярности.	при сухом состоянии (гигроскопической влажности.
1	Крупный песок . . .	40,00	0,80	16,00	23,20	4,31	2,55
2	Средний песок . . .	41,80	2,31	16,94	22,55	4,43	2,53
3	Мелкий песок . . .	44,10	3,40	19,24	21,46	4,66	2,46
4	Супесь	47,00	5,72	26,00	19,28	5,19	2,42
5	Легкий суглинок . . .	50,00	8,75	31,68	9,57	10,45	2,40
6	Тяжелый суглинок . .	54,00	11,71	32,94	9,35	10,70	2,36
7	Глина	56,00	13,10	35,10	7,80	12,82	2,33

Итак, запомним для дальнейшего, что 1 кб. саж. воды, впущенная через 1 кв. саж. поверхности земли в подпочву, может насытить последнюю:

а) при состоянии влажности максимальной капиллярности:
в песчаном грунте, на глубину около . . . 4,25 саж.
в глинистом „ „ „ „ . . . 12,50 „

б) при сухом состоянии (при гигроскопической влажности):
в песчаном грунте, на глубину около . . . 2,50 саж.
в глинистом „ „ „ „ . . . 2,30 „

Для супесчаных и суглинистых грунтов получатся промежуточные значения.

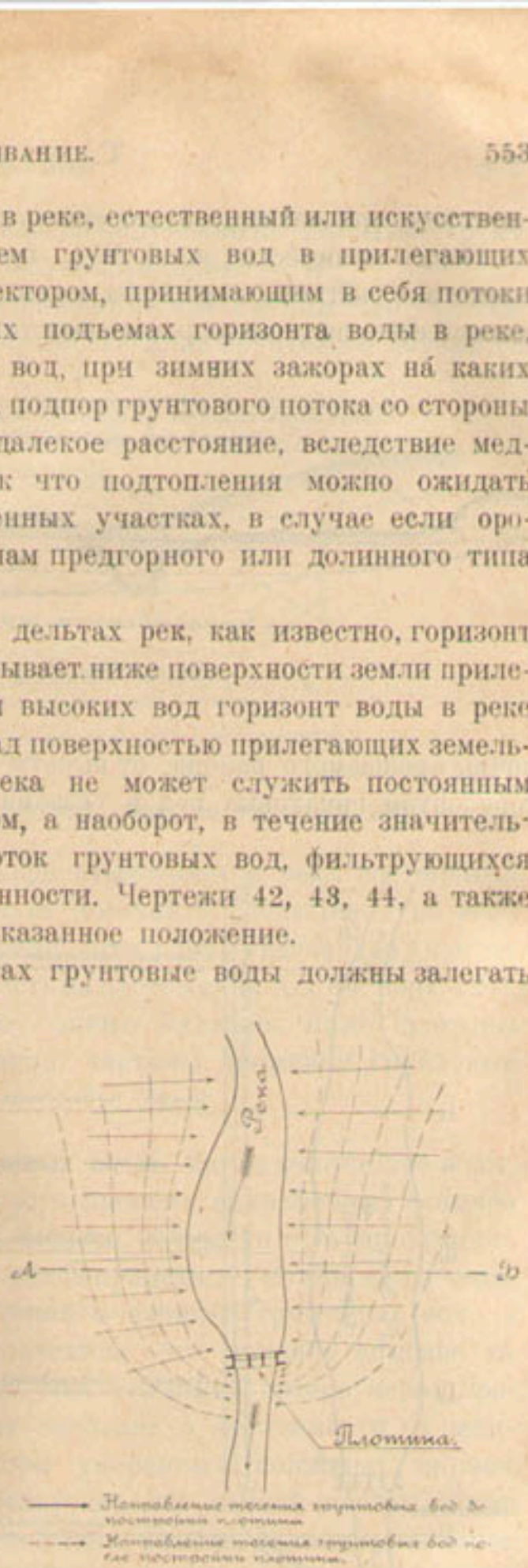
Зная по графику потребления общее количество воды, которое будет забираться из источника орошения, возможно будет приближенно определить то количество воды, которое в течение года профильтруется из каналов в подпочву, а затем, пользуясь вышеуказанными цифрами, возможно будет вычислить тот объем почво-грунта, который мог бы быть насыщен этой водой (то-есть заболочен), а, следовательно, и подойти к оценке ожидаемого заболачивания орошаемой местности. Количество воды, необходимое для насыщения подпочвы в пределах одной десятины для различных районов орошаемой местности, не трудно будет определить, если будет известна глубина залегания грунтовых вод под поверхностью почвы и род почво-грунта.

Фильтрация из реки. Подъем воды в реке, естественный или искусственный, создает соответствующий подъем грунтовых вод в прилегающих долинах, так как река является коллектором, принимающим в себя потоки грунтовых вод. При кратковременных подъемах горизонта воды в реке, например, при прохождении весенних вод, при зимних зажорах на каких нибудь нижележащих участках и т. п., подпор грунтового потока со стороны реки не может распространиться на далекое расстояние, вследствие медленности движения воды в почве, так что подтопления можно ожидать только в прилегающих к реке пойменных участках, в случае если орошаемая местность принадлежит к районам предгорного или долинного типа (см. главу VI, стр. 91, 97 и 98).

При „низовом" типе рельефа и в дельтах рек, как известно, горизонт воды в реке только во время межени бывает ниже поверхности земли прилегающих долин, во время же средних и высоких вод горизонт воды в реке в большинстве случаев поднимается над поверхностью прилегающих земельных районов. Таким образом, здесь река не может служить постоянным водосборным и дренажным коллектором, а наоборот, в течение значительного периода времени она создает поток грунтовых вод, фильтрующихся из нее в сторону прилегающей низменности. Чертежи 42, 43, 44, а также 61 и 63) наглядно иллюстрируют высказанное положение.

Следовательно, в подобных районах грунтовые воды должны залегать весьма близко к поверхности земли низменной местности, так что последней, в случае орошения, грозит быстрое заболачивание.

Если на реке устраивается водоподъемная плотина, подпирающая горизонт воды в ней выше естественных горизонтов, то грунтовые воды в местности, прилегающей к подпертому бьефу, могут сильно подняться. Проектируя плотину, надо принимать во внимание не только площадь затопляемую подпором, но также и всю ту площадь, на которой грунтовые воды должны будут подняться выше допустимого горизонта (с точки зрения благоприятного произрастания растений), если указанная площадь предполагается под сельскохозяйственные культуры.



Черт. 282. Схема изменения направления течения грунтовых вод вследствие сооружения водоподъемной плотины.

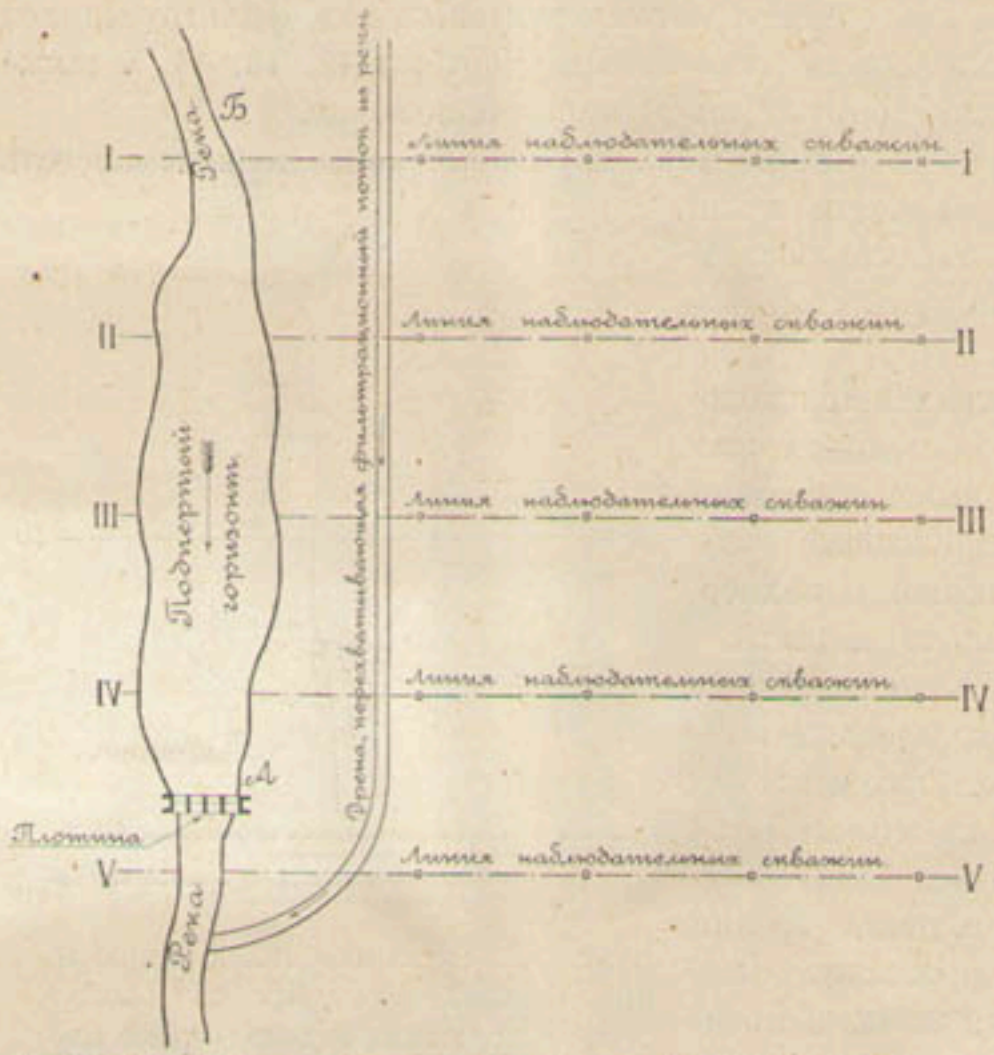
Течение грунтовых вод, имевшее направление до постройки плотины перпендикулярное к реке, после постройки плотины и создания подпертого речного бьефа, изменится на направление вдоль реки, так как поток грунтовых вод будет стремиться обойти плотину и выйти в нижний бьеф.

в котором горизонт воды будет стоять значительно ниже (см. черт. 282 и 283).

Общее количество воды $W_{рек.}$ профильтровавшейся из реки в грунт,— вследствие подъема горизонта воды в ней будет зависеть, очевидно, в сильной степени от водопроницаемости грунта, отделяющего ложе реки от под-

Черт. 283. Разрез по АБ (см. черт. 282).

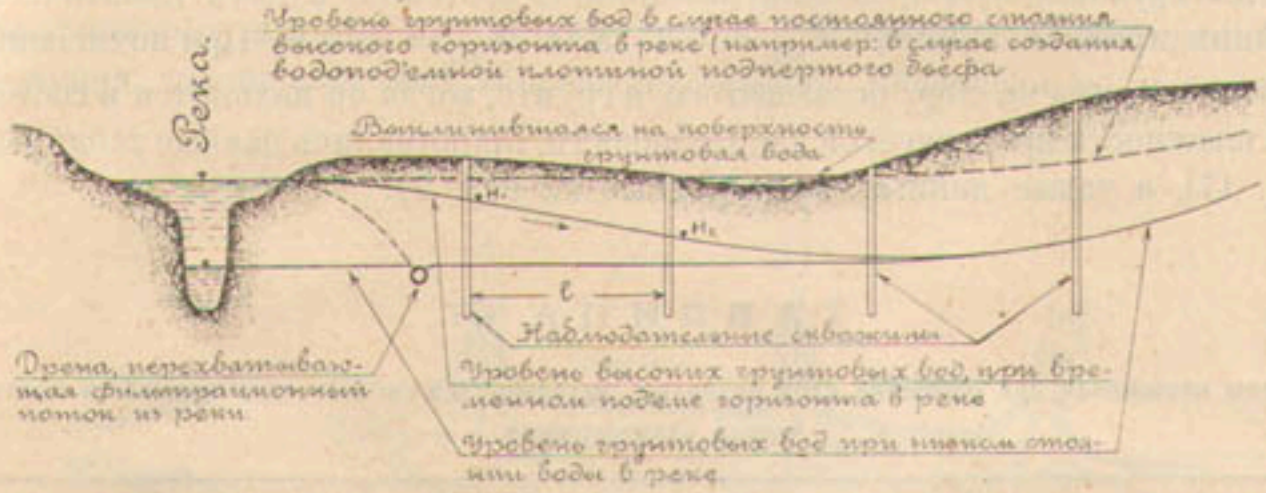
почвы орошаемого района, от высоты подъема горизонта воды в реке над горизонтом грунтовых вод в указанном районе, от толщины фильтрующего слоя, от длительности стояния высоких горизонтов в реке и от длины участка реки, на протяжении которого может происходить фильтрация. Величина $W_{рек.}$ может быть очевидно определена только путем постановки соответствующих наблюдений. Для этой цели по направлениям перпендикулярным к реке (см. черт. 284) закладывают ряд наблюдательных колодцев или скважин, определяют горизонты стояния воды в них и колебания этих горизонтов в зависимости от колебания горизонтов в реке и в орошаемом районе, атакже берут пробы грунта из скважин и устанавливают



Черт. 284. Схема постановки наблюдений над движением грунтовых вод в районе расположения водоподъемной плотины.

коэффициенты фильтрации для них. Пользуясь полученными данными строят профиль грунтового потока (см. черт. 285) и определяют — $W_{рек.}$

Линии наблюдательных скважин разбивают на протяжении того участка реки, на котором можно предположить существование грунтового потока из



Черт. 285. Разрез по линии наблюдательных скважин (см. черт. 284).

русла реки в подпочву: например, когда существует в реке постоянный подпор, создаваемый плотиной, то следует поставить наблюдения на всем протяжении подпора, при условии, конечно, что вдоль указанного участка располагается орошаемая территория (то есть на протяжении АБ, см. черт. 221), а также, следует заложить хотя бы одну линию скважин ниже плотины (см. черт. 284 линия V'-V'), для выяснения картины движения грунтовых вод в обход плотины (см. черт. 282).

Фильтрация через толщу почвы орошаемых полей. Когда количество воды, поданной за один полив, или количество выпавших атмосферных осадков превышает практическую капиллярную емкость почвы, то есть способность почвы удерживать влагу (см. стр. 27), тогда происходит потеря воды через фильтрацию ниже корневой зоны растений и питание грунтовых вод, а следовательно, и подъем горизонта последних. Это явление описано на стр. 40—45, 133—137). Там же указано, что величина потерь через просачивание колеблется в весьма широких пределах в зависимости от величины поливных норм. Теоретически, при умеренных поливных нормах вполне соответствующих практической влагоемкости данной почвы, можно избежать фильтрации воды ниже корневой зоны, однако, практически такое соответствие редко достигается, в большинстве случаев потери достигают 25%—50% от поливных норм, то есть грунтовые воды получают дополнительное питание — $W_{пол.}$, равное 0,25—0,50 оросительной нормы, так что $W_{пол.} = \gamma K = 0{,}25—0{,}50\ K$, где K есть общее количество воды получаемое культурой на 1 десятину в течение всего вегетационного времени. Так как величина K сильно разнится для различных культур, а величина γ зависит от характера почвы, величины поливных норм, способов полива и от ряда других факторов, то и количество воды — $W_{пол.}$, доставляемое с одной десятины фильтрационным потоком грунтовым водам, будет сильно разниться. Это

количество воды будет насыщать в пределах каждой орошаемой десятины слой подпочвы (то есть заполнять свободные промежутки, оставшиеся в ней при влажности практической капиллярности) на некоторую глубину. Ниже в таблице 67 приведены толщины насыщаемого слоя подпочвы при разных грунтах, при орошении различных растений, в двух практически крайних предположениях: $W_{нас.} = 0{,}25$ К и $W_{нас.} = 0{,}50$ К. При исчислении свободного объема пор, остающегося в грунте, когда он находится в состоянии влажности практической капиллярности, принимались данные таблицы 2 (стр. 17), а также данные, приведенные на стр. 27.

ТАБЛИЦА 67.

Глубины насыщения при орошении слоя подпочвы, находящегося в состоянии влажности практической капиллярности.

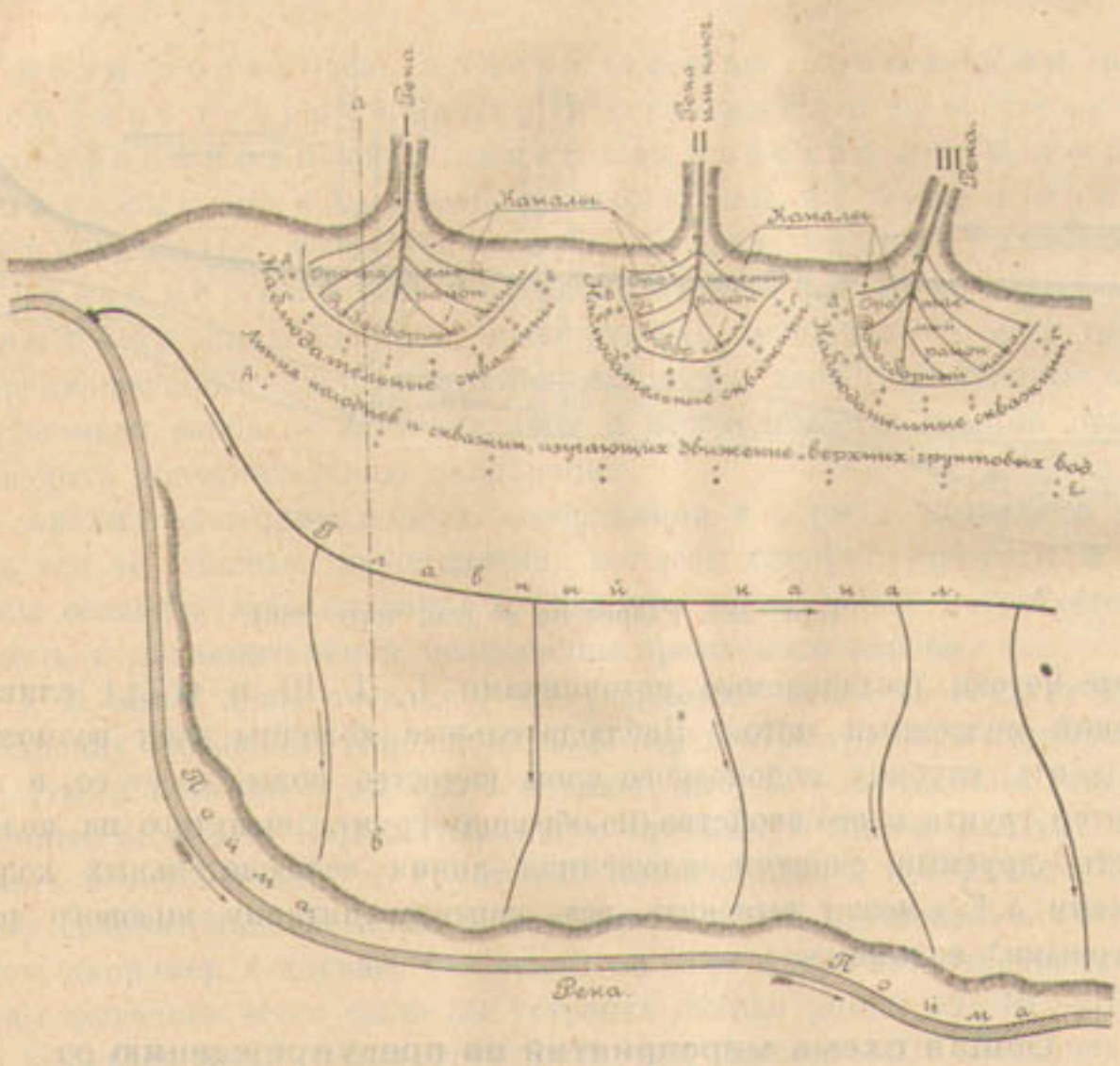
№ № по порядку.	Род растений.	Оросительная норма К, в кб. саж. на десятину.	Толщина насыщаемого слоя подпочвы в саженях при различных грунтах:					
			Супесчаная почва.		Суглинистая почва.		Глинистая почва.	
			$W_{нас.} = 0{,}25$ К	$W_{нас.} = 0{,}50$ К	$W_{нас.} = 0{,}25$ К	$W_{нас.} = 0{,}50$ К	$W_{нас.} = 0{,}25$ К	$W_{нас.} = 0{,}50$ К
1	Озимые хлеба . . .	300	0,08	0,16	0,09	0,18	0,09	0,18
2	Яровые хлеба . . .	200	0,05	0,11	0,06	0,12	0,06	0,12
3	Хлопчатник . . .	500	0,14	0,27	0,15	0,30	0,15	0,30
4	Пропашные	620	0,17	0,34	0,19	0,37	0,19	0,38
5	Люцерна	720	0,20	0,39	0,22	0,44	0,22	0,44
6	Маш на зерно . . .	360	0,10	0,20	0,11	0,22	0,11	0,22
7	Маш на зеленое удобрение	300	0,08	0,16	0,09	0,18	0,09	0,18
8	Сады	600	0,16	0,33	0,18	0,36	0,18	0,37
9	Огороды	800	0,22	0,44	0,24	0,48	0,25	0,49
10	Рис	1.500	0,41	0,82	0,45	0,90	0,46	0,92

Фильтрация дренажных вод, а также сбросы поверхностных вод с вышележащих участков. В пределы орошаемого района вода может попадать не только из водоприводной сети, не только путем фильтрации из реки, но также и с соседних верховых участков. Если эти участки также орошаются и если для отвода излишних вод, как поверхностных, так и грунтовых, не была устроена специальная водоотводная сеть, то нижележащие районы должны как то принимать в себя эти водные избытки, которые будут поступать с одной стороны в виде сбросных поверхностных вод, а с другой, в виде подземного потока.

Обильный грунтовый поток, питаемый фильтрационными водами верховой местности, будет или поступать под почву нижележащего орошае-

мого участка, или выклиниваться на его поверхность или то и другое вместе. Таким образом при анализе вопроса о возможности заболачивания, надо учитывать указанные „верховые воды“ в должной мере.

Помимо „верховых вод“ с верхних орошаемых участков, необходимо считаться также и с теми „верховыми водами“, которые образуются в виде рек, родников, ключей и подземных потоков в предгорных районах, окаймляющих предполагаемый к орошению район. Указанные воды являются



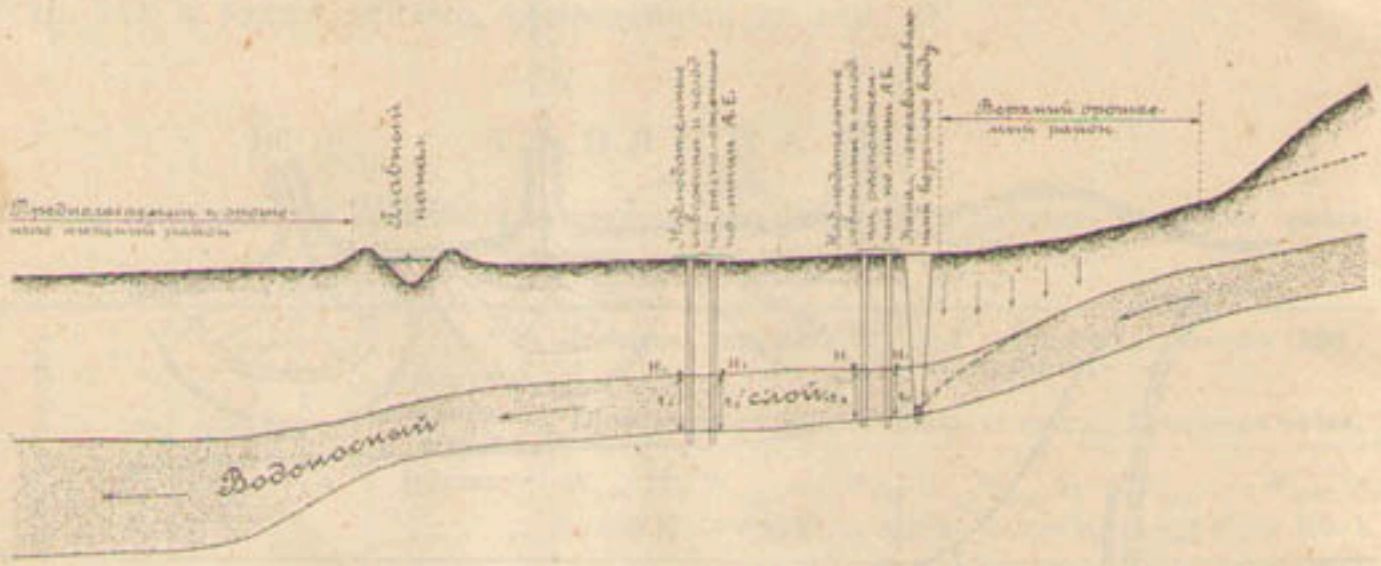
Черт. 286. Схема постановки наблюдений над движением „верховых“ грунтовых вод и мероприятий по борьбе с притоком их в нижележащий орошаемый район.

главными источниками питания естественных поверхностных и грунтовых вод в пределах нижележащей местности.

„Верховые“ воды дают, в различных условиях (в зависимости от целого ряда факторов) самое разнообразное количество воды в течение года ($W_{верх.}$). Подойти теоретически к определению этого количества воды невозможно. В каждом отдельном случае необходимо изучение в конкретных местных условиях вопроса о передвижения грунтовых вод из верхних районов, прилегающих к предгорьям (где грунтовый поток располагается обыкновенно близко к поверхности земли), к низовым, которые пред-

положено орошать. Исследования должны выяснить ширину и глубину отдельных подземных потоков, направляющихся из предгорьев в низовые районы, скорость их течения и минерализацию воды, то есть содержание в ней различных солей.

Для этой цели можно заложить линии наблюдательных колодцев и скважин или непосредственно ниже каждого орошаемого „веера" (например по линиям АБ, ВГ, ДЕ, см. черт. 286 и 287) или же на выпрямленной линии A_1E_1 проложенной там, где предполагается, что отдельные под-



Черт. 287. Разрез по *ab* (см. черт. 286).

земные потоки (создаваемые источниками I, II, III и т. д.) сливаются в общий подземный поток. Наблюдательные колодцы дают возможность определить глубину водоносного слоя, качество воды, дебет ее, а также, характер грунта и его свойства (по образцам грунта, вынутого из колодца), то есть, другими словами заложенная линия наблюдательных колодцев (положим A_1E_1) может выяснить всю картину питания низового района „верховыми" водами.

Общая схема мероприятий по предупреждению от заболачивания.

Итак общее количество воды (W), которое будет поступать в течение года в подпочву орошаемого района, в общем случае, может быть выражено следующим образом:

$$W = W_{вер.} + W_{гл.} + W_{рас.} + W_{ор.} + W_{пол.} + W_{рек.}.$$

Как мы уже указывали, величины $W_{вер.}$ и $W_{рек.}$ могут колебаться в весьма широких пределах, в зависимости от местных условий, что же касается величины $W_{кан.} = W_{гл.} + W_{рас.} + W_{ор.}$, то она прямо пропорциональна количеству воды ($M_{год.}$) забираемой главным каналом из реки, и в сильной степени зависит от среднего коэффициента полезного действия системы ($\eta_{ср.}$)

$$W_{кан.} = W_{гл} + W_{рас.} + W_{ор.} = M_{год.}\ (1 - \eta_{ср.})$$

В том случае, если атмосферные осадки, будучи незначительными, не могут питать грунтовые воды, $W_{вод.} = \gamma K$. Величина γ может меняться от 0 до 0,50, но обычно γ принимается для расчета при больших площадях равной 0.33.

Итак:

$$W = W_{вер.} + M_{гол.} (1 - \eta_{гр.}) + \gamma K + W_{рек.}$$

Если подпочва, подстилающая орошаемый район не сможет воспринимать и отводить в существующие водоприемники указанное количество воды, то район неминуемо, рано или поздно, если не будут приняты специальные меры, должен будет заболотиться, как бы низко не залегал первоначальный горизонт грунтовых вод. Следовательно, дренирующая подпочва (то есть галечные и крупнопесчаные слои) достаточной мощности дает существенные выгоды, обеспечивая район от заболачивания и необходимости, помимо орошения, проводить дополнительную мелиорацию.

Анализ вышеприведенных соображений и формул позволяет установить все те главные мероприятия, которые следует провести в жизнь, чтобы ослабить заболачивание и отдалить срок, когда потребуется прибегнуть к дополнительной мелиорации орошаемого района.

I. В самом деле, очевидно, что „верховые" воды не следует впускать в подпочву орошаемого района, их надо перехватывать выше открытыми или закрытыми дренами и выводить в какие нибудь естественные или искусственные водотоки. Перехватывающую дренажную линию следует прокладывать в тех местах, где грунтовый поток близок к поверхности земли и имеет сравнительно небольшую глубину, в целях удешевления стоимости работ; например, в случае, указанном на черт. 286 и 287 перехватывающие дрены выгоднее всего было бы устроить вблизи линий АБ, ВГ, ДЕ и ЖЗ.

Перехваченный поток грунтовых вод должен быть подведен или к какому нибудь глубокому руслу, по которому он может быть отведен в водоприемники, которые не смогут подтопить орошаемый район или же использован в целях орошения, если качества воды это могут позволить (см. гл. VIII, стр. 134—135). Использование перехваченной, каптированной воды может быть осуществлено, в зависимости от местных условий, разными путями:

а) выводом ее дренажным самотечным каналом на поверхность земли в целях орошения прилегающих земель, не входящих в зону предположенного к орошению низового массива и расположенных выше последнего;

б) подводом ее самотеком к оросительным каналам низового района для увеличения их расхода;

в) механическим подъемом ее из дренажного канала в целях орошения прилегающих районов; последний способ, очевидно, приходится применять только в том случае, когда дренажные каналы глубоки, а местность имеет слабый уклон, так что самотечный вывод требует устройства длинного канала.

Вместо перехватывающей дренажной линии, каптирующей подземный поток, возможно достигнуть той же цели при помощи устройства *густой сети колодцев, в районе между периферией верхних орошаемых районов и главным каналом* (см. черт. 286 и 287), в качестве источников орошения прилегающей местности. Вода из колодцев поднимается (или механическим путем или при помощи животных) и подается или прямо на поля орошения или в особо устроенные цистерны, в которых магазинируется, а затем, по мере надобности, расходуется на орошение. Выкачивая воду из колодцев, понижают на некоторой площади уровень грунтовых вод, так что, располагая их достаточно часто, можно добиться того, что значительная часть расхода грунтового потока будет перехвачена и недопущена в низовой район.

2. Далее анализ той же формулы показывает, что для уменьшения величины $W_{вод.}$ необходимо уменьшение $M_{год.}$, то есть общего количества воды, забираемого главным каналом из источника орошения, но $M_{год.}$ зависит, очевидно, от $M_{вод.}$, то есть от количества воды, которое требуется подать в течение года на поля орошения, и от среднего коэффициента полезного действия системы в течение года ($\eta_{ср.}$):

$$M_{год.} = \frac{M_{вод.}}{\eta_{ср.}}$$

Но $M_{вод.}$ находится в прямой зависимости от величины оросительных норм (K), если считать, что распределение культур в районе орошения не может подвергаться изменению. Что касается величины η, она также находится в прямой зависимости от величины оросительных и поливных норм. Таким образом, в итоге, *для уменьшения величины* $W_{вод.}$ *необходимо стремиться к уменьшению оросительных и поливных норм и к увеличению среднего коэффициента полезного действия системы*, при чем последнее имеет доминирующее значение. Теперь уже не трудно установить те предупредительные мероприятия, которые следует проводить в жизнь, если есть основание опасаться заболачивания системы; сюда относятся:

а) неуклонное проведение в жизнь уменьшенных оросительных и, особенно, поливных норм с доведением их до тех величин, при которых будет обеспечиваться практическая капиллярная влагоемкость почвы, но не более (см. главу VIII, стр. 141—144);

б) быстрый отвод сбросных вод из каналов и с полей (во избежание застаивания) при помощи устройства не глубокой водосбросно - водосборной сети;

в) придание оросительным каналам сечений с наименьшей смоченной поверхностью;

г) установление такого взаимоотношения между глубинами и скоростями течения воды в каналах, при которых сможет образоваться пленка илистых отложений, уменьшающая величину фильтрации

д) покрытие смоченной поверхности каналов водонепроницаемой одеждой; наиболее радикальным мероприятием является бетонирование всей сети водоприводных каналов (главного, распределительных и оросительных), ибо оно позволит довести коэффициент полезного действия системы до наивысшего предела (до $\eta_{ср.} = 0{,}85 - 0{,}90$), а фильтрацию воды из каналов почти совсем уничтожить, то есть уничтожить главный, самый мощный источник питания грунтовых вод.

Здесь уместно отметить, что коэффициент полезного действия η не может быть доведен до более высокого значения чем 0,85—0,90 потому, что помимо фильтрации из каналов имеются еще потери на утечку через шлюзы, а также и при распределении воды (см. стр. 167—168); что же касается фильтрации воды из каналов, то при бетонировании всей сети ее действительно можно довести до такого минимума, при котором почти вся вода, фильтрующаяся из каналов в почву, будет расходоваться на капиллярное увлажнение почвы, на почвенное испарение и прочее, так что питание грунтовых вод из этого источника практически не будет иметь место.

Бетонирование смоченной поверхности каналов, помимо уничтожения фильтрационных потоков, дает еще целый ряд других преимуществ, о которых говорилось раньше в главе о магистральных каналах и распределительной и мелкой сети, например, уменьшение земляных работ по сооружению всей водоприводящей сети, уменьшение эксплоатационных расходов по поддержанию ее в порядке, уменьшение размеров шлюзов и т. д., поэтому только часть общей стоимости бетонирования каналов водоприводной сети следует относить к расходам по предохранению орошаемого района от заболачивания.

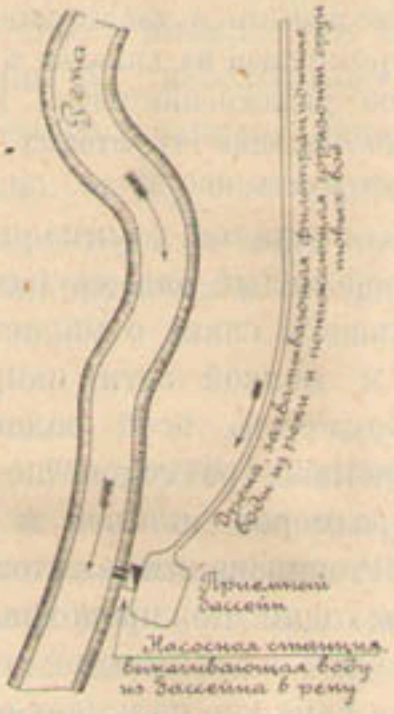
В связи с вопросом бетонирования каналов, получает особый интерес вопрос об удельной величине смоченной поверхности магистрального канала, распределителей и оросителей, то есть о величине смоченной поверхности, приходящейся на 1 десятину орошаемой площади. Эта величина может дать сразу представление о тех средствах, которые потребуются для бетонирования системы.

Поэтому при составлении проекта водоприводящей сети желательно сразу же определять смоченную поверхность, отмечая ее на продольном профиле каналов вместе с другими гидравлическими элементами.

Например, в проекте орошения 500.000 десятин Голодной степи, удельная смоченная поверхность магистрального канала

(приходящаяся на 1 десятину) равна 4.6 кв. саж., распределителей —4,7 кв. саж., оросителей —8,8 кв. саж. Пользуясь указанными цифрами и задаваясь толщиной облицовки можно подойти к установлению приближенной стоимости бетонирования системы приходящейся на 1 десятину и сравнить ее со стоимостью осуществления других мероприятий по предупреждению или борьбе с заболачиванием, имея при этом в виду целый ряд других преимуществ даваемых бетонированием системы.

3. Наконец, в случае наличия фильтрационного потока из реки или в случае, если горизонт воды в реке стоит слишком высоко и создает такой подпор грунтовых вод (стекающих из под орошенного района в реку), при котором может произойти заболачивание, необходимо прибегнуть к устройству перехватывающей дрены, закладываемой вдоль реки, на некотором расстоянии от берега. Эта „речная" дрена (она может быть устроена или в виде открытого канала, или в виде дренажной закрытой трубы), перехватывая воду, фильтрующуюся из реки и понижая горизонт грунтовых вод вблизи реки до требуемой глубины (см. черт. 285), очевидно, может обеспечить орошаемый район низким горизонтом водоприемника и совершенно защитить его от речных вод.



Черт. 288. Схема мероприятий по удалению фильтрационных вод в районах с высоким уровнем воды в реке.

Из дрены вода может быть выведена самотеком обратно в реку только в том случае, если можно (вблизи) найти участок реки с достаточно низким горизонтом для принятия в себя дренажных вод; например, при наличии водоподъемной плотины дрена, обслуживающая подпорный участок реки, может быть выведена в нижний бьеф за плотину (см. черт. 284). При отсутствии таких условий, воду из „речного" дренажного канала приходится выводить при помощи механического подъема, перекачивая ее из устьевого конца дрены обратно в реку; для этой цели в конце дрены устраивают водоприемный резервуар (для чего используют какое-нибудь понижение, котловину в пойме реки) и насосную станцию (см. черт. 288).

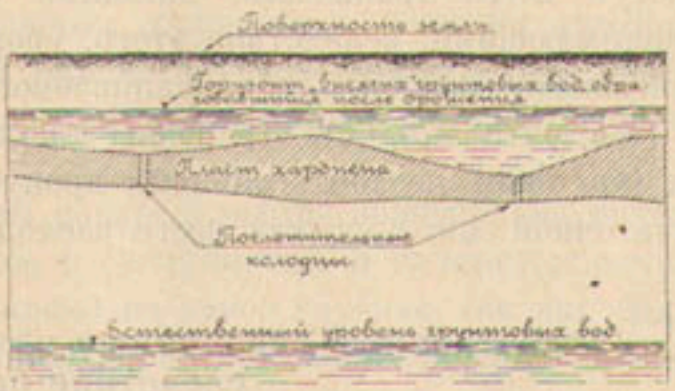
Следует отметить, что количество дренажных вод, поступающих в дрену, весьма незначительно, так как скорость фильтрации воды через почву ничтожная (выражается в сантиметрах в час), поэтому насосные станции, выкачивающие дренажную воду, имеют небольшую мощность.

Водоприемным бассейнам придают такую емкость, которая необходима для принятия дренажной воды в периоды остановки работы станции.

Вышеуказанными предупредительными мероприятиями возможно совершенно недопустить заболачивание орошаемого района, если в залегании

грунтов, составляющих подпочву, нет каких либо особенностей, препятствующих нормальному протеканию процессов фильтрации и движению грунтовых вод. К таковым надо отнести наличие в подпочве, на небольшой сравнительно глубине, практически водонепроницаемого почвенного пласта, так называемого хардпена (Hardpan, см. стр. 9—10). Очевидно, что присутствие в подпочве слоя хардпена должно существенно влиять на водный режим почвы как до орошения, так и после, ибо верхние слои почвы изолируются от влияния нижних и грунтовой воды. В условиях искусственного орошения, наличие водонепроницаемого пласта должно привести к созданию второго „висячего" горизонта грунтовых вод, так как фильтрующаяся вода из каналов, а также с полей орошения не сможет соединиться с естественным горизонтом грунтовых вод (см. черт. 289).

Вследствие незначительной водоемкости слоя почвогрунта между поверхностью земли и хардпеном, заболачивание может получиться даже при незначительном притоке оросительной воды. Однако, с течением времени, при орошении слой хардпена постепенно теряет свою водонепроницаемость и, как бы, рассасывается. Бороться с висячими горизонтами возможно при помощи устройства, в пониженных точках верхней поверхности хардпена, поглотительных колодцев, которые, прорезая весь слой хардпена, дадут выход верхним грунтовым водам в глубокие подпочвенные горизонты, где они соединятся с нижними грунтовыми водами и могут быть выведены, в случае наличия дренирующего слоя достаточной мощности, из пределов орошаемого района.

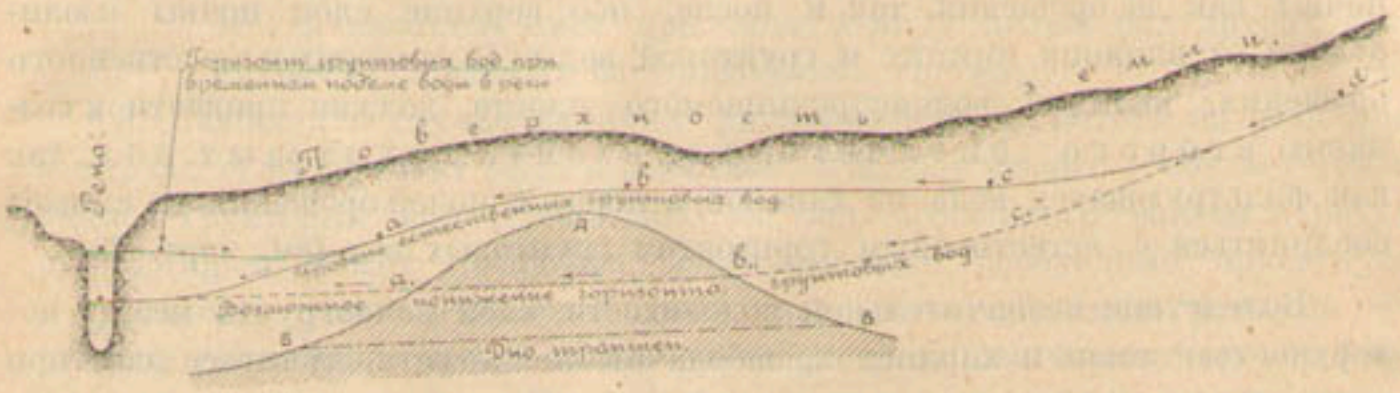


Черт. 289. Горизонт „висячих" грунтовых вод, образовавшихся после орошения вследствие наличия слоя хардпена.

Вместо поглотительных колодцев, если хардпен залегает близко, можно перерезывать его по наиболее пониженным местам дренажными открытыми каналами. С одной стороны они будут дренировать верхние грунтовые воды и отводить их из пределов района орошения, а с другой они дадут выход верхним грунтовым водам в глубокие подпочвенные горизонты.

Если хардпен занимает значительную площадь и близко залегает от поверхности земли, создаются весьма неблагоприятные условия для орошения. К орошению таких районов следует подходить весьма осторожно: необходимо предварительно изучить условия залегания грунтов, толщину слоя хардпена, рельеф поверхности последнего, режим естественных грунтовых вод, дренирующие свойства подпочвы, а также вполне разработать план борьбы с предстоящим заболачиванием почвы. Часто может оказаться более выгодным выключить площадь, подстилаемую хардпеном, из орошения.

К неблагоприятным условиям залегания грунтов надо отнести также случаи, аналогичные указанному на черт. 290, когда водонепроницаемый или малопроницаемый грунт образует подземный холм (выступ БАВ), преграждающий естественный грунтовый поток и подпирающий уровень грунтовых вод до высокого горизонта (abcd), который заболачивает или создает условия, благоприятные для заболачивания орошаемого района.



Черт. 290. Подземный водонепроницаемый холм, повышающий уровень грунтовых вод.

В таких случаях необходимо прорезать указанную подземную плотину (выступ БАВ) траншеями, дающими свободный выход грунтовым водам и понижающими, вследствие этого, уровень грунтовых вод до наинизшего возможного горизонта, обуславливаемого подпором со стороны реки (т. е. до горизонта $a_1b_1c_1d$). Траншеи заполняются легко фильтрующим грунтом (крупным песком, гравием); пропускная способность их должна быть достаточной для пропуска всего расхода грунтовых вод.

Естественные засоленные почвы. Засоление почв, как следствие орошения.

Общие понятия. В главе 1-й на стр. 7—9 в кратких чертах упоминалось о том, что в почвах сухих районов весьма часто находятся некоторые легко растворимые соли в количестве вредном для произрастания растений. Несмотря на легкую растворимость и благоприятные условия подпочвенного дренажа, если величина атмосферных осадков недостаточна, указанные соли не могут быть промыты.

Следовательно такие почвы, то есть обладающие в своей минеральной части большим количеством растворимых в воде солей должны составлять одну из обычных разновидностей почв сухих и полусухих районов земного шара (в Восточном Закавказье, Туркестане, Западных Штатах С. Америки, Египте и т. п.). Первоначальные причины чрезмерного скопления растворимых солей могут быть различны в различных случаях. Этому вопросу было посвящено много внимания со стороны почвоведов. В трудах Димо, Н. А. („В области полупустынь“) и Глинки, К. Д. („Почвоведение“, второе издание) дается сопоставление отдельных, существующих по сему вопросу, теорий. Они могут быть сведены в нижеследующие группы:

а) соли приносятся в почву данного района извне при помощи ветра (так называемый процесс импульверизации):

б) соли уже содержались готовыми в той первозданной породе, из которой образовалась почва данного района (например, соленосные глины и др.);

в) почвы получают растворимые соли путем выветривания содержащихся в них минералов и горных пород;

г) соли поступают в почву данного района со стороны, вместе с водою, что особенно может иметь место при искусственном орошении.

Почвы содержащие легкорастворимые соли в таких количествах, при которых затрудняется рост культурных растений, носят название засоленных. Откуда бы не появились растворимые соли в засоленных почвах сухих и полусухих районов, характерным остается то, что выпадающих атмосферных осадков недостаточно для выноса их в естественный дренаж местности, а, следовательно, в результате будет накапливаться в почве все большее и большее количество непитательных растворимых солей, которые будут затруднять и даже в некоторых случаях препятствовать росту большинства культурных растений.

Соли распределяются в естественных условиях в почве на некоторой глубине, а именно той, до которой они могут быть вымыты (при данном характере почвы) тем количеством атмосферных осадков, которое выпадает в данной местности.

В легких песчаных почвах соли распределяются значительно глубже, чем, при том же количестве осадков, в суглинистых и глинистых почвах.

Однако, соли не остаются все время на одной глубине, так как благодаря поверхностному и внутрипочвенному испарению, капиллярная почвенная вода находится в движении, а вместе с нею и соли, содержащиеся в воде в растворенном виде. Верхние слои почвы, вследствие высокой температуры воздуха сухих и засушливых областей, весьма быстро иссушаются; капиллярное поднятие воды в сухих почвах происходит медленно и она не успевает подняться до поверхности в капельно-жидком состоянии, так как раньше испаряется в верхних нагретых слоях почвы, отлагая здесь соли, которые она несла в растворе. Глубина залегания слоя, в котором происходит это испарение, а, следовательно, и отложение солей, очевидно, должна зависеть от рыхлости верхних почвенных горизонтов, т. е. от той легкости, с которой пары воды смогут пройти по порам почвы, сквозь нее, в воздух. В песчаных почвах, пористость которых значительно больше, слой этот глубже, чем в глинистых.

Что касается общего количества солей, которое может встретиться в различных почвах, то оно колеблется от долей процента до десяти и больше процентов (от веса почвы); в некоторых случаях на поверхности почвы образуется плотная белая корка, состоящая из растворимых солей вынесенных капиллярной водой из недр почвы. Господствующую часть легко водорастворимых солей почвы составляют соли натрия (Na_2SO_4, $NaCl$, Na_2CO_3), кальция ($CaSO_4$, $CaCO_3$) и магния ($MgCl$, $MgSO_4$). Соли

магния в редких случаях имеют господствующее значение, в большинстве же случаев первенствующую роль играют соли натрия.

Засоленные земли, как доказал русский ученый Гедройц, К. К., отличаются от незасоленных не только присутствием в них того или иного количества легко растворимых солей, но и химическими свойствами самой почвы, а именно, составом ее цеолитной части, поэтому, если бы даже и удалось каким-нибудь путем удалить легкорастворимые соли, содержащиеся в почве, то этим еще почва не была бы приведена в нормальное состояние, т. е. в то состояние, в котором она находилась до своего засоления.

Классификация засоленных земель. Несмотря на то, что засоленные почвы встречаются на огромной площади земного шара и составляют в областях их распространения, при надлежащем их использовании, во многих случаях весьма ценные почвы (при условии, конечно, удаления избытка растворимых солей тем или иным путем), до настоящего времени для их изучения сделано не так много. Лишь в самое последнее время, может быть всего только за последние полтора десятка лет, начали появляться более или менее обстоятельные работы, посвященные изучению разных сторон проблемы засоленных почв. Пионерами в области широкого научного исследования солонцев явились американцы и из них в особенности проф. Гильгард (Hilgard, E. W.).

За последнее десятилетие усиленно начали разрабатывать вопрос о засоленных землях с самых различных сторон и у нас в России, при чем нашим исследователям удалось добиться многих весьма ценных результатов.

Несмотря на это, все же приходится отметить, что еще много нужно приложить усилий для того, чтобы при использовании солонцов мы могли руководиться достаточно точным и определенным опытом, чтобы не повторять многочисленных прошлых ошибок и чтобы иметь возможность целесообразно использовать необыкновенно счастливое сочетание богатства почвы и богатства тепла и света в районах распространения солонцов.

Из существующих классификаций засоленных земель наиболее приемлемой является, по нашему мнению, классификация Гедройца, К. К., опирающаяся на разработанную им новую теорию химизма засоленных почв. Господствовавшие до последнего времени теории американского почвоведа Гильгарда (Hilgard, E. W.) и его сотрудников по опытной станции в Калифорнии, а также Камерона (Cameron, Fr.), стоящего во главе Почвенного Бюро в Вашингтоне, были ошибочны, так как химизм явлений, связанных с засолением почв, представлялся ими, как показал Гедройц, неправильно. Гедройц экспериментально доказал, что почвы, обогащенные тем или другим путем легкорастворимыми солями (хлористым или сернокислым натром), обладают иным составом цеолитных оснований, нежели почвы незасоленные; из его исследований непосредственно вытекает, что

цеолитная часть тех почв, которые содержат большие количества водорастворимых солей, вместе с тем и именно в силу этого обогащена (по сравнению с незасоленными почвами) основаниями этих солей за счет обычных цеолитных оснований почвы: так, почвы, богатые хлористым и сернокислым натром, в то же время бывают обогащены цеолитным натром.

Гедройц, предлагает все засоленные почвы разбить на две группы:

1) солончаки—почвы, обогащенные легкорастворимыми солями, по преимуществу NaCl и Na_2SO_4.
2) солонцы—почвы, содержащие соду (Na_2CO_3).

Выделение почв, содержащих соду, от почв, содержащих другие легкорастворимые соли, вызывается, прежде всего, их происхождением. Если в почве присутствует раствор углекислого кальция ($CaCo_3$) и в цеолитной ее части находится натр, то последний обменивается на кальций (из указанного раствора соли), образуя нерастворимый кальциевый цеолит и растворимую соду. Таким образом, по теории Гедройца, почвы, содержащие в почвенном растворе соду, имеют цеолитную часть обогащенную натрием, обогащение же это могло произойти лишь вследствие воздействия на почву растворов богатых натриевыми солями, т. е. хлористым или сернокислым натром. Следовательно, солонцы, по теории Гедройца, происходят из солончаков.

Хотя солончаки представляют почвы, цеолитная часть которых подобно солонцам обогащена натрием, но они не будут содержать соды до тех пор, пока большая часть находящегося в них хлористого или сернокислого натрия NaCl и Na_2SO_4 не будет вымыта; когда это случится, когда концентрация этих солей достигнет известного минимума, тогда может появиться сода; следовательно, вместо солончака образуется солонец, специфические свойства которого будут выражены с большей или меньшей резкостью в зависимости от ранее бывшей максимальной концентрации в его почвенном растворе хлорида или сульфата натрия, от концентрации этих солей в этом растворе в данный момент и от количества цеолитной части почвы.

Растворимость почвы, цеолитная часть которой сильно обогащена натрием, значительна, она во много раз превосходит растворимость такой же почвы, содержащей в своей цеолитной части не натрий, а кальций; поэтому, с одной стороны, для ее сильного выщелачивания достаточно уже значительно меньше атмосферных осадков, чем для обычных, нормальных почв, не содержащих цеолитного натрия, а, с другой стороны, почвенный раствор такой почвы будет очень богат различными веществами и между прочим коллоидально растворенной кремнекислотой.

Второй причиной, заставляющей отделить солонцы от солончаков, является количество и качество солей в почвенном растворе тех и других. Солончаки могут содержать очень большие количества легко растворимых солей, достигающие иногда 10 и больше процентов; солонцы же, как общее правило, понятное из вышеизложенного, сравнительно очень бедны солями; водные вытяжки из солонцовых почв содержат очень мало солей.

Третьей причиной особого положения солонцов являются их физические свойства, сильно отличающиеся от физических свойств солончака: солонцы (вернее солонцовые горизонты), как почвы насыщенные или обогащенные цеолитным натрием, вязки, клейки, при высыхании очень плотны, структурны и водонепроницаемы, склонны к заболачиванию; солончаки же, благодаря присутствию солей свертывающих коллоидальные вещества, обладают обратными свойствами, а в известных случаях даже совершенно рыхлы (пухлые солончаки).

Наконец, с сельско-хозяйственной точки зрения разделение этих двух видов засоленных почв необходимо в силу различного отношения растений к соде, и ко всем тем солям, которые встречаются в солончаках. По всем имеющимся в литературе данным сода значительно ядовитее для растений, нежели встречающиеся в солончаках растворимые соли.

Солончаки. Так как свойства солончаков в первую очередь обусловливаются катионами их солей, то естественно дальнейшую разбивку солончаковых земель произвести на основании содержания в них катионов. Поэтому (по предложению Гедройца) следует различать:

а) натриевые солончаки, содержащие . . . . $NaCl$ или Na_2SO_4 или и то и другое вместе

б) кальциевые „ „ . . . . $CaCl_2$ или $CaSO_4$ или и то и другое вместе,

в) магниевые „ „ . . . . $MgCl_2$ или $MgSO_4$ или и то и другое вместе

г) натриево-кальциевые или кальциево-натриевые солончаки, содержащие и натриевые и кальциевые соли и т. д.

Чисто магниевых солончаков не обнаружено; обычно магнезиальные соли в солончаках составляют лишь ничтожную часть от общего количества их солей, поэтому влияния они не имеют. Практически приходится встречаться с натриевыми и кальциевыми солончаками, а также с солончаками, содержащими смесь этих солей. Наиболее часто и в наибольшем количестве встречающейся солью является $NaCl$, затем Na_2SO_4, $CaSO_4$ и $CaCo_3$.

Различные соли отличаются различною степенью растворимости в воде, так что, если несколько растворимых солей одновременно присутствуют в почве и на эту почву попадает вода, то первыми перейдут в почву легкорастворимые, а потом уже труднорастворимые. Например, в 100 кб. сант. воды при 0° растворяются: $CaCl_2$ — 60,0 грамм., $NaCl$ в количестве 35,5 грамм., Na_2CO_3 — 7,0 грамм. Na_2SO_4 — 4,5 грамм., $CaSO_4$ — 0,2 грамм.; при повышении температуры воды, растворимость увеличивается и при 20°C будет в том же объеме для $CaCl_2$ — 75 грамм., $NaCl$ — 36,0 грамм., Na_2CO_3 — 21,7 грамм Na_2SO_4 — 20,0 грамм., $CaSO_4$ — 0,25 грамм.; при дальнейшем повышении температуры растворимость гипса ($CaSO_4$) уменьшается. Растворимость $CaCO_3$ в чистой воде незначительна и достигает при обыкно-

венной температуре 0,0013 грамм. на 100 кб. сант. воды; она значительно увеличивается в присутствии CO_2, достигая 0,1 грамма при тех же условиях.

Растворенные в воде соли, благодаря ничтожному количеству атмосферных осадков в районах распространения солончаков (в сухих и засушливых областях), промываются на некоторую незначительную глубину, а затем, после прекращения просачивания через почву атмосферных вод, начинает действовать капиллярный подъем воды, вернее солевых растворов. Растворенные в воде соли начнут передвигаться к поверхности почвы, и, по мере испарения поднявшейся капиллярной воды, соли будут отлагаться или на поверхности почвы или вблизи от нее, на некоторой глубине, в виде кристаллов или порошка.

Характерной чертой солончаков является белая солевая корка на поверхности почвы, которая появляется после дождей или же после орошения. Однако, в тех случаях, когда имеются хлористые соли кальция и магния ($CaCl_2$, $MgCl_2$), они, вследствие своей сильной гигроскопичности, образуют черные и мокрые пятна.

К солончакам принадлежат типичные засоленные земли нашей Средней Азии—шоры (соры), хаки, такыры и т. п. В естественных условиях они обычно занимают пониженные части рельефа и в особенности микрорельефа почвы. Количество растворимых солей в различных слоях солончака колеблется от долей процента до нескольких десятков процентов в верхнем слое почвы. Солончаковые почвы часто бывают рыхлыми, бесструктурными и легко водопроницаемыми.

Солонцы. В солонцах присутствует главным образом углекислые соли натрия (Na_2CO_3), остальные соли вымыты из почвы или совершенно или в значительной степени. Если из солончака, богатого натриевыми солями, удалить тем или иным способом легкорастворимые соли и если при этом в почве имеются соли $CaCO_3$, то, как уже выше указывалось, по теории Гедройца неминуемо должна образоваться сода, так как натрий, содержащийся в цеолитной и органической части будет легко обмениваться на кальций углеизвестковой соли

$$Na_2 + CaCO_3 = Na_2CO_3 + Ca.$$

Многочисленные данные показывают, что хлористый и сернокислый натрий (NaCl и Na_2SO_4), с одной стороны, и углекислый натрий (Na_2CO_3) с другой стороны являются в почве как бы антагонистами: где много первых, там мало или вовсе нет соды, и обратно, где есть сода, там мало или вовсе нет NaCl и Na_2SO_4.

Это происходит потому, что в почвенном растворе получается значительно большая концентрация солей NaCl и Na_2SO_4, чем $CaCO_3$, в силу малой растворимости последней соли по сравнению с первыми, а следовательно, и концентрация в почвенном растворе ионов кальция получается значительно меньшей, чем ионов натрия; между тем уже небольшое количество ионов натрия в растворе препятствует переходу натрия из цеолитной и органической частей почвы на место кальция углеизвестковой соли.

Присутствие соды в почве сильно изменяет ее структуру, под влиянием соды почва уплотняется и на ее поверхности образуется трудно проницаемая для воздуха корка. Корка эта затрудняет обмен воздуха в почве, что отражается на уменьшении энергии протекания всех процессов, происходящих в почве, и, конечно, отражается на росте растений. Как выше уже указывалось, влажные почвенные солонцовые горизонты, как обогащенные цеолитным натрием, обладают вязкостью, клейкостью, при высыхании же они делаются плотными, структурными и водонепроницаемыми.

Солонцы (по терминологии Гедройца) носят часто название щелочных солонцов или черных солонцов (Black alkali lands, по терминологии американских почвоведов), в виду того, что для них характерным является появление черных пятен или небольших лужиц с кофейно-бурой жидкостью после дождя или полива; это вызывается растворением перегнойных веществ почвы в углекислом натре. Хотя, как мы уже указывали выше, черные пятна на поверхности почвы не только образуются при наличии в почве соды, но также и при присутствии в ней хлористых солей кальция и магния; таким образом название „черные солонцы" не дает точного представления о характере засоления почвы.

Передвижение солей в почво-грунтах. Растворимые соли, находясь в состоянии неустойчивого или легкоподвижного равновесия, в природной обстановке в силу различных причин могут распределяться в значительной толще почво-грунта, поэтому в отдельных почвенных слоях может и не замечаться сколько-нибудь заметного засоления, несмотря на большое количество солей, содержащихся во всей толще грунта. Но картина резко изменяется при применении искусственного орошения. Здесь часто уже при первых поливах приходится поселенцу неожиданно для себя сталкиваться (особенно это заметно при неправильных способах орошения) с процессом осолонения таких почв, которые прежде представлялись вполне благополучными и где до того времени и не замечалось избыточного присутствия воднорастворимых солей.

Положение солей в почве не может рассматриваться как неизменное: изменение количества и положения воды в почве ведет за собой перемещение растворимых солей в ней. За исключением тех случаев, когда полив производится водою, содержащей большое количество солей, само орошение не может существенно увеличить количество солей в почве; обычно оно производит только перемещение их из одних слоев почвы в другие, не увеличивая существенно их общего содержания в ней. Поливная вода, поступающая на поверхность почвы, сравнительно быстро проникает вглубь ее, где, прежде всего, она переходит в связное (капиллярное) состояние, обволакивая почвенные частицы водяной пленкой и переводя, следовательно, в раствор содержащиеся в почве легкорастворимые соли. Эта часть воды, находящаяся в капиллярном состоянии, будет, очевидно, вместе с растворенными в ней солями, подчиняться законам капиллярного движения жид-

кости (см. стр. 20—27), то есть движение ее будет медленно и оно будет происходить в сторону более сухих почвенных слоев. Остальная часть воды, поступающей в почву (так называемая свободная вода), будет находиться исключительно под действием сил тяжести, она займет крупные поры и полости в почве и будет проходить вниз с сравнительно значительной скоростью. Растворы солей, попадая прежде всего в капиллярную воду, займут волосные поры почвы; оттуда они смогут переходить весьма медленно в ту часть воды, которая будет протекать по соседним некапиллярным порам и полостям (то есть в свободную воду, уходящую в нижние горизонты подпочвы). Таким образом, при кратковременных поливах, практически всегда оказывается, что общее количество солей уносимое свободной водой почти никогда не бывает значительным, большая часть растворенных солей остается в капиллярной воде. Движение последней вниз (если нет подземного дренажа) не может продолжаться сколько-нибудь значительное время, так как высушивание поверхностного слоя (благодаря испарению) изменяет направление этого движения, заставляя воду вместе с растворенными в ней солями подниматься вверх. После испарения поднявшейся к поверхности и поверхностным слоям воды, здесь останутся все содержащиеся в ней соли. Оросительная вода растворяет соли почвы иногда до значительной глубины ее, которые вследствие сильного испарения и высушивания верхних слоев почвы, выносятся капиллярным подъемом в эти слои и часто в таком количестве, которое является вредным и даже предельным для жизни культурных растений. Таким образом, в девственной и в той же орошенной почве общее количество солей в какой-либо определенной толще будет (при отсутствии дренажа) почти одним и тем же, но распределение будет иным; в девственной почве соли могут быть распределены по всей толще, в орошаемой же они скопятся в верхних горизонтах, создавая здесь значительную концентрацию. Только при очень длительных сплошных затоплениях поливаемого участка (что имеет, например, место при поливах риса) можно расчитывать на то, что значительная часть солей из капиллярной воды успеет перейти в свободную и вместе с ней быть вынесенной в грунтовые воды.

Из сказанного следует, что главную роль в распределении растворимых солей по различным горизонтам почво-грунта играют капиллярные свойства, а следовательно, и механический состав орошаемой почвы.

Для изучения вопроса о том, насколько капиллярные свойства водного раствора изменяются в зависимости от той или иной степени концентрации солей, были поставлены Бриггсом и Лафаном (Briggs, L. J. and Laphan. Почвенное Бюро Департамента Земледелия С. Ш. С. Америки) специальные опыты, давшие следующие результаты:

а) раствор углекислого натра (Na_2CO_3) поднимается значительно выше растворов $NaCl$ и Na_2SO_4 той же концентрации;

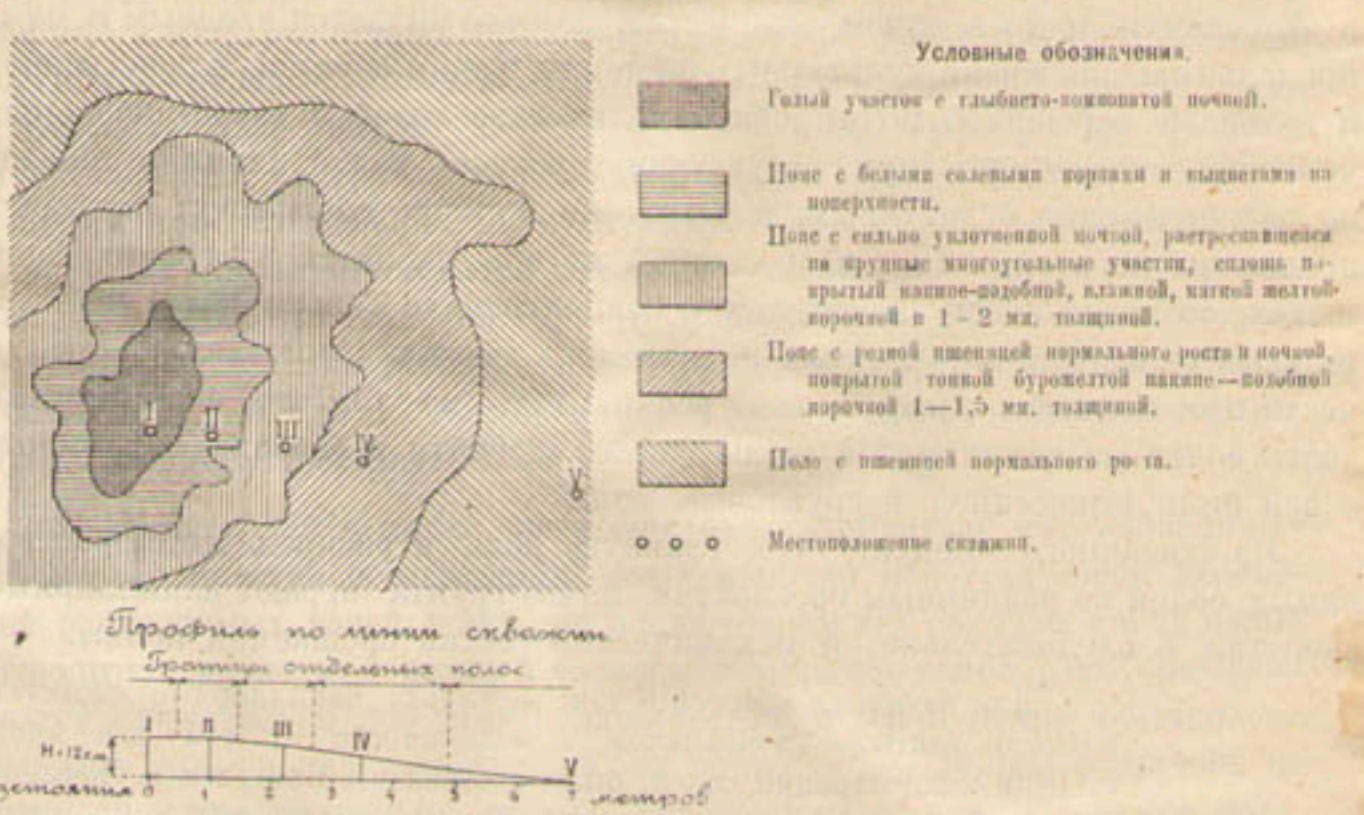
б) разведенные растворы $NaCl$ и Na_2SO_4 не оказывают заметного влияния на высоту капиллярного поднятия воды;

в) концентрированные растворы всех солей, наоборот, сильно уменьшают высоту капиллярного поднятия воды.

В крупно-зернистых почвах, например в песчаных, в которых капиллярные свойства выражены слабо, не наблюдается определенно выраженной тенденции к накоплению солей в поверхностном слое; соли более или менее равномерно распределяются по значительной толще почво—грунта, что (при одном и том же общем количестве растворимых солей почвы) значительно понижает их ядовитое действие на растения.

Помимо указанного общего вертикального процесса передвижения солей в орошаемых районах необходимо отметить еще нижеследующие явления (установленные исследователями: Тулайковым Н. М. в Муганской степи и Димо Н. А. в Голодной степи), имеющие также весьма важное значение в процессах засоления поливных земель, в образовании так называемых вторичных солончаков, а именно:

1. Низкие места, обычно более засоленные в естественных условиях, при применении орошения ранее освобождаются от избытка солей, чем соседние более повышенные участки территории, от природы менее засоленные. При орошении происходит быстрое перемещение солей от центра низин к их краям, от понижений к бугоркам, то есть легко растворимые соли имеют большую подвижность не только в вертикальном, но и в горизонтальном направлении.



Черт. 291. Солончаковое пятно на бугорке поливного поля озимой пшеницы.

Для того, чтобы охарактеризовать указанное явление, приводим результаты двух наблюдений, даваемых Димо в его труде: „Влияние искусственного орошения и повышенного естественного увлажнения на процессы почвообразования и перемещения солей в почво-грунтах Голодной степи“ (1911 г.):

Первое наблюдение.—Солончаковые пятна на бугорках поливного поля озимой пшеницы. На поливном поле, среди пшеницы, выделялись, приблизительно одинакового вида, голые пятна, окруженные солевыми корками и выцветами, занимавшие повышенныеместа, бугорки; в центре почти каждого солончакового пятна располагался небольшой участок голой глыбисто-комковатой пашни, совершенно сухой с поверхности, незатопляемый поливной водой. На черт. 291 показано в плане и в разрезе одно из таких солончаковых пятен, с указанием месторасположения шурфов, заложенных для получения почвенного разреза. Эти разрезы дают возможность установить все переходы от солончака к незасоленной почве, от повышенного голого пятна по направлению к более пониженной ровной части, занятой густой и здоровой по росту и по виду пшеницей. В центре пятна располагается голый участок с глыбисто-комковатой почвой, ее окружает пояс с белыми солевыми корками и выцветами на поверхности, далее располагается пояс с сильно уплотненной почвой, растрескавшейся на крупные многоугольные участки, шириною в 15—25 см. и сплошь покрытый накипе-подобной, влажной, мягкой, желтой корочкой в 1—2 мм. толщиной, затем следует пояс, характеризующийся редкой пшеницей нормального роста и почвой (точно также растрескивается на многоугольные участки), покрытой тонкой бурожелтой накипеподобной корочкой в 1—1,5 мм. толщиной, далее уже идет поле с хорошей, густой и рослой пшеницей. Для освещения вопроса о содержании и распределении водно-растворимых солей в различных поясах описанного солончакового пятна приводим ниже, из той же работы Димо, сводную таблицу результатов анализов по каждому из указанных пяти разрезов (см. таблицу 68).

В вертикальном разрезе солевые скопления, более или менее значительные, получаются только в корках и в верхнем слое почвы небольшой толщины (до 5 см. глубины); в горизонтальном направлении—в плане, наибольшая степень засоления образуется в центре солончакового пятна и в прилегающем к нему ближайшем поясе (разрезы I и II). Таким образом опасные отложения солей локализируются в тонком верхнем слое почвы на сравнительно незначительной площади бугра, при чем к незатопленной части бугорка стекаются по преимуществу хлористые соли (NaCl), а сульфатные занимают подчиненное положение. Содержание солей на глубине свыше 18 см. уже неопасно для большинства растений (напомним, что критическим средним пределом содержания солей в почве принято считать для NaCl—0,5% и для Na_2SO_4—1%).

Второе наблюдение.—Засоление незатопляемых земельных площадей, выступающих над рисовыми полями. Наблюдения производились в Голодной степи, в имении Золотая Орда, на площади, занятой культурой риса. Почвы этой местности до орошения принадлежали к средним или легким суглинкам, засоленным в низинах и незасоленным на повышенных местах (холмах, увалах). Под влиянием орошения, которое для культуры риса протекает в условиях длительного затопления местности водою задерживаемой при помощи системы валиков, отношение между солесодержанием и распределением солей в низинах и на соседних увалах сильно изменилось. В низинах, ни на поверхности почвы, ни в более глубоких ее слоях, совершенно не обнаруживалось присутствие солей (кроме гипса), между тем как на поверхности валиков,

разделяющих рисовое поле, и холмов, выступающих из рисовых полей, скопилось значительное количество солей. Поверхность почвы холмов оказалась покрытой солевой коркой в 1—2 см. толщиною, весьма крепкой, раздавливающейся под ногами. Таким образом соли собирались на повышенные части территории с соседних низин. Это хорошо иллюстрируется нижеприводимой таблицей результатов анализов содержания солей в различных слоях почво-грунта в двух разрезах: один разрез сделан в низменной части рисового поля, а другой, наоборот, в высокой части — на соседнем холме, выступающим над рисовым полем на высоту одного метра. И в этой таблице (см. таблицу 69), можно отметить, что из воднорастворимых солей главенствуют NaCl и Na_2SO_4 и что NaCl явно стремится занять положение выше других солей. Главное скопление солей и в этом случае происходит в корке и в тонком слое под коркой, однако, содержание солей и в более глубоких горизонтах здесь значительно больше (выше критического предела), чем в предыдущем примере солончакового пятна среди пшеницы.

ТАБЛИЦА 68.

Сводная таблица результатов анализа почв солончакового пятна на бугорках поливного поля озимой пшеницы.

Глубина слоев почвы в сантиметрах.	Количество воднорастворимых солей, содержащихся в отдельных слоях почвы, в %% от веса сухой почвы.						
	NaCl	Na_2SO_4	$MgSO_4$	$CaSO_4$	Na_2CO_3	Na_2CO_3 из $NaHCO_3$	$CaCO_3$
Разрез I.							
Комья . . . . 0—3 ст.	2.0668	0.2729	0.3453	0.8791	0.0070	—	3.5711
Соли под комьями							
3— 5 ст.	9.4246	2.9496	0.6069	0.8913	0.0010	—	13.8734
5—18 „	0.2747	0.1379	0.0639	0.4641	0.0070	—	0.9476
20—30 „	0.0716	0.0421	0.0072	0.0182	0.0050	0.0042	0.1483
50—60 „	0.1673	0.0769	0.0108	0.0321	0.0090	0.0042	0.3003
Разрез II.							
Корка . . 0 — 0,5 ст.	1.9839	9.3649	0.1934	0.7650	0.0060	—	12.3103
0,5— 5 „	2.0546	0.4753	0.1548	0.7776	0.0114	—	3.4734
5 —18 „	0.3976	—	—	—	—	—	—
20 —30 „	0.1673	0.1007	0.0122	0.0243	0.0228	0.0032	0.3305
50 —60 „	0.0716	0.0680	0.0040	—	0.0114	0.0038	0.1588
Разрез III.							
Накипь . . 0,2— 0,3 ст.	0.3226	0.2270	0.3279	0.7523	0.0030	—	1.6318
0,2— 5 „	0.0655	0.0263	0.0369	0.0729	0.0113	—	0.2156
20 —30 „	0.0537	0.0577	0.0159	0.0007	0.0226	—	0.1506
50 —60 „	0.0239	0.0352	0.0101	0.0010	0.0113	—	0.0815
Разрез IV.							
Накипь . . 0,1— 0,3 ст.	0.1076	0.0206	0.3456	0.8136	—	0.0032	1.2906
0,5— 5 „	0.0697	0.4124	0.0855	0.0919	0.0226	—	0.6821
10 —18 „	0.0516	—	—	—	—	—	—
20 —30 „	0.1140	0.0196	0.0189	0.0173	0.0226	0.0032	0.1956
50 —60 „	0.0180	0.0272	0.0168	0.0148	0.0226	—	0.0994
Разрез V.							
0— 5 ст.	0.2270	—	0.0420	0.0617	0.0207	—	0.3514
10 —18 „	0.1988	—	—	—	—	—	—
20—30 „	0.0180	0.0531	0.0231	0.0151	0.0276	—	0.1369
50—60 „	0.0119	0.0506	0.0246	0.0049	0.0207	—	0.1127

ТАБЛИЦА 69.

Содержание солей в почвах валиков и неорошаемых холмов на рисовом поле.

Глубина в сантиметрах.	Водорастворимые соли.								Растворимые в слаб. кислот. соли.				Общая сумма солей, раствор. в воде и слаб. кислот.
	NaCl	Na_2SO_4	$MgSO_4$	$CaSO_4$	Na_2CO_3	Na_2CO_3 из $NaHCO_3$	$CaCO_3$	Сумма.	$MgCO_3$	$CaCO_3$	$CaSO_4$	Сумма.	
Разрез I (в пониженном месте).													
Почва:													
0— 12	—	—	0.0129	0.0034	—	—	0.0310	0.0473	1.7970	16.2646	—	18 0616	18.1079
20— 30	0.0049	—	0.0216	—	—	следы	0.0310	0.0575	2.2948	18.8587	—	21.1535	21.2110
50— 60	—	—	0.0261	—	—	0.0021	0.0260	0.0542	—	—	—	—	—
75— 85	0.0030	—	0.0588	0.8209	—	—	0.0270	0.9097	3.5918	14.3616	15.6884	33.6418	34.5515
100—120	0.0030	—	0.0915	0.8957	—	—	0.0090	0.9992	4.1779	14.7367	9.3262	30.9408	31.9400
Корка на валике	0.4158	2.2814	0.3396	0.5827	—	0.0106	0.0070	3.6571	—	—	—	—	—
Валик													
2—12	0.0049	0 0032	0.0219	0.0078	—	следы	0.0280	0.0658	—	—	—	—	—
Грунтовая вода с глубины 113 ст.													
В 1.000 с. ст.	0.1496	1.3327	1.0998	1.5233	—	—	0.1718	4.2772	—	—	—	—	—
Разрез II (на бугре).													
Корка	22.3146	17.9608	2.5170	1.1649	0.0470	—	0.0110	44.0153	1.3251	6.8124	1.0030	9.1405	53.1558
соли под коркой	2.9106	12.9192	0.5730	0.8001	0.0235	—	0.0110	17.2377	1.8249	12.4833	1.9703	16.2785	33.5162
3— 12	0.9306	0.5785	0.1764	0.7552	0.0011	—	0.0020	2.4438	1.4725	14.3175	0.8721	16.6621	19.1059
15— 25	0.5643	0.2996	0.1200	0.1675	0.0011	—	0.0030	1.1555	—	—	0.1061	—	—
30— 40	0.2079	0.1230	0.0870	0.1900	—	—	0.0030	0.6109	1.3251	19.0784	0.1224	20.5259	21.1368
50— 60	0.2986	0.3092	0.0930	0.0413	0 0011	0.0006	0.0075	0.7513	—	—	0.0850	—	—
70— 80	0.2541	0.1630	0.0840	0.1570	—	0.0011	0.0090	0.6682	1 9992	18.4979	0.0680	20.5651	21.2333
95—105	0.1138	0.0677	0.1080	0.8422	—	0.0017	0.0090	1.1424	4.8384	12.1472	3.1280	20.1136	21 2560
Грунтовая вода с глубины 94 ст.													
В 1.000 с. ст.	9.4035	1.5513	3.2343	2.0743	—	—	0.1738	16.4372	—	—	—	—	—

2. Пресная вода, протекая по каналу, обе насыпи которого на большом протяжении покрыты сплошь солевыми налетами, почти не обогащалась солями; пресная вода в канале, фильтруясь через смоченную поверхность, повидимому, только вталкивает соли дальше в тело дамбы, которые затем в силу капиллярного подъема выносятся на наружные откосы и на поверхность надводной части дамб; последние покрываются солевыми выцветами. Прохождение воды по длинной сети распределителей и оросителей, расположенной на солончаке, почти совершенно не отражалось на ее составе.

3. При прохождении канала и распределителей по засоленной местности (с солеными грунтовыми водами) через короткое сравнительно время вблизи него на некотором небольшом протяжении образуется неглубокое залегание опресненных грунтовых вод; фильтрующаяся из канала вода вымывает из прилегающей к нему полосы, прежде всего, легкорастворимые, а затем менее растворимые соли, и переносит их в направлении, перпендикулярном к оси канала, так что на некотором расстоянии от канала, за полосой опресненных грунтовых вод, располагается полоса с увеличенным содержанием солей в грунтовой воде.

Влияние на растения вредных (непитательных) солей почвы. Каждая почва, при более или менее длительном соприкосновении с водою, отдает этой последней в раствор некоторую часть своих солей, которые поэтому и принято называть растворимыми солями почвы. Одни соли являются питательными для растений (соли калия, азота, фосфора, извести и проч.), другие же соли (натрия, кальция, магния) не играют существенной роли в питании растений.

Несмотря на большое количество работ, посвященных вопросу о влиянии на растения солей, он остается и в настоящее время в стадии исследований, бесспорных выводов пока немного. Можно отметить только нижеследующие общие положения:

а) почти все соли (включая также и соли, имеющие непитательные основания, например, Na, Ca и Mg) в известных очень низких концентрациях действуют на растения как стимулянты, ускоряя и усиливая их рост, например, опыты Miyake, K. над ростом риса показали, что наивысший стимулирующий эффект растворов солей получался при концентрации для Na_2CO_3 0,106—0,212% и $NaHCO_3$ при 0,084—0,168%, для растворов солей NaCl—при 0,0585—0,117%, для растворов $CaCl_2$—при 0,0111—0,00222% для $MgCl_2$ — при 0,0095 — 0,0190%, для $MgSO_4$ — при 0,024. аналогичные результаты получаются и при опытах с другими растениями:

б) при известной величине концентрации каждой соли в почве растения начинают страдать, т. е. концентрация соли становится ядовитой; например, в тех же опытах Miyake, K., с рисом, ядовитыми концентрациями растворов солей являются концентрации выше для NaCl—0,0585%, Na_2CO_3—0,106%, $MgSO_4$—0,0120% и $CaCl_2$—0,111%, а для солей Na_2SO_4 0,284% и $NaHCO_3$—0,168%;

в) различные соли не одинаково ядовиты растениям; степень ядовитости находится в зависимости от аниона и катиона солей; из катионов наиболее ядовитым является Mg'', затем Na' и, наконец, наименее ядовитым, невредящим растениям в довольно высоких концентрациях, является Ca''; из анионов наиболее ядовитым является CO''_3, затем Cl' и, наконец, SO''_4. Порядок ядовитости солей, встречающихся в обыкновенных засоленных землях, таков: $MgSO_4$, $MgCl_2$, Na_2CO_3, Na_2SO_4, NaCl и $NaHCO_3$;

г) различные растения не одинаково чувствительны к вредному действию солей;

д) когда на растение действует смесь различных солей, то влияние каждой соли из составляющих смесь может существенно отличаться от влияния этой же соли, но действующей на растение в чистом ее растворе. Ядовитое действие одиночной соли в смеси с другими солями может понижаться, а в некоторых случаях даже совершенно исчезать, в силу антагонизма между катионами солей.

Например, по опытам Melool, M. M., чистый раствор $MgCl_2$ в концентрации 0,019% или $MgSO_4$ в концентрации 0,024% прекращает рост всходов (канадского гороха, с которым он производил опыты); ядовитое действие этой соли сильно ослабляется, если ввести в раствор $CaCl_2$. Даже при концентрации раствора $MgCl_2$ в 0,475% его ядовитое действие прекращается, если он содержит $CaCl_2$ в концентрации 0,555%.

Очень слабые растворы $CaCl_2$ понижают и даже обезвреживают ядовитое действие NaCl, так, например, в тех же опытах Melool'я (Melool, M. M.—Сельско-Хозяйственная Опытная Станция Корнельского Университета С. Ш. С. Америки) раствор $CaCl_2$ с концентрацией в 0,002% уже понижает ядовитость раствора NaCl с концентрацией в 0,117 и т. п.;

е) присутствие Ca в растворах солей Mg и Na почти всегда весьма сильно понижает ядовитое действие этих солей, в особенности, если кальций прибавляется в виде гипса ($CaSO_4$). Как слабые, так и насыщенные растворы $CaSO_4$ производят благоприятное действие почти на все ядовитые соли.

Влияние содержания того или иного количества солей в почве на состояние растения, прорастающего на этой почве, изучалось на многих опытных станциях, а также и в лабораторной обстановке, по преимуществу в С. Ш. С. Америки, а также и в России (например, на Безен-

чукской опытной станции, Дробовской (Полтавской) опытной станции, в сельско-хозяйственной химической лаборатории в Петербурге, в Бюро по земледелию и почвоведению Ученого Комитета Министерства Земледелия и в др.). Необходимо помнить, что состояние растения зависит от очень многих факторов и что содержание солей в почве является лишь одним из них, поэтому весьма трудно разобраться в том влиянии, которое оказывают на растения различные соли, если наблюдения производятся в полевых условиях. Данные опытных станций поэтому нельзя распространять даже на аналогичные условия практики, так как только при полной идентичности всех условий жизни растений будут получаться и одинаковые результаты, между тем полное тождество может встретиться только в виде крайне редкого исключения. Следовательно, на цифровые данные, взятые из различных опытов, надо смотреть только как на некоторого рода опорные точки, которыми можно воспользоваться при предварительных суждениях о возможном влиянии солей, содержащихся в интересующей нас почве какой-либо местности, на рост и урожай сельскохозяйственных культур.

Однако, многочисленные опыты дали возможность приблизительно установить относительную сопротивляемость солям в почве различных растений. Американские исследователи (Лафридж и др.) дают нижеследующий ряд растений, расположенных в порядке степени их сопротивляемости солям в почве:

1. Солончаковые травы.
2. Солончаковые кустарники.
3. Финиковые пальмы.
4. Модиола.
5. Сорго.
6. Сахарная свекла.
7. Вика волосатая.
8. Люцерна взрослая.
9. Ячмень.
10. Редька.
11. Подсолнечник.
12. Бобы.
13. Горох.
14. Виноград.
15. Артишок.
16. Масляничное дерево.
17. Морковь.
18. Пшеница.
19. Апельсиновое дерево.
20. Сельдерей.
21. Миндаль.
22. Люпин.
23. Рожь.
24. Овес.
25. Фиги.
26. Люцерна молодая.
27. Картофель.
28. Лук.
29. Грушевое дерево.
30. Тутовое дерево.
31. Сливовое дерево.
32. Персиковое дерево.
33. Яблоня.
34. Абрикосовое дерево.
35. Лимонное дерево.

Отметим еще раз, что вышеприведенный перечень дает только самую общую картину отношения растений к солям. Различие в характере почвы, в содержании отдельных солей (в качественном составе солей) в общей сумме их, а также различия и в других условиях, могут сильно изменить

отношение растений к солям, а, следовательно, и их порядковый номер в указанном перечне.

Остановимся более подробно на некоторых важнейших культурах засушливых и сухих районов, а именно: пшенице, ячмене, рисе, люцерне, хлопке, сахарной свекле, винограде и некоторых плодовых деревьях, для того, чтобы дать хотя бы приблизительную, не только количественную, но и качественную характеристику сопротивляемости растений солям. Следует, однако, оговориться, что на приводимые данные относительно сопротивляемости растений соде, взятые из различных опытов и наблюдений, надо опираться очень осторожно, так как сама методика определения соды в почве еще недавно подверглась сильному изменению.

Пшеница. По опытам Безенчукской опытной станции, пшеница без всякого для себя вреда может переносить значительное количество магнезиальных солей ($MgCl_2$ до 0,22% и $MgSO_4$—до 0,65%), а также кальциевых солей ($CaCl_2$—до 0,20%), Сернокислые соли значительно менее ядовиты для пшеницы, чем хлористые. Она может переносить без особого вреда

$NaCl$ . . . до 0,1%
Na_2SO_4 . . . до 0,20%;

но она не могла совершенно существовать при содержании

$NaCl$ . . равном 0.7% и выше
Na_2SO_4 . . . „ 2,1% „

Исследования Тулайкова, Н. М., в Муганских условиях показали, что урожай пшеницы получался еще хорошим: а) в тяжелой почве при содержании в верхнем 30 сант. слое: карбонатов—0,04%, хлоридов—0,042%, сульфатов—0,052%, всего—0,134%;
б) в суглинистой почве при содержании в верхнем 30 сант. слое: карбонатов—0,053%, хлоридов—0,124%, сульфатов—0,062%, всего—0,239%;
в) в песчаной почве при содержании в верхнем 30 сант. слое: карбонатов—0,037%, хлоридов—0,024%, сульфатов—0,038%, всего—0,099%.
Вышеприведенные цифры, конечно, нельзя рассматривать, как предельные, они только отмечают, что в указанных условиях урожай пшеницы получался еще хорошим.

Ячмень. По данным Лафриджа, ячмень способен переносить вдвое большее содержание солей в почве, чем пшеница; это одинаково относится и к Na_2CO_3 и к $NaCl$. Способность ячменя выносить значительное количество углекислых щелочей дает, по мнению Лафриджа, основание рекомендовать это растение на солонцах (так как оно допускает не превращать всю соду в серно кислый натр при помощи гипса).

Рис. Опыты Майэка (Miyake, K.) с рисом (в водных культурах, не содержащих питательных веществ) показали, что вредными концентрациями солей являются для $NaCl$—0,351%, Na_2CO_3—0,636%, $MgCl_2$—0,570%, $MgSO_4$—0,72%, $CaCl_2$—0,666%, Na_2SO_4—0,284% и $NaHCO_3$—0,168%. Опыты со смесями солей показали, что при тех концентрациях, при которых каждая из них в одиночке действовала вредно, смеси солей еще не оказывали вредного действия. По мнению Гедройца, К. К., слабое токсическое дей-

ствие Na_2CO_3 на рис, обнаруженное Майэком (тогда как другие исследователи при аналогичных опытах в водных культурах констатировали гораздо большую ее ядовитость), вызывалось тем, что Na_2CO_3 в течение опыта успевал переходить, в значительной своей части, в $NaHCO_3$,—гораздо менее ядовитую соль.

Хлопок. Существующих лабораторных и опытных наблюдений над сопротивляемостью хлопка различным солям далеко недостаточно, чтобы можно было составить ясную картину влияния различных солей на урожай и качество хлопка, а также установить предельные величины их содержания, при которых наступает явно выраженная токсичность. Насколько можно судить, эффект солей на качество хлопкового волокна, если этих солей не больше 1%, не только не отрицательный, а скорее положительный; это замечание особенно относится к NaCl: ускоряется созревание коробочек, улучшается цвет, увеличивается длина и прочность волокна. По данным Фоадена (Foaden, G. P.—Египет), хлопок в Египте растет на почве, содержащей до 1,5% солей, при чем различные сорта отличаются различной выносливостью. При посеве хлопка на дне бывшего соленого озера Абукир получились следующие результаты:

хлопок хороший, при содержании солей в верхнем слое (до 0,6 мет.) . 0,6%

хлопок совершенно отсутствовал при содержании солей в верхнем слое (до 0,6 метр.)..... ..... 2%

Аналогичные данные отмечены в районах хлопководства С. Ш. С. Америки, на поливных землях. К сожалению, в опытах с хлопчатником нет данных о влиянии отдельных солей.

Сахарная свекла. Сахарная свекла может переносить сравнительно большое количество растворимых солей в почве, при чем наиболее чувствительна она к содержанию хлоридов. Токсичность замечается при содержании хлоридов выше 0,2% (опыты Snow, G. W, на опытной станции Калифорнийского Университета). Сульфаты переносятся свеклой в значительно больших концентрациях; углекислые соли в количестве не свыше 0,08% от веса почвы признаются неопасными для свеклы, особенно принимая во внимание, что они могут быть при помощи гипса превращены в сернокислые соли.

Виноград. Для виноградного куста опасно большое содержание солей только в начале его роста; как только корни пройдут на некоторую глубину, то рост его идет весьма хорошо в условиях почвы, богатой солями. Различные сорта винограда имеют различную сопротивляемость солям. Опыты Лафриджа со 150 сортами винограда приводят его к заключению, что наиболее выносливым надо считать персидский виноград, который выносит сравнительно высокое содержание NaCl и Na_2CO_3 в почве. Например, персидский виноград давал:

хороший урожай при содержании в почве в % от веса:

	сульфатов	карбонатов	хлоридов	всего
	0,144	0 063	0,077	0,284
погибал	0,205	0,311	0,091	0,607

Плодовые деревья. Большинство плодовых деревьев довольно чувствительно к растворимым солям почвы и сильно страдает от их избытка.

Тулайков, Н. М., приводит нижеследующие данные о содержании солей в почвах, занятых некоторыми плодовыми деревьями, при нормальном и плохом росте их.

Таблица 70.

Содержание солей в почве плодового сада при нормальном и плохом росте плодовых деревьев.

	Количество солей в % от веса почвы			
	Сульфатов.	Карбонатов.	Хлоридов.	Всех солей.
Яблони, хороший рост	0,089	0,004	0,008	0,101
„ плохой „	0,117	0,008	0,020	0,146
Абрикосы, хороший „	0,054	0,006	0,006	0,063
„ поврежденный „	0,214	0,011	0,021	0,246
Груши, отличный „	0,111	0,011	0,009	0,131
„ плохой „	0,239	0,013	0,009	0,261
Персики, отличный „	0,060	0,004	0,006	0,070
„ плохой „	0,084	0,007	0,015	0,106

Исключительной солевыносливостью, по сравнению со всеми другими растениями, отличается финиковая пальма; она является вместе с тем, там, где культура ее возможна по климатическим условиям, одним из самых доходных растений на засоленных землях сухой области. Она выносит NaCl и другие хлориды, включая $MgCl_2$, до 0,8% от веса почвы. Сульфаты пальма переносит еще в больших количествах. Тулайков, Н. М., приводит из практики Алжира пример успешного роста финиковой пальмы в почве: в поверхностном слое которой содержалось 4,89% Na_2SO_4 и 0,22% других сульфатов, а в подпочве — 1,82% Na_2SO_4 и 0,88% хлоридов. Надежных данных о сопротивляемости пальмы соде и другим карбонатам пока не имеется.

Общая схема мероприятий по предупреждению засоления орошаемых земель и по уменьшению содержания вредных солей в почве.

Мероприятия по изоляции постоянно действующих и опасных по своей интенсивности источников засоления. Вырабатывая план мероприятий по борьбе с засолением, естественно, прежде всего, произвести подробный анализ основных причин засоления почвы и установить, не будет

ли она сравнительно быстро вновь накапливать в себе соли в количествах вредных для растений после того, как они будут удалены из нее, то есть, другими словами, необходимо выявить коренные причины засоления почвы и выяснить, какие из них являются непрерывно-действующими и опасными по своей интенсивности. Остановимся поэтому на основных причинах засоления почв и установим, какие из них потребуют принятия специальных мер по ослаблению или ликвидации постоянно действующих факторов засоления. Таковыми являются.

а) Перенесение солей в почву данного района извне при помощи ветра; очевидно, этот процесс засоления очень медленный даже в естественных условиях (при открытой поверхности почвы и при незначительных атмосферных осадках), в условиях орошаемого района в большинстве случаев будет столь мало интенсивным, что опасного влияния на засоление поливных земель он оказать не сможет, так как мельчайшие солевые частицы (переносимые ветром) будут оседать на поля каждый раз в незначительном количестве, которое легко будет смываться при поливах. Только в исключительных случаях, при непосредственном соседстве орошаемого района с мощными солончаковыми поверхностями, покрытыми солевыми выцветами, возможно ожидать отложения солей в орошаемом районе (процессом импульверизации) в таком количестве, которое необходимо уже будет принимать в расчет при проведении тех или иных мер по удалению солей. Предупредительными мероприятиями могут быть:

1) оставление между неиспользуемыми солончаковыми площадями и орошаемой территорией предохранительной зоны, с культированием на ней солевыносливых древесных насаждений;
2) культивирование на солончаковых площадях солевыносливых трав и кустарников, а также и древесных насаждений.

Покрывая поверхность солончака и прилегающих к нему земель травой, кустарником и древесными насаждениями, ослабляем силу удара ветра по поверхности, а также силу взвешивания воздушным потоком солевых частиц. В диком состоянии в природе встречается целый ряд растений, которые могут мириться с значительным количеством растворимых солей в почве.

Из числа древесных растений и кустарников можно отметить: гребенщик, чингиль, караганник, саксаул, koelreuteria paniculata, платан (platanus orientalis), тополь канадский (populus canadensis), шелковицу, дуб лопастной (quercus lobata), финиковую пальму и другие. Развитие древесной растительности, имея вышеуказанный защитный характер, вместе с тем, может принести ряд дополнительных выгод,

давая топливо (большинство даже кустарников пригодно для топлива), поделочный строительный материал, материал для мебели (платан), материал для плетения изгородей и т. д.

Из числа солевыносливых трав и кустарников следует отметить прежде всего различные сорта австралийской лебеды. Это кормовое растение может выносить сильную засуху (до 100 мм. за вегетационный период) и все же давать высокие урожаи сена, охотно поедаемого овцами. Можно указать также на целый ряд кормовых растений других родов, весьма выносливых по отношению к солям и к засухе которые поедаются скотом, в особенности овцами, с большой жадностью, напр., Atriplex pabularis, Rhagodia hostata, Modiola decumbens и многие другие.

Культивируя указанные растения на солончаковых площадях, не включенных в общую площадь орошения, можно добиться не только того, что вся поверхность солончаков и солонцов покроется густой растительностью, благодаря чему исчезнет или сильно ослабнет возможность переноса ветром солей с их поверхности, но также и полезного использования этих бросовых земель в качестве кормовых площадей, источника топлива и проч. Кроме того, надо иметь в виду, что культивирование указанных растений, поглощающих в большом количестве соли из почвы, ведет к постепенному уменьшению содержания солей в почве, так сказать,—к „сухому рассолению" ее.

б) Принесение солей поверхностными водами, напр., сильно минерализованными ключами, карасуками и проч. Очевидно, до приступа к каким-либо мелиоративным работам, необходимо перехватить указанные воды специальным каналом, чтобы оградить от них предполагаемый к орошению район и вывести их в такие естественные русла, в которых эти воды уже были бы безвредны.

в) Перенос солей грунтовыми водами. Эти последние могут сильно минерализоваться еще до поступления их в подпочву предполагаемого к орошению района. Здесь же, в силу капиллярного подъема солевого раствора с поверхности грунтовых вод (в слой почво-грунта, залегающий выше горизонта этих вод) и испарения его при соприкосновении с теплым, сухим почвенным воздухом, соли будут подниматься и откладываться в почве на некоторой высоте. Если горизонт грунтовых вод будет залегать на небольшой глубине под поверхностью земли, то отложения солей могут затронуть зону распространения корней растения.

Очевидно, при таких условиях, необходимо прежде всего (до проведения каких-либо мелиоративных мероприятий) уничтожить постоянно действующую причину засоления. Для этого необходимо:

1) перехватить или весь поток соленосных грунтовых вод выше предполагаемого к орошению района или же отдельные соленосные водные жилы, если исследования покажут, что они являются источ-

никами обогащения грунтовых вод солями. Этот перехват может быть совершен каптажными галлереями, открытыми каналами, закрытыми дренами или, наконец, при помощи целой линии высасывающих колодцев;

2) понизить уровень грунтовых вод под районом, предполагаемым к орошению, до такой глубины, чтобы горизонты капиллярного подъема этой воды, богатой солями, были значительно ниже зоны возможного распространения корневых систем, предполагаемых к культивированию, растений. Понижение горизонта грунтовых вод может быть достигнуто открытым или закрытым дренажем или системой высасывающих колодцев, так часто расположенных, чтобы действие их могло распространиться на всю поверхность грунтовых вод.

в) Принесение солей атмосферными осадками, образование солей в результате выветривания первозданных пород. Накопление солей в почве указанными путями будет столь медленным, что в условиях орошаемого хозяйства (при частых поливах почвы значительной массой воды) оно существенного значения иметь не может и не требует принятия специальных предупредительных мер.

Способы изъятия избытков солей из солончаковой почвы. После того как будут выработаны мероприятия по изоляции постоянно действующих и опасных по своей интенсивности источников засоления, следует перейти к решению дальнейших вопросов, которые сводятся к установлению наиболее целесообразных способов изъятия из почвы избытков солей, главным образом, из той толщи ее, в которой будут распространяться корни растений, а также изъятия из нее тех веществ, из которых вредные соли вновь могут образоваться. Существующая практика мелиорации засоленных земель пользуется с тем или иным успехом нижеследующими способами.

1. Поглощение солей из почвы корневой системой особых солеустойчивых растений, которые культивируются некоторое время специально для удаления излишнего количества солей. Корни этих солей могут питаться сравнительно высоко концентрированными почвенными растворами; за период своего развития, до момента созревания, солевыносливые растения постепенно поглощают из почвы некоторое количество растворимых солей, накопляя их в стеблях и листьях; после удаления с поля всей надземной массы растений, удаляется также из засоленного района какое-то количество солей (более или мене определенное для данного вида растений при данных обстоятельствах, например, по данным Калифорнийской опытной станции, австралийская лебеда, давая средний урожай в 800 пудов на

десятину, уносит в нем в своей массе сухого вещества около 10 пудов солей одного натрия). Съемка нескольких урожаев подобных растений может унести уже заметное количество солей из почвы. Этот способ позволяет, культивируя солеустойчивые кормовые травы, кустарники и древесные растения (некоторые из них были указаны выше) и производя таким образом рассоление почвы, а следовательно, подготовляя ее к высоким культурам, в то же время с некоторой (правда, небольшой) выгодой эксплоатировать сразу засоленные земли. Однако, не трудно убедиться, что этот способ борьбы, в случае значительного засоления почвы, потребовал бы весьма продолжительного времени, ибо содержание солей в той толще почво-грунта, в которой распространяются корни растений, будет весьма большим по сравнению с количеством, ежегодно поглощаемым даже самыми солевыносливыми растениями. Например, в 4-х футовом слое почвы: при содержании легкорастворимых солей в 0,5% от веса сухого вещества почвы, при удельном весе последней 1,30, вес общего количества их равен 5.250 п., при содержании в 1%—10.500 пуд. и в 2%—21.000 пуд. на десятину, а, между тем, даже такие растения, как австралийская лебеда, могут выносить с десятины почвы за один урожай не более 10—20 пудов.

Этот способ наиболее применим в скотоводческих районах и главным образом при разведении овцеводства. Применение его возможно также в районах, которые предполагается использовать под высокие культуры во вторую и третью очередь, когда имеется достаточно времени для понижения содержания солей в почве указанным способом.

II. Смыв солей с поверхности водою. Способ этот состоит в ограждении предполагаемого к улучшению участка валиками и затоплении его водою, которая, оставаясь некоторое время над поверхностью почвы, растворяет часть солей и затем вместе с ними, отводится в водосборную сеть. Иногда ограничиваются тем, что пропускают по засоленному участку воду из канала или реки, позволяя ей течь, не застаиваясь, по поверхности земли. Таким образом, этот способ основан на предположении, что вода будет растворять некоторое количество солей, находящихся на поверхности и в верхнем слое почвы и будет уносить их вместе с собою за пределов мелиорируемого района; предполагается также, что в промежутке между затоплениями, когда поверхность земли обнажается и под лучами солнца быстро высыхает, оставшиеся в почве соли будут подниматься вместе с водою к поверхности вследствие капиллярного движения, где и будут вновь откладываться; новое затопление поверхности мелиорируемого участка растворит еще некоторое количество солей, которые затем вместе с водой будут сброшены в водосборную сеть. Предполагается, что, повторяя несколько раз такой прием, возможно будет рассолить почву на требуемую глубину.

Однако, как показал опыт, этот способ имеет очень ограниченное применение, так как явление фактически протекает иначе, чем можно предположить с первого взгляда, а именно: первый слой воды, пущенный по поверхности, быстро растворяет соли и инфильтрует их вниз в почву;

последующий напуск воды, увеличивая фильтрационный поток, заносит соли еще на большую глубину в почву, при чем вода, попадая в почву, прежде всего переходит в связное состояние (т. е. подпадает под влияние сил сцепления почвенных частиц), образуя водяные пленки вокруг частиц почвы и заполняя капиллярные промежутки в ней; следующие порции воды, увеличивая фильтрационный поток, заполняют некапиллярные полости в почве и, следовательно, просачиваются в более глубокие горизонты, где переходят также в связное состояние и заполняют капилляры; очевидно, что, при длительном затоплении, вся толща почво-грунта до горизонта грунтовых вод может дойти до состояния влажности максимальной капиллярности (см. стр. 25) и дальнейший приток воды будет уже идти на питание грунтовых вод и на подъем их, если по условию естественного дренажа эти избыточные воды не могут быть поглощены грунтовым потоком и отведены из пределов района без повышения уровня этого потока; таким образом, если естественный дренаж слаб, то при частых, длительных и обильных затоплениях мелиорируемый район может заболотиться со всеми последствиями, отсюда вытекающими; так как соли растворяются первыми массами воды и впитываются вместе с нею в почву, то в воде, оставшейся на поверхности и предназначенной к сбросу, содержание солей будет уже небольшим и, следовательно, основная цель поверхностного смыва солей не будет достигнута; увеличивая длительность и глубину затопления мелиорируемого участка, мы не только не улучшим положения, но, наоборот, вгоним соли глубже в почву и заболотим район; если же затоплять участок кратковременно и слоем небольшой глубины, то вся вода вместе с солями, которые быстро растворяются, будет впитываться целиком почти в почву, проникая в нее на небольшую глубину, следовательно, в этом случае поверхностный смыв солей (с отводом их в водосборную сеть) почти совсем не будет иметь места; так как, согласно предыдущему (при отсутствии естественного дренажа), соли должны скопиться в верхней толще почво-грунта и, как только вода будет спущена с поверхности участка и верхние слои почвы начнут высыхать, неминуемо образуется капиллярный ток воды кверху (к более сухим слоям), а вместе с ним будут передвигаться кверху и растворенные соли; здесь вода будет испаряться, а соли вновь отлагаться, и участок окажется через короткий промежуток времени засоленным почти в той же степени.

Этот способ может иметь некоторый успех только в случае, если почва плотно глинистая, уровень грунтовых вод низок, а растворимые соли сосредоточены в верхнем слое; в этом случае, вода, растворив соли, будет медленно фильтроваться в почву и, при быстром сбросе ее, можно рассчитывать, что часть солей попадет в водосборную сеть.

При легких почвах, сравнительно неглубоких грунтовых водах и при отсутствии естественного дренажа, применение указанного способа, является опасным, так как легко может произойти опасное повышение горизонта грунтовых вод (выше зоны распространения корней) и подъем к

поверхности еще большего количества солей, чем верхний слой почвы имел первоначально. При легких почвах и при хорошо дренирующей подпочве несравненно целесообразнее применение другого способа, а именно, вымывания солей в подпочву, вместо смыва их поверхностным потоком воды.

Итак, указанный способ редко может иметь целесообразное применение, большею частью он не приносит существенных результатов и бывает даже вреден.

III. Вымыв солей из недр почвы в повышенные пункты ее поверхности, возвышающиеся над горизонтом затопления почвы при заливе. При этом способе мелиорации засоленных земель пользуются свойствами легкой подвижности солей в горизонтальном направлении, быстрым перемещением их от затопленных (поливом) низин к выступающим из воды бугоркам, увалам и проч. Эти явления были описаны выше в этой же главе, поэтому на них останавливаться больше не будем. Опишем здесь только сущность данного способа рассоления почвы: на всем предполагаемом к мелиорации участке устраиваются искусственно (если нет естественных) маленькие бугорки в виде конусов, так сказать, фокусы вымыва солей, высотою около 0,20—0,30 метр. и с нижним диаметром в несколько метров, (с таким расчетом, чтобы при затоплении участка во время полива, верхушки конусов не затоплялись; вода, стоящая над поверхностью земли, тем же процесом, который описан в предыдущем способе, будет инфильтровать в почву соли, находившиеся в верхних слоях почвы затопленного участка, затем эти соли будут переноситься в горизонтальном направлении к осям бугров и здесь (благодаря тому, что поверхность их не покрыта водою и подвергается иссушающему действию солнечных лучей) будет иметь место вертикальный ток капиллярной воды вместе с растворенными в ней солями; достигнув поверхности земли, вода будет испаряться, а соли откладываться, как на верхушке, так и во всем поверхностном слое бугра, при чем главная масса солей скапливается, как показал опыт, в слое около 5 сантиметров; после того как полив закончится и поле высохнет, срезается скреперами, или особыми приборами, указанный поверхностный слой с большим количеством солей на всех буграх и вывозится из пределов мелиорируемого участка; если бугорки расположены достаточно часто и операция затопления участка водою и последующего удаления солей (поднявшихся в поверхностные слои бугорков) будет произведена несколько раз, то можно будет достигнуть существенных результатов по рассолению почвы затопляемых площадей участка.

В Бухаре и Хиве аналогичным способом с успехом пользуются в борьбе с солончаками при древесной и огородной культуре; вместо устройства бугорков там все поле обрабатывается в высокие острогранные призматические грядки, при чем вода пускается по ложбинам между соседними грядками, оставляя верхушки грядок (примерно на 0,3 высоты) незатопленными; растения при этом сажаются немного выше уровня воды

и растут хорошо; вершины же грядок покрываются обильными выцветами солей и солевыми корками.

Данный способ может вызвать заболачивание почвы, если подпочва плохо дренирует и горизонт грунтовых вод расположен сравнительно неглубоко, так как при многократных затоплениях (для вымыва солей в высокие пункты) значительное количество воды может просочиться к грунтовым водам и поднять их уровень.

При сильно минерализированных грунтовых водах применение данного способа не даст полезных результатов, так как не удаляется основная причина накопления солей в поверхностных слоях; применяя несколько раз этот способ, можно удалить из верхних слоев почвы затопляемой части территории значительное количество растворимых солей (через бугры и вообще возвышенные фокусы поверхности), но раз горизонт соленых грунтовых вод будет залегать недалеко от поверхности, то как только поверхность почвы освободится от затопления, соли из глубины почвы с поверхности грунтовых вод будут вновь передвигаться (капиллярным движением) в верхние горизонты. Однако, приведенные соображения относятся ко всем способам, так как, если не ликвидированы основные причины засоления района, действие этих способов будет кратковременным, а мелиорация будет носить паллиативный характер.

При сравнительно незначительном содержании солей в почве, при пресных грунтовых водах данный способ может дать существенные результаты, в особенности, если его соединить с разрыхлением поверхностного слоя почвы (затопляемой, пониженной части района), разрушающим цельность капиллярных ходов и приостанавливающим капиллярное поднятие влаги и растворимых солей.

IV. Промыв солей, содержащихся в почве, в грунтовые при условии наличия естественного дренажа. Способ этот заключается в следующем: мелиорируемый участок тщательно выравнивается, разбивается при помощи валиков на отдельные площадки и затопляется таким слоем воды, чтобы все повышенные пункты местности были длительно покрыты ею (обычно применяют затопление слоем в 10—15 см.); соли растворяются первыми напусками воды и поступают вместе с водою в почву; здесь соленая вода переходит в связное состояние, обволакивая почвенные частицы и заполняет капилляры; последующие порции воды доводят почву до состояния насыщения, образуется свободная почвенная вода, находящаяся исключительно под влиянием силы тяжести, которая будет просачиваться с поверхности почвы к грунтовым водам, омывая, так сказать, ту водяную пленку, которая образовалась силами сцепления вокруг почвенных частиц и в которой сосредоточена в растворенном виде главная часть солей; при этом, вследствие диффузии, часть солевых частиц будет переходить в указанный фильтрационный поток и уноситься вместе с ним к грунтовым водам; однако, этот переход солевых частиц из капиллярной воды в свободную (фильтрующуюся) воду происходит весьма медленно, так что для

промыва всего избытка солей нужны сравнительно значительные массы воды и ряд повторных промывных операций. Очевидно, этот способ может быть применен только в тех случаях, когда уровень грунтовых вод достаточно низок и почва обладает хорошим естественным дренажем, при котором просачивающиеся воды не смогут поднять уровень грунтовых вод до опасных пределов. Необходимо, чтобы после прекращения промывной операции, когда вся свободная вода пройдет в грунтовые воды и в почве останется только „связная" вода и начнется капиллярное движение вверх, соленая вода не поднялась капиллярным всасыванием с поверхности грунтовых вод до корневой зоны растений и здесь (в случае сильной концентрации солей в поднявшейся воде) не затруднила их питания. Из этого следует, что горизонт грунтовых вод, если они сильно минерализованы (в своем естественном состоянии или благодаря выщелачиванию избытка солей из залегающего над ними слоя почво-грунта), должен залегать на такой глубине, при которой капиллярный подъем солей не мог бы достигнуть корневой зоны. При пресных грунтовых водах, если все промытые соли уносятся вместе с грунтовым потоком, горизонт их может залегать выше; в этом случае важно только, чтобы грунтовая вода не достигла корневой зоны растений и не вытеснила из нее воздух.

При рыхлой и пористой почве и хорошо дренирующей подпочве применение данного способа рассоления земель может дать наилучшие результаты по сравнению со всеми остальными; при плотной почве и хорошо дренирующей подпочве, одним из условий успешности этого способа является уменьшение количества испаряющейся с поверхности почвы влаги, разрыхление верхнего почвенного слоя, затенение его посевом соответствующих растений (напр., сорго, которое довольно быстро развивается и затеняет почву, выносит присутствие значительного количества растворимых солей и допускает возможность обильного орошения, так что его можно культивировать в период промыва).

V. Промывание солей, содержащихся в почве, при помощи искусственного открытого или закрытого дренажа. Этот способ по существу такой же, как и предыдущий, но он не требует наличия естественной хорошо дренирующей подпочвы и особо благоприятных условий залегания грунтовых вод, так как, закладывая искусственный дренаж, можно держать горизонт грунтовых вод на требуемой глубине и обеспечить отвод всей лишней воды из пределов мелиорируемого участка, при любых, вообще говоря, условиях почво-грунта. Кроме того, важным преимуществом этого способа (чего не дает ни один из предыдущих способов) является создание условий, обеспечивающих хорошую вентиляцию подпочвы и почвы, так как в промежутках между поливными операциями, когда вся свободная вода уйдет по дренам в водоотводную сеть и дрены отчасти опорожнятся, воздух будет проникать по ним (дренам) во все незаполненные водою поры почво-грунта. Процесс вентиляции почвы можно представить себе так: воздух при колебании внешнего атмосферного давления движется по дренажным трубам,

как дыхательным путям, проникая к корням снизу через трубы, а также сверху через поверхность почвы. Раньше уже указывалось что аэрация почво-грунта (т. е. постоянное снабжение его воздухом) необходима для произрастания семян, для деятельности корневой системы культурных растений, для жизни и деятельности полезных почвенных бактерий, в том числе и вырабатывающих азот; в отсутствии достаточной аэрации проявляется также деятельность особых бактерий, расщепляющих азотистые соединения и органические вещества и освобождающих из них азот, что ведет к обеднению почвы азотом; аэрация почвы обеспечивает подачу в нее свободного кислорода и угольной кислоты, необходимых для образования в почве веществ, обусловливающих ее плодородие. Затем, к преимуществам дренажа следует отнести также повышение температуры почвы по сравнению с сырой, недренированной почвой (вследствие большего поглощения тепла при испарении содержащейся в почве воды, вследствие большей теплоемкости воды по сравнению с сухим веществом почвы и по другим причинам).

Например, по данным Кинга (King, F. H.), при одном из его наблюдений разность температур дренированной и недренированной почвы в апреле месяце колебалась, в зависимости от погоды, между 1,25° и 7° Цельсия; по данным опытной станции при Сельско-Хозяйственном Колледже в Онтарио (С. Ш. Сев. Америки), после дренажа посев начинался на 1—6 недель раньше: по опытам в Орегоне, дренированные почвы на 3—8° теплее недренированных; интересно также отметить, что при всех прочих равных условиях, глинистая дренированная почва в верхних слоях немного холоднее песчаной (также дренированной) почвы, если ее поверхность не будет взрыхлена и капилляры не прерваны, так как, вследствие сильного капиллярного движения, к поверхности глинистой почвы поднимается большое количество воды, которое, испаряясь, поглощает много тепла.

Наконец, дренаж улучшает структуру почвы, приводя в более рыхлое состояние, увеличивает зону питания корней (вследствие понижения уровня грунтовых вод), а, следовательно, увеличивает общий запас усвояемых ими питательных веществ, а также воды.

Таким образом, оценивая этот способ борьбы с засолением почвы (т. е. промывание солей из почвы при помощи искусственного дренажа при условии орошения), не надо упускать из виду тех дополнительных, весьма существенных выгод, которые получаются попутно. При дренаже не только вполне обеспечивается район от засоления и заболачивания, но, в силу указанных причин, сильно увеличивается урожай культур, который быстро покрывает произведенные на устройство дренажа затраты. Дренаж местности может быть произведен:

а) посредством открытых канав,
б) „ подземных труб,
в) „ колодцев с механическим высасыванием воды из подпочвы.

В последнем случае достигается только опускание горизонта грунтовых вод до требуемой глубины и отвод излишней воды из подпочвы, все

остальные преимущества, в связи с худшими условиями вентиляции почвы в значительной степени теряются.

Итак, наиболее рациональным из всех рассмотренных выше пяти способов улучшения засоленных земель солончакового типа является дренаж—это подтвердил обширный опыт Соед. Шт. Сев. Америки, а в последнее время и Египта. Этот способ, требуя сравнительно высоких первоначальных затрат, в конечном итоге является и наиболее выгодным, так как, разрешив в корне проблему рассоления земель, он в то же время создает условия для роста растений значительно более благоприятные, чем те, которые имеются в почвах хотя и незасоленных, но недренированных.

Из перечисленных способов только последний относится в главной своей части (а именно, по устройству дренажа) к компетенции техника-мелиоратора, все же остальные целиком могут быть осуществлены самими сельскими хозяевами, требуя только руководства и инструктирования со стороны агрономического персонала.

Все вышеописанные способы, в том числе и искусственный дренаж основываются на предположении, что для мелиорации солончаков необходимо только удалить из почво-грунта избыток вредных солей. Однако, как мы уже указывали, Гедройцем было доказано, что солончаковая почва отличается не только содержанием легкорастворимых солей, но и химическим составом твердой части почвы, что, в случае натриевых солончаков цеолитная часть почвы резко отличается от цеолитной части нормальных почв, так как она весьма обогащена натрием; поэтому Гедройц находит что, удалив из такого солончака (промывом, смывом или вымывом) легкорастворимые соли, получим почву, не содержащую таковых и вместе с тем обогащенную цеолитным натрием, т. е. получим почву, в которой может образоваться сода. Для образования последней необходимо присутствие в почве $CaCO_3$, так как натрий цеолитной части легко обменивается на кальций этого соединения ($Na_2 + CaCO_3 = Ca + Na_2CO_3$). И действительно, в опытах Гедройца солончаковая почва многократно превращалась в результате промывки в солонцы. Между тем, обширнейшая и многолетняя практика Америки, Египта и Европы по промывке солончаковых почв показывает, что практически этими способами можно пользоваться с успехом и что солончаки не превращались в солонцы. Это противоречие Тулайков Н. М., объясняет тем, что солончаковые почвы обычно содержат некоторое количество хлористых и сульфатных солей кальция ($CaCl_2$, $CaSO_4$), в присутствии которых сода образоваться не может, так как натрий цеолитной части с большей легкостью замещает кальций из этих соединений, чем из $CaCO_3$, образуя легкорастворимые соли Na_2SO_4 и $NaCl$: (Na_2 (цеол.) + + $CaSO_4 = Ca$ (цеол.) + Na_2SO_4; Na_2 (цеол.) + $CaCl_2 = Ca$ (цеол.) + + 2 $NaCl$), которые при промывании будут выноситься из почвы; при достаточном количестве гипса ($CaSO_4$) в почве, весь цеолитный натрий может быть заменен кальцием гипса; обычно в солончаковых почвах имеется значительное количество гипса, вполне обеспечивающее рассоленную со-

лончаковую почву от превращения ее, процессом, указанным Гедройцем, в солонец. Кроме того, Тулайков, Н. М., отмечает, что у Гедройца солончаковая почва превращалась в солонец, при пропуске через нее таких громадных количеств воды, которые на практике не употребляются (при пересчете на десятину и на слой почвы толщиною в 1 метр, количество воды, употребляемое им для промывки, равнялось 20—30 тысячам куб. саж.).

Практический вывод из работы Гедройца по отношению к солончакам представляется нам таким: перед приступом к мелиорации солончаковых земель, необходимо качественно и количественно определить состав содержащихся в них солей, а также содержание натрия в его цеолитной части, затем произвести лабораторный опыт по промывке указанных почв. Полученные результаты дадут возможность установить, достаточно ли будет применение одних лишь промывных мероприятий или последние должны быть соединены с дополнительным внесением в почву гипса; количество последнего должно быть определено по содержанию в почве цеолитного натрия. Опыт промывки должен также дать указание, в грубом приближении, на количество воды, которое потребуется для промывки солончака.

Способы улучшения солонцовой почвы. Переходя к вопросу мелиорации солонцов, необходимо прежде всего напомнить о существующем различии во взглядах на природу солонцовых почв в современном почвоведении, об отсутствии до настоящего времени общепринятой единой точки зрения. В связи с этим, конечно, невозможно дать здесь какие-либо общеустановленные правила мелиорации солонцов и, очевидно, необходимо обрисовать, как влияют изменения во взглядах на природу солонцов на методы мелиорации их. Напомним, что имеются две теории: Гильгарда и Гедройца; нам представляется теория Гедройца более соответствующей природе явлений, однако, так как в мире почвоведов она еще не получила общего признания, мы полагаем необходимым дать общую картину мелиорации солонцов и по Гильгарду и Гедройцу.

По представлению Гильгарда модель явления образования солонца в кратких чертах представляется следующей:

а) в почвах сухих и засушливых районов обычно присутствует труднорастворимая соль кальция (в виде карбоната) в количестве значительно большем, чем растворимые соли натрия (NaCl, Na_2SO_4),

б) эти соли не вступают в реакцию при наличии в почве воды, если отсутствует свободная CO_2,

в) при наличии CO_2, последняя в присутствии воды реагирует с углекислым кальцием, превращая его в легкорастворимую и подвижную $Ca(HCO_3)_2$,

г) $Ca(HCO_3)_2$ вступает в реакцию с сернокислыми и хлористыми солями натрия, например, по такой схеме:

$$Ca(HCO_3)_2 + Na_2SO_4 \rightleftarrows CaSO_4 + 2NaHCO_3,$$

д) $NaHCO_3$, как более растворимая соль, поднимается к поверхностным слоям почвы и, подвергаясь высушающему действию воздуха, переходит в углекислый натр (Na_2CO_3),

е) если в почве наряду с $CaCO_3$ присутствует еще и $MgCO_3$, то возможность образования Na_2CO_3 увеличивается, так как углекислый магний значительно более подвижен, чем углекислый кальций.

Гильгард, изучивший теоретическую сторону вышеописанных реакций, решил проверить обратную реакцию для превращения ядовитой соли углекислого натра (Na_2CO_3) в значительно менее вредную соль—в серно-кислый натрий (Na_2SO_4) путем искусственного введения в почву гипса ($CaSO_4$):

$$Na_2CO_3 + CaSO_4 \rightleftarrows CaCO_3 + Na_2SO_4.$$

Многочисленные опыты лабораторные и полевые подтвердили возможность применения гипса для улучшения солонцов. В этом и заключается основной способ мелиорации солонцов, предложенный Гильгардом. Гипс, обращая Na_2CO_3 в менее ядовитую для растений сернокислую соль натрия, вместе с тем резко изменяет физические свойства почвы, превращая ее из плотной и водонепроницаемой, лишенной зернистой и комковатой структуры, в рыхлую массу, легко пропускающую влагу.

Количество гипса, необходимое для мелиорации солонцов, по схеме Гильгарда, должно зависеть от количества углекислых солей в почве, а именно, на 1 часть Na_2CO_3 требуется около 1,3 $CaSO_4$. Однако, в силу того, что в продаже не встречается химически чистый гипс, берут обычно от 2 до 3 раз гипса больше, чем это следует из теоретического расчета по количеству Na_2CO_3 в почве. Гипс разбрасывается равномерно по полю, затем он запахивается на глубину до 10 сантиметров, после этого почва орошается, если нет оснований ожидать сильных дождей. Посев мелких семян, например, люцерны и других трав должен быть произведен спустя значительный промежуток времени после обработки почвы гипсом. Семена крупные, например, гороха, кукурузы и проч., не боятся некоторого количества солей в почве при их прорастании. Орошение должно производиться осторожно, во избежание застаивания воды в почве и заболачивания ее.

В этом случае находящийся в почве $CaCo_3$, полученный в результате обработки ее гипсом, превращается под влиянием воды и растворенной в ней CO_2 в $Ca(HCO_3)_2$, растворимость которого значительно больше:

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \rightleftarrows Ca(HCO_3)_2,$$

а затем эта последняя соль вступает в реакцию с Na_2So_4

$$Ca(HCO_3)_2 + Na_2SO_4 \rightleftarrows CaSO_4 + 2NaHCO_3.$$

Кислый углекислый натрий, будучи очень непостоянным, в растворе распадается

$$2NaHCO_3 \rightleftarrows Na_2CO_3 + H_2O + CO_2,$$

таким образом, если солонцовая почва, обработанная гипсом, заболачивается, то путем обратных реакций получается в почве тот же углекислый натр и при этом еще в большем количестве, благодаря внесению гипса в первоначальную почву.

Нет необходимости вносить в почву сразу все определенное выше количество гипса, можно первоначально внести только то количество, которое требуется для нейтрализации Na_2CO_3 в поверхностном слое почвы, а затем постепенно прибавлять и остальную часть. Реакция нейтрализации соды гипсом протекает в продолжение от нескольких дней до нескольких недель, в зависимости от быстроты подъема солей снизу и нейтрализации их вверху, т. е. в зависимости от степени влажности почвы. Обычно полный эффект гипсования получается по прошествии нескольких лет.

Выше нами была отмечена опасность хотя бы временного заболачивания почвы при гипсовании ввиду легкости протекания обратных реакций, ведущих к образованию соды из серно-кислого натрия (Na_2SO_4) и углекислого кальция ($CaCO_3$); кроме того, очевидно, что в процессе гипсования общее количество легкорастворимых солей (Na_2SO_4) в почве увеличивается, поэтому, хотя обработка солонца гипсом и подлежащая культура его после обработки несомненно возвращает почву в более культурное состояние, однако, без проведения в жизнь дополнительных мероприятий, обеспечивающих почву от заболачивания и удаления солей Na_2SO_4 из нее, нельзя считать гипсование надежным способом мелиорации солонцов. Следовательно, гипсованию должно предшествовать устройство дренажа.

Такова концепция мыслей о природе солонцов и методах их мелиорации по Гильгарду.

Гедройц исходит из совершенно иного представления о природе солонцов; как уже было раньше указано, по Гедройцу, солонцовая почва не только содержит соду (Na_2CO_3), она в то же время богата натрием в цеолитной части, поэтому мелиорация солонцов, по его мнению, должна заключаться не только в удалении соды из почвенного раствора, но также и цеолитного натрия из цеолитной части почвы. По теории Гедройца уничтожать только ту соду, которая имеется в почвенном растворе, нет смысла, так как тотчас же вместо нее образуется новое ее количество за счет цеолитного натрия. Поэтому, по мнению Гедройца, коренной мерой мелиорации солонцов может быть только удаление всего натрия из цеолитной части, что может быть достигнуто заменой его на кальций путем внесения в почву какой-либо известковой соли, напр., гипса. Гипс должен быть внесен в почву в таком количестве, чтобы был возможен полный обмен между всем цеолитным натрием и основанием гипса (Ca) и чтобы в результате, в цеолитной части почвы кальций заступил бы место натрия и почва стала совершенно нормальной, а с другой стороны—получилась бы легкорастворимая соль сернокислого натрия (растения выдерживают значительно большее содержание в почве Na_2SO_4, чем Na_2CO_3). Если почва содержит значительное количество цеолитного натрия, придется

внести много гипса, вследствие чего образуется и много Na_2SO_4: в таких случаях эту последнюю необходимо удалять из почвы промыванием (одним из тех способов, которые указаны выше при описании способов мелиорации солончаков; наиболее действительным способом является дренаж).

Таким образом, прием коренного улучшения солонцов по Гедройцу внешне схож с приемом указанным Гильгардом,—то же гипсование почвы и промывание из нее вновь образующихся солей Na_2SO_4, но цели разные. По Гедройцу требуется вносить в почву значительно большее количество гипса, чем по Гильгарду (оно должно вычисляться на основании содержания в почве цеолитного натрия и соды, а не по содержанию только одной соды).

Только что описанный способ улучшения солонцов обычно должен обходиться дорого, так как требуется вносить в почву большое количество гипса и, вместе с тем, устраивать дренаж. Кроме того, сам способ внесения гипса в почву с таким условием, чтобы он вошел в соприкосновение с частицами почвы в солонцовом горизонте, еще недостаточно технически разработан и представляет некоторые затруднения. Однако, современная наука не выдвинула других способов коренного улучшения солонцов.

К мерам второго порядка, имеющим целью только понижение вредоносных свойств солонцов, можно отнести: а) внесение в почву песка для улучшения ее физических свойств, б) внесение навоза также для улучшения физических свойств почвы, а также для увеличения в почве углекислоты в целях превращения Na_2CO_3 в $Na(HCO_3)_2$; последняя соль значительно менее ядовита, чем нормальная сода.

Многочисленные опыты по улучшению солонцовой почвы только путем одного промыва ее водой, даже при искусственном дренаже, не дали определенно благоприятных результатов, а по теории Гедройца и не могли дать, так как основные причины образования соды в почве—цеолитный натрий и углеизвестковые соли—не могут быть уничтожены, практически говоря, операцией искусственного промыва, так как она потребует громадного количества воды.

Данная глава была посвящена, во-первых, выяснению явлений заболачивания и засоления, сопутствующих искусственному орошению и, во-вторых, анализу общих схем мероприятий по изоляции этих явлений и по борьбе с ними. Она обычно отсутствует в курсах, посвященных ирригационной технике, или же приводится в очень сокращенном изложении. Однако, мы полагали, что полное понимание следующей XVII главы, в которой трактуются вопросы проектирования, устройства и эксплоатации дренажной, водосборной и сбросной сетей, было бы невозможно без подробного анализа явлений заболачивания и засоления и без представления общей картины мероприятий (не только технических, но и агрономических) по борьбе с этими явлениями.

ЛИТЕРАТУРА.

1. **Гедройц, К. К.**—Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. Журнал Опытной Агрон. 1912—1914 гг.
2. **Гедройц, К. К.** Засоленные почвы и их улучшение. Журнал Опытной Агрономии № 2—4, 1917 г.
3. **Гедройц, К. К.**—Засоленные почвы и действие на растение солей, засоляющих почву. Журнал Сельское Хозяйство и Лесоводство. 1918 г., апрель, май, июнь.
4. **Гедройц, К. К.**—Учение о поглотительной способности почвы. 1922 г.
5. **Тулайков, Н. М.**—Солонцы, их улучшение и использование. 1922 г.
6. **Тулайков, Н. М.**—Почвы Муганской степи и их засоление при орошении.
7. **Захаров, С. А.**—Почвы северной части Муганской степи. Журнал Опытной Агрономии. № 2. 1905 г.
8. **Коссович, П. С.**—Солонцы, отношение к ним растений и методы определения солонцоватости почв.—1903 г.
9. **Димо, Н. А.**—Главнейшие типы засоления почв и грунтов на территории России.—1913 г.
10. **Димо, Н. А.**—Влияние искусственного орошения и повышенного естественного увлажнения на процессы почвообразования и перемещения солей в почво-грунтах Голодной степи, Самаркандской области.—1911 г.
11. **Димо, Н. А.**—Отчет по почвенным исследованиям в Голодной степи. 1908 г.
12. Отчеты Безенчукской опытной станции за 1911, 12, 13, 14 и 15 гг.
13. Труды Саратовской областной с.-х. опытной станции. Отчет полеводственного отдела за 1912—1913 гг.
14. **Малыгин, В. С.**—Работы Голодностепской опытной станции в области улучшения солонцов. Отчет Голодностепского опытного хлопкового поля за 1912 г.
15. **Малыгин, В. С.**—Устройство и работа закрытого дренажа на Зеравшанском опытном поле. Турк. Сел.-Хоз.
16. **Малыгин, В. С.**—К вопросу о борьбе с солончаками в Голодной степи. Вестник Ирригации № 6, 1923 г.
17. **Гельцер, Г.**—Некоторые туземные приемы культуры солонцов в Кокандском уезде Ферганской области. Вестник Ирригации. № 5, 1923 г.
18. **Гельцер, Г.**—Еще о Голодностепских солонцах. Вестник Ирригации № 9, 1923 г.
19. **Линдеман,**—Обзор работ Солончакового отдела Голодностепской станции за 1917—1920 г.г. Вести. Ирригации № 1, 1925 г.
20. **Бушинский, В. П.**—Материалы по изучению агрономических условий Семиналатинской области. Вып. 1. Соображения о желательном направлении мелиорации солонцов засушливых районов. 1915 г.
21. **Hilgard, E. W.**—Nature, Value and Utilization of Alkali lands, Bull. 128. California Exp. St.
22. **Hilgard, E. W.**—Soils. 1907.
23. **Elliot C. G.**—Engineering for Land Drainage 1912.
24. **King, F. H.**—Irrigation and Drainage. 1922.
25. **Davis, A. P. and Wilson, H. M.**—Jrrigation Engineering. 1919.
26. **Powers, W. L. and Teeter, T. A.**—Land Drainage. 1922.
27. **Hart, K. A.**—Drainage of Irrigated Land. Bull. № 190, Office of Experiment. Stations.
28. **Mc. Laughline, W. W.**—Capilary Movement of Soil Moisture. 1920.
29. **Tannat and Kneale.**—Seepage and Drainage. Bull. № 76, Montana Agricultural College.
30. **Lévy Salvador, P. et Frick. P.**— Hydraulique Agricole. 1924.
31. **Parker, P.**—The Control of Water. 1913.
32. **Willcocks, W.**—Egyptian Irrigation.
33. **Barois, L.**—Les Irrigations en Egypte.
34. **Harris, F. S.**—Effect of Alkali salts in soils on the germination and growth of crops.—Journ. of Agr. Research. T. V. 1915. Experiment Station 1919.
35. **Harris, F. S.**—Soil Alkali studies.—Bull. 145, 1916. Utah Agric. Coll. Exp. Stat.
36. **Whitney, M. and Means, T. H.**—Alcali Lands.—Bull. № 88. U. S. Dep. of Agric.
37. **Fleming, B. P.**—Practical Irrigation and Pumping. 1915.
38. **Briggs, L. S. and Laphan.**—Bull. № 19 Bureau of Soils.
39. **Breazeale J. Fr.**—Formation of „Black Alkali" in Calcareous Soils. Journ. Agr. Research Y, X 1917, № 11.
40. **Mosseri, U. M.**—The alkaline soils in Egypt and their treatment. Bull. Inst. Egyptian.
41. **Miyake, K.** The Influence of salts common in alkali soils upon the growth of the rice plant. Journ Biol Chem T. 16.
42. **Cameron, F. K.**—Soil solution. Bull. 17. Bur. of soils. U. S. Dep. of Agr.
43. **Cameron, F. K.**—Application of the theory of solution to the study of soils. Rep. № 64. U. S. Dep. of Agr. 1899.
44. **Means, T. H.**—Reclamation of Alcali lands in Egypt. Bull. № 21. Bureau of Soils. U. S. Dep. of Agr.
45. Report of work of the Agr. Exp St. of the University of California 1894—1895.
46. **Headden, W. P.**—The Australian Saltbush, its Composition and Digestibility. Bull. 135 Colorado Agr. Exper. Stat.
47. **Wingle, W. T.**—The Date Palm and its utilization in the South-eastern States. Bull 53. Bureau of Plant Industry, U. S. Dep. of Agric.
48. **Foaden, G. P.**—Cotton culture in Egypt. Bull. № 42 Office of Experiment Station U. S. Dep. of Agr.

СПИСОК ЧЕРТЕЖЕЙ К ПЕРВОМУ ТОМУ.

Черт. 1. Схема раздельнозернистого строения почвы (заимствовано у Widtsoe, J. A.) 5
„ 2. Расположение главных камер и ходов в термитнике (заимствовано у Димо, Н. А.). 11
„ 3. Схема взаимного расположения частиц почвы в предположении, что каждая частица представляет собою шар (заимствовано у Hall, A. D.)..... 17
„ 4. Опытное распределение различных видов влажности в почве (заимствовано у Provost) 23
„ 5. Схемы движения воды по капиллярам вверх и вниз (заимствовано у Mitscherlich'a) 24
„ 6. Картина распространения пленочной воды от частицы С к А (заимствовано у Hall, A. D.) 24
„ 7. Схема поступления воды из почвы к корням растений (по Саксу) (заимствовано у King, F. H.)..... 28
„ 8. Потери через испарение с поверхности необработанной почвы и со свободной водной поверхности (заимствовано у Etcheverry B. A) 39
„ 9. Потери через испарение с поверхности обработанной и необработанной почвы (заимствовано у Etcheverry B. A)..... 40
„ 10. Потери через испарение с поверхности почвы, защищенной затеняющим слоем (заимствовано у Etcheverry, B. A) 40
„ 11. Потери через испарение с поверхности почв, орошенных затоплением и по бороздам различной глубины (заимствовано у Etcheverry, B. A) 40
„ 12. Изолинии быстроты просачивания воды под поливными бороздами в легком суглинке, подстилаемом песчаной подпочвой (заимствовано у Etcheverry, B. A.). 41
„ 13. Изолинии быстроты просачивания воды под поливными бороздами в хрящеватом тяжелом суглинке (заимствовано у Etcheverry, B. A)..... 41
„ 14. Изолинии быстроты просачивания воды из борозд глубиной в 10″ за период в 7 часов (заимствовано у Etcheverry, B. A)..... 42
„ 15. Изолинии быстроты просачивания воды из борозд глубиною в 5″ за период в 7 часов (заимствовано у Etcheverry, B. A)..... 42
„ 16. Изолинии быстроты просачивания под глубокими поливными бороздами в тяжелом суглинке (заимствовано у Etcheverry, B. A) 42
„ 17. Изолинии быстроты просачивания под мелкими поливными бороздами в тяжелом суглинке (заимствовано у Etcheverry, B. A)..... 42
„ 18. Диаграмма комбинаций содержания солей в поливной воде в опытах, произведенных на опытной станции при Сельско-Хозяйственном Колледже в штате Юта (заимствовано у Harris'a, F. S. и Butt'a, N. J.)..... 58
„ 19. Результаты опытов с различной степенью концентрации солей NaCl, Na_2SO_4 и Na_2CO_3 в поливной воде (заимствовано у Harris'a F. S. и Butt'a, N. J.)... 60
„ 20. Схема постоянной действующей ирригационной системы..... 70
„ 21. Подводящее русло с захватной шпорой, со шлюзом, регулятором в верховой части (составлен автором)..... 71
„ 22 Подводящее русло с захватной шпорой, со шлюзом, регулятором в низовой части (составлен автором)..... 71
„ 23. Шлюз-регулятор, заложенный в береге реки (составлен автором)..... 72
„ 24. Водоподъемная плотина со шлюзом регулятором (составлен автором)..... 72
„ 25. Головное сооружение в виде насосной станции (план) (составлен автором)..... 72
„ 26. Головное сооружение в виде насосной станции (разрез по АБ) (составлен автором) 72
„ 27. Схема расположения сооружений для подъема грунтовых вод для целей орошения (разрез) (составлен автором, по Fleming'y)..... 73
„ 28. Схема расположения сооружений для подъема грунтовых вод для целей орошения (план) (составлен автором)..... 73
„ 29. Кирпа (заимствован у Цимбаленко)..... 74
„ 30. Разрез местности по линии ската (односкатный рельеф) (составлен автором)..... 74
„ 31. Разрез местности по линии ската (двухскатный рельеф) (составлен автором)..... 75
„ 32. Типовое поперечное сечение магистрального канала в головной части, в глубокой выемке (составлен автором)..... 75
„ 33. Типовое поперечное сечение магистрального канала в пойме (составлен автором). 75
„ 34. Типовое поперечное сечение магистрального канала при прохождении им косогора (составлен автором)..... 75

Черт. 35. Типовое поперечное сечение магистрального канала по выходе в степь (начало рабочей степи) (составлен автором)..... 76
„ 36. Поперечное сечение по местности, командуемой распределителем (составлен автором)..... 76
„ 37. Типовое поперечное сечение распределителя (составлен автором)..... 76
„ 38. Типовое поперечное сечение оросителя (составлен автором)..... 77
„ 39. Типовое поперечное сечение водосборной канавы (составлен автором)..... 77
„ 40. Поперечное сечение по водосборному каналу и продольное по водосборной канаве (составлен автором)..... 77
„ 41. Схема, показывающая примерное взаимное расположение распределителей, оросителей, водосборных канав и водосборных каналов (составлен автором)..... 78
„ 42. Поперечный разрез по реке и прилегающей местности (составлен автором)..... 83
„ 43. Тот же поперечный разрез (черт. 42) с защитой от затопления всей местности, в виде продольного обваловання (составлен автором)..... 84
„ 44. Поперечный разрез по реке и местности, разделенной защитными дамбами на высокую и низкую полосы (составлен автором)..... 85
„ 45. Схема взаимной связи трех систем бассейнов наводнения (составлен автором)..... 87
„ 46. Предгорный тип рельефа (составлен автором)..... 91
„ 47. Поперечный профиль реки и прилегающей степи для предгорного типа рельефа (составлен автором)..... 91
„ 48. Схема оросительной сети для предгорного района (составлен автором)..... 92
„ 49. Схема сооружений в узле B (см. черт. 48) (составлен автором)..... 93
„ 50. Схема орошения верхнего участка степи, разбитого на три зоны тремя насосными станциями, расположенными ступеньчато (составлен автором)..... 95
„ 51. Долинный тип рельефа (составлен автором)..... 96
„ 52. Долинный тип рельефа. Ярусная степь (составлен автором)..... 96
„ 53. Долинный тип рельефа с местными возмущениями в виде холмов и котловин (составлен автором)..... 97
„ 54. Поперечный профиль реки и прилегающей степи для долинного типа рельефа (составлен автором)..... 97
„ 55. Поперечный профиль реки и прилегающей местности для долинного типа рельефа. Ярусная степь (составлен автором)..... 97
„ 56. Поперечный профиль реки и прилегающей местности для долинного типа рельефа с местными возмущениями в виде холмов и котловин (составлен автором).. 97
„ 57. Возможная схема орошения участка с долинным типом рельефа с подачей воды для орошения верхней зоны насосной станцией и с использованием силы падения воды (составлен автором)..... 98
„ 58. Схема узла P (см. черт. 57) (составлен автором)..... 99
„ 59. Возможная схема орошения (механическим подъемом воды) участка степи с долинным типом рельефа (составлен автором)..... 100
„ 60. Низовой тип рельефа (составлен автором)..... 101
„ 61. Поперечное сечение по реке и местности с рельефом низового типа (составлен автором)..... 101
„ 62. Дельтовый тип рельефа (составлен автором)..... 101
„ 63. Поперечное сечение по реке и местности с рельефом дельтового типа (составлен автором)..... 102
„ 64. Возможная схема орошения участка (ABCD) с низовым типом рельефа (составлен автором)..... 103
„ 65. Схематический разрез местности, представленной на чертеже 64 (составлен автором)..... 104
„ 66. Долинный тип рельефа, замкнутый с верховой стороны (составлен автором)..... 104
„ 67. Долинный тип рельефа, замкнутого с верховой и низовой стороны (составлен автором)..... 105
„ 68. Долинный тип рельефа. Местность замкнута с верховой стороны и соединена через „седловину“ окаймляющей возвышенности с соседней степью, расположенной по другой стороне (составлен автором)..... 105
„ 69. Смешанный тип рельефа: „предгорный“ для верхнего и „долинный“ для нижнего течения реки (составлен автором)..... 106
„ 70. Проектное распределение культур, принятое в различных русских проектах (составлен автором)..... 120
„ 71. Графическое определение шкал вегетации хлопчатника (условия Голодной степи) (заимствовано из проекта орошения 500.000 дес. Голодной степи, составленного проф. Г. К. Ризенкампфом)..... 126
„ 72. Шкалы вегетации основных сельско-хозяйственных культур (в Голодной степи) (заимствовано из проекта орошения 500.000 дес. Голодной степи, составленного проф. Г. К. Ризенкампфом)..... 127

Черт. 73. Кривая, показывающая колебания грунтовых вод и глубину поливного слоя воды в Rio Grande Valley по Бёркхольдеру (заимствовано у Davis'a A. P.)..... 136
" 74. Кривая периодического колебания и подъема грунтовых вод в Boise Valley по Бёркхольдеру (заимствовано у Davis'a A. P.)..... 137
" 75. Кривая колебания горизонта грунтовых вод до постройки дрен и после (заимствовано у Davis'a A. P.)..... 138
" 76. Шкалы (растяжимости) поливов сельско-хозяйственных культур (составлен автором) 153
" 77. График полива культуры А (составлен автором) 155
" 78. График отдачи воды на поля орошения при нормальном, предельно-интенсивном и предельно-экстенсивном распределении культур (составлен автором) 156
" 79. Схематическая картина фильтрации воды из канала и капиллярного всасывания ее с поверхности фильтрующегося потока к сухим слоям почвы и к поверхности земли (составлен автором) 160
" 80. Изменение величины смоченного периметра канала в связи с изменением расхода воды (составлен автором) 169
" 81. Графики отдачи воды на поля и графики потребления воды из источника орошения при различном распределении культур и разных коэффициентах полезного действия (составлен автором)..... 177
" 82. Использование пропускной способности главного канала для работы гидроэлектрических станций на сбросах в случае избытка воды в источнике орошения (составлен автором) 181
" 83. Использование пропускной способности главного канала для работы гидроэлектрических станций на сбросах в случае недостатка воды в источнике орошения (составлен автором)..... 191
" 84. График потребления воды подогнанный под кривую расхода реки (составлен автором)..... 191
" 85. Сопоставление графика потребления с кривой расхода реки (составлен автором) .. 193
" 86. Сопоставление графика потребления с кривой расхода реки (составлен автором)... 194
" 87. Сопоставление графика потребления с кривой расхода реки (составлен автором) .. 195
" 88. Установление коэффициента полезного действия системы, при котором график потребления не выходит за пределы минимум-миниморной кривой расхода (составлен автором).. 196
" 89. Изменение гидромодуля в течение оросительного сезона (условия Голодной степи) (заимствован из проекта орошения 500.000 дес. Голодной степи, составленного проф. Г. К. Ризенкампфом) 201
" 90. График потребления воды из источника орошения и график отдачи воды на поля для Голодной степи при нормально-интенсивном распределении культур (заимствовано из проекта орошения 500.000 дес. Голодной степи) 205
" 91. Тоже при предельно-интенсивном распределении культур (заимствовано из проекта орошения 500.000 дес. Голодной степи)..... 206
" 92. График отдачи воды на поля для Чимбайской степи Зеравшанской долины при условии полного регулирования р. Зеравшан (составлен А. В. Чаплыгиным). 207
" 93. Тоже для 1-го района Зеравшанской долины при существующих условиях (составлен А. В. Чаплыгиным)..... 208
" 94. График отдачи воды для 1-го района Зеравшанской долины при условии полного регулирования р. Зеравшана (составлен А. В. Чаплыгиным) 209
" 95. График отдачи воды для 2-го района Зеравшанской долины при существующих условиях (составлен А. В. Чаплыгиным)..... 210
" 96. График отдачи воды для 2-го района Зеравшанской долины при условии полного регулирования реки Зеравшана (составлен А. В. Чаплыгиным)..... 211
" 97. График отдачи воды для 3-го района Зеравшанской долины при существующих условиях (составлен А. В. Чаплыгиным) 212
" 98. График отдачи воды для 3-го района Зеравшанской долины при условии полного регулирования реки Зеравшана (составлен А. В. Чаплыгиным)..... 213
" 99. График отдачи воды для Отрарского района (составлен Канчером, Е. С.) 214
" 100. График отдачи воды для Бикесарийского района (составлен Канчером, Е. С.)..... 215
" 101. График потребления воды из источника орошения и график отдачи воды на поля для Койбальской степи (заимствовано из проекта орошения Койбальской степи).. 217
" 102. График отдачи воды на поля для нижней зоны материковых уездов Таврической губ. (составлен автором по данным Чикова, В. В.)..... 219
" 103. Кривая „характеристики" рельефа (составлен автором)..... 222
" 104. Кривая „характеристики" рельефа (арусная степь) (составлен автором) 222
" 105. План реки и прилегающей местности с нанесенными вариантами трех главных каналов (составлен автором) 223

Черт. 106. Определение пунктов заложения головного сооружения главного канала (составлен автором) 224
„ 107. График сопоставления стоимости орошения единицы площади при установлении линии раздела между самотечным и машинным орошением (составлен автором). 229
„ 108. Схемы орошения машинными каналами (составлен автором) 231
„ 109. Сопоставление кривой характеристики рельефа с кривой зависимости мощности станций от площади орошения (составлен автором) 233
„ 110. Кривая зависимости между числом машинных каналов и общей мощностью насосных станций (составлен автором)..... 233
„ 111. Идеальная разбивка 5-ти верстного квадрата при хуторском типе заселения (составлен автором)..... 237
„ 112. Идеальная разбивка 5-ти верстного квадрата при поселковом типе заселения (составлен автором)..... 240
„ 113. Идеальная разбивка 5-ти верстного квадрата при заселении полосами жизни (составлен автором)..... 242
„ 114. Идеальная разбивка при заселении полосами жизни площади командования двух распределителей без учета рельефа (заимствован из проекта орошения 500.000 дес. Голодной степи)..... 244
„ 115. Разбивка мелкой сети и землеустройство на площади, обслуживаемой одним распределителем (составлен автором) 245
„ 116. Схема колонизации и заселения в Канаде (заимствовано у Н. Н. Евреинова) 246
„ 116. Водооборот по главному каналу (составлен автором) 260
„ 117. Развернутая схема ирригационной сети (составлен автором) 261
„ 118. Водооборот по распределителям (составлен автором)..... 264
„ 119. Развернутая схема ирригационной сети (составлен автором)..... 266
„ 120. Водооборот по оросителям (составлен автором)..... 267
„ 121. Развернутая схема ирригационной сети (составлен автором)..... 269
„ 122. Водооборот по главному каналу и по распределителям (составлен автором) ..... 270—271
„ 123. Развернутая схема ирригационной сети (составлен автором)..... 272
„ 124. Водооборот по распределителям и по оросителям (составлен автором)..... 273—274
„ 125. Развернутая схема ирригационной сети (составлен автором)..... 275
„ 126. Водооборот по главному каналу и по оросителям (составлен автором) ..... 276—277
„ 127. График потребления, разделенный в связи с введением водооборота на циклы различной размерности (составлен автором) 278
„ 128. Кривая зависимости величины смоченной поверхности от числа водопользователей, одновременно получающих воду (составлен автором)..... 282
„ 129. Развернутая схема ирригационной сети (составлен автором)..... 298
„ 130. График отдачи воды на поля орошения для системы, приведенной на чертеже 129 (составлен автором)..... 298
„ 131. Схема расположения головных сооружений по различным вариантам (составлен автором)..... 312
„ 132. Схематичный продольный разрез по реке с показанием головных сооружений по различным вариантам (составлен автором)..... 313
„ 133. Схематичный продольный разрез магистрального канала на участке А. Б (см. черт. 131) (составлен автором)..... 313
„ 134 - 135. Схемы устройства головной части канала петлей (без шпоры и со шпорой ныряющего типа) (составлен автором) 314
„ 136. Схема головного участка магистрального канала, с устройством в конце его сооружений, обеспечивающих освобождение водного потока от песчаных фракций наносов (составлен автором) 316
„ 137. Схема расположения плотины на сухом месте с последующим прорывом нового русла и закрытием старого (составлен автором)..... 317
„ 138. Схема головных сооружений в случае устройства плотины и очень засоренного песчаными наносами потока (составлен автором) 319
„ 139. Продольный разрез по головному участку (A_2B) магистрального канала (см. черт. 138) (составлен автором)..... 320
„ 140. Изменение графика потребления воды в связи с закрытием магистрального канала в целях защиты системы от наносов (составлен автором)..... 321
„ 141. График потребления воды Нижне-Джелюмской системой (Индия 1913—1914 г.) 322
„ 142. Схема расположения головных сооружений, предусматривающая судоходство по реке (составлен автором)..... 323
„ 143. Схема расположения головных сооружений, предусматривающая судоходство по реке и магистральному каналу (составлен автором)..... 323
„ 144. Схема предохранения канала от подмыва со стороны реки (составлен автором) ... 326
„ 145. Постоянный базис для наблюдения за опасными пунктами реки (составлен автором). 326

Черт. 146. Проложение холостой части канала в высоком берегу (составлен автором) 327
„ 147. Пропуск воды туннелем (составлен автором) 328
„ 148. Пересечение туннелем водораздела для подачи воды из бассейна одной реки в другую (заимствовано у Davis'a A. P.) 329
„ 149. Типовые сечения туннели (заимствовано у Etcheverry, B. A.) 331
„ 150. Типы деревянных лотков, применяемых на ирригационных каналах (заимствовано у Etcheverry, B. A.) 335
„ 151. Железобетонный лоток (заимствовано у Etcheverry, B. A.) 335
„ 152. Типы применения подпорных стенок на каналах (заимствовано у Etcheverry, B. A.). 337
„ 153. Подпорная стенка в виде раздельной дамбы (составлен автором) 338
„ 154. Желательная форма окончательной обработки данных по шурфованию—бурению вдоль канала (заимствовано из проекта орошения 500.000 дес. Голодной Степи) 339
„ 155. Узел сооружений в конце холостой части магистрального канала (составлен автором). 341
„ 156. Разрез по оси сбросного канала (составлен автором) 342
„ 157. График расходов воды, которые могут быть сброшены через гидростанцию в конце холостой части магистрального канала (составлен автором) 343
„ 158. Трасса магистрального канала по 1-му типу (составлен автором) 343
„ 159. Трасса магистрального канала поперек общего ската местности, при наличии резко выраженных водоразделов (составлен автором) 344
„ 160. Второй тип трассы магистрального канала (по направлению ската местности) (составлен автором) 345
„ 161. Продольный разрез по оси магистрального канала в районе пункта К (составлен автором) 345
„ 162. Схема сооружений в пункте К канала с устройством гидростанции (составлен автором) 346
„ 163. Третий тип трассы магистрального канала (составлен автором) 346
„ 164. Узел сооружений А (см. черт. 163) (составлен автором) 347
„ 165. Разрез по KL (см. черт. 164) (составлен автором) 347
„ 166. Схема сооружений в узле Б (составлен автором) 348
„ 167. Схематический план рабочей части магистрального канала, с показанием выводов распределителей (составлен автором) 350
„ 168. Схематический продольный разрез по оси магистрального канала с показанием требующихся горизонтов воды в головах распределителей (составлен автором). 352
„ 169. Сечение канала в глубокой выемке (составлен автором) 355
„ 170. Сечение канала в насыпи с подсыпным дном (составлен автором) 355
„ 171. Сечение канала в полувыемке-полунасыпи (без берм) (составлен автором) 356
„ 172. Сечение канала в полувыемке-полунасыпи (с бермами) (составлен автором) 356
„ 173. Сечение канала на косогоре (составлен автором) 356
„ 174. Горизонты воды в канале, в зависимости от коэффициента шероховатости (составлен автором) 361
„ 175. Зависимость между глубиной, скоростью и возвышением бетонной облицовки над горизонтом воды в облицованных каналах по Дунну (Dunn, C. 1921) (заимствовано у Dunn'a, C.) 366
„ 176. Сечение облицованного канала в насыпи (составлен автором) 366
„ 177. Положение горизонта воды в канале на закруглении (составлен автором) 368
„ 178. Определение рационального сечения дамб (составлен автором) 375
„ 179. К определению местоположения кавальера (составлен автором) 382
„ 180. Схема движения воды на закруглениях (составлен автором) 383
„ 181. Пример разбивки трасс оросителей, водосборных канав, усадебных и полевых участков поселенцев на площади двух единиц водопользования (составлен автором) 393
„ 182. Пример разбивки трасс оросителя водосборной канавы, усадебных и полевых участков поселенцев на площади одной единицы водопользования (составлен автором) 393
„ 183. Пример разбивки трасс оросителя водосборной канавы, усадебных и полевых участков поселенцев на площади одной единицы водопользования (составлен автором) 394
„ 184. Схема разбивки сети по первому типу (составлен автором) 394
„ 185. Схема разбивки сети по второму типу (составлен автором) 397
„ 186. Схема разбивки сети по комбинированному типу (составлен автором) 398
„ 187. Схема разбивки сети, с орошением верхней полосы на отвода, предусматривающего утилизацию гидравлической энергии (составлен автором) 401

Черт. 188. Схема разбивки сети, с орошением верхней полосы из двух отводов, предусматривающая утилизацию гидравлической энергии (составлен автором)..... 401
. 189. Продольный разрез по оси распределителя на участке АБ (см. черт. 188) (составлен автором)..... 402
. 190. Схема узла А, шлюзы отводов устроены отдельно (составлен автором)..... 402
. 191. Схема узла А, шлюзы отводов устроены в крыльях шлюза-распределителя (составлен автором)..... 402
. 192. Изменения, вносимые в разбивку плана распределительной сети в связи с использованием гидравлической энергии (составлен автором)..... 403
. 193. Продольный разрез по оси распределителя от пункта С до пункта Д (см. черт. 192) (составлен автором)..... 403
. 194. Схема узла С (см. черт. 192 и 193) (составлен автором)..... 404
. 195. Схема узла Д (см. черт. 192 и 193) (составлен автором)..... 404
. 196. Схема соединения трех единиц водопользования в одну (составлен автором)..... 408
. 197. К построению продольного профиля оросителя (составлен автором)..... 415
. 198. Типовое сечение оросителя (составлен автором)..... 416
. 199. Типы сечения оросителей, согласно практике С. Ш. С. Америки (заимствован у Etcheverry, B. A)..... 417
. 200. Типы сечения оросителей (заимствован из проекта орошения 500.000 дес. Голодной Степи)..... 420
. 201. Полоса отчуждения, в случае если ороситель и водосборная канава проложены рядом (заимствован из проекта орошения 500.000 дес. Голодной Степи)..... 426
. 202. Полоса отчуждения, в случае если оросители двух соседних единиц водопользования и, кроме того, водосборная канава проложены рядом (заимствован из проекта орошения 500.000 дес. Голодной Степи, составленного Г. К. Ризенкампфом..... 426
. 203. Полоса отчуждения, в случае если ороситель проложен вдали от водосборной канавы (заимствован из проекта орошения 500.000 дес. Голодной Степи)..... 426
. 204. Полоса отчуждения, в случае если оросители двух соседних единиц водопользования проложены рядом вдали от водосборных канав (заимствован из проекта орошения 500.000 дес. Голодной Степи)..... 426
. 205. График работы распределителя (составлен автором)..... 429
. 206 Схема разбивки распределителя на участке, каждый из которых имеет одинаковое сечение на всем протяжении (составлен автором)..... 436
. 207. Схема узлов Б, В и Г (см. черт. 206) (составлен автором)..... 436
. 208. Схема узла Д (см. черт. 206) (составлен автором)..... 436
. 209. Схема определения горизонтов воды в распределителе (составлен автором)..... 437
. 210. Типовой продольный профиль распределителя (заимствован из проекта орошения 500.000 дес. Голодной Степи)..... 440
. 211. Типовые поперечные сечения распределителей (заимствован из проекта орошения 500.000 дес. Голодной Степи)..... 440
. 212. Схема устройств для кальматирования канала (заимствовано у Знаменского, И. И.). 456
. 213. Разбивка мельчайшей сети на поселенческом участке при равномерном уклоне местности (составлен автором)..... 466
. 214. Полив затопляемыми площадками (чеками) прямоугольного очертания (заимствовано у King'a)..... 468
. 215. Полив свободным напуском при поливной сети, проходящей поперек наибольшего уклона (заимствовано у B. A. Etcheverry)..... 469
. 216. Орошение люцерны напуском полосами вблизи Gridley, Калифорния (заимствовано у Forthier)..... 469
. 217. Разбивка мельчайшем сети на поселенческом участке при равномерном уклоне местности (составлен автором)..... 475
. 218—219. Разбивка мельчайшей сети на поселенческом участке при равномерном уклоне местности (составлен автором)..... 475
. 220-а и б. Разбивка мельчайшей сети на поселенческом участке при наличии водораздела (составлен автором)..... 476
. 221. Разбивка мельчайшей сети на поселенческом участке при наличии водораздела (составлен автором)..... 477
. 222. Разбивка мельчайшей сети на поселенческом участке в волнистой местности (составлен автором)..... 477
. 223. Разбивка мельчайшей сети на 7 поселенческих участках в ровной местности (полив чеками) (заимствован из проекта орошения 500.000 дес. Голодной Степи)..... 478
. 224. Деревянный хозяйственный шлюзик со щитом (заимствовано из Farm. Bull. U. S. Dept. Agr. № 1348)..... 485

Черт. 225. Поливные выпуски (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of. Agr. № 1348) 485
„ 226. Поливные выпуски для питания бороздов (заимствовано из Farm. Bull. U.S. D. of Agr. № 1348) 485
„ 227. Переносная перемычка из парусины с отверстиями (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 263) 486
„ 228. Переносная металлическая перемычка (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 839) 486
„ 229. Орошение фруктового сада (поливная сеть из подземных напорных трубопроводов, питающих полевые борозды) (заимствовано у B. A. Etcheverry) 486
„ 230. Поливная сеть из подземных напорных трубопроводов (заимствовано у Etcheverry B. A.) 487
„ 231. Орошение подземными трубами (размеры в метрах) (заимствовано из Farm. Bull. U. S. Dep. of Agr. № 882) 487
„ 232. Детали гидрантов (заимствовано у B. A. Etcheverry). 488
„ 233. Типы регулирующих стояков (заимствовано у B. A. Etcheverry) 488
„ 234. Прямоугольная волокуша для предварительной планировки поля (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 392) 498
„ 235. Скрепер для предварительной планировки поля (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 373) 498
„ 236. Волокуша для планировки поля (заимствовано у B. A. Etcheverry) 498
„ 237. Волокуша для устройства оросительных валиков (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 1243) 499
„ 238. Полив свободным напуском: поливная сеть проходит поперек уклона местности (составлен автором) 500
„ 239. Полив напуском полосами (составлен автором) 502
„ 240. Продольные профили типовых полос, с показанием поверхности земли до и после планировки (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 1243) 503
„ 241. Зависимость между длиной полос, временем увлажнения и поливной нормой в Штате Айдаго (составлен автором по данным опытов Don Bork'a в штате Айдаго) .. 504
„ 242. Скорость продвижения воды на полосе длиной 600 фут. (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 1243) 505
„ 243. Скорость продвижения воды на полосе длиной 1000 фут. (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 1243) 505
„ 244. Односкатная естественная система в ровной местности без водосборных канав на каждой делянке (заимствовано у Ad. Friedrich'a) 508
„ 245. Односкатная естественная система в волнистой местности с водосборными канавами на каждой делянке (заимствовано у Ad. Friedrich'a) 508
„ 246. Искусственная односкатная система (заимствовано у Ad. Friedrich'a) 508
„ 247. Искусственная односкатная система; скаты устраиваются одновременно (заимствовано у Provost) 509
„ 248. Искусственная односкатная система; постепенное устройство скатов (заимствовано у Provost) 509
„ 249. Искусственная двускатная система (заимствовано у Ad. Friedrich'a) 509
„ 250. Двускатная система с повторным использованием воды (заимствовано у Ad. Friedrich'a) 509
„ 251. Орошение трубами, расположенными на поверхности земли (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 392) 510
„ 252. Бетонный гидрант, с приспособлением для присоединения к нему переносных труб (заимствовано из O. E. S. Bull. U. S. D. of Agr. № 236) 511
„ 253. Соединение подземного трубопровода с трубами для поверхностного орошения, путем переносного гидранта (заимствовано у B. A. Etcheverry) 512
„ 254 Переносные трубы из оцинкованного железа (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 865) 512
„ 255. Полив затопляемыми площадками (составлен автором) 515
„ 256. Разбивка на прямоугольные чеки фермы в 37 десятин вблизи Modesto, Калифорния (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 373) 516
„ 257 Разбивка поля на чеки по очертаниям горизонталей (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 373) дополнен автором 517
„ 258. Орошение фруктовых садов затопляемыми чеками (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 882) 517
„ 259. Планировка чек во фруктовых садах (заимствовано у J. A. Widtsoe) 517
„ 260. Полив чеками с перепуском воды из верхних чек в нижние (составлен автором) .. 518
„ 261. Попеперечный разрез борозд (составлен автором) 520
„ 262. Питание борозд из ответвлений поливной канавы (составлен автором) 521

Черт. 263. Применяемый в Америке способ распределения воды по бороздам (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 1348) 521
„ 264. Кривая вероятного продольного увлажнения от поливной канавы до конца борозды в суглинистом грунте (заимствовано из O. E. S. Bull. U. S. D of Agr. № 203). 524
„ 265. Увлажнение песчано-суглинистой почвы на различных глубинах (составлен автором по данным опытов R. H. Loughridge'a)..... 525
„ 266. Боковое распространение воды в песчаных почвах по опытам King'a (заимствовано у King'a) 525
„ 267. Изолинии просачивания под глубокими поливными бороздами в тяжелом глинистом грунте (заимствовано у R. H. Loughridge'a) 527
„ 268. Изолинии быстроты просачивания под мелкими поливными бороздами в тяжелом глинистом грунте (заимствовано у R H. Loughridge'a)..... 527
„ 269. Салазки для устройства борозд (заимствовано из Farm. Bull. U. S. D. of Agr. № 392) 528
„ 270. Орошение трубами. Питание борозд производится из трубопровода, расположенного между гидрантами 530
„ 271. Гребенчатое и зигзагообразное расположение джояков (заимствован у Костякова А. Н.)..... 535
„ 272. Орошение джоиками:
а) борозды намечены омачем, ... 535
б) кетменями насыпаны гряды,..... 535
в) арочки залиты водой, подпертой перемычками,..... 536
г) после окучки (заимствовано у Р. Шредера и дополнено автором)..... 536
„ 273. Поперечный разрез джоиков (составлено автором)..... 537
„ 274. Подпочвенное орошение (составлен автором) 540
„ 275. Деревянные трубопроводы, работающие как для орошения, так и для дренажа (заимствовано у S. Fortier) 541
„ 276. График потерь воды из магистрального канала (составлен автором)..... 547
„ 277. Изменение естественного горизонта грунтовых вод, создаваемое фильтрационным потоком из магистрального канала (составлен автором)..... 548
„ 278. Изменение горизонта грунтовых вод, создаваемое фильтрационным потоком из распределителей (составлен автором) 549
„ 279. Схема участка распределительной и мелкой сети (составлен автором) 550
„ 280. Разрез по cd (см. черт. 279) (составлен автором)..... 250
„ 281. Разрез по ab (см. черт. 279) (составлен автором)..... 551
„ 282. Схема изменения направления течения грунтовых вод вследствие сооружения водоподъемной плотины (составлен автором)..... 553
„ 283. Разрез по AB (см. черт. 282) (составлен автором)..... 554
„ 284. Схема постановки наблюдений над движением грунтовых вод в районе расположения водоподъемной плотины (составлен автором) 554
„ 285. Разрез по линии наблюдательных скважин (см. черт. 284) (составлен автором)..... 555
„ 286. Схема постановки наблюдений над движением „верховых" грунтовых вод и мероприятий по борьбе с притоком их в нижележащий орошаемый район (составлен автором) 557
„ 287. Разрез по ab (см. черт. 286) (составлен автором) 558
„ 288. Схема мероприятий по удалению фильтрационных вод в районах с высоким уровнем воды в реке (составлен автором) 562
„ 289. Горизонт „висячих" грунтовых вод, образовавшихся после орошения вследствие наличия слоя хардпена 563
„ 290. Подземный водонепроницаемый холм, повышающий уровень грунтовых вод (составлен автором) 564
„ 291. Солончаковое пятно на бугорке поливного поля озимой пшеницы (заимствован у Димо, Н. А.)..... 572

ТОГО ЖЕ АВТОРА:

Издания Научно-Мелиорационного Института.

1. Карта хлопковых районов России и сопредельных стран, в связи с программой ближайших мероприятий (издание разошлось).
2. Проект орошения и колонизации 500.000 десятин Голодной Степи:

   Том VI. Распределительная и водосборная сети. Атлас чертежей.

   Том VII. Типовые гидротехнические сооружения на сети. Атлас чертежей.
3. Мысли по методике проектирования ирригационных систем.

Издания Высшего Совета Народного Хозяйства.

4. Транскаспийский канал.
5. Опыт создания теории водооборота в ирригационных системах.
6. Данные о свободных земельных запасах в Туркестане для орошения и культивирования хлопчатника.
7. Проблемы орошения Туркестана.