

Морозов А.Н., Павлов Г.Н.

О расчете горизонтального дренажа засоленных земель (на примере новой зоны орошения Голодной степи)

Эта работа, идея которой полностью принадлежит Григорию Николаевичу Павлову, опубликованная в сборнике трудов № 1 "Средазгипроводхлопка" в 1971 году, хоть и устарела терминологически, да и в научном плане, тем не менее представляет определённый интерес для нынешних аспирантов и молодых учёных своими идеями и подходами к их решению. К сожалению, многие важные положения и идеи, изложенные в статье, так и остались спорными и не проверенными наукой, хотя с момента публикации прошло более тридцати пяти лет. Наверное, это связано с тем, что такие масштабные работы требуют больших материальных затрат и слаженной работы больших коллективов учёных и проектировщиков, а такие сочетания обстоятельств редко встречаются... в истории.

При комплексном проектировании орошения земель возникает необходимость совместной увязки ряда параметров дренажной и оросительных систем, без которой невозможно в дальнейшем осуществлять оптимальный водно-воздушный и солевой режим почвы. В практике проектирования в настоящее время расчеты режима орошения и дренажа, как правило, производятся независимо один от другого.

При расчете мощности дренажных устройств обычно исходят из среднего за какой-либо промежуток времени модуля дренажного стока и необходимой глубины уровня грунтовых вод (критической глубины), считая, что выполнения этих двух условий вполне достаточно для поддержания устойчивого мелиоративного благополучия орошаемой территории. Схема работы дренажа, построенная на основе этих предпосылок, вполне правомерна для зоны избыточного увлажнения, где с достаточной степенью точности можно принять поступление влаги равномерно распределенным во времени (по крайней мере, в некоторых расчетных периодах), а удержание уровня на определенной глубине обеспечивает оптимальный водно-воздушный режим почвы.

Однако для зоны орошаемого земледелия ориентация на критическую глубину вносит формализм в инженерные расчеты, вызывает стремление всемерно сократить водоподачу. С позиций "критической глубины" невозможно объяснить эффективность неглубокого (2,0 - 2,5 м) горизонтального дренажа на засоленных землях (именно такой глубины дренаж существует в староорошаемых районах Средней Азии), а также необходимость проведения ежегодных зимних профилактических поливов, которые, как показывает многолетний опыт, являются наиболее эффективным мероприятием по предотвращению соленакопления в верхних почвенных горизонтах.

Наиболее распространенным определением критической глубины является формулировка И.Н.Антипова-Каратаева, в которой различаются абсолютная и относительная критические глубины. Первая соответствует границе (высоте) капиллярно-пленочного подъема воды в неорошаемых условиях. В суглинистых грунтах она равна 3 - 4 м. Под относительной критической глубиной залегания грунтовых вод И.Н.Антипов-Каратаев понимает такую "глубину в условиях культурного орошаемого хозяйства, при которой при правильном орошении вторичное засоление почв только что начинает появляться".

Из приведенной формулировки относительной критической глубины, которая и применяется в расчетах, следует, что критическая глубина может быть определена только экспериментально; при изменении способов ведения хозяйства должны меняться и значения критической глубины. Кроме того, формулировка не основывается на каких-либо физических закономерностях, которые могли бы послужить основанием для аналитических расчетов глубины грунтовых вод в зависимости от водно-физических свойств почвогрунтов, способов ведения хозяйства, времени года, степени и характера минерализации грунтовой и оросительной воды и т.п.

В ряде последних работ [1, 2, 3] указывается, что понятие "критическая глубина", сыгравшее в свое время положительную роль, в настоящее время морально устарело.

В институте "Средазгипроводхлопок" сделаны расчеты горизонтального дренажа в увязке с поливным режимом, при этом вместо критической глубины сформулированы два необходимых и достаточных требования, при соблюдении которых горизонтальный дренаж эффективен. В основу расчетов положены соображения о дифференцированном балансе грунтовых вод и промывном действии орошения, высказанные А.Г.Владимировым [4], схема передвижения солей, разработанная С.Ф.Аверьяновым [1] и связь режима влажности в верхних почвенных горизонтах с динамикой грунтовых вод (экспериментальные данные, полученные на опытном участке института в зоне нового орошения Голодной степи).

В литературе часто упоминаются глубокий и мелкий горизонтальный дренаж. Для дальнейших рассуждений необходимо строго определить, что следует понимать под этими двумя терминами. Глубоким предлагается называть такой дренаж, при котором можно поддерживать уровень грунтовых вод на абсолютной критической глубине, т.е. на такой глубине", при которой даже предельно сильная минерализация вод не может вызвать засоления активного слоя почвы, независимо от погодных условий, растительного покрова и качества обработки почвы" [4]. Для суглинистых грунтов эта глубина будет составлять 5 - 6 м.

Дренаж, который работает при глубинах грунтовых вод выше абсолютной критической глубины, следует считать мелким. Таким образом, подавляющее число дренажных систем, построенных и строящихся на засоленных землях, следует отнести к мелким. Принципиальное различие между мелким и глубоким дренажем, согласно предложенной квалификации, заключается в том, что мелкий дренаж эффективен только в сочетании с определенным поливным режимом, а работа глубокого дренажа и режим орошения не взаимосвязаны.

При мелком дренаже должен применяться промывной режим орошения, т.е. на поля подается некоторый избыток оросительной воды, который идет на замещение грунтовых вод", отжатых" в дрены. Таким образом, происходит опреснение зоны аэрации и подавление восходящего тока солей, обусловленного разностью химических потенциалов (диффузное передвижение солей). Создание нисходящего тока воды определенной интенсивности - первое требование, предъявляемое к мелкому горизонтальному дренажу. Согласно проработкам С.Ф.Аверьянова [1], направленность процесса соленакопления в зоне аэрации может быть охарактеризована отношением:

$V = V' / V''$,	(1)
------------------	------------

Где V' - среднегодовая скорость расходования воды (транспирация + испарение);
 V'' - среднегодовая скорость поступления воды в почву.

Для того чтобы в активной зоне почвогрунтов не происходило накопление солей, V должно быть меньше 1. Численное значение V определяется водно-физическими свойствами почвогрунтов, минерализацией оросительной и грунтовой воды, качественным составом солей

и т.д.

Вместо выражения (1) можно записать:

$$V' / V'' = V = (M_{ор} - D) / M_{ор}, \quad (2)$$

Где $M_{ор}$ - годовая оросительная норма;

D - годовой дренажный сток.

Зная величины $M_{ор}$ и V , можно вычислить D . Аналитические расчеты величины V в настоящее время сопряжены с трудностями.

На основании опыта орошения засоленных земель установлено, что величина дренажного стока D должна составлять 10 - 30 % от оросительной нормы. В этом случае не происходит соленакопления в верхних почвенных горизонтах.

Соблюдение определенного отношения $D / M_{ор}$ является необходимым, но недостаточным условием предотвращения засоления. Второе требование к дренажу и поливам связано с введенным А.Г.Владимировым понятием "критический уровень" минерализованных грунтовых вод. Под критическим, следует понимать такой уровень, *ниже которого сработка грунтовых вод недопустима*. Сказанное можно пояснить, исходя из схемы, помещенной на рис.1. Если грунтовая вода опустится ниже исходного уровня, это означает, что прослойка пресной воды в верхних горизонтах почвогрунта израсходована и полученный эффект опреснения сведен на нет.

Для сохранения полученного эффекта в момент достижения грунтовыми водами критического уровня необходимо провести очередной полив. Критический уровень находится на глубине заложения дрен в том случае, если отсутствует внешнее питание грунтовых вод. В противном случае положение критического уровня определяется напорностью грунтовых вод, которая возникает за счет потерь из оросительной сети, притока с соседних орошаемых площадей и т.д.

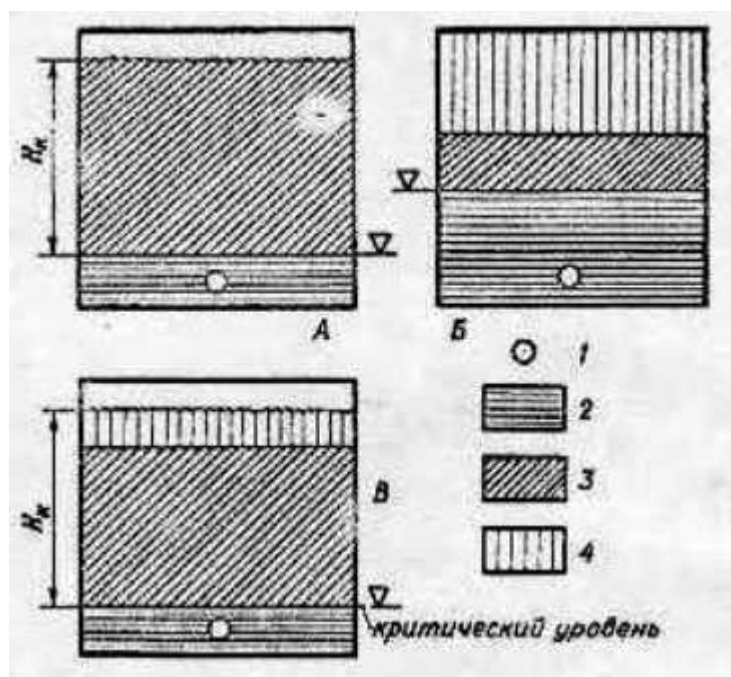


Рис.1. Схема опреснительного действия поливов и дренажа:
А - перед поливом, Б - после полива, В - к началу следующего полива;

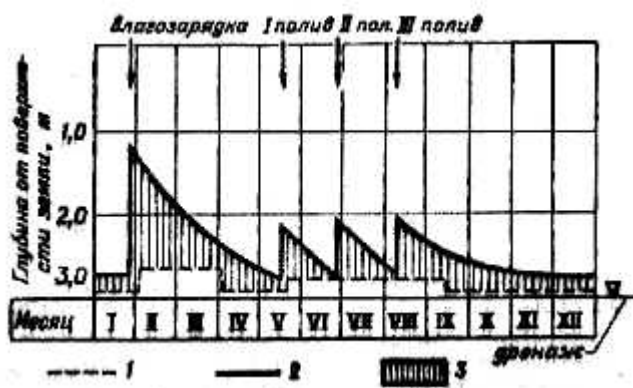
1 - дрена, 2 - минерализованные грунтовые воды, 3 - почвенная влага, образованная минерализованной водой, 4 - почвенная влага, созданная оросительной (пресной) водой, Нк - высота капиллярного поднятия.

Указанные требования имеют вполне определенный физический смысл, заключающийся в том, что поливной режим и горизонтальный дренаж должны создать условия, при которых в корнеобитаемую зону почвы не будут попадать соли с капиллярно поднимающейся грунтовой водой, а также будет предотвращен вертикальный ток солей за счет диффузии. Эти требования, кроме того, определяют режим грунтовых вод, который должен складываться под орошаемым полем, что в общем виде, показано на рис.2.

Расчет густоты дренажа основан на прогнозировании режима грунтовых вод. Прогноз распадается на несколько этапов (приближений):

- схематический расчет режима грунтовых вод, на орошаемом массиве;
- прогноз режима грунтовых вод (в годовом разрезе) для выделенных гидрогеолого-мелиоративных районов;
- режим грунтовых вод орошаемого поля и выбор проектной густоты и конструкции дренажа.

Режим грунтовых вод орошаемого массива прогнозируется исходя из следующего уравнения водного баланса:



2. График режима грунтовых вод (проект):

1 - критический уровень, 2 - режим грунтовых вод, создаваемый поливами, 3 - расчётный дренажный сток Д

$$dW = И + П_{пов} + П_{под} + А - С - (И + Т) - О,$$

(3)

Где - dW - суммарное изменение запасов воды в границах орошаемого массива за время dT ;
В - водозабор;

$П_{пов}$ - приток поверхностных вод помимо водозабора(приток с окружающих возвышенностей, сбросные воды вышележащих массивов);

$П_{под}$ - приток подземных вод;

А - атмосферные осадки;

С - сбросы (суммарные) за пределы орошаемого массива по коллекторно-сбросной сети;

(И + Т) - суммарное значение испарения и транспирации с поверхности массива;

О - подземный отток за пределы массива по его контуру.

Определение всех перечисленных составляющих водного баланса производится в соответствии с имеющимися методическими указаниями [5]. Величину О (подземный отток) следует назначать с учетом дренажа (его величина назначается в долях от В).

Воднобалансовые расчеты для орошаемого массива имеют цель: установить скорость подъема уровня, районировать площадь по глубинам залегания грунтовых вод в перспективный период орошения и наметить очередность дренажных мероприятий. Для воднобалансовых расчетов орошаемого массива промежутки времени dT может быть принят значительным (до года).

На основании этих расчетов, а также материалов гидрогеологических и почвенных исследований выделяются гидрогеолого-мелиоративные районы, т.е. площади, находящиеся в одинаковых геоморфологических и почвенных условиях, где складывается одинаковый водный режим верхних почвенных горизонтов. Для каждого выделенного гидрогеолого-мелиоративного района проводятся воднобалансовые расчеты по формуле:

$$dW_n = \Phi_k + П_{пов} + П_{под}, \quad (4)$$

где Φ_k - фильтрация из каналов;

$П_{пов}$ - приток подземных вод с соседних гидрогеолого-мелиоративных районов;

$П_{под}$ - приток поверхностных вод помимо водозабора.

Воднобалансовые расчеты проводятся для периодов, не превышающих один месяц. Цель расчетов - получение ежемесячных значений, которые затем используются для построения графиков критического уровня.

После построения графиков критического уровня на основании водно-балансовых расчетов определяется режим грунтовых вод, складывающийся на поле в результате орошения. Уравнение баланса может быть записано для этого случая в виде:

$$M_{ор} + A - Д - (И + T) = 0 \quad (5)$$

Где $M_{ор}$ - оросительная вода (нетто), поданная на поле;

A - атмосферные осадки;

$Д$ - доля дренажного стока, формирующегося за счет оросительной воды;

$(И + T_p)$ - суммарное испарение.

Уравнение (5) справедливо при условии, что уровень грунтовых вод в расчетный период не опускается ниже критического уровня. Изменение запасов оросительной воды в расчетный (межполивной) период составляет:

$$dW_o = Д + (И + T_p). \quad (6)$$

Для расчетов дренажных устройств желательно иметь непрерывную зависимость изменения запасов влаги во времени или для промежутков времени dT не более суток. Для этого составляется уравнение расхода грунтовых вод в межполивной период $dW_o = f(t)$. Для практических расчетов удобно связать dW с положением уровня грунтовых вод X , тогда все составляющие уравнения водного баланса необходимо выразить в виде функциональных зависимостей от положения грунтовых вод X .

Большинство исследователей, изучавших режим грунтовых вод на орошаемых землях, отмечают очень быстрый подъем зеркала грунтовых вод на поле во время проведения полива. Подъем уровня грунтовых вод прекращается с окончанием полива. Это явление носит название "капиллярный сброс" [6,7] и заключается в том, что поданная сверху оросительная вода нарушает равновесие влаги в капиллярной кайме. Вода, находившаяся ранее в зоне аэрации, поступает в грунтовые воды, вызывая их подъем. Благодаря капиллярному сбросу осуществляется эффект опреснения, что схематически показано на рис.1. В расчетах можно принимать подъем зеркала грунтовых вод мгновенным, так как полив продолжается обычно не более двух суток.

При близком стоянии грунтовых вод необходимо учитывать, что водоотдача (свободная порозность) грунтовой толщи зависит от положения уровня грунтовых вод. Как показали исследования, проведенные в новой зоне орошения Голодной степи, закономерность распределения влаги в капиллярной кайме хорошо согласуется с формулой С.Ф.Аверьянова [8]:

$$W = 2/3 * w_1 * h_k / b * [1 - (1 - b * y / h_k)^{3/2}], \quad (7)$$

Где W - запас влаги в слое y от зеркала грунтовых вод;

h_k - высота капиллярного поднятия ;

w_1 - влажность, наблюдаемая около грунтовых вод ;

w_0 - максимальная молекулярная влагоемкость (по А.Ф.Лебедеву),

$b = 1 - (w_0 / w_1)^2$.

Определенные в совхозе №1 Голодной степи параметры формулы (7) составили: $h_k = 2,3$ м; $w_0 = 0,21$; $w_1 = 0,455$ (от объема почвы); порозность $m = 0.49$.

На рис. 3 показан режим влажности и динамика грунтовых вод, которые наблюдались в одной из точек опытного участка.

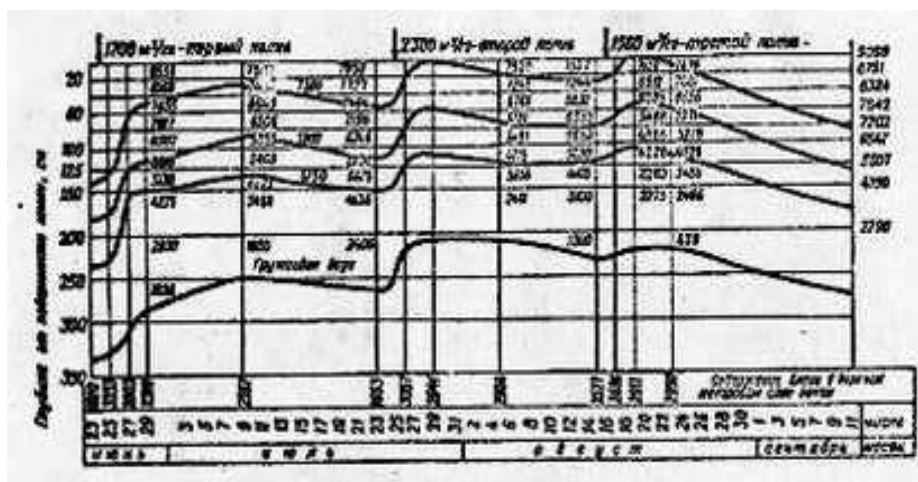


Рис. 3. Режим влажности и динамика уровня грунтовых вод (точка № 21, опытный участок в совхозе № 1, 1967 г.)

Проведенные хроноизоплеты запасов влаги 4500; 5800 и 7300 м³/га, которые соответствуют по формуле (7) запасам влаги в слоях 1,0; 1,5; 2,0 м, копируют кривую динамики грунтовых вод. Статистическая обработка материалов наблюдений по 10 точкам показала, что отклонения фактических значений У от расчетных, вычисленных по формуле (7), составляют не более 5 %. Приведенные материалы наблюдений экспериментально подтверждают наличие капиллярного сброса. Кроме того, они показывают, что содержание и распределение влаги в зоне аэрации полностью зависит от положения зеркала грунтовых вод. Экспериментальные данные

показывают также, что над капиллярной каймой, в слое мощностью примерно 1 м. влажность почвы имеет постоянное значение, равное w_0 . На основании полученных материалов в совхозе 1 построена кривая " текущей " водоотдачи для 3 - х метровой толщи грунтов Голодной степи, а также установлена зависимость водонасыщенности верхнего метрового слоя почвы от положения зеркала грунтовых вод. Эти зависимости приведены в виде графиков на рис.4.

Зависимость водоотдачи грунтовой толщи при падении грунтовых вод от X_1 до X_2 может быть с достаточной степенью точности выражена формулой:

$$S_{x1x2} = B * (X_2^a - X_1^a). \quad (8)$$

При измерениях S в м³/га для рассматриваемых условий $B = 615$; $a = 2$.

По предложению А.П.Вавилова зависимость дренажного стока от напора ($h_{др} - X$) можно записать в виде:

$$D = A * (h_{др} - X), \quad (9)$$

Где D - сток воды по дренам, м³/га в сутки;

$h_{др}$ - глубина заложения дренажа, м;

X - глубина залегания зеркала грунтовых вод, м.

При использовании формулы А.Н.Костякова

$$q = [\pi * K_f (h_{др} - X)] / [\ln B/b - 1] \quad (10)$$

Величина A составляет:

$$A = [\pi * K_f * L_{др}] / [\ln(10000 / b * L_{др}) - 1], \quad (11)$$

Где: π - число пи = $\sim 3,14$; K_f - коэффициент фильтрации, вычисленный по данным натурных наблюдений, м/сутки; B - расстояние между дренами, м; b - ширина фильтра или ширина зеркала воды в открытой дрене, м; $L_{др}$ - удельная протяженность дрена, м/га, $L_{др} = 10000 / B$.

В последнее время в институте "Средазгипроводхлопок" расчетный коэффициент фильтрации определяется по данным натурных наблюдений за работой горизонтальных открытых и закрытых дрена. За основную расчетную зависимость принимается формула А.Н.Костякова (10). Необходимо отметить, что полученный расчетным путем K_f не является объективной характеристикой грунта, а служит лишь коэффициентом пропорциональности при расчете дренажа по формуле (10).

К примеру, на опытном участке института в совхозе №1 получены следующие данные: коэффициент фильтрации в вертикальном направлении при поступлении воды с поверхности - 0,9 м/сутки, а вычисленный по формуле (10), исходя из материалов наблюдений за работой закрытых дрена, - 0,1 - 0,2 м/сутки. Приведенные цифры показывают, что определяемые косвенным путем коэффициенты фильтрации, без детального изучения геологического профиля, направлений движения грунтовых вод, анизотропности грунтов и т.д., не могут быть использованы для расчетов притока воды к дренам.

Расчеты, основанные на вычисленных по формуле (10) коэффициентах K_f , дают более достоверные результаты, при этом заранее предполагается линейная зависимость между напором в середине междуренья и расходом q , т.е. (9). Величину A можно назвать дренированностью территории.

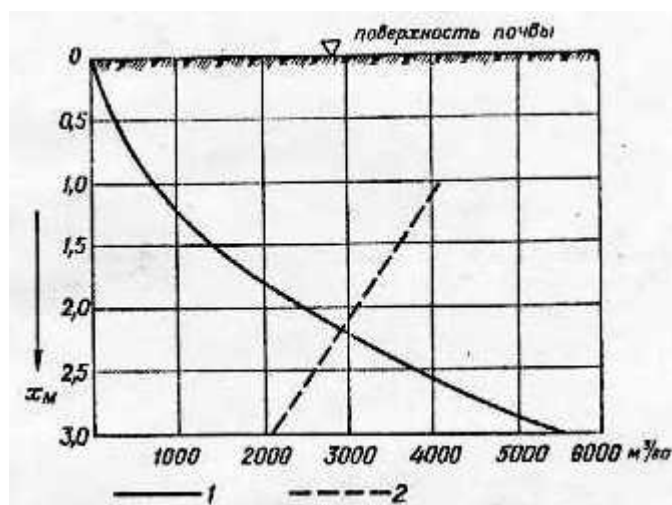


Рис.4. Графики зависимостей:

1 - водоотдачи (свободной порозности) 3-х метровой грунтовой толщи, 2 - водонасыщенности верхнего метрового слоя от положения грунтовых вод "X".

Наиболее существенной расходной статьёй является суммарное испарение ($I+Tr$). При прочих равных условиях величина испарения зависит от влажности верхних почвенных горизонтов, которая, в свою очередь, определяется глубиной залегания уровня грунтовых вод. Таким образом, величина ($I+Tr$) находится в функциональной зависимости от глубины залегания грунтовых вод X , которая по аналогии с формулой, предложенной С.Ф.Аверьяновым, может быть записана так:

$$(I + Tr)_x = k \cdot E_0 \cdot (1 - x / H_0)^n, \quad (12)$$

Где ($I + Tr$)_x - суммарное испарение при глубине до грунтовых вод X м, м³/га в сутки;
 E_0 - испаряемость, м³/га в сутки;
 k - коэффициент для учета особенностей выращиваемой культуры;
 X - глубина грунтовых вод, при которой полностью отсутствует испарение, м;
 n - показатель степени (изменяется от 1 до 3).

По данным А.П.Вавилова, для Голодной степи получены следующие численные значения формулы (10) : $H_0 = 8,0$ м; $n = 2$, при посевах хлопчатника $k = 1$, для люцерны $k = 1,40$. Используя приведенные зависимости, уравнение (6) можно представить в виде:

$$[k \cdot E_0 (1 - X / H_0)^n + A \cdot (h_{др} - X)] \cdot dt = B \cdot [(X + dx)^a - X^a], \quad (13)$$

Для рассматриваемого примера (зона нового орошения Голодной степи) уравнение (13) будет таким:

$$[k \cdot E_0 - (2 \cdot k \cdot E_0 \cdot X) / H_0 + x^2 / H_0 + A \cdot h_{др} - A \cdot X] \cdot dt = 2 \cdot B \cdot x \cdot dx, \quad (13')$$

Или:

$$(ax^2 - bx + c) \cdot d t = 2 \cdot Bx \cdot dx, \quad (14)$$

Где $a = \kappa \cdot E_0 / H_0^2$; $b = \kappa \cdot E_0 / H_0 + A$; $c = \kappa \cdot E_0 + A h_{др}$.

Решение уравнения (14) имеет вид:

$$t_{x1x2} = \left[\frac{1}{2a} \cdot n(ax^2 - bx + c) + \frac{b}{2a\sqrt{b^2 - 4ac}} \cdot h((2ax - b - \sqrt{b^2 - 4ac})/(2ax - b + \sqrt{b^2 - 4ac})) \right] \cdot (15)$$

На рис.5 показаны графики сработки уровня грунтовых вод, построенные по формуле (15) при $E_0 = 2200$ и 1550 м³/га в месяц и при разных степенях дренированности территории $A = 1; 4; 16; 64$ м³/га в сутки при напоре в 1 м.

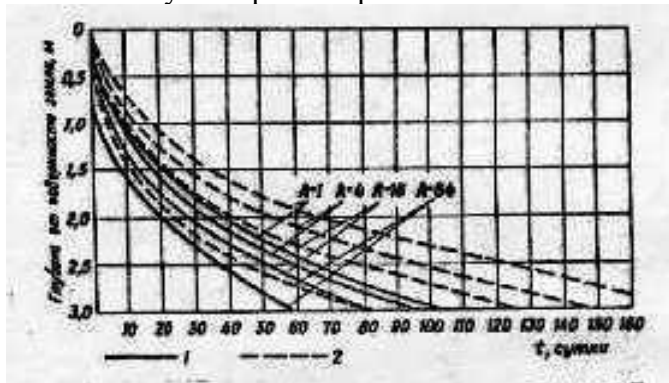


Рис. 5. Графики сработки уровня грунтовых вод при глубине дренажа $h_{др} = 3,0$;

1 - $E_0 = 1550$ м³/га в месяц, 2 - $E_0 = 2200$ м³/га в месяц.

На основании кривых $X = f(t)$ можно вычислить средние скорости сработки для различных интервалов $X_1 - X_2$.

На рис. 6. приведены зависимости скорости сработки $V_{см/сутки}$ от дренированности A и испаряемости E_0 , $\kappa = 1$ (хлопчатник) в интервале глубин 2,5 - 3,0 м. Графики, аналогичные данным на рис. 6, для нескольких интервалов глубин от 0 до 3 м, служат основой для построения проектного графика режима грунтовых вод.

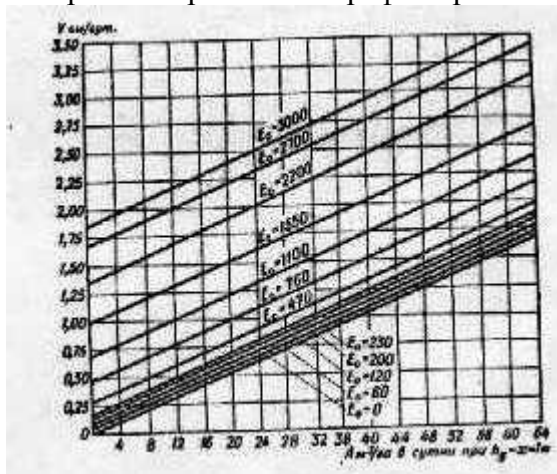


Рис. 6. Средняя скорость сработки уровня грунтовых вод в интервале 2,0 - 2,5 м в зависимости от дренированности A и испаряемости E_0 (м³/га в месяц).

На рис. 7 приведены графики режима грунтовых вод при величине поливных норм нетто оросительного периода 1500 и 2100 м³/га. Графики составлены для условий, когда нет притока грунтовых вод извне ($dW_n = 0$). В том случае, если величины dW_n отличны от нуля, необходимо строить график критического уровня (рис.2). Для этого вычисляются ежемесячные значения напоров, необходимых для сработки напорного питания $h = dW_n / A$.

Расчет величины поливных норм при близком залегании зеркала грунтовых вод значительно отличается от расчетов этой величины в автоморфных условиях. Дело в том, что в этом случае понятие активный слой почвы теряет свой смысл. Активным следует считать слой, в котором распространена корневая система растений, в водоснабжении же этой зоны участвует вся толща грунта от поверхности земли до зеркала грунтовых вод. Экспериментальным подтверждением этого положения служат данные, приведенные на рис. 3. Величину поливной нормы можно вычислить из допустимого предела иссушения верхних почвенных горизонтов. Верхний предел соответствует предельной полевой влагоемкости (ППВ), что для метрового слоя в рассматриваемом примере составляет 3000 м³/га, и соответствует глубине грунтовых вод 2,1 м, а 2250 м³/га (0,75 ППВ) - 2,8 м. Величина поливной нормы может быть вычислена как количество воды, необходимое для подъема зеркала грунтовых вод от 2,8 до 2,1 м, что по формуле (6) составит:

$$m = 615 * (2,8 - 2,1) = 2100 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Опытные данные, полученные в совхозе №1, показывают, что лучшее развитие растений и наибольший урожай были получены на участках, где грунтовые воды в вегетацию не опускались ниже 2,8 м. Стояние грунтовых вод выше 2,1 м, создавая высокую влажность в верхних почвенных горизонтах, не привело к повышению урожая. Приведенные факты позволяют сделать вывод, что подъем уровня грунтовых вод выше 2,1 м нежелателен, так как это вызовет перерасход оросительной воды, более интенсивно испаряющейся.

Здесь уместно ввести понятие "оптимальная глубина залегания грунтовых вод"; это такая глубина или интервал глубин, при котором в корнеобитаемой зоне создается оптимальный для развития растений режим влажности. В рассматриваемом примере это интервал 2,1 - 2,8 м, или в среднем 2,45 м. Интересно отметить, что глубина 2,4 м принята для новой зоны орошения Голодной степи в качестве критической.

Из приведенных суждений вытекает, что на землях с близкими грунтовыми водами целесообразны повышенные поливные нормы. Применяемые на практике в Голодной степи нормы порядка 2500 м³/га можно считать рациональными в том случае, если поднимающийся в результате поливов уровень грунтовых вод не превышает 2,1 м.

Как показывают расчёты (рис.7), с уменьшением величины поливных норм увеличивается общегодовая оросительная норма. Кроме того, каждый полив сопровождается потерями оросительной воды на испарение, как с водной поверхности, так и из верхних почвенных горизонтов в первые, после полива дни. При нормальной агротехнике суммарные потери за один полив составляют около 250 м³/га [9]. Таким образом, уменьшение поливных норм, т.е. увеличение числа поливов, приводит к увеличению суммарных потерь оросительной воды.

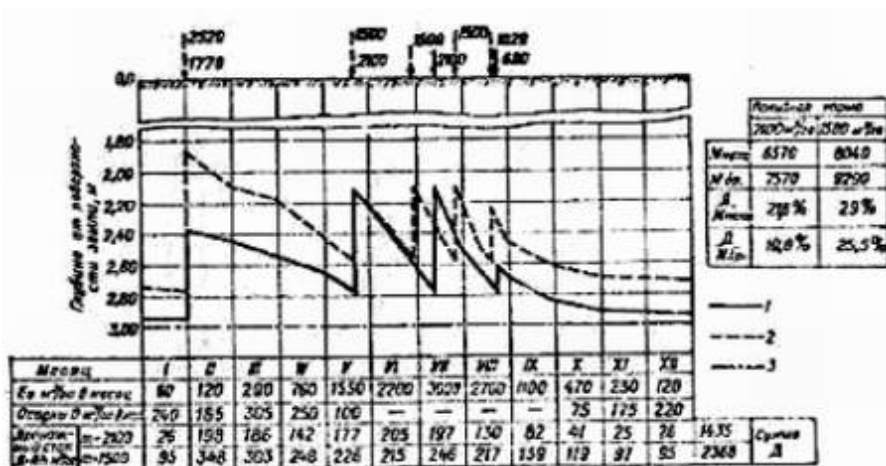


Рис. 7. Проектный график режима грунтовых вод ($A = 12 \text{ м}^3/\text{га}$ в сутки):

1 - уровень грунтовых вод при $m = 2100 \text{ м}^3/\text{га}$; 2 - уровень грунтовых вод при $m = 1500 \text{ м}^3/\text{га}$; 3 - глубина заложения дрена (критический уровень) $M_{бр} = M_{нетто} + n * 250 \text{ м}^3/\text{га}$, n - число вегетационных поливов.

Графики (рис.7) построены в предположении, что в те месяцы, когда осадки превышают испаряемость, $E_0 = 0$ и в грунтовые воды они не поступают. Из графиков хорошо видна роль влагозарядки (профилактического полива) в поддержании оптимального солевого режима зоны аэрации. Только с помощью влагозарядки можно выполнить сформулированные выше требования к рассоляющему действию поливов и горизонтального дренажа - поддержать грунтовые воды выше критического уровня и соблюсти соотношение $D / M_{ор} = 0,20$.

Для выбора необходимых размеров дренирования строится серия графиков режима грунтовых вод при различных значениях A . С помощью графиков вычисляются: оросительная норма нетто ($M_{нетто}$), оросительная норма брутто ($M_{бр}$), дренажный сток D и отношение $D / M_{нетто}$ и $D / M_{бр}$.

На основании полученных цифр строятся графики зависимости оросительной нормы и отношения D / M от дренированности A и затем выбирается необходимая величина A , соответствующая заданному отношению D / M . На рис. 8 приведены зависимости оросительной нормы $M_{ор}$ и отношения D / M от дренированности A при различных нормах полива ($m = 1500$ и $2100 \text{ м}^3/\text{га}$).

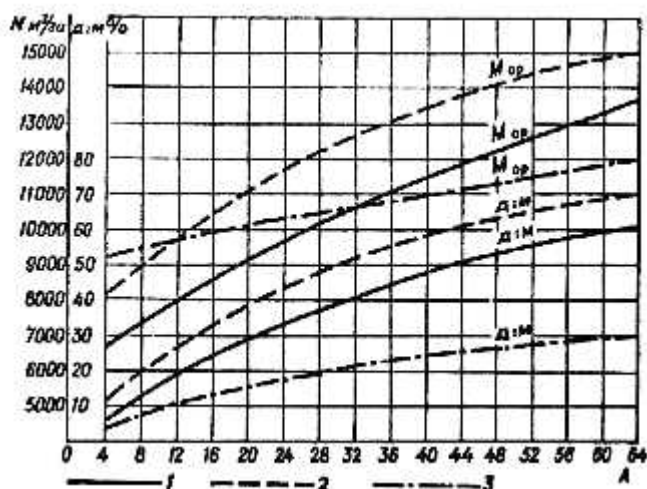


Рис. 8. Зависимость оросительной нормы брутто и отношения $D / M_{ор}$ от дренированности A :

1 - дренаж глубиной 3 м, $m = 2100$ м³/га, 2 - дренаж глубиной 3 м $m = 1500$ м³/га, 3 - дренаж глубиной 2 м $m = 1500$ м³/га.

Судя по графикам, необходимая дренированность территории не является однозначной величиной, а зависит от кратности поливов и размеров поливных норм. Для окончательного выбора A необходимы дополнительные условия, которые могут диктоваться хозяйственной деятельностью, рельефом и т.д. Можно поставить условие наименьших затрат оросительной воды. В этом случае для рассматриваемого примера вегетационные поливы следует проводить грузными поливными нормами (до 2500 м³/га), оросительная норма при этом составит (рис.8) ~8000 м³/га, $D / M = 0,2$, а необходимая дренированность $A = 12$ м³/га в сутки (при $h_{др} - x = 1$ м). Отметим, что по составленному институтом районированию режима орошения для рассматриваемого района установлена оросительная норма 8000 м³/га (5700 м³/га в вегетационный период и 2300 м³/га - влагозарядка). Сокращение величины поливных норм вегетационного периода (1750 м³/га брутто) приводит к увеличению $M_{ор}$ (9200 м³/га), но требует меньше дренажа $A = 8$ м³/га в сутки.

По данным исследований САНИИРИ и Средазгипроводхоза, в новой зоне орошения Голодной степи дренаж густотой 40 - 50 м/га обеспечивает дренированность порядка 10 м³/га в сутки. При несколько повышенной величине влагозарядки, которая практикуется в новых голодностепских совхозах, можно с уверенностью сказать, что построенный дренаж может надежно предохранить земли от вторичного засоления.

Интересно сравнение различных по глубине заложения дренажей. На рис. 8 приведены зависимости $D / M_{ор}$ и $M_{ор}$ от дренированности A при глубине заложения дрен 2,0 м, поливные нормы приняты нетто 1500 м³/га. Из графика видно, что уменьшение глубины заложения дрен с 3,0 до 2,0 м приводит к увеличению необходимой дренированности с 8 до 30 м³/га в сутки и, кроме того, требует увеличения оросительной нормы до 11000 м³/га. Приведенный пример показывает, что уменьшение глубины заложения дрен в условиях Голодной степи нецелесообразно. Принятую проектом среднюю глубину заложения дрен 3,2 м следует считать оптимальной. Дополнительная глубина 0,2 м позволяет дренажу срабатывать внешний приток грунтовых вод, который в основном складывается из потерь в оросительной сети и не превышает 500 м³/га в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.Ф.Аверьянов. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР. Сб. "Орошаемое земледелие в Европейской части СССР." М., Изд-во "Колос", 1965.
2. Б.А.Михельсон. Приемы борьбы с засолением орошаемых земель на примере освоенной зоны Голодной степи. Сб. "Борьба с засолением орошаемых земель". М., Изд-во "Колос", 1967.
3. В.М.Легостаев. Нормы осушения орошаемых земель республик Средней Азии. Сб. "Борьба с засолением орошаемых земель". М., Изд-во "Колос", 1967.
4. А.Г.Владимиров. Мелиоративная гидрогеология. М., Госгеотехиздат, 1960.
5. Технические указания по проектированию горизонтального дренажа засоленных земель. М., Гипроводхоз, 1964.
6. А.Ф.Лебедев. Почвенные и грунтовые воды. М., АН СССР, 1936.
7. С.Ф.Аверьянов. Расчет горизонтального дренажа при борьбе с засолением орошаемых земель. (Материалы к техническим условиям и нормам проектирования оросительных систем.) М., Гипроводхоз, 1958.
8. А.Н.Костяков, Н.Н.Фаворин, С.Ф.Аверьянов. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод. М., АН СССР, 1956.
9. В.Р.Шредер. О поливной норме. "Хлопководство", 1963, №2.