

Комментарий:

Представленный сборник трудов, является одним из серии, которая издавались Проблемной лабораторией практически ежегодно, с привлечением единомышленников из других институтов.

Это была пора становления основных понятий комплексной мелиорации.

Сейчас, когда на государственном уровне проводятся «круглые столы в комитетах ГД» по темам, «Федерального проекта "Вовлечение в оборот и комплексная мелиорация земель сельскохозяйственного назначения", многие разработки, сделанные в Проблемной лаборатории в 80-е годы, становятся очень актуальными.

Кроме того, фактическая ликвидация инженерного мелиоративного образования в 90-е годы и необходимость восстановления его, требует развития количественных (точных) методов исследования, проектирования, строительства и эксплуатации мелиоративных систем.

СОДЕРЖАНИЕ (гиперссылки)

- [В.В. Ш а б а н о в . Расчет эффективности оросительной нормы](#)
- [Ю.Н. Н и к о л ь с к и й, Н.П. Б у н и н а. Расчет проектного режима орошения на осушаемых низинных торфяниках](#)
- [В.М. Л а в р и ч е н к о , М о с е й . Потери питательных веществ при инфильтрации осадков и оросительной воды](#)
- [И.С. К о с т я к о в , В.М. Л а в р и ч е н к о . Сработка торфяника и вымыв питательных веществ из зоны аэрации мощного низинного торфяника при его интенсивном использовании](#)
- [М е с с а х е л М е к к и . Теоретические основы расчета режима капельного орошения садов в условиях Молдавии](#)
- [А.М. Г а с а н о в. Формирование питательного режима в процессе осушения](#)

- В.В. Ш а б а н о в , П у ш к а р е в а Т.В., З е м л я н о в Ю.М. Некоторые закономерности продуцирования микроорганизмами подвижных форм азота в торфяно-болотной почве
- А.М. З е й л и г е р. Сравнение критериев оптимизации параметра гидродинамической дисперсии в зоне неполного насыщения
- Ю.И. С у х а р е в . Построение двумерной математической модели влагопереноса
- В.С. Б о р и с о в , Л.М. Р е к с . Решение двумерной задачи влагопереноса в почвогрунтах на ЭВМ
- Г.А. Ш а д р и н . Определение капиллярного потенциала по данным влажности и впитывания влаги через поверхность при орошении
- И.Г. Г л о б е н к о. Численный метод решения нелинейной задачи конвективной диффузии при условии сорбционного равновесия ионов
- Ю. М о с е й. Статистическое обоснование минимального объема измерений влажности при использовании ВПГР-
- С.М. С м и р н о в , Л.М. Р е к с , А.В. И л ь и н к о. Постановка задачи оптимизации параметров мелиоративных систем с учетом водно-солевого режима
- С.М. С м и р н о в. Итерационный подход к расчету поля влагосодержаний в почве
- В.Г. Л о г и н о в . Увлажнение сельскохозяйственных культур с электризацией поливной воды
- И.П. А й д а р о в , Л.Ф. П е с т о в , Т.П. К о р о л ь к о в а. Влияние типа и степени засоления почв на урожайность сельскохозяйственных культур
- В.С. Д р о з д о в . Использование усеченного нормального закона для описания эмпирических распределений свойств грунтов

Министерство сельского хозяйства СССР

Московский ордена Трудового Красного Знамени гидромелиоративный
институт

КОМПЛЕКСНОЕ МЕЛИОРАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

ПОЧВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Сборник научных трудов

Москва 1982

УДК 631.7

Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов

Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов, М.: МГМИ, 1982, с. 157,

В сборнике рассмотрены принципы и методы комплексного регулирования почвенных режимов, определяющих основные факторы роста и развития сельскохозяйственных культур. Представлены обобщения многолетних экспериментальных исследований, построенные на современных теоретических положениях применительно к сложным процессам взаимодействия в системе растение - внешняя среда".

Дано описание математических методов решения задач и конкретных математических моделей влагосолепереноса, позволяющих прогнозировать и оптимизировать эти режимы при осуществлении комплексных мелиорации.

Ил. 20, табл. 28, список лит. - 51.

Редакционная коллегия

А.И.Голованов (гл. редактор), И.П.Айдаров (зам.гл.редактора),
А.А.Богушевский (отв. редактор), В.В.Шабанов, Н.П.Бунина

©Московский ордена Трудового Красного Знамени гидромелиоративный институт, 1982

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРОСИТЕЛЬНОЙ НОРМЫ.

Расчет эффективности орошения может быть выполнен на основе зависимости между продуктивностью и оросительной нормой. Обычно такие зависимости получали эмпирически, что не позволяло использовать их для условий отличных от проведения опыта.

Для построения теоретической зависимости между продуктивностью посева и оросительной нормой S (м) необходимо иметь зависимость между продуктивностью и влажностью почвы $S(W)$ и зависимость, описывающую изменение влагозапасов во времени $W(\tau)$,

Общий вид этих зависимостей может быть получен из следующих дифференциальных уравнений /1, 2/:

$$\frac{ds}{dW} = \frac{\kappa_1 S (W - W_{opt})}{(W + \alpha_1)(W - \alpha_2)}, \quad (1)$$

Где S - относительная продуктивность (урожая),

W_{opt} и W - оптимальная и текущая влажность (влагозапасы) в расчетном слое

почвы,

α_1 и α_2 - функции минимального (W_{min}) и максимального (W_{max}) для данного растения значения влажности,

κ_1 - коэффициент саморегулирования растения,

$$\frac{dW}{d\tau} = \kappa_2 (W_{00} - W), \quad (2)$$

где W_{00} - равновесная влажность, мм/сут,

κ_2 — угловой коэффициент зависимости

$$ds/dW = f(W).$$

Решение уравнения (1) при условии $W_{min} = 0$ и $W_{max} = 1$ записывается в виде:

$$S = \left(\frac{W}{W_{opt}} \right)^{\delta W_{opt}} (1 - W)^{\delta (1 - W_{opt})} \quad (3)$$

Решение уравнения (2) при начальных условиях

$W = W_{NB}$ при $\tilde{z} = 0$, где W_{NB} - влажность наименьшей влагоемкости, можно записать в виде:

$$W = W_0 + (W_{NB} - W_0) e^{-K_z \tilde{z}},$$

где- W_0 равновесная для данной почвы влажность.

Время следующего полива \tilde{z}_n можно рассчитать

как время, когда влажность W станет равной критической предполивной влажности $W_{кр}$

$$\tilde{z}_n = \frac{C_z \frac{W_{NB} - W_0}{W_{кр} - W_0}}{K_z} \quad (4)$$

Выражение (4) имеет смысл при $W_{кр} > W_0$.

Учитывая, что связь между оросительной нормой (M) и влагозапасами (W) можно выразить в

следующем виде:

$$M = M_{opt} \frac{W - W_0}{W_{opt} - W_0}, \quad (5)$$

где- M_{opt} биологически оптимальная оросительная норма,

W_{opt} - биологически оптимальная величина влажности почвы.

Влажность почвы при заданной оросительной норме рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{M}{M_{opt}} (W_{opt} - W_0) + W_0 \quad (6)$$

Подставляя выражение (6) в уравнение (3), получим уравнение, описывающее изменение продуктивности от оросительной нормы или функцию, эффективности орошения

$$S = \left[\frac{(W_{opt}^* - W_0) \frac{M}{M_{opt}} + W_0}{W_{opt}^*} \right]^{\gamma^* W_{opt}^*} \times \left[\frac{1 [W_{opt}^* - W_0] \frac{M}{M_0} + W_0}{1 - W_{opt}^*} \right]^{\gamma^* (1 - W_{opt}^*)} \quad (7)$$

где W_{opt}^* - эффективная оптимальная влажность за период вегетации,

γ^* - эффективный коэффициент саморегулирования.

Величины W_{opt}^* и γ^* получаются при осреднении зависимости $S(\bar{w})$ за вегетационный период.

Нетрудно видеть, что зависимость (7) имеет вид параболы с максимумом при значении $M = M_{opt}$.

Конкретные расчеты показали, что, начиная с некоторого значения $M = M_{эф} \approx 0,5 M_{opt}$, существенное увеличение оросительных норм (иногда в два раза) приводит к незначительному (на 10-15%) увеличению продуктивности. Это дает возможность рассчитать эффективную оросительную норму, исходя из конкретных технике—экономических условий.

Литература

1. Шабанов В.В. Биоклиматическое обоснование мелиорации. Л.: Гидрометеиздат, 1973.
2. Шабанов В. В. Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет. Л.: Гидрометеиздат, 1981.

РАСЧЕТ ПРОЕКТНОГО РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ НА ОСУШАЕМЫХ НИЗИННЫХ ТОРФЯНИКАХ.

При дождевании сельскохозяйственных культур на осушаемых землях с грунтовым типом питания их урожайность определяется как режимом поливов, так и режимом грунтовых вод. Для получения устойчиво высоких урожаев влажность почвы и грунтовые воды должны поддерживаться в оптимальных пределах.

Максимальные урожаи основных культур полевого севооборота (зерновых, картофеля, многолетних трав) на орошаемых глубокозалежных торфяниках имеют место при средней за вегетацию влажности почвы 0,7-0,85 от полной влагоемкости и залегании грунтовых вод в период активной вегетации на глубине 0,9-1,1 м.

При такой глубине грунтовых вод осадки и поливы практически полностью расходуются на суммарное испарение, а водообмен почвенных и грунтовых вод компенсируется (объем капиллярного подпитывания за вегетацию равен инфильтрации влаги в грунтовые воды).

Изменение режимов осушения и орошения приводит к закономерным изменениям водообмена в зоне аэрации и связанных с ними воздушного, падевого и теплового режимов почвы /1/.

Увеличение влажности почвы или снижение грунтовых вод по сравнению с оптимальными пределами вызывает нисходящие токи почвенной влаги, которые вымывают элементы минерального питания (особенно азота и калия) из почвы и понижают ее температуру, что способствует снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

Понижение влажности почвы и подъем грунтовых вод (до 0,7 м и выше) вызывают преобладающие восходящие токи влаги в зоне аэрации, понижающие температуру почвы и снижающие урожай.

По графикам (рис 1) можно определить потери урожая за счет отклонения влажности почвы и уровня грунтовых вод от оптимальных

пределов и использовать затем эти данные для технико-экономического обоснования параметров осушительно-увлажнительных систем.

При проектировании дополнительного увлажнения осушаемых земель с грунтовым типом питания в расчетах оросительных норм необходимо учитывать величину водообмена почвенных и грунтовых вод, которая может, как уменьшать (при капиллярном подпитывании снизу), так и увеличивать (при инфильтрационных сбросах почвенных вод в грунтовые воды) оросительную норму. Интенсивность водообмена зависит от водно-физических свойств почвы, глубины залегания грунтовых вод и уровня регулируемой влажности почвы.

Суммарную величину водообмена g , между почвенными и грунтовыми водами, за расчетный период T в условиях орошения можно вычислить по формуле /2/:

$$g = K_1 \left(\frac{\theta^{\lambda} - e^{-\lambda}}{1 - e^{-\lambda}} \right) \cdot T, \quad (1)$$

где $\theta = \frac{W_{ep} - W_0}{ПВ - W_0}$, $\lambda = \alpha \cdot \mu \left(\Delta - \frac{x_0}{2} \right)$,

+g - подпитывание,

-g - инфильтрационный сброс,

K_1 - коэффициент влагопроводности почвы при влажности, равной полной влагоемкости ПВ, вычисляется по формуле Аверьянова С.Ф.:

$$K_1 = K_{\varphi} \left(\frac{ПВ - W_0}{\sigma - W_0} \right)^{\lambda}, \quad (2)$$

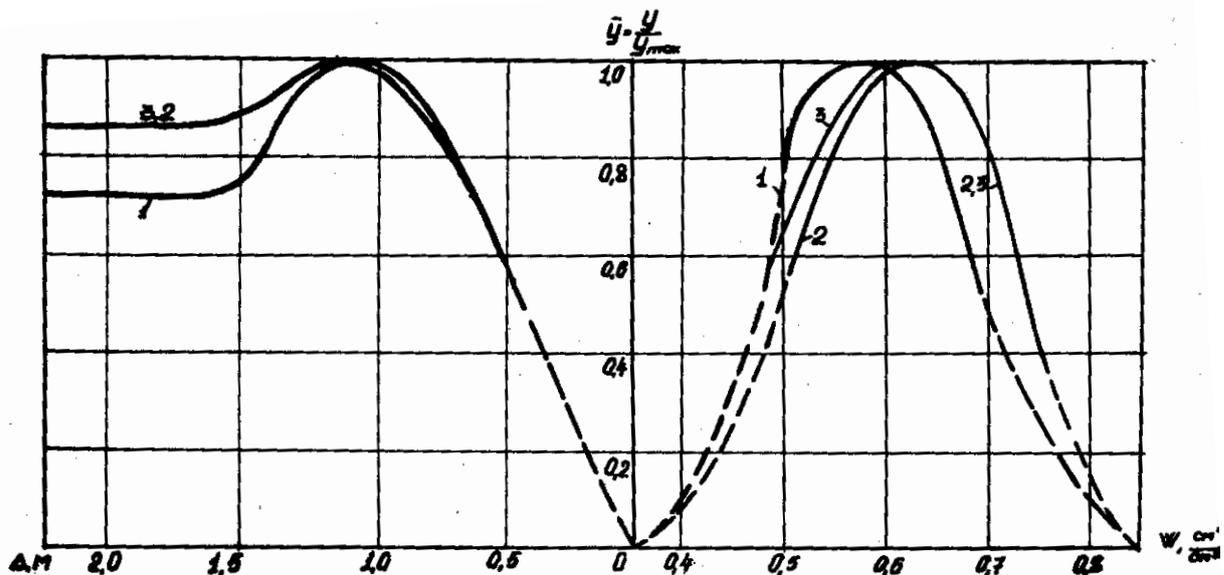


Рис. 1. Зависимость относительной урожайности сельскохозяйственных культур (\bar{y}) от глубины грунтовых вод (Δ) и средней за вегетацию влажности почвы ($W_{ср}$) при орошении низинного торфяника: 1 - яровая пшеница, 2 - картофель, 3 - многолетние травы

где $K_{ф}$ - коэффициент фильтрации, σ - пористость, W_0 — максимальная молекулярная влагоемкость, в среднем $W_0 = (0.5...0.6)ПВ$, n - показатель степени в формулах (1) и (2). Обычно $n = 3,5$ для минеральных почв, $n = 5$ для торфяных почв,

$W_{ср}$ - средняя за сезон проектная влажность в расчетном, слое почвы $[0, X_0]$, Δ - глубина грунтовых вод от поверхности почвы, T - продолжительность вегетационного периода, X_0 - мощность слоя почвы, в котором находится основная масса корней (на торфяниках для культур полевого севооборота обычно принимают 0,5 м для зерновых, 0,45 м - для картофеля и 0,3 м - для многолетних трав), a - коэффициент, зависящий от капиллярных свойств почв.

Величина a вычисляется по формуле А. Гарднера:

$$a = \frac{1}{P_{ср}} \rho_L \frac{ПВ - W_0}{W_{ср} - W_0}, \quad (3)$$

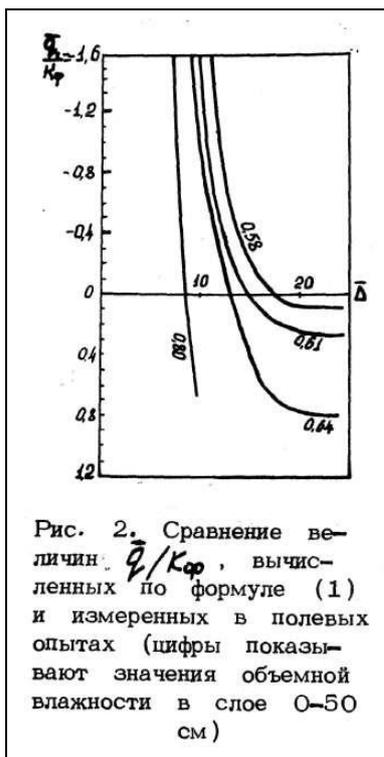
где $P_{ср}$ - величина капиллярного давления (м водяного ст. по абсолютной шкале), соответствующая влажности $W_{ср}$. При отсутствии

экспериментальных данных о зависимости капиллярного давления P от влажности почвы расчет a можно выполнить по формуле:

$$a = 3.3 \text{ вт} \frac{ПВ - W_0}{ППВ - W_0}, \quad (4)$$

где ППВ - предельная полевая влагоёмкость в слое 0-50 см.

При вычислении по формуле (1) величины капиллярного подпитывания (со знаком плюс) при близком залегании грунтовых вод (0,6 м и выше) следует ограничить расчетную интенсивность подпитывания $\bar{q} = \frac{q}{T}$ предельными значениями, соответствующими интенсивности суммарного испарения \bar{E} при высоком увлажнении почвы (испаряемости). Это связано с тем, что при близких грунтовых водах невозможно поддерживать дождеванием заданную влажность почвы, так как она возрастает по мере подъема грунтовых вод. Интенсивность подпитывания g , приближается к максимальной величине E , равной испаряемости.



Рассчитанные по уравнению (1) графики изменения интенсивности водообмена g в зависимости от глубины грунтовых вод Δ и влажности почвы W_{cp} в слое $X_0 = 0,5$ м показаны на рис. 2. Установленные в опытах параметры уравнения (1) – $K_1 = 0,26$ м/сут, $n = 6,48$, $W_0 = 0,45$, $\sigma = 0,85$, $ПВ = 0,78$, $a = 0,928$ 1/м. Максимальная высота капиллярного подъема $h_k = 0,8$ м.

Исследования показывают, что в условиях орошения, осушаемых земель величины потоков влаги за достаточно длительные промежутки времени (пентады, декады и тем более за вегетацию в целом), проходящие через нижнюю границу расчетного слоя почвы (0-50 см) и через поверхность грунтовых вод практически одинаковы.

Иначе говоря, между нижней границей расчетного слоя почвы и поверхностью грунтовых вод имеет место 'транзитная' зона, в которой за эти отрезки времени не происходит существенного изменения влагозапасов

/3/. Поэтому уравнение (1) может быть использовано для расчета величины водообмена g между почвенным слоем $[0, X_0]$ и нижележащими слоями. Тогда оросительную норму O_p можно вычислить по уравнению водного баланса расчетного почвенного слоя $[0, X_0]$:

$$O_p = \delta \bar{W} \pm q + \gamma E_0 - \alpha D_c, \quad (5)$$

где $\delta \bar{W} = (W_{ср} - W_H) K_5$ — использование весенних запасов влаги, W_H — начальная влажность почвы, E_0 — суммарное испарение, рассчитываемое по рекомендованной для данного района методике, γ — коэффициент, учитывающий изменение E_0 в зависимости от глубины грунтовых вод. Значения этого коэффициента определены нами на основании многолетних полевых исследований (см. таблицу).

Поправочный коэффициент γ к расчету водопотребления для учета глубины понижения грунтовых вод

Культура	Значение γ при глубине грунтовых вод Δ		
	1,5 м и более	1,0 м	0,5 м
Яровая пшеница	1,0	1,3	1,15
Картофель	1,0	1,2	1,2

Многолетние травы	1,0	1,0	0,8
----------------------	-----	-----	-----

Глубина грунтовых вод задается по зависимости (1) с учетом уровня урожайности культур. Положение грунтовых вод в летний период следует дополнительно проверить расчетами с учетом естественного их питания (боковой приток или напорное питание), интенсивности водообмена g , и водоотводящей способностью дренажа.

В уравнении (5) O_c - осадки. Коэффициент α учитывает долю осадков, поступающих на поверхность почвы и впитывающихся в нее, по сравнению с данными измерений осадков на метеостанции [4]. Для торфяных почв $\alpha = 0,9—0,95$. На минеральных почвах в случае образования стока α уменьшается.

Ориентируясь на проектную урожайность и выбрав предварительно оптимальную влажность W_{cp} и пределы ее изменения $W_1 \div W_2$, можно определить поливную норму по формуле:

$$m \leq 2X_0 (W_2 - W_{cp}), \quad (6)$$

где X_0 - мощность расчетного слоя, мм,

W_2 и W_{cp} - верхний предел и середина диапазона регулирования влажности почвы (в объемном выражении) соответственно. Диапазон регулирования влажности почвы принимают на торфяных почвах обычно равным около 10%, т.е. если принять $W_{cp} = 0,60 \text{ см}^3 / \text{см}^3$, то нижний (W_1) и верхний (W_2) пределы ее изменения равны соответственно 0,55 и 0,05 $\text{см}^3 / \text{см}^3$. Более узкий диапазон регулирования влажности уменьшает поливную норму. При этом возрастает число поливов, что практически осуществимо только в условиях автоматизации полива. Увеличение же поливной нормы ограничивается впитывающими и водоудерживающими свойствами почвы. Поливные нормы для поддержания оптимальной влажности не должны превышать на глубоких торфяниках 40-50 мм.

Определив число поливов $n = O_p / m$, распределяют их по месяцам вегетации в соответствии с дефицитом испарения ($E_0 - O_c$).

Очевидно, что при таком подходе условно предполагается, что осадки равномерно распределены в течение вегетационного периода. Поэтому рассчитанная оросительная норма является, возможно, несколько заниженной по сравнению с необходимой для восполнения доли "неэффективных" осадков, выпадающих сверх "нормы" в дождливые периоды и не используемых растениями. Однако, следует отметить, что предлагаемые в настоящее время методики расчета проектных режимов орошения /4/, основанные на подекадных водно-балансовых расчетах для года с заданной водообеспеченностью, по-видимому, не дают значительного преимущества перед предложенным здесь подходом. Недостатком таких методик является не столько сложность расчетов, сколько неопределенность в выборе характера распределения осадков в течение вегетации, так как в годы с одинаковой обеспеченностью осадки могут быть распределены различным образом.

Литература

1. Никольский Ю.Н. Взаимосвязь между водным, газовым, тепловым и пищевым режимами осушаемых земель с грунтовым типом питания. В сб.: "Комплексные мелиорации". Труды ВАСХНИЛ, М., 1980.
2. Nikolski Yu.N. Dependence of irrigation requirements on water – table depth in drained lands agr. Water Manag., №1, 1977.
- 3 Голованов А.И, Паласиос О. Взаимодействие между почвенными и грунтовыми водами. Труды МГМИ, т- 63, вып. "Сельскохозяйственные мелиорации". М.: МГМИ, 1979.
4. Методические указания и программы для ЭВМ по проектированию водного режима осушаемых земель на основе режимных водобалансовых расчетов. Минск: БелНИИМиВХ, 1980.

ПОТЕРИ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ИНФИЛЬТРАЦИИ ОСАДКОВ И ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ¹⁾

Дополнительное увлажнение бедных питательными веществами дерново-подзолистых почв легкого и среднего механического состава может привести к еще большей их деградации при инфильтрации осадков и поливной воды, загрязнению окружающей среды, а также потерям урожая.

Цель настоящей работы заключается в экспериментальных исследованиях зависимости концентрации почвенного стока от его величины и исходного содержания питательных веществ в почве для оценки их вымывания при известной величине стока.

В полевых опытах в совхозе «Лесное» Минской области БССР по совместному регулированию водного и пищевого режимов и составлению баланса питательных веществ при культуре многолетних трав на дерново-подзолистых супесчаных почвах получена зависимость потерь азота от водного режима корнеобитаемой зоны. Варианты между собой различались диапазоном поддерживаемой влажности почвы. Доза внесения азота 120 кг/га была одинаковой для всех вариантов опытов (табл. 1).

Водный баланс и баланс азота (нитратного и аммиачного) были рассчитаны для слоя 0-50 см за период формирования III укоса многолетних трав 1980 г. Из табл. 1 видно, что потери азота зависят от средней за период влажности почвы и величины стока. Интересно отметить, что наблюдается самая большая концентрация азота в стоке на неорошаемом варианте 3, что можно объяснить меньшей величиной самого стока.

Таблица 1

Зависимость концентрации минерального азота в стоке от водоподачи, средней влажности почвы и величины стока

Характеристики	Варианты		
	1	2	3
Водоподача (осадки + поливы), мм	63,6	55,6	34,8

Средние влагозапасы за период составления балансов в долях от НВ в слое 0-50 см	0,73	0,75	0,57
Сток (по балансу), мм	31	36	14
Урожай сухого вещества, кг/га	37,5	35,8	24,9
Вынос азота урожаем,	89,3	85,2	59,3
Потери азота, кг/га (по балансу)	24,1	53,4	25,1
Потери азота на 1 мм стока, кг/га	0,78	1,49	1,79

1) Работы выполнялись при участии и консультации Шабанова В. В.

Более точные замеры стока в таких исследованиях дают опыты при промывке колонок. Изучение зависимости концентрации почвенного стока от его величины и исходного содержания питательных веществ проводилось в лабораторных условиях на монолитах супесчаной дерново-подзолистой почвы в испарителях ГГИ-500-50. Монолиты почвы были отобраны на 9 вариантах опытов с различными дозами удобрений и режимами орошения. До начала эксперимента в монолитах послойно было определено исходное содержание

NO_3 , NH_4 , P_2O_5 и K_2O . Потом колонки насыщались дистиллированной водой и промывались. В каждом 10 мм стока определялось содержание NO_3 , NH_4 , P_2O_5 , и K_2O .

Работы по промывке монолитов проводились при температуре $+2,5...+4^\circ\text{C}$, чтобы затормозить процессы нитрификации в почве.

Частота отбора проб стока производилась в зависимости от скорости фильтрации, которая в среднем при промывке достигала величины 0,32 м/сут. Результаты промывок колонок почвы, взятых на различных вариантах увлажнения и удобрения многолетних трав, приведены в табл. 2 и на рис. 1...4. Анализ данных показал, что концентрация нитратов в стоке намного выше других элементов. Таким образом, количество вымытых элементов зависит от величины стока и начального содержания их в почве (см. рис. 1...4).

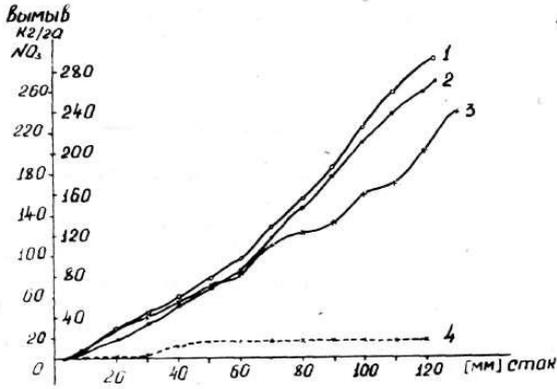


Рис. 1. Зависимость количества вымытых нитратов (NO_3 кг/га) от величины стока при различном начальном их содержании (Z_H кг/га NO_3) в слое 0-50 см: 1 - 1741 кг/га, 2 - 2522 кг/га, 3 - 737 кг/га

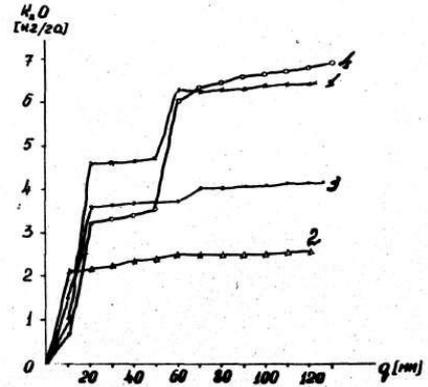


Рис. 4. Зависимость количества вымытого K_2O (кг/га) от величины стока при различном начальном его содержании (Z_H кг/га K_2O) в слое 0-50 см: 1 - 216 кг/га, 2 - 347 кг/га, 3 - 967 кг/га, 4 - 1867 кг/га

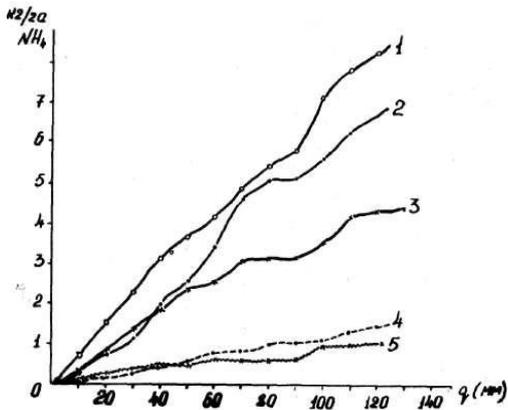


Рис. 2. Зависимость количества вымытого аммиачного азота (NH_4 кг/га) от величины стока при различном начальном его содержании (Z_H кг/га NH_4) в слое 0-50 см: 1 - 648 кг/га, 2 - 133 кг/га, 3 - 140 кг/га

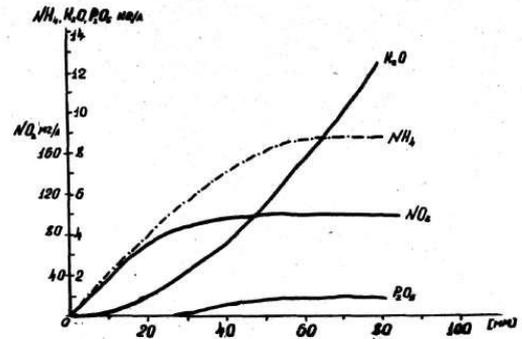


Рис. 5. Зависимость концентрации стока (мг/л) от величины стока (мм) при промывке после внесения $N_{100} P_{205} K_{20} 190$

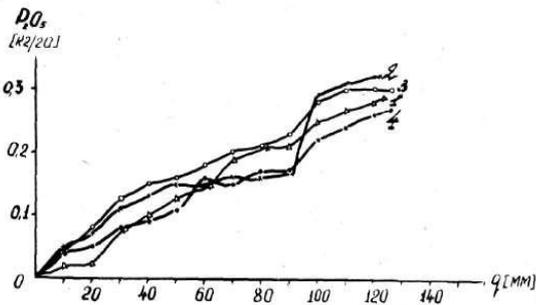


Рис. 3. Зависимость количества вымытого P_2O_5 (кг/га) от величины стока при различном начальном его содержании (Z_H кг/га P_2O_5) в слое 0-50 см: 1 - 282 кг/га, 2 - 447 кг/га, 3 - 572 кг/га, 4 - 1503 кг/га

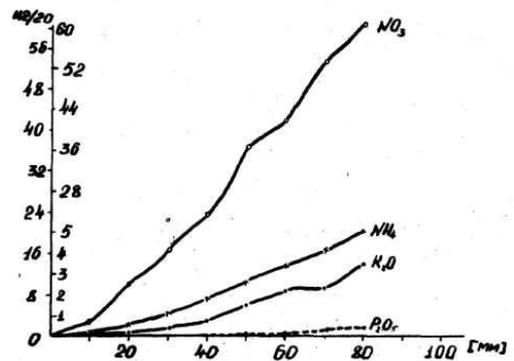


Рис. 6. Зависимость количества NO_3 , NH_4 , K_2O и P_2O_5 кг/га от величины стока (мм) при промывке колонки после внесения $N_{100} P_{205} K_{20} 190$

После промывки вновь было определено содержание питательных веществ в колонках. Затем на поверхность монолитов (Глубина 2 см) были внесены минеральные удобрения в виде аммиачной селитры из расчета 100 кг/га N, суперфосфата - 190 кг/га P₂O₅ и хлористого калия 190 кг/га K₂O. После чего вновь была проведена промывка монолитов дистиллированной водой и определены концентрации основных питательных веществ в выходном растворе (рис. 5, 6).

Графики (см. рис. 5, 6) показали, что с начала промывки наблюдается увеличение концентрации элементов в стоке до определенного (разного для каждого элемента) предела, а потом - наблюдается стабилизация концентрации на определенном уровне. По-видимому, крутая часть кривой обозначает зоны растворения элемента, а плоская - зону вымыва.

Таблица 2

Влияние исходного содержания элемента в почве на концентрацию их в стоке

Начальные запасы элемента в слое 0-50 см, кг/га:									
N - NO ₃	570	394	167	3,2	12,1	13,0	7,7	226	21
N - NH ₄	503	103	109	95	39,1	52,1	25,5	44,6	42,2
P ₂ O ₅	621	746	1555	1503	572	677	447	282	449
K ₂ O	892	873	1868	967	220	216	153	399	347
Сток, мм	124	123	131	126	127	123	121	124	122
Вымыв элемента стоком, кг/га:									
NO ₃	267	289	237	15	0,8	1,1	1,1	4,9	0,2
NH ₄	8,47	6,90	4,42	1,53	0,94	0,52	0,83	0,86	1,06
P ₂ O ₅	0,15	0,18	0,20	0,27	0,30	0,21	0,32	0,29	0,25
K ₂ O	1,15	1,27	6,87	4,15	0,63	6,45	2,32	2,29	2,59
Вымыв N-NO ₃ , кг/га	60,3	65,3	53,6	3,4	0,18	0,25	0,25	1,11	0,05
Вымыв N-NO ₃ , кг/га на I мм стока	0,486	0,531	0,409	0,027	0,001	0,002	0,002	0,009	0
Вымыв N-NH ₄ , кг/га	6,57	5,35	3,43	1,19	0,73	0,40	0,64	0,67	0,82
Вымыв N-NH ₄ , кг/га на I мм стока	0,053	0,043	0,026	0,009	0,006	0,003	0,005	0,005	0,007
Вымыв N(NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻), кг/га	66,87	70,65	57,03	4,59	0,91	0,65	0,89	1,78	0,87
Вымыв N(NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻), кг/га на I мм стока	0,539	0,574	0,435	0,036	0,007	0,005	0,007	0,014	0,007

Если промывку вести дальше, концентрация должна уменьшаться (зона опреснения). Как видно, стабилизация концентрации NO₃ наступает уже при стоке 25-30 мм, NH₄ и P₂O₅ - 50 мм, а для K₂O - более 90 мм.

К сожалению, аналитическое решение задачи солепереноса в условиях неполного насыщения является очень сложным и трудным, так как до сих пор не до конца выяснена теория формирования запасов питательных веществ. Кроме того, в аналитических уравнениях солепереноса основную роль играют эмпирические коэффициенты, которые можно получить только путем лабораторного, лабораторно-полевого или полевого эксперимента.

Выводы.

1. В представленных выше результатах полевых и лабораторных исследований результаты, полученные при неполном насыщении почвогрунта, точнее отражают естественные условия и поэтому представляют больший интерес.

2. Концентрация минерального азота в стоке во всех опытах превышает в несколько раз допустимую норму содержания минерального азота в питьевой воде 10 мг/л (0,1 кг/га на 1 мм стока) и вызывает опасность загрязнения природных вод.

3. На интенсивно использованных сельскохозяйственных полях (высокий уровень агротехники высокие дозы удобрений, регулирование водного режима) концентрация азота в дренажном стоке в среднем составляет 0,2-0,4 кг/га на 1 мм стока. В периоды интенсивного процесса нитрификации (в основном летом) концентрация намного превышает эту величину, достигая уровня 1,5-1,8 кг/га на 1 мм стока (см. табл. 1).

4. При промывке колонок (полное насыщение) концентрация азота в стоке составляет 0,4-0,6 кг/га на 1 мм стока. Результаты этих исследований могут быть использованы для оценки потерь питательных веществ из пахотного слоя почвы, когда после внесения удобрений на влажную почву выпадут естественные осадки, и, вымыв питательных веществ, может быть резко увеличен.

Литература

1. Беяева Т. В. Региональные проблемы использования природных ресурсов в орошаемой земледелии США. М.: ВНИИТЭИСХ, 1979.

2. Кук Д. У. Регулирование плодородия почвы. Пер. с англ. М. Колос, 1970.

3. Хвощева Б.Г. Накопление нитратов в продукции растениеводства и водоисточниках. М.: ВНИИТЭИСХ, 1979.
- 4- Смирнов Н. Н. Повышение эффективности применения удобрений в орошаемом земледелии. М.. ВНИИТЭИСХ, 1979.
5. Сони́на К.И., Мельникова М.Н. Изучение потерь элементов питания растений из почвы. М.: ВНИИТЭИСХ, 1979.
6. Шконде Э.И., Благовещенская З. К. Проблема потерь питательных веществ в интенсивном земледелии. Сельское хозяйство за рубежом, 1979, № 2. . т,
7. Borowiec S.i in – Migracja składników mineralnych gleb Niziny Szrecinskicy. Pwn Warszawa – Poznan 1978.
8. Rebowska Z. Ruszkowska M I inni – Bilans Składników pokarmowych w doświadczeniu litymetrycznym w warunkach intensywnej nawożenia i nawadniania. ZPPNR 1978. 199.
9. Prymancka H. – Badania nad wartością związków biogenych w odpływach z pól zmeliorowanych. GOSP Wadna, №101, 1978.

И.С. Костюков,

В.М. Лавриченко

ВЫМЫВ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ЗОНЫ АЭРАЦИИ МОЩНОГО НИЗИННОГО ТОРФЯНИКА И ЕГО СРАБОТКА ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

Возрастающие масштабы применения в сельскохозяйственном производстве минеральных удобрений обуславливает повышенное внимание в настоящее время к изучению вопросов вымыва питательных веществ из почвы. Потери их с дренажным стоком снижают эффективность доз вносимых удобрений и планируемые урожаи, создают угрозу загрязнения водоемов на мелиорированных территориях. Особую актуальность приобретают эти проблемы при комплексных мелиорациях торфяных почв и их интенсивном использовании. Высокая потенциальная продуктивность торфяных почв предполагает поддержание высокого уровня влажности в корнеобитаемом слое на фоне оптимального осушения, что приводит не только к формированию промывного режима в зоне аэрации, но также создает благоприятные условия для минерализации органического вещества торфа, а оба эти процесса во взаимодействии приводят к интенсивной сработке торфяника.

Исследования проводили на мощном низинном торфянике "Лесное" при выращивании в последние 6 лет многолетних трав на сено. Средняя влажность почвы в слое 0-50 см поддерживалась равной 0,6 (0,55-0,65) см³/см³, УГВ - 0,9...1,1 м. Дополнительное увлажнение осуществлялось дождеванием. Урожай сена составляли 90... 110 ц/га.

Длительные, наблюдения (13 лет) показали, что дневная поверхность участка снижается в среднем с интенсивностью 1,8... 2,2 см в год. Более детальное, рассмотрение вопроса сработки с помощью составления баланса органического вещества показало, что его потери составляют в среднем за этот период 1,57 т/га/г., что соответствует снижению 0,16 см/г. или 10... 13% от общего снижения, остальное происходит за счет физического уплотнения торфа. Анализ литературных и экспериментальных данных за 1913-1979 гг. по 16 объектам в 10 районах БССР показал, что на

мелиоративных торфяных почвах дефицит годового баланса торфа составляет от 2 до 16 т/га /1/. Специальные опыты на Полесской опытной болотной станции показали, что ' при среднем ежегодном снижении в 2,9 см на долю уплотнения массы приходится 83%, т.е. 2,4 см, на долю сработки приходится 17%, т.е. 0,5 см /2/.

При минерализации 1,57 т/га органики и содержании общего азота в торфе массива "Лесное" 3,4% высвобождается 53,4 кг/га доступного для растений азота, который может частично теряться в газообразной форме и при интенсивном водном обмене с грунтовыми водами загрязнять воды открытых водотоков и водоемов.

Наблюдения за концентрацией питательных веществ в дренажном стоке участка "Лесное" показывают, что в целом загрязнения открытых вод участка не происходит (табл. 1).

Таблица 1

Концентрации элементов питания в дренажных водах

Ион	Средняя за 1976-79 гг. концентрация в вегетационные периоды, мг/л	Пределы изменения средней за вегетацию концентрации, мг/л	ПДК з
NO_3^-	1,08	0,88-4,16	10,0
NH_4^+	0,32	0,1-0,55	2,0
K^+	2,92	1,88-3,61	50,0
P^-	0,18	0,04-0,34	-

Однако в отдельные короткие периоды 1...2 дня фиксировались концентрации,, значительно превышающие ПДК в основном по NH_4^+ , концентрация которого может достигать 13,6 мг/л (1979 г.). Следует отметить также, что торфяник "Лесное*" имеет грунтово-напорное питание, т.е. инфильтрационные воды разбавляются в дренажной системе более чистыми напорными подземными водами и, таким образом, концентрация в них питательных веществ снижается. Можно предположить, что при преимущественно атмосферном питании концентрации питательных веществ в дренажном стоке будут значительно выше и вероятность превышения ПДК возрастет, что будет представлять угрозу для

окружающей среды. В табл. 2 приведены средние... объемы вымыва питательных веществ с 1 га территории участка.

Отмеченные факты говорят в пользу создания водооборотных систем, сбрасывающих дренажную воду не прямо в водоприемник, а через пруд-накопитель, откуда она используется для нужд орошения. Это дает возможность сгладить пики концентраций и избежать загрязнения водоприемника, а также возвратить часть вымытых веществ в почву в процессе поливов.

Таблица 2

Объем вымыва питательных веществ с дренажными водами

Элемент	Вынос в среднем за 1 г., кг/га	Пределы изменения выноса 1976-1979 гг., кг/га
N	14,9	3,83-19,06
K	41,22	26,54-50,96
P	2,54	0,55-4,81

Расчеты с использованием полученных данных показывают, что в водооборотной системе с поливом может быть возвращено в почву до 27% вымытого азота и до 18% калия.

Литература

1. Бамбалов Н-Н. Проблемы биохимии почв. Тезисы докладов научной конференции. Минск: Институт торфа АН БССР, 1981.
2. Скоропанов С. Т., Белковский В.И., Брезгунов В.С. Беречь и умножать плодородие торфяников. Минск: Ураджай, 1976.
3. Указания по изучению и определению выноса минеральных, органических веществ и ядохимикатов дренажными и грунтовыми водами с мелиорируемых земель. Минск: БелНИИМиВХ, ИТ АН БССР, ИГиГ АН БССР, ЦНИИКИВР, БелНИИПА, БГУ, 1980.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА РЕЖИМА КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ САДОВ В УСЛОВИЯХ МОЛДАВИИ

В процессе формирования водного режима почвогрунтов при орошении обычно различают две фазы передвижения оросительной воды в почве: 1 - инфильтрация - процесс впитывания воды в почву со стороны ее свободной поверхности, 2 - перераспределение влаги в почве по профилю почвогрунтов после прекращения полива.

Этот процесс происходит в условиях испарения с поверхности почвы, транспирации влаги и растениями и влагообмена с нижележащими слоями.

До настоящего времени теоретические исследования передвижения влаги при капельном орошении в почве связаны только с изучением первой фазы инфильтрации оросительной воды в почву. Тем не менее, процесс перераспределения почвенной влаги в межполивной период определяет режим полива на орошаемых землях. В большинстве моделей /1/ не уделяется должного внимания строению корневых систем, влиянию испаряемости на относительную транспирацию.

Корневая система растения не однородна. Различия в характере ее разветвления в распределении по глубине определяются генетическими факторами, способами сельскохозяйственной обработки почвы и особенностями питательной среды. На практике современные агротехнические методы недостаточно учитывают характерные особенности корней, уделяя главное внимание надземной части растения. Поэтому корневая система должна сама приспособливаться к агротехнике. Это же относится и к поливному режиму и методу, которые определяют (больше, чем любой другой почвенный фактор) развитие корневой системы.

Более того, программа полива, не учитывающая развитие корней, чаще всего приводит к перерасходу воды, а иногда и к гниению корней. Поэтому знание о распределении корней играет важную роль в проектировании системы полива, в расчетах времени и объектов подачи воды. Распределение корней на глубине более важно, чем сама максимальная глубина, поскольку, хотя корни не могут прорасти на глубину до нескольких метров, эффективная корневая зона яблони не более 1,5 м и значительная часть корней системы обычно концентрируется вблизи поверхности почвы. Вес корней нельзя назвать прямым фактором,

влияющем на их деятельность. Намного более важным показателем является их способность извлекать из почвы воды и питательные вещества.

Распределение воды в почве, орошаемой капельным способом, имеет исключительно важное значение с агротехнической точки зрения, поскольку оно определяет границы корневой зоны, а также концентрацию влаги и солей. Следовательно, очень важно приспособить ширину и глубину смоченной области к корневой системе таким образом, чтобы эта область соответствовала параметрам размещения корней данной сельскохозяйственной культуры. Особенностью капельного орошения является то, что вода входит в почву из точечного источника и распространяется затем во всех направлениях.

Это полностью отличается от того, что происходит во время атмосферных осадков, при орошении дождеванием, когда вода движется преимущественно в одном направлении, и определенный слой почвы увлажняется одновременно.

Соответственно корневая зона при капельном орошении ограничивается относительно небольшим объемом почвы под капельницей. Эта область будет увеличиваться по мере поступления влаги из источника и уменьшаться, если горизонтальное движение воды ограничено. В результате этого отмечаются значительные различия в темпах испарения и транспирации.

Для составления прогноза режима капельного орошения нами предложена математическая модель 1) - известное дифференциальное уравнение влагопереноса, где и учитывает физическое испарение и отбор влаги корнями при капельном орошении. Уравнение (1) решаем численным методом на ЭВМ:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = C \frac{\partial H}{\partial z} = \frac{1}{z} \frac{\partial}{\partial z} (K_z \cdot z \cdot \frac{\partial H}{\partial z}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial H}{\partial z}) - (\varphi_{1(z,z,z)} + \varphi_{2(z,z,z)}), \quad (1)$$

где φ_1 - физическое испарение, φ_2 - отбор влаги корнями, H - потенциал влаги (гравитационный капиллярный), C - влагоемкость почвы.

Граничные условия для уравнения (1) следующие:

а) на оси симметрии поток влаги принимаем равным нулю

$$\frac{\partial H}{\partial z} = 0 \quad \text{при } z=0; \quad 0 \leq z \leq \bar{z}; \quad 0 \leq \tau \leq T; \quad (2)$$

б) на боковой границе

$$\frac{\partial H}{\partial z} = 0 \quad \text{при } z=R; \quad 0 \leq z \leq \bar{z}; \quad 0 \leq \tau \leq T; \quad (3)$$

в) на нижней границе

$$H = H_{\text{усред}} \quad \text{при } 0 \leq z \leq R; \quad z > \bar{z}; \quad 0 \leq \tau \leq T; \quad (4)$$

г) во время полива

$$H = SL \quad \text{при } z=0; \quad z \leq \rho; \quad 0 \leq \tau \leq T; \quad (5)$$

$$\frac{\partial H}{\partial z} = 0 \quad \text{при } z=0; \quad z > \rho; \quad 0 \leq \tau \leq T; \quad (6)$$

где SL - слой воды у лужи, ρ - радиус лужи.

д) в межполивной период

$$\frac{\partial H}{\partial z} = 0 \quad \text{при } z=0. \quad (7)$$

Производительность капельницы обычно превышает инфильтрационные возможности почвы (непосредственно под ней). Следовательно, под капельницей образуется лужа, размер которой зависит от соотношения между производительностью капельницы и инфильтрационными свойствами почвы:

$$\pi \rho^2 = q/k, \quad (8)$$

где k - инфильтрационная характеристика, м/сут,

q - производительность капельницы, м³/сут, ρ

ρ - радиус лужи, м.

Для решения уравнения (1) необходимо для конкретного типа экспериментально определить зависимости капиллярного давления от влажности $P(W)$ и коэффициента влагопроводности от влажности.

Для прогноза режима орошения при капельном орошении в условиях МССР использовались метеоданные. Было установлено по экспериментальным данным в МССР, что доля водопотребления сада при

капельном орошении составляет от 10 до 40% от испарения с водной поверхности. Суточное испарение с водной поверхности рекомендовалось ранее рассчитать по следующей зависимости [2]:

$$E_0 = 0,0054 (t + 21)^{\alpha} (1 - a)^{\beta}, \quad (9)$$

где t - среднесуточная температура за этот период, °С,

a - среднесуточная влажность воздуха, доли. Формула (9) имеет структуру формулы И.Н.Иванова, однако параметры ее изменены. В общем случае формула Иванова Н.Н. может быть записана в виде

$$E_0 = A (t + B)^{\alpha} (1 - a)^{\beta} + M, \quad (10)$$

где A, B, α, β, M - параметры, определяемые по опытным данным.

Известно, что формула Иванова Н.Н. дает очень хорошие результаты для больших периодов усреднения, и в тоже время была предпринята попытка найти неизвестные параметры в формуле (10) по суточным данным метеостанции Кишёнэв за 12 лет общим объемом более 2900 членов. По тем же данным оценивалась и формула (9).

Специально составленная на языке Фортран IV ЕС программа 1SPRV реализовала метод наименьших квадратов в нелинейной системе. Для условий Кишинева получены следующие значения параметров : $A = 0,104$, $B = 15$, $\alpha = 1,226$, $\beta = 0,677$, $M = 0$, дающие минимум среднеквадратичного отклонения измеренных и рассчитанных величин испарения с водной поверхности.

Величина этого отклонения для суточных значений значительна $\delta_1 = 1,25$ мм, но она не отражает действительной точности формулы. Ее можно оценить по двум параметрам.

- 1, Коэффициенту множественной регрессии R , равному 0,74,
- 2, Среднеквадратичной погрешности:

$$\sigma = \sigma_1 \sqrt{1 - R^2} = 84 \text{ мм.}$$

3. Уравнению регрессии измеренных V и вычисленных значений X испарения.

$$Y = 1,07X + 0,03 \quad (R = 0,74). \quad (11)$$

Величина $Y - X$, т. е. ошибка выразится:

$$Y - X = 0,07X + 0,03, \quad (12)$$

т.е. разность вычисленных и измеренных величин не превосходит 7% от измеренных величин. По данной методике была оценена формула (9), Результаты следующие: $R = 0,59$; $\sigma_1 = 1,29$ мм, уравнение регрессии

$$\begin{aligned} Y &= 0,59X + 1,45, \\ Y - X &= -0,41X + 1,45. \end{aligned} \quad (13)$$

Существенной меньшей коэффициент корреляции дает $\delta - 1,04$ при 41%-ной относительной ошибке. При этом формула (13) показывает, что есть систематическая ошибка расчетов (1,45), кроме того, есть еще ошибка, зависящая от % (коэффициент 0,59). Поэтому для расчетов испарения с водной поверхности для условий Молдавии формула (9) не может быть рекомендована. Использовать следует формулу (10) с параметрами, указанными выше.

В уравнение (1) учтен отбор влаги корнями растений, который происходит в пределах контура увлажнения с удельной интенсивностью. Распределение интенсивности отбора корнями растений по глубине на какой-то момент времени пропорционально влажности почвы, поэтому в модели принята следующая зависимость интенсивности отбора влаги корнями растений /3-6/,

$$\bar{D}_i = \frac{E_k \cdot \varepsilon_i \cdot A \cdot F_g}{\sum \varepsilon_i \cdot A \cdot V_i}, \quad (14)$$

где $\varepsilon_i = W_i - W_z$,

W_i - средняя влажность в слое, W_z - влажность, E_k - интенсивность транспирации, A - активность корневого слоя, V_i - объем блока, N - число деревьев на гектаре, F_g - 10000/N.

Все рассмотренные выше вопросы нашли отражение в программе для ЭВМ ЕС-1033, разработка которой в настоящее время завершена. На ЭВМ типа ЕС-1050-1065 программа может вести полный прогноз водного режима за период вегетации. На меньших ЭВМ программа рассчитывает контуры увлажнения при поливе капельным способом. Впервые в мелиоративной практике используются оптимальные вариационные методы для решения подобных задач. В конечном варианте программы КАПЛИ (KAPLY) использован локально-оптимальный метод сопряжения поправок, что позволило сократить время расчета контуров увлажнения при учете корневой системы в 1,5 раза по сравнению с известной /7/ программой SLUGA при повышении качества и практического удобства решения.

Литература

1.

Brant A et al. Infiltration from a trickle source Soil. sci. Soc. Amer. proc., v. 35, 1971.

2

Szala G.A. Felmesztett növények vizigényeinek és az öntözés gyakorlatának meteorological vizsgálata - Növény Termelés, 1973, v. 22, 123.

3. Будаговский А.Н. Испарение почвенной влаги. М., Наука, 1964.

4. Козловский Т. Водный обмен растений. М.; Колос, 1969,

5. П е н м а х Х. Л. Растения и влага. Л.: Гидрометеиздат, 1968.

6.

*Gardner W.R. Agron. Jour. 1962
ENLIG C. F., v. 54 p.p. 453-456.*

7. Тезисы докладов всесоюзного симпозиума по капельному орошению. Кишинев, 15-18 сентября, 1981.

ФОРМИРОВАНИЕ ПИТАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА В ПРОЦЕССЕ ОСУШЕНИЯ

Исследования проводились в колхозе им. Кирова Калязинского района Калининской области на опытно-производственном участке НИС МГМИ, где почвы - дерново-среднеподзолистые сильно оглеенные в нижних горизонтах.

Осушительная система запроектирована в виде сети закрытого гончарного дренажа уложенного со следующими расстояниями между дренами:

вариант l , м

I..... 12

II..... 18

III.....24

IV.....30

при одинаковой средней глубине дрен $h_g = 1,0$ м.

В целях изоляции опытного участка от возможного притока поверхностных вод с прилегающих земель по границе участка проложен открытый канал, выполняющий функцию дренажного сброса и перехвата поверхностного стока.

На участке каждая дрена имеет открытый ход в магистральный канал. Это позволило контролировать величину дренажного стока, вынос коллоидной фракции, химический состав дренажных вод и др.

Генетические горизонты почвы опытного участка четко дифференцированы и носят типичный характер подзолообразовательного процесса. Горизонт A_1 , маломощный с темно-серой окраской и с комковатой структурой; горизонт A_2 - белесоватого цвета, легкий механический состав - плотное сложение, сильно оглеенный. Горизонты B_1 , B_2 очень плотные и оглеенные с крупно комковатой структурой, C - морена сильно карбонатная.

Содержание гумуса в горизонте A_1 составляет 1,67%, а в горизонте A_2 - 0,72%. Реакция почвенного раствора в верхних горизонтах составляет 5,5; а в нижних приближается к нейтральной ($pH = 6,1$).

Физические свойства почвы до осушения опытного участка приводятся в табл. 1, Как видно, значения удельной, объемной массы почвы увеличиваются сверху вниз по профилю почвы.

Физические свойства почвы, 1978 г.

Горизонты	Глубина, см	Масса, г/см ³		Пористость, %
		удельная	объемная	
A ₁	0-8	2,35	0,85	63,9
A ₂	8-20	2,52	1,42	44,0
B ₁	20-45	2,64	1,70	36,0
B ₂	45-70	2,66	1,75	34,0
C	> 90	2,67	1,69	37,0

Из табл. 1 видно, что почва обладает плохими механическими и водно-физическими свойствами, так как уменьшение пористости в почве - это результат уплотнения почвенных горизонтов, следствием которых будет уменьшение аэрации в почве, коэффициента фильтрации и т.д.

Анализ почвы до осушения показал, что почва очень бедна питательными элементами (табл. 2), Отбор проб почвы на анализ производили два раза за вегетационный период: в июне и сентябре 1978 г.

Таблица 2

Содержание питательных элементов в почве (мг на 100 г почвы), 1978 г.

Горизонты		I серия				II серия			
индекс	глубина, см	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O
A ₁	0-8	0,82	1,62	1,54	4,6	1,06	0,49	1,17	3,8
A ₂	8-20	0,87	1,09	1,54	2,3	1,09	0,83	1,47	2,6
B ₁	20-45	0,50	0,85	1,96	2,3	0,84	0,22	1,32	2,9
B ₂	45-70	0,48	0,22	2,30	2,5	1,07	0,18	1,27	3,4

В начале лета содержание аммиачного азота в почве колебалось от 0,82 в горизонте до 0,48 мг на 100 г почвы в горизонте B₂. С увеличением температуры почвы и воздуха увеличивается интенсивность микробиологического процесса, что приводит к накоплению в почве аммиачного азота к концу вегетационного периода (табл. 2, сер. II).

Обратная картина наблюдается с нитратным азотом в почве; к концу вегетационного периода содержание его уменьшается от 1,62 до 0,49 мг в

горизонте A_1 и от 0,85 мг до 0,22 мг на 100 г почвы в горизонте B_1 , Это связано с подвижностью и вымываемостью этой формы азота. Фосфорной кислоты и обменного калия в почве по всем горизонтам ничтожно мало и за вегетационный период их количество не очень изменяется.

Почва на опытном участке до осушения почти всегда находилась под водой. Следствие этого - слабое разложение растительных остатков (хотя их достаточно много в почве) и вынос их из верхних горизонтов в нижние слои почвы.

Характер сезонного изменения концентрации и химического состава почвенных растворов под разными фитоценозами отражает характер и динамику разложения растительных остатков в Нечерноземной зоне и зависит от гидротермического режима, общих запасов биомассы. При наличии достаточного увлажнения и оптимальных температур разложение растительных остатков протекает интенсивно и приводит к, увеличению концентрации биогенных элементов почвенного 1 раствора. Однако при избыточном увлажнении этот процесс сильно затормаживается.

Интенсивное преобразование ландшафтов на современном уровне под воздействием различных приемов мелиорации сказывается не только на почвах, но и в пределах геохимического ландшафта и присущей ему миграцией элементов и типов обмена веществ и энергии.

Анализ почвы на содержание питательных элементов проводили в процессе осушения почвы на опытном участке (табл. 3). Фон на опытном участке естественный - минеральные удобрения не вносились.

Из табл., 3 видно, что количество аммиачного азота в июне по профилю почвенного разреза колеблется в пределах 4-5 мг на 100 г почвы, в августе содержание его возрастает. Особенно это заметно в горизонтах A_1A_2 , где содержание NH_4 в июле составляло 4,2 и 4,3 мг, а в августе в этих же горизонтах его концентрация увеличивается до 5,9 и 5,8 мг на 100 г почвы соответственно.

Такая же картина наблюдается с нитратный азотом, то есть его концентрация в почве в июле ничтожно, мала, что связано с интенсивностью водоотвода дренами из опытного участка весной. Нитратный азот более подвижен и поэтому он интенсивнее вымывается из

почвы. Однако количество его в почве с наступлением высоких температур почвы и воздуха при оптимальной влажности резко возрастает, за счет усиления микробиологического процесса. Если нитратного азота в июле содержалось в почве 0,33-0,44 мг, то в августе его количество возрастает до 1,33-3,3 2 мг на 100 г почвы.

**Содержание питательных элементов в почве (мг на 100 г почвы),
1979 г.**

Гори- зонты	Июнь				Август				Октябрь			
	NH_4^+	NO_3^-	P_2O_5	K_2O	NH_4^+	NO_3^-	P_2O_5	K_2O	NH_4^+	NO_3^-	P_2O_5	K_2O
A ₁	4,2	0,33	1,08	5,5	5,9	3,32	2,25	4,3	4,5	2,31	1,94	5,1
A ₂	4,3	0,37	1,13	6,0	5,8	2,33	2,19	6,0	4,7	1,29	2,13	5,9
B ₁	4,7	0,39	3,19	8,5	4,9	2,26	2,48	6,8	5,3	2,22	2,63	7,1
B ₂	4,0	0,42	3,44	9,0	4,7	2,26	3,34	7,7	5,3	1,29	2,85	8,0
C	5,0	0,44	3,94	10,0	3,6	1,33	3,31	8,1	5,1	1,21	3,13	8,8
Сред- нее значе- ние А (А ₁ А ₂)												
Гори- зонты	4,25	0,35	1,15	5,8	5,9	2,83	2,22	5,2	4,6	1,80	2,04	5,5

Примечание. Отбор почвенных проб и анализы на N, P, K проводились в трехкратной повторности.

Как известно, основная масса азота в почве находится в различных органических соединениях растительных остатков и перегнойных веществ, недоступных растениям. Только около 1% азота содержится в минеральных соединениях. Поэтому нормальное обеспечение растений азотом зависит от скорости минерализации азотистых органических веществ. С уменьшением влажности и увеличением температуры в почве увеличивается интенсивность микробиологического процесса, что приводит к усилению процессов аммонификации и нитрификации (см. табл. 3).

Однако содержание аммиачного и нитратного азота к концу вегетационного периода (октябрь) несколько уменьшается.

Количество фосфорной кислоты в почве невелико, оно колеблется от 1,08 до 3,94 мг на 100 г почвы. В течение вегетационного периода содержание ее увеличивается (см. табл. 3, август, октябрь). В июле P_2O_5 в горизонтах А₁А₂ составляло - 1,15 мг, в августе - 2,22 мг, а в октябре - 2,04 мг на 100 г почвы, т.е. повышение концентрации фосфорной кислоты, составляет по отношению к июню 93,0%; 77,4%,

Причиной увеличения фосфорной кислоты в почве является выщелачивание фосфатов полуторных окислов в кислой среде под влиянием осушения и минерализации растительных остатков микроорганизмами. Количество обменного калия в почве в процессе осушения особенно не изменяется.

Из табл. 2 и 3 видно, что количество питательных элементов в почве в естественных условиях по сравнению с результатами до осушения и в процессе осушения резко возросли. Причиной большего формирования азота, фосфора и калия в почве является улучшение водного режима в процессе осушения, а это влечет за собой увеличение интенсивности микробиологического процесса и размещение растительных остатков в почве. Кроме того, при увеличении питательных элементов большую роль играют химические процессы, происходящие в почве при нормальных условиях влажности.

Таблица 4

Содержание питательных элементов в сточной воде и вынос их за вегетацию, 1979г.

Расстояние между дренажами, м	Площадь варианта, га	Суммарный сток за вегетационный период, м ³	Содержание питательных элементов в сточной воде, мг/л				Вынос их со сточной водой за вегетацию, кг			
			NH_4^+	NO_3^-	P_2O_5	K_2O	NH_4^+	NO_3^-	P_2O_5	K_2O
12	2,37	1095,4	22	50	4,0	28,3	24,1	54,8	4,4	31,0
18	2,08	718,4	18	44	5,0	21,2	12,9	31,6	3,6	15,2
24	2,55	545,4	26	30	2,0	21,3	14,2	16,4	1,1	11,6
30	2,38	92,4	23	4,0	2,0	18,2	2,1	3,7	0,2	1,7
Суммарный вынос азота и фосфора с площади	9,38	2451,6	-	-	-	-	53,3	106,5	9,3	59,5

Изучение формирования питательных элементов в процессе осушения включало в себя исследование выноса питательных элементов с дренажной водой при различных междренних расстояниях с одинаковой глубиной залегания.

Анализ сточной воды с опытного участка производился через 10 дней в течение вегетационного периода (табл. 4).

Установлено, что больше всего вымывается из почвы нитратный азот, калий и аммиачный азот, а меньше - фосфорная кислота. Суммарный вынос с опытного участка (площадь 9,38 га) за вегетационный период составил: нитратного азота - 106,5 кг; калия - 59,5 кг, аммиачного азота - 53,3 кг и фосфора - 9,3 кг (табл. 4).

Следует отметить, что больший вынос питательных элементов из почвы наблюдается при 12-метровом междренном расстоянии.

На опытном участке естественный травяной покров, характерный для Нечерноземной зоны и для подзолистых почв.

Изучение растительного покрова преследовало две цели: первая - установить в естественных условиях количество сырой и сухой массы, вторая - установить количество выносимых элементов с урожаем.

Анализы проводились в течение вегетационного периода два раза, полученные средние данные приводятся в табл. 5.

Анализ показывает, что урожайность: естественных трав в условиях гумидной зоны небольшая, колеблется в пределах от 27,5 до 82,0 ц/га сырой массы, и от 16,1 до 43,2 ц/га сухой массы.

Анализ растений на опытном участке показал, что естественные травы не только малоурожайны, но и обладают низкими питательными качествами (табл. 6).

Содержание золы в растениях колеблется от 3,66 до 10,15%, а каротина от 16 до 144,8 мг-кг сухого вещества. Среднее значение их по всем вариантам опытов составляет: золы - 6,67%, а каротина - 55,6 мг на 1 кг сухого вещества.

Питательных элементов в растениях содержится крайне мало: азота в среднем - 1,75%, фосфора - 0,63%, а калия - 2,7%. Этим и объясняется сравнительно небольшое количество выноса этих питательных элементов с урожаем (табл. 6).

Определение биологической массы на опытном участке, 1979 г.

Точки	Сырая масса		Количество воды в пробе, г	Влаж- ность, %	Сухая масса	
	кг/м ²	ц/га			кг/м ²	ц/га
1	0,415	42,0	186,0	81,2	0,229	22,9
2	0,360	36,0	172,5	92,0	0,188	18,8
3	0,275	27,5	114,7	71,5	0,161	16,1
4	0,550	55,0	293,8	114,6	0,256	25,6
5	0,820	82,0	387,9	89,7	0,432	43,2
6	0,510	51,0	261,0	104,8	0,249	24,9
7	0,715	71,5	373,5	109,3	0,342	34,2
8	0,560	56,0	221,0	65,0	0,339	33,9
	4,208	420,8	-	-	2,200	220
	0,526	52,6	-	91,0	0,275	27,5

Среднее значение полученных данных показывает, что с естественным травянистым покровом при укосе выносятся: азота - 48,5 кг, фосфора - 17,0 кг и калия - 76,6 кг с одного гектара.

Таким образом, в течение вегетационного периода из почвы выносятся азота, фосфора и калия растениями - 142,1 кг, а с дренажной водой - 228,6 кг с одного гектара, т.е. в почве происходит несбалансированный вынос питательных элементов за вегетацию в количестве - 370,7^{*)} кг/га.

Почвы опытного участка очень бедны питательными элементами, поэтому для получения высоких урожаев сена необходимо вносить минеральные удобрения. Прогнозы показывают, что расчет дозы удобрений на планируемый урожай необходимо увеличить в 1,5 раза с учетом выноса их с растениями и с дренажной водой, в противном случае урожай будет низким.

^{*)}Расчеты показывают количество действующего начала

Содержание питательных элементов в растениях и вынос их с урожаем

Точки	Содержание золы в пробах, %	Содержание каротина в сене, мг/кг	Содержание в растениях, %			Вынос с урожаем, кг/га		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	5,55	43,6	1,67	0,69	2,0	38,2	15,8	45,8
2	3,66	42,0	1,50	0,48	2,0	28,2	9,0	37,6
3	6,90	94,0	1,90	0,72	3,0	30,6	11,6	48,3
4	6,00	144,8	2,15	0,87	2,6	55,0	22,3	66,6
5	9,70	30,0	2,0	0,57	3,1	86,4	24,6	133,9
6	5,81	24,0	1,40	0,45	2,5	34,7	11,2	62,3
7	10,15	16,0	1,35	0,51	3,8	46,2	17,4	129,9
8	5,62	50,0	2,02	0,72	2,6	68,5	24,4	88,1
$\Sigma x =$	53,39	444,4	13,99	5,01	21,6	387,8	136,3	612,5
$\bar{x} =$	6,67	55,55	1,75	0,63	2,7	48,5	17,0	76,6

Выводы

1. В процессе осушения улучшаются физико-механические свойства почвы пахотного горизонта, резко увеличивается пористость и коэффициент фильтрации. Интенсивность микробиологического процесса возрастает от 3 до 10 раз.

2. Активность биологического процесса обуславливает увеличение концентрации в почве нитратного азота - в 3-7 раз; фосфора - в 1,4 раза и аммиачного азота - в 1,4 раза.

3. Вынос питательных элементов с дренажной водой увеличивается с уменьшением междренного расстояния. При 12 м суммарный вынос составляет - 114,3 кг, при 18 м - 63,3 кг; при 24 м - 43,3 кг и при 30 м - 7,7 кг за вегетационный период.

4. Вынос питательных элементов с урожаем в каждый укос составляет: азота - 48,5 кг; фосфора - 17,0 кг и калия - 76,6 кг на один гектар.

5. При осушении дерново-сильнопodzolistых среднесуглинистых почв за вегетационный период несбалансированный вынос всех питательных элементов составляет 370,7 кг действующего начала с одного гектара.

В.В.Шабанов,
Т.В.Пушкарева,
Ю.М.Землянов

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОДУЦИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМАМИ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ АЗОТА В ТОРФЯНО-БОЛОТНОЙ ПОЧВЕ

При разработке методов комплексного мелиоративного регулирования возникают большие трудности в описании закономерностей формирования пищевого режима почв. Наиболее сложным является установление количественных закономерностей функционирования микробиологических сообществ, так как необходимо описание не только видового и количественного состава различных групп микроорганизмов, но и оценка эффективности их функционирования.

Целью работы, проведенной в Проблемной лаборатории МГМИ и на кафедре микробиологии ТСХА, было установление указанных закономерностей.

Методика постановки экспериментов заключалась в следующем. Образцы торфяно-болотной почвы низинного типа выдерживались в термостатах в лабораторных условиях при различной влажности (20, 40, 55, 65, 80% от полной влагоемкости (ПВ) и температуре (15, 20, 25, 30, 35°C). По ботаническому составу торф древесно-осоковый, степень разложения 40-50%, содержание гумуса 64%, общего азота - 3,4%, pH_{KCl} 5,2-5,5. Почву инкубировали в течение 100 дней; через каждые 10 дней проводили микробиологические и химические анализы. В работе исследовали физиологические группы микроорганизмов! участвующие в мобилизации и иммобилизации азота почвы. Одновременно в образцах определяли содержание минерального азота почвы: аммиачного с реактивом Несслера и нитратного с дисульфо-феноловой кислотой.

В результате экспериментов были определены оптимальные гидротермические условия для развития изученных физиологических групп микроорганизмов¹⁾ и установлены изменения содержания азота ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$) в процессе проведения опыта.

Содержание минерального азота в зависимости от различных уровней влажности почвы и температуры показано ниже (табл. 1, рис. 1).

¹⁾ Пушкарева Т.В, Влияние мелиорации на микрофлору и азотный режим торфяно-болотной почвы низинного типа. Автореферат канд. диссертации. ТСХА, М., 1975. ^5

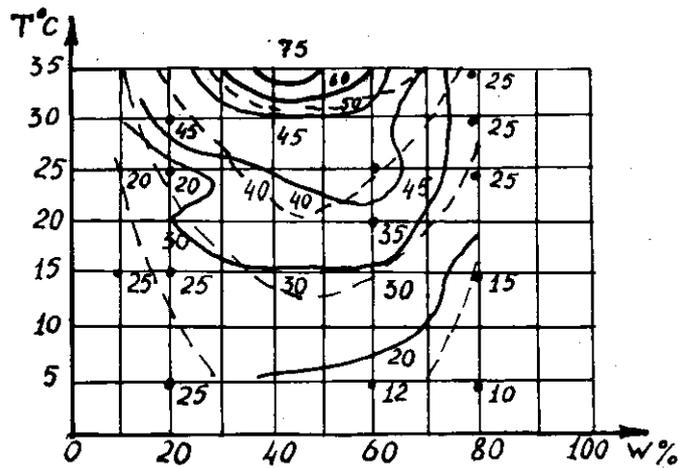


Рис. 1. Содержание минерального азота в почве при различных условиях температуры и влажности: — экспериментальные данные, - - - теоретические данные

Из табл. 1 видно, что результаты экспериментов сильно колеблются в абсолютных значениях. Эти колебания при повторении эксперимента приводят к тому, что в отдельных случаях результаты отличаются почти в два раза. Очевидно, использование абсолютных значений в качестве основы анализа можно скрыть присущие данному процессу закономерности. Наиболее приемлемым представляется исследование относительного накопления азота. Для этого за базовое содержание азота принимается значений при начальной температуре $T = 15^\circ\text{C}$; величины относительного накопления минерального азота V_t рассчитываются по формуле:

$$V_t = \frac{S(t)}{S_0} \cdot 100\%,$$

где S_0 - содержание минерального азота при

$$t = 15^\circ\text{C},$$

$S(t)$ - содержание минерального азота при

$$t \neq 15^\circ\text{C}.$$

Результаты расчетов изменения относительного накопления минерального азота приведены в табл. 2.

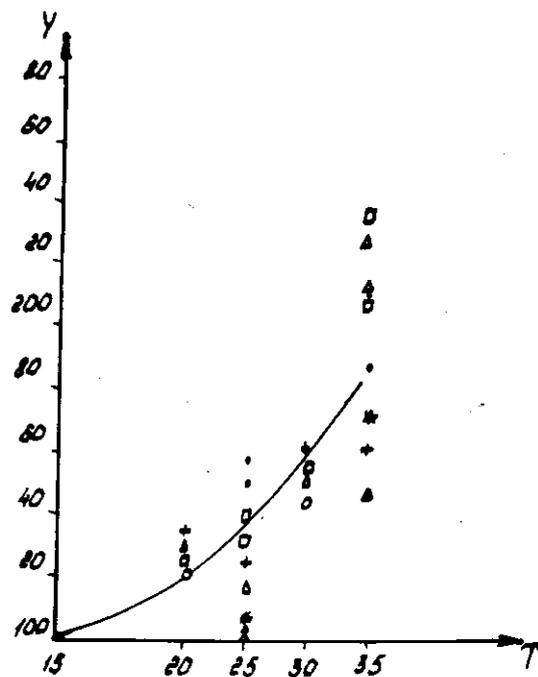


Рис. 2. Зависимость относительного накопления азота от температуры при различных уровнях влажности

Таблица 1

Содержание подвижного азота в мг/100 г. абсолютно сухой торфяно-болотной почвы

Тем- пера- тура, t°С	Влажность, W% от ПВ															
	10		20			40			45		55		65		80	
	Повторение эксперимента															
	1	1	2	3	1	2	3	1	1	1	2	1	2			
15	24,5	23,3	15,7	27,2	23,9	34,1	36,1	33,1	27,1	27,7	36,7	8,1	16,1			
20		30,2			29,1				32,9	36,4						
25	23,5		18,7	20,7		47,9	47,9	35,6			46,4	12,9	24,3			
30		35,6			37,6				39,1	53,4						
35	36,6		35,8	58,3		109,5	75,2	56,9			59,6	17,0	30,3			

Динамика относительного накопления минерального азота

Тем- пера- тура, $t^{\circ}\text{C}$	Влажность W , % от ПВ													
	10	20			40			45	55	65		80		
	Повторение эксперимента													
	1	1	2	3	1	2	3	1	1	1	2	1	2	
15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
20		130				132				121	131			
25	96		119	76			140	133	107			126	159	151
30		153				157				144	193			
35	149		228	214			321	208	172			162	210	188

Данные табл. 2 в графической форме представлены на рис. 2, Как видно на рис, 2, относительное накопление минерального азота может быть описано экспоненциальной функцией температуры. Этот результат согласуется исследованием скорости роста нитрифицирующих бактерий /1/, так как накопление азота пропорционально скорости роста, удельная величина которой выражена экспоненциальной функцией температуры.

Покажем, что использование относительных величин накопления минерального азота позволяет устранить влияние влажности. Для этого достаточно доказать, что последовательность величин влажностей (табл. 3), определяемая следованием точек (см. рис. 2) в порядке возрастания величины V | при постоянных величинах B является случайной.

Таблица 3

Ряды изменения влажности в порядке возрастания величины относительного накопления азота

$t^{\circ}\text{C}$	Влажность, % от ПВ									
15										
20	55	40	20	65						
25	20	10	45	20	65	40	40	80	80	
30	55	20	40	65						
35	10	65	45	80	40	80	20	20	40	

При проверке гипотезы о случайном распределении величин влажности воспользуемся критерием "пиков и впадин" /2/. Число поворотных точек, соответствующих локальным экстремумам рядов величин влажностей (см. табл. 3), равно 13; общее число точек за вычетом крайних правых и повторяющихся равно 20. Математическое ожидание числа поворотных точек случайного ряда

$$M = \frac{2}{3} n = \frac{2}{3} \cdot 20 = 13,3$$

Дисперсия числа поворотных точек

$$D = \frac{16 \cdot n - 29}{90} = \frac{16 \cdot 20 - 29}{90} = 3,23$$

Следовательно, полученное из табл. 3 число поворотных точек, равное 13, хорошо согласуется с гипотезой о случайности распределения величин влажности.

Для описания зависимости относительного накопления азота от температуры воспользуемся функцией вида

$$V = A e^{Bt}$$

Оценки параметров "А" и "В" методом наименьших квадратов приводят к уравнению:

$$V = 58,353 e^{2,817 \cdot 10^{-2} t} \quad (1)$$

Теоретические величины относительного накопления минерального азота, рассчитанные по формуле (1), приводятся на рис. 2 в виде непрерывной кривой.

Для исключения влияния температур из экспериментальных данных воспользуемся уравнением (1). Заметим, что теоретически любое экспериментальное значение в опыте с $T \neq 15^\circ\text{C}$ можно найти как произведение суммарного накопления минерального азота при $T = 15^\circ\text{C}$, умноженное на относительное накопление при $T \neq 15^\circ$, т.е.

$$\bar{S}(t) = S_0 \cdot V_t / 100\% \quad (2)$$

Отсюда следует, что все экспериментальные данные можно свести к $T = 15^\circ$ и выяснить влияние влажности на величину накопления минерального азота при $T = 15$. Для этого рассчитываем величину S_0 :

$$S_0 = S(t) \cdot 100\% / V(t)$$

Результаты расчетов сведены в табл. 4 и показаны на рис.2.

Теоретическое содержание минерального азота при $T = 15^\circ$

t °C	Влажность W , % от ПВ																				
	10			20			40			45			55			65			80		
	Повторение эксперимента																				
	1	1	2	3	1	2	3	1	1	1	2	1	2								
15	24,5	23,3	15,7	27,2	23,9	34,1	36,1	33,1	27,1	27,7	36,7	8,1	16,1								
20		25,1			24,2				27,4	30,3											
25	17,0		13,5	14,9		34,6	34,6				33,6	9,3	17,6								
30		22,4			23,6				24,6	33,6											
35	20,0		19,5	31,8		59,8	41,0	31,0			32,5	9,3	16,5								

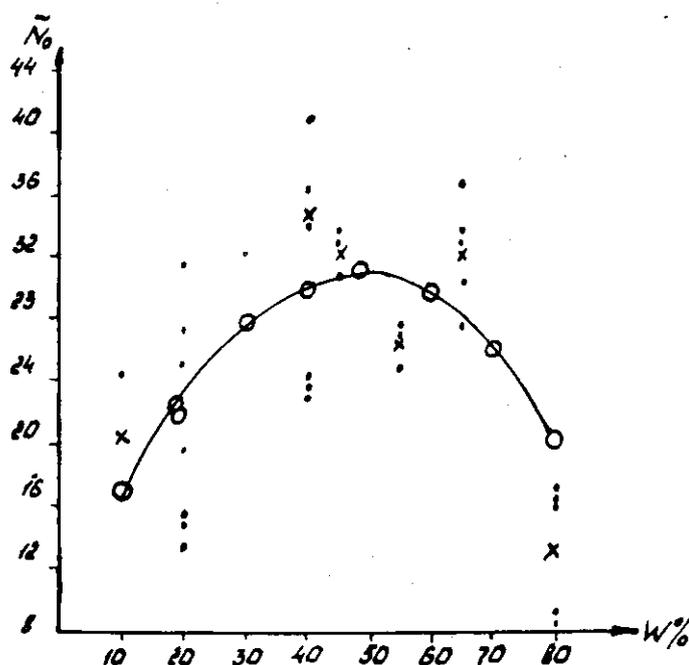


Рис. 3. Зависимость суммарного содержания азота от влажности при $T = 15^\circ\text{C}$

Зависимость суммарного содержания минерального азота при $T = 15^\circ$ аппроксимируем уравнением вида:

$$S_0 = D(W - W_0)^2 + C.$$

Используя метод наименьших квадратов, находим оценки параметров D , C , W_0 ; теоретическую кривую наносим на рис. 3. Искомое уравнение имеет вид:

$$S_0 = -1,119 \cdot 10^{-2} (W-48)^2 + 31,28. \quad (3)$$

Объединяя уравнения (1) и (3) и используя уравнение

(2), находим окончательное выражение зависимости суммарного накопления минерального азота от температуры и влажности:

$$S(t, w) = \frac{[-1,119 \cdot 10^{-2} (W-48)^2 + 31,28]}{100} \times \frac{68,353 e^{2,817 \cdot 10^{-2} T}}{100} \quad (4)$$

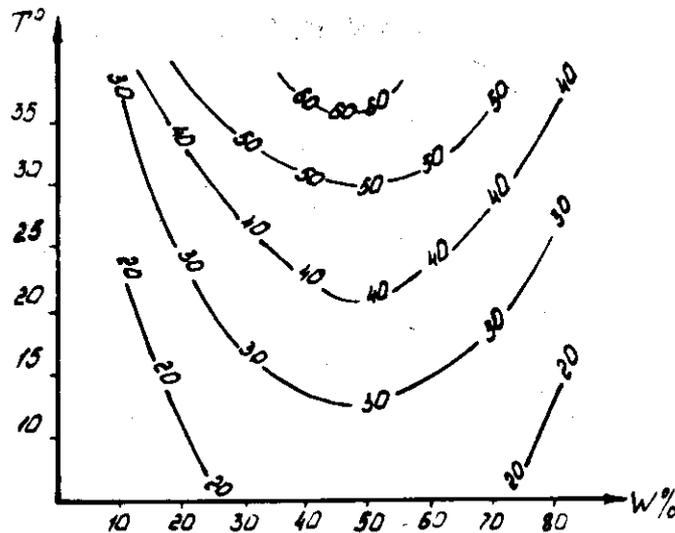


Рис. 4. Теоретическая зависимость накопления минерального азота (мг/100 г почвы) от температуры и влажности

Используя уравнение (4), найдем его ошибку:

$$\Delta^2 = \sum (N_э - N_T)^2 / K,$$

где $N_э$ - экспериментальные данные,

N_T - данные, рассчитанные по уравнению,

K - число экспериментальных точек. Отсюда находим $\Delta^2 = 64,85$, или средняя ошибка $\sigma = \sqrt{\Delta^2} = 8,05$, т.е., в среднем полученные уравнения приводят к ошибке, равной 8 мг/100 г.

В заключение приведем график теоретической зависимости накопления минерального азота от температуры и влажности (рис. 4). Следует заметить, что подобранная зависимость справедлива в диапазоне температур 15-35 °С и влажности 10-80% ПВ.

Литература

1. Knowles G., Downing A., Barret M. Determination of kinetic constant for nitrifying bacteria in mixed culture with the aid of an electronic computer. *J. Gen. Microb.*, 1965, 38, 2: 263-278.

2. К е н д э л М. Временные ряды. М.: Финансы и статистика, 1981.

СРАВНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ В ЗОНЕ НЕПОЛНОГО НАСЫЩЕНИЯ

Известно, что применения теории неравновесного тепло - и массопереноса для описания процессов передвижения почвенного раствора и изменения его состава в верхних' слоях земной коры как в естественных условиях, так и под воздействием мелиорации требует:

а) схематизации природных условий (почв);

б) получения систем дифференциальных уравнений (обычно одно- или двумерных) и дополняющего комплекса краевых условий, отображающих наиболее важные свойства почвенной среды и воздействующих на нее факторов;

в) выбора целесообразного и экономичного способа решения полученной системы уравнений (обычно численные методы - конечных разностей, конечных элементов, в редких случаях - аналитические методы) и собственно решение, заключающееся в нахождении оптимального алгоритма решения;

г) "привязки" модели к конкретным почвенно-гидрогеологическим условиям с использованием данных полевых или лабораторных экспериментов, воспроизводящих имитируемые процессы;

д) распространения локальных значений параметров, полученных в относительно небольших почвенных объемах, затронутых экспериментом (делянках, кустах или одиночных скважинах, почвенных монолитах и т.д.), на мелиорируемые территории, внутри которых значения параметров претерпевают пространственную изменчивость.

Перечисленные вопросы находятся в различной стадии разработанности. Наиболее разработаны вопросы получения систем уравнений и численных способов их решения, а также вопросы учета моделями с детерминированными параметрами стохастичности свойств почвенной среды; наименее - вопросы идентификации параметров моделей по экспериментальным данным, причем здесь наблюдается существенная

диспропорция между созданными способами для зоны неполного и полного насыщения в пользу последней.

Вопрос идентификации параметров моделей массопереноса в насыщенных почвах является нетривиальным в виду малой изученности строения порового пространства почвы, наличия большого комплекса воздействующих факторов, трудностей проведения изменений, стохастичности свойств и сложности применяемого математического аппарата.

В тоже время, очевидно, что параметры моделей необходимо находить, используя модели, с помощью которых производится описание, что позволит избежать существенных ошибок при прогнозировании мелиоративных мероприятий.

В настоящей работе развивается ранее предложенный способ оптимизации параметра гидродинамической дисперсии, равнения солепереноса по данным о послонных содержаниях иона хлора в процессе полевых мелкоделяночных промывок засоленных почв. Этот способ основывается на численном решении методом конечно-разностной следующей системы одномерных уравнений влаго - и солепереноса в почвогрунтовых средах

а) уравнение влагопереноса

$$c \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_w \frac{\partial H(x,y,t)}{\partial x} \right] - \bar{e}_x, \quad (1)$$

где $H = -x - \Psi$ - потенциал почвенной влаги, равный алгебраической сумме гравитационного и капиллярного потенциалов;

x - вертикальная пространственная координата с началом на поверхности почвы и направленная вниз;

Ψ - капиллярный потенциал;

t - временная координата;

K_w - коэффициент влагопроводности;

e_x - интенсивность отбора влаги корнями растений;

C - дифференциальная влагоемкость почвы, связывающая влажность почвы с ее капиллярным потенциалом;

б) уравнение солепереноса

$$W \frac{\partial c(x,t)}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} [\lambda v_{\varphi} \frac{\partial c(x,t)}{\partial x}] - v_{\varphi} \frac{\partial c(x,t)}{\partial x} + \bar{e}_x c, \quad (2)$$

где $c(x,t)$ - концентрация в почвенном растворе легко-растворимого иона;

W - объемная влажность почвы;

v_{φ} - скорость фильтрации почвенного раствора;

λ - параметр гидродинамической дисперсии почвенного раствора.

1) Зейлигер А.М. Обоснования расчетных значений гидрохимических параметров для проектирования капитальных промывок засоленных земель. Автореферат канд. диссертации. М.: МГМИ, 1980.

2) Голованов А.И., Новиков О.С Математическая модель переноса влаги и растворов солей в почвогрунтах на орошаемых землях. Труды МГМИ, т. 36, вып. "Сельскохозяйственные мелиорации". М.: МГМИ, 1974.

Данная задача идентификации параметров распадается на две составные, первая из которых заключается в нахождении параметров уравнения влагопереноса по экспериментальным эпюрам влажности почвы и вторая - в нахождении собственно параметра гидродинамической дисперсии по эпюрам концентрации. Первую задачу решали, сопоставляя теоретические и экспериментальные данные послойных значений влажности почвы, а также балансов влаги в затронутой экспериментом почвенной среде. Решение второй, основной задачи строилось уже на фоне рассчитанного по уравнению (1) водного режима промываемой почвенной толщи, при этом использовался способ оптимизации параметра в назначаемых пределах поиска.

С целью сопоставления и выбора, наиболее пригодных для решения такого рода задач оптимизационных критериев были использованы следующие из них:

$$\sum_{i=1}^N [h_i |C_{Ti} - C_{Эi}|] \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N [h_i | \frac{C_{Ti}}{C_{Эi}} - 1 |] \rightarrow \min, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N [h_i (C_{Ti} - C_{Эi})]^2 \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N [h_i (\frac{C_{Ti}}{C_{Эi}} - 1)]^2 \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N (C_{Ti} - C_{Эi})^2 \rightarrow \min, \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N (\frac{C_{Ti}}{C_{Эi}} - 1)^2 \rightarrow \min, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N |F_{Ti} - F_{Эi}| \rightarrow \min, \quad (9)$$

I

где $C_{Эi}$ - экспериментальное значение концентрации иона в i -ом почвенном горизонте;

C_{Ti} - теоретическое значение концентрации иона в том же горизонте;

N - общее количество горизонтов опробования;

$F_{T_i}, F_{Э_i}$ - площади теоретической и экспериментальной эпюр концентрации иона;

h_i - мощность i -го почвенного горизонта.

Расчеты проводились на фактическом материале, полученном в ходе полевых мелкоделяночных промывок в совхозе № 8а новой зоны освоения Голодной Степи.

В результате расчетов и сопоставлений показано, что наиболее удовлетворительные результаты получаются при оптимизации искомого параметра по критериям (4) и (9), остальные же критерии, хотя также дают хорошие результаты, но в некоторых случаях приводят к получению неудовлетворительной картины, что и не позволяет их рекомендовать для использования.

Безусловно, приведенный набор критериев (3) - (9) не является окончательным, необходимо совершенствовать численные способы решения системы (1) - (2) и создавать более совершенный способ оптимизации коэффициента влагопроводности.

Вывод

В результате сопоставления семи оптимизационных критериев идентификации параметра гидродинамической дисперсии по данным полевых промывок зоны аэрации почв выбраны два лучших.

ПОСТРОЕНИЕ ДВУМЕРНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЛАГОПЕРЕНОСА¹⁾

Некоторые исследователи /1, -2/ указывали на неравномерность распределения влаги в минеральных почвах, осушаемых горизонтальным дренажем. Полевые наблюдения, выполненные на опытном участке МГМИ в весенне-осенние периоды 1979 и 1980 гг., подтверждают предположение о различии в водном режиме, складывающемся вблизи дрен и в удалении от них.

Опытный участок МГМИ расположен на землях колхоза им, Кирова Калязинского района Калининской области. Основным источником водного питания земель являются атмосферные осадки. Почвы опытного участка представлены легкими суглинками. Регулирующая осушительная сеть выполнена на опытном участке в виде горизонтального дренажа с глубиной заложения 1,0... 1,1 м и с четырьмя вариантами междренних расстояний: 12, 18, 24 и 30 м.

Полевые наблюдения за динамикой влажности почвы производились с помощью радиоизотопного влагомера ВПГР-1 по створам скважин, обсаженных алюминиевыми трубами, на разном удалении от дрен до глубины 1 м послойно через каждые 10 см. Использование радиоизотопного влагомера позволило кроме быстроты и точности обеспечить воспроизводимость измерений и выполнение их в репрезентативном объеме почвы /3/.

Изменение влажности почвы на глубине 30 см на разном удалении от дрены в весенне-осенний период 1980 г. показано на рис. 1. Влажность почвы на расстоянии 1 м от дрены изменялась от 30,6 до 26% объемных, влажность почвы на расстоянии 12 м от дрены изменялась от 33 до 27,5% объемных. Следует отметить, что 1980 г. был очень влажным, этим объясняется высокая влажность почвы на протяжении почти всего вегетационного периода.

1) Научный руководитель - доктор технических наук, профессор А.И.Голованов,

Анализ имеющихся данных показывает, что при расчетах водного режима почвогрунтов, осушаемых горизонтальным дренажем, нельзя ограничиваться рассмотрением одномерного вертикального передвижения влаги. Необходимо

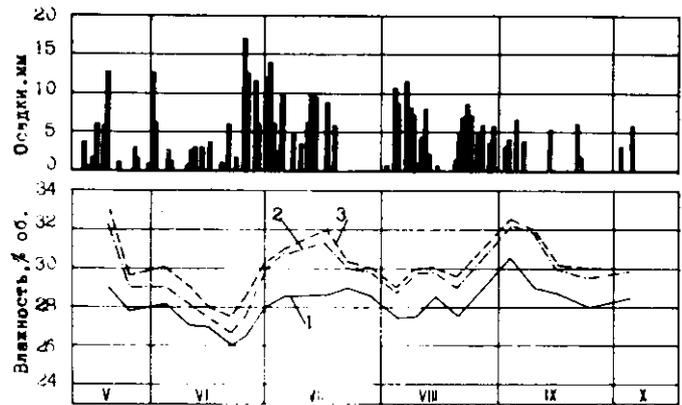


Рис. 1. Динамика влажности почвы на глубине 30 см: 1 - 1 м от дрены, 2 - 6 м от дрены, 3 - 12 м от дрены (междреннее расстояние 24 м)

количественное описание влагопереноса внутри междренья, так как на рост растений сильно влияет неравномерность распределения влаги по почвенному профилю, и отклонение влажности почвы от оптимального диапазона приводит к большим потерям урожая /4/. В связи с этим возникают задачи построения двумерных математических моделей влагопереноса, наиболее точно описывающих процесс перераспределения влаги в почве /5, 6/. Существенным преимуществом двумерных моделей влагопереноса является также возможность учета не только природной слоистости почвогрунта, но и варьирования его водно-физических свойств внутри междренья.

В качестве основы для построения двумерной математической модели была принята математическая модель одномерного нестационарного передвижения влаги /7/¹⁾

Применительно к двумерной задаче основное дифференциальное уравнение запишется следующим образом:

$$C_w \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_w \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_w \frac{\partial H}{\partial y} \right) - \bar{e} \quad (1)$$

где H - напор, определяемый положением точки над плоскостью сравнения и капиллярным давлением, м;

C_w - коэффициент влагоемкости, 1/м;

K_w - коэффициент влагопроводности, м/сут;

\bar{e} - интенсивность отбора влаги корнями растений, 1/сут;

x, y - текущие координаты, м;

t - время, сут.

¹⁾Двумерная математическая модель разрабатывается нами в соавторстве с к.т.н. А.М.Зейлигером.

Это нелинейное параболическое уравнение в частных производных. Аналитических решений этого уравнения в настоящее время нет, решить его можно численными методами с использованием ЭВМ.

Для расчетов по уравнению (1) необходимо установить зависимость коэффициента влагопроводности от влажности, а также капиллярного давления от влажности.

Зависимость коэффициента влагопроводности от влажности можно принять по формуле С.Ф.Аверьянова /8/:

$$K_w = k \cdot \left(\frac{W - W^*}{m - W^*} \right)^n, \quad (2)$$

где k - коэффициент фильтрации, м/сут;

W^* - влажность, ниже которой прекращается движение влаги под действием капиллярных сил, %;

m - пористость, %;

W - объемная влажность, %;

n - показатель степени.

Зависимость капиллярного давления от влажности принимается по формуле А.И.Голованова /7/:

$$W = W^* + (m - W^*) \exp \left[-\gamma \left(\frac{\psi}{h_k} \right)^3 \right], \quad (3)$$

где h_k - максимальная высота капиллярного поднятия, м;

ψ - капиллярное давление, м (при $W < m$ условно принимается $\psi > 0$, а под уровнем грунтовых вод $\psi < 0$),

γ - эмпирический коэффициент.

Для получения единственного решения задачи необходимо задать начальные и граничные условия.

Начальным условием для уравнения (1) должно быть распределение влажности $W(x, y)$ или напора $H(x, y)$.

Граничные условия на поверхности земли могут быть" различными в зависимости от физической постановки задачи.

При выпадении дождей поток через верхнюю границу равен среднесуточной интенсивности осадков. Обозначив расстояние между дренами через B (расчетная схема показана на рис. 2), можем записать:

$$K_w \frac{\partial H(0, y)}{\partial x} = -O_c, \quad 0 \leq y \leq B/2. \quad (4)$$

При испарении задается поток Через верхнюю границу, равный величине физического испарения e_f :

$$K_w \frac{\partial H(0, y)}{\partial x} = e_f, \quad 0 \leq y \leq B/2. \quad (5)$$

На нижней границе рассматриваемой области, на глубине L возможно несколько видов граничных условий.

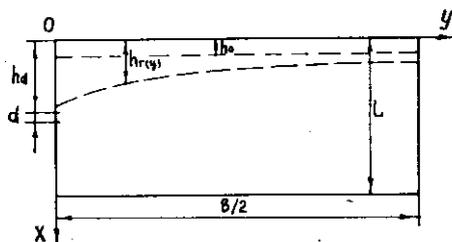


Рис. 2. Расчетная схема (обозначения в тексте)

В случае если нижней границей является водоупор, поток через нижнюю границу равен нулю:

$$K_w \frac{\partial H(L, y)}{\partial x} = 0, \quad 0 \leq y \leq B/2. \quad (6)$$

Более распространенным является случай, когда существует поток через нижнюю границу:

$$K_w \frac{\partial H(L, y)}{\partial x} = P [h_{r(y)} - h_0], \quad 0 \leq y \leq B/2, \quad (7)$$

где P - поток при напоре, равном единице, 1/сут;

$h_r(y)$ - глубина до поверхности почвенно-грунтовых вод, м;

h_0 - глубина пьезометрической поверхности напорного горизонта, м.

Выражение (7) дает возможность учитывать напорное подпитывание, и из него при $P = 0$, как частный случай, получается условие (6).

На оси симметрии (на середине между дренами) горизонтальный поток влаги принимается равным нулю:

$$K_w \frac{\partial H(x, y/2)}{\partial y} = 0, \quad 0 \leq x \leq L. \quad (8)$$

На линии, проходящей через ось дрены (при $Y = 0$) граничное условие значительно усложняется. Здесь необходимо рассмотреть три зоны.

1. От поверхности земли до верха дрены. Горизонтальный поток равен нулю:

$$K_w \frac{\partial H(x, 0)}{\partial y} = 0, \quad 0 \leq x \leq h_d, \quad (9)$$

где h_d - глубина заложения верха дрены, м.

2. На отрезке, равном вертикальному размеру дрены, напор принимается равным глубине заложения верха I дрены плюс половина диаметра дрены:

$$H = -\left(h_d + \frac{d}{2}\right) \quad h_d < x < h_d + d, \quad (10)$$

где d - диаметр дрены, м.

Перед выражением напора стоит знак минус, поскольку за плоскость отсчета принимается поверхность земли.

3. На отрезке, равном расстоянию от нижней точки дрены до границы рассматриваемой области, горизонтальный

поток равен нулю:

$$K_w \frac{\partial H(x, 0)}{\partial y} = 0 \quad h_d + d \leq x \leq L. \quad (11)$$

Вывод

При расчетах водного режима почвогрунтов, осушаемых горизонтальным дренажем, нельзя ограничиваться рассмотрением одномерного вертикального передвижения влаги. Необходимо количественное описание влагопереноса внутри междренья с помощью двумерной математической модели.

Литература

1. З а й д е л ь м а н Ф. Р. Режим и условия мелиорации заболоченных земель. М.: Колос, 1975,
2. К л и м к о А.И. Действие гончарного дренажа в глинах и пути повышения его эффективности в условиях Калининградской области. Научные труды КОМС, вып. 1. Калининград, 1959,
3. Краткое руководство по контролю влагозапасов орошаемых земель нейтронными влагомерами. Под ред. В.А.Емельянова. Мм ВНИИГиМ, 1982.
4. Шабанов В.В. Биоклиматическое обоснование мелиорации, Л,5 Гидрометеиздат, 1973.
5. Нерпина Н.С, Рапопорт Ю.О, Моделирование на ЭВМ динамики влажности в междренном пространстве, « Труды АФИ, Л,, 1977, вып. 43.
6. Сабинин В.И. Численное решение задачи о горизонтальном систематическом дренаже с зоной неполного насыщения. Труды Института гидродинамики. Новосибирск, 1980, вып. 46.
7. Голованов А.И., Новиков О.С Математическая модель переноса влаги и растворов солей в почвогрунтах на орошаемых землях. Труды МГМИ, т. 36, вып. "Сельскохозяйственные мелиорации". М.: МГМИ, 1974.
8. Аверьянов С.Ф. Зависимость водопроницаемости почвогрунтов от содержания в них воздуха. ДАН СССР, 1949, т. 69, № 2.

РЕШЕНИЕ ДВУХМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ВЛАГОСОЛЕ-ПЕРЕНОСА В ПОЧВОГРУНТАХ НА ЭВМ

Будем решать профильную задачу влагосолепереноса в прямоугольной области. В случае изотермического процесса уравнения движения в декартовой системе координат (ось направлена вниз) имеют вид /1/:

$$\sigma(w) \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(k_1 \frac{\partial H}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(k_2 \frac{\partial H}{\partial x_2} \right) + \varphi, \quad (1)$$

$$W \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(D_1 \frac{\partial c}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(D_2 \frac{\partial c}{\partial x_2} \right) - V_1 \frac{\partial c}{\partial x_1} - V_2 \frac{\partial c}{\partial x_2} - \varphi c - \zeta(B) \delta W (c - c_H) + \gamma \quad (2)$$

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \delta W (c - c_H) \cdot \zeta(B), \quad (3)$$

$$\zeta(B) = \begin{cases} 1, & \text{если } B > 0 \\ 0, & \text{если } B \leq 0, \end{cases}$$

где $H = \psi(w) - x_2$ - напор, W - объемная влажность,

$\psi(w)$ - потенциал капиллярных сил для зоны неполного насыщения и давление в зоне полного насыщения,

$\sigma(w) = \frac{dw}{d\psi}$ - коэффициент влагоемкости,

c - концентрация солей в жидкой фазе,

B - концентрация солей в твердой фазе,

$k_z, D_z (z=1,2)$ - коэффициенты влагопроводности и гидродинамической дисперсии соответственно,

V_z - проекция потока влаги на ось x_z , φ, γ - интенсивность источников влаги и солей соответственно,

δ - коэффициент растворения,

c_H - концентрация насыщения солей в жидкой фазе,

t - время.

Систему уравнений (1) - (3) будем решать при следующих начальных и краевых условиях.

$$\left. \begin{aligned} H &= H_0(x_1, x_2) \\ C &= C_0(x_1, x_2) \\ B &= B_0(x_1, x_2) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} t &= 0, \\ 0 &\leq x_1 \leq l_1, \\ 0 &\leq x_2 \leq l_2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\alpha_2 k_2(w) \frac{\partial H}{\partial x_2} + \beta_2 H = F_2, \quad t > 0, \quad x = (x_1, x_2) \in \Gamma, \quad (5)$$

$$\alpha_2 \frac{\partial C}{\partial t} + \beta_2 D_2 \frac{\partial C}{\partial x_2} + \delta_2 C = f_2, \quad (6)$$

где $\alpha_2, \beta_2, \underline{\alpha}_2, \underline{\beta}_2, \delta_2, F_2, f_2$ - известные функции

x, t . Γ - граница области. Введем сеточную область

$$\Omega = \bar{\omega}_1 \times \bar{\omega}_2 \times \tau, \quad \tau = \{t_k \mid k = 1, 2, \dots\}, \\ \bar{\omega}_2 = \{x_{i_2} \mid i_2 = 1, 2, \dots, N_2\}.$$

Пусть $h_{i_2} = x_{i_2} - x_{i_2-1}$,

$$k_{i_2} = \frac{k_{i_2} + k_{i_2+1}}{2}, \quad \tau_k = \tau_{k+1} - t_k.$$

Аппроксимируя уравнение (1) на Ω , получим

$$(k H \bar{x}_1)_{\bar{x}_1}^{\wedge} + (k H \bar{x}_2)_{\bar{x}_2}^{\wedge} - \frac{\sigma}{\tau_k} H + \frac{\sigma}{\tau_k} \dot{H} + \varphi = 0 \quad (7)$$

Краевые условия (5) аппроксимируются аналогично.

Систему уравнений (7) решаем с помощью метода установления /2/ с итерациями по нелинейностям.

Решив численно уравнение (1), решаем (2) - (3), используя локально-одномерный метод Самагюкого /2/,

Алгоритм реализован на языке *FORTRAN-IV* для ЭВМ Минск-32. Используя приведенный алгоритм, можно с достаточной точностью решить большой класс задач прогнозирования влагосолепереноса в почвогрунтах. Например, можно получить численные решения задач нестационарной фильтрации и массопереноса на фоне горизонтального дренажа, решать задачи подпочвенного орошения, фильтрации из каналов, рек и т.д. в случае неоднородных грунтов.

Литература

1. Я. Б э р, Д, З а с л а в с к и, С И р м е й. Физико-математические основы фильтрации воды. М.: МИР, 1971.
2. А.А. Самарский, Е.С Николаев. Методы решения сеточных уравнений. М.: Наука, 1978.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПО ДАННЫМ ВЛАЖНОСТИ И ВПИТЫВАНИЯ ВЛАГИ ЧЕРЕЗ ПОВЕРХНОСТЬ ПРИ ОРОШЕНИИ

Уравнение баланса жидкости с учетом явления капиллярности имеет вид

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(w) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + k(w). \quad (1)$$

Ось ox ориентирована вверх.

Зависимость $k(w)$ предполагается известной:

$$k(w) = k_1 \left(\frac{w - w_0}{m - w_0} \right)^n \quad (n = 3,5) \quad (1)'$$

где m - пористость, w_0 - количество связанной воды в единице объема грунта, k_1 - коэффициент фильтрации при полном насыщении (когда $w = m$).

Напор жидкости $H(w, x, t)$ связан с капиллярным потенциалом формулой

$$H = \psi(w) + x$$

Обычно зависимость величины $\psi(w)$ определяется из полуэмпирических формул.

Цель работы - получение зависимости $\psi = \psi(w)$ на основе решения обратной задачи для уравнений (1).

Выведем сначала приближенные формулы для определения $\psi(w)$, которые затем будем уточнять, применяя метод последовательных приближений.

Будем искать решение задачи (1) в виде $w = w(\xi)$

$$\psi = \psi(\xi) \quad \text{где} \quad \xi = x + \mu t. \quad (2)$$

В общем; случае величина u есть функция от (x, t) , т.е. $u = u(x, t)$.

В первом приближении будем считать функцию $u(x, t)$ тождественно постоянной - это соответствует физически тому, что граница, отделяющая зону "полного" увлажнения от зоны "слабого" увлажнения, движется с постоянной скоростью.

Подставляя функции $W(x+ut)$ и $\psi(x+ut)$ в

уравнение (1), приходим к дифференциальному уравнению:

$$\frac{d}{d\xi} \left(\kappa \frac{d\psi}{d\xi} \right) + \frac{d}{d\xi} \kappa - u W_{\xi} = 0. \quad (3)$$

Перед слоем полного насыщения будем считать

$$W \approx 0; \quad \psi_{\xi} \approx 0.$$

Интегрируя левую и правую части уравнения (3), получим:

$$-\kappa \frac{d\psi}{d\xi} + \kappa - uW + A = 0. \quad (4)$$

Исходя из равенства (4), приходим к двум соотношениям:

$$-\kappa(W) + uW_{-} - A = 0 \quad (5)$$

$$-\kappa(W) + uW_{+} - A = 0 \quad (6)$$

Вычитая соотношения (6) и (5), приходим к формуле для определения скорости движения границы зоны насыщенности:

$$u = \frac{\kappa(W_{+}) - \kappa(W_{-})}{W_{+} - W_{-}} \quad (7)$$

Найдем формулу для приближенного вычисления $\psi(W)$ Будем исходить из уравнения (4):

$$\kappa \frac{d\psi}{d\xi} = uW - A - \kappa. \quad (8)$$

Из формулы (8) получим:

$$\frac{d\psi}{d\xi} = \frac{uW - A - K(W)}{K} \quad (9)$$

Величина uW - есть скорость впитывания,

$$uW = q(t).$$

Эта величина экспериментально хорошо изучена

$$q(t) = \frac{K_1}{t^\alpha} + q_0,$$

где $\alpha - 0,3-0,5$.

Соотношение (9) может быть переписано в форме

$$\frac{d\psi}{d\xi} = \frac{\frac{K_1}{\xi^\alpha} - A - K\left(\frac{K_1}{u\xi^\alpha} + q_1\right) + q_0}{K\left(\frac{K_1}{u\xi^\alpha} + q_1\right)}, \quad (10)$$

$$q_1 = \frac{q_0}{u}.$$

Интегрируя соотношение (10), приходим к равенству

$$\psi = B + \int \frac{q_0 + \frac{K_1}{\xi^\alpha} - A - K\left(\frac{K_1}{u\xi^\alpha} + q_1\right)}{K\left(\frac{K_1}{u\xi^\alpha} + q_1\right)} d\xi. \quad (11)$$

Вычислим интеграл (11).

Для этого введем новую переменную интегрирования

$$\frac{1}{t} - q_1 = \frac{K_1}{u\xi^\alpha}; \quad \frac{K_1}{u} (-\alpha) \xi^{-\alpha-1} d\xi = dt. \quad (12)$$

Интеграл (11) примет вид

$$\begin{aligned} \psi &= B + \int \frac{ut - A - K(t)}{K(t)} \cdot \frac{u}{K_1(-\alpha)} \times \\ &\times \left(\frac{K_1}{ut}\right)^{\frac{\alpha+1}{\alpha}} dt = \\ &= B - \frac{u}{K_1\alpha} \left(\frac{K_1}{u}\right)^{\frac{\alpha+1}{\alpha}} \int \frac{ut - A - K(t)}{K(t) \cdot t^{1+\frac{\alpha+1}{\alpha}}} dt \end{aligned}$$

Подставляя вместо $\kappa(t)$ выражение этой величины по формуле (1)¹ получим

$$\psi = B - \frac{u}{\kappa_1 \alpha} \cdot \left(\frac{\kappa_1}{u} \right)^{1+\frac{1}{\alpha}} \int \frac{u t - A - \kappa_2 (t - w_0)^2}{\kappa_2 (t - w_0)^2 \cdot t^{1+\frac{1}{\alpha}}} dt. \quad (13)$$

Интеграл (13) может быть точно вычислен, но предварительно получим асимптотические формулы при $t \approx 0$ и $t \rightarrow \infty$

При больших t формула (13) будет иметь вид

$$\psi = B - \frac{u}{\kappa_1 \alpha} \left(\frac{\kappa_1}{u} \right)^{1+\frac{1}{\alpha}} \cdot \frac{1}{t^{\frac{1}{\alpha}}}$$

Переходя к переменной ξ , получим

$$\psi = B - \frac{u}{\alpha \kappa_1} \left(\frac{\kappa_1}{u} \right)^{1+\frac{1}{\alpha}} \frac{1}{\left(q_1 + \frac{\kappa_1}{u \xi \alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha}}}$$

Отсюда получаем формулу:

$$\psi = B - \frac{1}{\alpha \kappa_1} \left(\frac{\kappa_1}{u} \right)^{1+\frac{1}{\alpha}} \left(q_1 + \frac{\kappa_1}{u \xi \alpha} \right)^{-\frac{1}{\alpha}} \quad (14)$$

Формула (14) является приближенной формулой для вычисления капиллярного потенциала

$$\psi = B - \frac{1}{\alpha \kappa_1} \left(\frac{\kappa_1}{u} \right)^{1+\frac{1}{\alpha}} \frac{1}{w \alpha} \quad (15)$$

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ КОНВЕКТИВНОЙ ДИФФУЗИИ ПРИ УСЛОВИИ СОРБЦИОННОГО РАВНОВЕСИЯ ИОНОВ

1. Постановка задачи

В настоящей работе рассматривается одномерная задача конвективной диффузии в пористой среде двух типов катионов, находящихся в условии сорбционного равновесия, и решается система двух уравнений конвективной диффузии с нелинейными источниковыми членами. Математически задача формулируется следующим образом:

$$m_s \frac{\partial C_s}{\partial t} = D_s \frac{\partial^2 C_s}{\partial x^2} - v(t) \frac{\partial C_s}{\partial x} - \frac{\partial N_s}{\partial t}, \quad (1)$$

$$N_1/C_1 = K (N_2/C_2)^\alpha \quad (2)$$

$$N_1 + N_2 = N_0(x), \quad (3)$$

$$0 \leq x \leq L, \quad 0 \leq x \leq T, \quad s=1,2, \quad \alpha=1, 1/2;$$

при начальных

$$t=0, \quad C_s(0, x) = C_{s0}(x), \quad s=1,2; \quad (4)$$

и граничных

$$x=0, \quad (C_s - C_{sn})v(t) = \frac{\partial C_s(t, 0)}{\partial x}; \quad s=1,2 \quad (5)$$

$$x=L, \quad \frac{\partial C_s}{\partial x} = 0, \quad s=1,2 \quad (6)$$

условиях.

Функции $C_s(t, x)$, $N_s(t, x)$, ($s=1,2$) искомые, а $C_{s0}(x)$, $v(t)$, $D_s(t)$, $N_0(x)$ - заданные функции с достаточной степенью гладкости. k , m_s .

C_{sn} - заданные контакты.

Уравнения (1) - (2) выражают баланс катионов в элементарном объеме среды. Уравнение (3) выражает условие кинетического равновесия, которое определяется экстремальным свойством термодинамического потенциала. Уравнение (4) - условие обменной емкости поглощения среды. Решение задачи - (1)... (6) дает возможность описать количественную динамику ионов, если предварительно определены начальные параметры и начальные условия системы. Задачи такого типа возникают при изучении динамики солевого режима в пористых средах, некоторые из них были рассмотрены в работах /1/ - /5/ и др.

В настоящей работе изучается численный метод решения описанной задачи с помощью вариантов явной и неявной разностных схем и показывается их устойчивость.

Основные понятия и обозначения заимствованы из монографии /6/.

2. Неявная разностная схема ($\alpha = 1$)

В случае $\alpha = 1$ условие (2) принимает вид:

$$N_1/N_2 = \kappa (C_1/C_2). \quad (7)$$

Складывая уравнения системы (1), получим

$$= V \frac{\partial^2}{\partial x^2} (\lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2) - V \frac{\partial}{\partial x} (C_1 + C_2). \quad (8) \quad \frac{\partial}{\partial t} (m_1 C_1 + m_2 C_2) =$$

Откуда, заменяя в уравнении (8) по формуле (7), получаем

$$\begin{aligned} & m_1 \frac{\partial}{\partial t} \left(1 + \frac{m_2 \kappa}{m_1} \frac{N_2}{N_1} \right) C_1 = \\ & = \lambda_1 V \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \kappa \frac{N_2}{N_1} \right) C_1 - \\ & - V \frac{\partial}{\partial x} \left(1 + \kappa \frac{N_2}{N_1} \right) C_1. \end{aligned} \quad (9)$$

Далее, полагая

$$\bar{m}_1 = m_2/m_1, \quad \bar{\lambda} = \lambda_2/\lambda_1; \quad \alpha_1 = \kappa(N_2/N_1).$$

перепишем уравнение (9) в виде

$$\begin{aligned}
 m_1 \frac{\partial}{\partial t} (1 + \alpha_1 \bar{m}_1) C_1 &= \\
 &= \lambda_1 V \frac{\partial^2}{\partial x^2} (1 + \bar{\lambda}_1 \alpha_1) C_1 - \\
 &- V \frac{\partial}{\partial x} (1 + \alpha_1) C_1
 \end{aligned} \tag{10}$$

Аналогичное соотношение имеет место и для:

$$\begin{aligned}
 m_2 \frac{\partial}{\partial t} (1 + \alpha_2 \bar{m}_2) C_2 &= \\
 &= \lambda_2 V \frac{\partial^2}{\partial x^2} (1 + \bar{\lambda}_2 \alpha_2) C_2 - \\
 &- V \frac{\partial}{\partial x} (1 + \alpha_2) C_2,
 \end{aligned} \tag{11}$$

где $\bar{m}_2 = m_1/m_2$, $\bar{\lambda}_2 = \lambda_1/\lambda_2$, $\alpha = N_1/(KN_2)$.

Объединяя (10) и (11), можно написать

$$\begin{aligned}
 m_s \frac{\partial}{\partial t} (1 + \alpha_s \bar{m}_s) C_s &= \\
 &= \lambda_s V \frac{\partial^2}{\partial x^2} (1 + \bar{\lambda}_s \alpha_s) C_s - \\
 &- V \frac{\partial}{\partial x} (1 + \alpha_s) C_s, \quad s=1,2.
 \end{aligned} \tag{12}$$

Воспользуемся соотношением (12) для решения нашей задачи. Напишем вариант, неявной разностной схемы. Имеем

$$\begin{aligned}
& - \frac{(1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-l})}{(1 + \bar{m}_s \alpha_s^{jl})} C_s^{jl} = \left[\frac{\lambda_s (1 + \bar{\lambda}_s \alpha_s^{j+1}) v^{j+1} \tilde{z}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{jl}) h^2} - \right. \\
& \left. - \frac{v^{j+1} (1 + \alpha_s^{j+1}) \tilde{z}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{jl}) 2h} \right] C_s^{j+l+1} - \\
& - \left[2 \frac{\lambda_s (1 + \bar{\lambda}_s \alpha_s^{jl}) v^{j+1} \tilde{z}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{jl}) h^2} + 1 \right] C_s^{j+l} + \\
& + \left[\frac{\lambda_s (1 + \bar{\lambda}_s \alpha_s^{j-1}) v^{j+1} \tilde{z}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{jl}) h^2} + \right. \\
& \left. + \frac{v^{j+1} (1 + \alpha_s^{j-1}) \tilde{z}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{jl}) 2h} \right] C_s^{j+l-1},
\end{aligned}$$

$$s = 1, 2$$

(13)

Соотношение (13) записывается в матричном виде

$$-\hat{C}_s^{(j)} = A_s^{(j)} \hat{C}_s^{(j+1)}, \quad s = 1, 2, \quad (14)$$

где $\hat{C}_s^{(j)} = (C_s^{jl})$, $A_s^{(j)} = \| a_{lk}^{(s)} \|$, $lk = 1, 2, \dots, \pi$;

$$a_{lk}^{(s)} = \frac{1 + \bar{m}_s \alpha_s^{jl}}{1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-l}} b_{lk}^{(s)}, \quad k = l-1, l, l+1;$$

$$a_{lk}^{(s)} = 0, \quad k \leq l-2, \quad k \geq l+2;$$

$$\begin{aligned}
b_{l,l-1}^{(s)} &= \frac{\lambda_s (1 + \bar{\lambda}_s \alpha_s^{jl}) v^{j+1} \tilde{z}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{jl}) h^2} + \\
& + \frac{v^{j+l} (1 + \alpha_s^{jl}) \tilde{z}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{jl}) 2h}, \quad l = 2, \dots, \pi;
\end{aligned}$$

$$b_{ll}^{(s)} = -1 - 2 \frac{\lambda_s (1 + \bar{\lambda}_s \alpha_s^{jl}) v^{j+1} \tilde{z}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{jl}) h^2}, \quad l = 1, \dots, \pi;$$

$$b_{ii+1}^{(s)} = \frac{\lambda_s (1 + \bar{\lambda}_s \alpha_s^{j_i}) V^{j+1} \tau}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j_i}) h^2} - \frac{V^{j+1} (1 + \alpha_s^{j_i}) \tau}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j_i}) 2h} ;$$

$$i = 1, \dots, n-1.$$

Соотношение (14) можно переписать, в виде

$$-C_s^{(j)} = (1 + O(\tau+h)) \Lambda_s^{(j)} C_s^{(j+1)}, \quad i, k = 1, \dots, n,$$

где

$$A_s^{(j)} = (1 + O(\tau+h)) \Lambda_s^{(j)}, \quad \Lambda_s^{(j)} = \| b_{ik}^{(s)} \|$$

Оценим норму матрицы $\Lambda_s^{(j)}$. Если то $|b_{ik}^{(s)}| \geq 0$ ($i \neq k$)

$$\begin{aligned} \|\Lambda_s^{(j)}\| &= \max_i (|b_{ii-1}| + |b_{ii}| + |b_{ii+1}|) = \\ &= 1 + 4 \frac{\lambda_s \tau}{m_s h^2} \max_i \frac{(1 + \bar{\lambda}_s \alpha_s^{j_i}) V^{j+1}}{1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j_i}}. \end{aligned} \quad (15)$$

Последнее гарантируется, если $b_{ii+1}^{(s)} \geq 0$, или что эквивалентно выполнению неравенства

$$\frac{\lambda_s (1 + \bar{\lambda}_s \alpha_s^{j_i})}{1 + \alpha_s^{j_i}} \geq \frac{h}{2}, \quad i=1, \dots, n; j=0, 1, 2, \dots \quad (16)$$

Рассмотрим функцию $f_1(\alpha) = (1 + \bar{\lambda}_s \alpha) / (1 + \alpha)$ $0 \leq \alpha < +\infty$. Ее производная равна: $f_1'(\alpha) = (\bar{\lambda}_s - 1) / (1 + \alpha)^2$. Следовательно, если $\bar{\lambda}_s > 1$, то $f_1(\alpha)$ - возрастает, если $\bar{\lambda}_s < 1$, то $f_1(\alpha)$ - убывает, а если $\bar{\lambda}_s = 1$, то $f_1(\alpha) \equiv 1$.

Далее, если $\bar{\lambda}_s > 1$. То $\min f_1(\alpha) = 1$, $\max f_1(\alpha) = \bar{\lambda}_s$, $0 \leq \alpha < +\infty$ и, если $\bar{\lambda}_s < 1$, то

$$\min f_1(\alpha) = \bar{\lambda}_s, \quad \max f_1(\alpha) = 1, \quad 0 \leq \alpha < +\infty.$$

Следовательно, достаточным условием для выполнения (16) будет $h \leq 2\lambda_s$, если

$$\bar{\lambda}_s \leq 1, \quad s=1,2 \quad (17)$$

Таким образом, получим утверждение:

Теорема 1. Если выполнены условия (17), то разностная схема (14) - устойчива и решает задачу (1)...(6).

Теперь рассмотрим функцию $f_2(\alpha) = (1 + \bar{\lambda}_s \alpha) / (1 + \bar{m}_s \alpha)$, $0 \leq \alpha < +\infty$. Ее производная равна: $f_2'(\alpha) = (\bar{\lambda}_s - \bar{m}_s) /$

$(1 + \bar{m}_s \alpha)^2$. Следовательно, если $\bar{\lambda}_s > \bar{m}_s$, то $f_2(\alpha)$ возрастает, если $\bar{\lambda}_s < \bar{m}_s$, то $f_2(\alpha)$ убывает, а если $\bar{\lambda}_s = \bar{m}_s$, то $f_2(\alpha) = 1$. Далее, если $\bar{\lambda}_s \geq \bar{m}_s$, то $\min f_2(\alpha) = 1$, $\max f_2(\alpha) = \bar{\lambda}_s / \bar{m}_s$, $0 \leq \alpha < +\infty$, и, если $\bar{\lambda}_s < \bar{m}_s$, то

$$\min f_2(\alpha) = \bar{\lambda}_s / \bar{m}_s, \quad \max f_2(\alpha) = 1, \quad 0 \leq \alpha < +\infty.$$

Следовательно, используя соотношение (15), получим оценку для $\|A_s^{(j)}\|$

$$1 + 4 \frac{\lambda_s \bar{c}}{m_s h^2} \bar{v} \leq \|A_s^{(j)}\| \leq 1 + 4 \frac{\bar{\lambda}_s \lambda_s \bar{c}}{\bar{m}_s m_s h^2} \bar{v},$$

$$\bar{\lambda}_s \geq \bar{m}_s. \quad (18)$$

Откуда непосредственно следует оценка для $\|A_s^{(j)}\|$, $s=1,2$

$$\begin{aligned} & (1 + 4 \frac{\lambda_s \bar{c}}{m_s h^2} \bar{v}) (1 + O(\tau + h)) \leq \\ & \leq \|A_s^{(j)}\| \leq (1 + 4 \frac{\bar{\lambda}_s \lambda_s \bar{c}}{\bar{m}_s m_s h^2} \bar{v}) \times \\ & \times (1 + O(\tau + h)) \end{aligned} \quad (19)$$

$$\bar{v} = \min_{0 \leq t \leq T} V(t), \quad \bar{v} = \max_{0 \leq t \leq T} V(t),$$

где

и мы приходим к утверждению:

Теорема 2. Если выполнены условия (17), то для $\|\Lambda_s^{(j)}\|$ имеет место оценка (18), а для $\|A_s^{(j)}\|$ оценка (19).

Заметим, что если $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_0$, $m_1 = m_2 = m_0$, $V(t) = V_0 = \text{const}$ то для $\|A_s^{(j)}\|$ имеют место оценки

$$\|\Lambda_s^{(j)}\| = 1 + 4 \frac{\lambda_0 \tilde{\epsilon}}{m_0 h^2} V_0 \quad (20)$$

$$\|A_s^{(j)}\| = \|\Lambda_s^{(j)}\| (1 + O(\tau + h^2)), \quad (21)$$

которые в определенной мере свидетельствуют о точности оценок (18) и (19).

3. Явная разностная схема ($\alpha = 1$)

Воспользуемся снова соотношением (12) и напишем вариант явной разностной схемы. Имеем

$$\begin{aligned} C_s^{j+l} \frac{(1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j+l})}{(1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-l})} &= \left[\frac{\lambda_s (1 + \lambda_s \alpha_s^{j-l+1}) V \tilde{\epsilon}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-l}) h^2} - \right. \\ &- \left. \frac{V^j (1 + \alpha_s^{j-l+1}) \tilde{\epsilon}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-l}) 2h} \right] C_s^{j+l} + \\ &+ \left[1 - 2 \frac{\lambda_s (1 + \lambda_s \alpha_s^{j-l}) V^j \tilde{\epsilon}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-l}) h^2} \right] C_s^{j+l} + \\ &+ \left[\frac{\lambda_s (1 + \lambda_s \alpha_s^{j-l-1}) V^j \tilde{\epsilon}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-l}) h^2} + \right. \\ &+ \left. \frac{V^j (1 + \alpha_s^{j-l-1}) \tilde{\epsilon}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-l}) 2h} \right] C_s^{j+l-1}, \end{aligned} \quad S=1,2 \quad (22)$$

Соотношение (22) можно записать в матричном виде

$$\hat{C}_s^{(j+1)} = \bar{A}_s^{(j)} \hat{C}_s^{(j)}, \quad S=1,2, \quad (23)$$

Где $\hat{C}_s^{(j+1)} = (C_s^{j+l})$, $\bar{A}_s^{(j)} = \|\bar{a}_{ik}^{(s)}\|$, $i, k = 1, \dots, n$

$$\bar{a}_{ik}^{(s)} = 0, \quad k \leq i-2, \quad k \geq i+2$$

$$\bar{p}_{i,i-1}^{(s)} = \frac{\lambda_s (1 + \bar{\lambda}_s \alpha_s^{j-1i}) V^j \bar{z}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-1i}) h^2} + \frac{V^j (1 + \alpha_s^{j-1i}) \bar{z}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-1i}) 2h}, \quad i=2, \dots, n$$

$$\bar{p}_{ii}^{(s)} = 1 - 2 \frac{\lambda_s (1 + \bar{\lambda}_s \alpha_s^{j-1i}) V^j \bar{z}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-1i}) h^2}, \quad i=1, 2, \dots, n$$

$$\bar{p}_{i,i+1}^{(s)} = \frac{\lambda_s (1 + \bar{\lambda}_s \alpha_s^{j-1i}) V^j \bar{z}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-1i}) h^2} - \frac{V^j (1 + \alpha_s^{j-1i}) \bar{z}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-1i}) 2h}$$

$$i=1, \dots, n-1$$

Соотношение (23) можно переписать в виде

$$y^{(j+1)} = (1 + O(\bar{z} + h)) \bar{\Lambda}_s^{(j)} \hat{C}_s^{(j)}, \quad s=1, 2,$$

где $\bar{A}_s^{(j)} = (1 + O(\bar{z} + h)) \bar{\Lambda}_s^{(j)}$, $\bar{\Lambda}_s^{(j)} = \|\bar{B}_{ik}^{(s)}\|$, $i, k=1, \dots, n$.

$$\bar{a}_{ik}^{(s)} = \frac{1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-1i}}{1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-1k}}, \quad k=i-1, i, i+1$$

Оценим норму $\|\bar{\Lambda}_s^{(j)}\|$. Если $\bar{p}_{i,i-1}^{(s)} \geq 0$, $\bar{p}_{ii}^{(s)} \geq 0$, $\bar{p}_{i,i+1}^{(s)} \geq 0$, то $\|\bar{\Lambda}_s^{(j)}\| = 1$.

Последнее гарантируется, если выполнены неравенства

$$\frac{\lambda (1 + \bar{\lambda}_s \alpha_s^{j-1i})}{(1 + \alpha_s^{j-1i})} \geq \frac{h}{2}, \quad \text{т.е.} \quad 2 \frac{\lambda_s (1 + \bar{\lambda}_s \alpha_s^{j-1i}) V^j \bar{z}}{m_s (1 + \bar{m}_s \alpha_s^{j-1i}) h^2}, \quad i=1, \dots, n; \quad j=0, 1, 2, \dots$$

Откуда получаем

$$h \leq 2 \lambda_s, \quad \text{при} \quad \bar{\lambda}_s > 1, \quad s=1, 2, \quad (24)$$

$$h^2 / \bar{z} \geq 2 \frac{\lambda_s}{\bar{m}_s} \bar{V}, \quad \text{при} \quad \bar{\lambda}_s < \bar{m}_s, \quad V = \max_{0 \leq t \leq T} V(t) \quad (25)$$

Таким образом, приходим к утверждению:

Теорема 3. Если выполнены условия (24) и (25), то разностная схема (23) устойчива и решает задачу (1)... (6).

Заметим, что оценки (24) и (25) оказываются точными, если выполнены условия:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_0, \quad \pi_1 = \pi_2 = \pi_0, \quad v(t) = \text{const.}$$

4. Замечание в случае $\alpha = 1/2$

В случае $\alpha = 1/2$ условие (2) принимает вид:

$$N_1 / \sqrt{N_2} = \kappa C_1 / \sqrt{C_2},$$

откуда получаем

$$C_2 = \kappa^2 \frac{N_2}{N_1^2} C_1^2.$$

Далее рассуждениями, аналогичными § 2, получаем соотношение (10), в котором /

$$\alpha_1 = \kappa^2 \frac{N_2}{N_1^2} C_1$$

Если же $C_1 = \frac{1}{\kappa} \frac{N_1 \sqrt{C_2}}{\sqrt{N_2}}$ заменить в уравнении (8), то мы приходим к

уравнению (11), в котором $\alpha_2 = \frac{1}{\kappa} \frac{N_1}{\sqrt{N_2} C_2}$. В дальнейшем исследование проводится аналогично исследованию случая $\alpha = 1$.

Литература

1. А й д а р о в И.П., Клыков В.Е., Шульгин Д.Ф., Численное решение задачи конвективной диффузии с учетом катионного обмена в почве двух разно-валентных ионов. В сб.: "Вопросы механики", вып. 2, Калинин, 1976.
2. Н о в и к СБ., Оста М.К., Хубларян М.Г. О расчете конвективной диффузии солей в пористой среде при неустановившемся движении растворителя. Труды ВНИИГиМ, т.49. М., ВНИИГиМ, 1970.
3. Ч и р к и н М.П., Шульгин Д.Ф. К задаче расслоения почвогрунтов при орошении. Труды координационного совещания по гидротехнике, вып. 35. Л.; 1967.
4. Д в о р к и н Л.Б. К теории конвективной диффузии солей в ристых средах. ЖФХ, т. 42, № 4, 1968.
5. Ш у л ь г и н Д.Ф., М а ш а р и п о в Р. Опыт применения ЭВМ и приближенного аналитического метода для решения задач прогнозирования водно-солевого режима почвогрунтов орошаемых

массивов. В сб.: "Теория и практика борьбы с засолением орошаемых земель Г М.: Колос, 1971,

6. Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1977.

7. Б е л л м а н Р. Введение в теорию матриц. М.: Наука, 1969.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МИНИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ИЗМЕРЕНИЙ ВЛАЖНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВПГР-1

При составлении водного баланса орошаемых земель важным с точки зрения экономики их использования является точность определения составляющих его элементов. Точность измерения элементов его должна быть примерно одинаковой. Например, ошибка измерения количества жидких осадков с помощью стандартных осадкомеров в среднем равна 10%, будучи, как правило, отрицательной /1/. Основываясь на этих цифрах и на всем существующем опыте, можно считать, что при определении влажности почвы (при современных методах этого определения и определения других сопряженных, величин) приходится пока удовлетворяться точностью, равной +10% определяемой величины, но в дальнейшем надо стремиться к повышению точности.

Поскольку пестрота свойств почвы в пределах полевого участка обычно бывает значительной, для получения репрезентативности данных необходима повторность измерений. Количество измерений зависит от различных параметров почвы, целей измерений, методов измерений, применяемых приборов и т.д.

Для расчета количества необходимых измерений нами были проведены полевые измерения влажности почвы по слоям толщиной 20 см в 49 точках, размещенных на площади 11,56 га. Точки были расположены в сетке квадратов (а. = 50 м). Замеры влажности почвы проведены за один день в ранее приготовленных скважинах нейтронным влагомером ВПГР-1.

На основе полученных данных по объемной влажности почвы были рассчитаны влагозапасы в слое 0-20, 0-40, 0-60, 0-80 и 0-100 см. Потом проводилась статистическая обработка полученных рядов влагозапасов и рассчитывались:

- среднее арифметическое значение,
- среднее квадратичное отклонение,
- коэффициент вариации,
- коэффициент асимметрии,
- эксцесс.

Результаты расчетов представлены в таблице. Проведена оценка соответствия между наблюдаемым и ожидаемым (нормальным) распределениями по критерию χ^2 . Для проверки гипотезы нормального распределения использована формула [2]:

$$f(t) = \frac{N \cdot k}{\sigma} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (1)$$

где N - число испытаний, равное сумме частот эмпирического распределения $\sum m_i$, k - длина интервала дробления, σ - среднее квадратическое отклонение, t - нормированное отклонение,

$$t = \frac{W - W_{\text{ср}}}{\sigma} \quad (2)$$

После получения частот теоретического распределения последние сравниваются с эмпирическими частотами:

$$\chi^2 = \sum \frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i} \quad (3)$$

где m_i - фактические частоты,

m'_i - ожидаемые теоретически (вычисленные) частоты.

Для оценки близости эмпирического распределения к нормальному использован критерий В.Н. Романовского:

$$\frac{\chi^2 - k}{\sqrt{2k}} < 3 \quad (4)$$

где k - число степеней свободы.

Расчеты были сделаны по стандартной программе на вычислительной машине "Напри-1" (см. таблицу) В таблице показаны значения вероятности расхождения $\rho \chi^2$ для разных слоев, которые меняются иногда весьма значительно. Несмотря на это, почти все они выше критического 1%-ного предела.

Если влагозапасы распределены по нормальному закону, тогда величины σ и $W_{\text{ср}}$ полностью характеризуют распределение случайной величины. Формула для подсчета числа точек (n) отбора проб в этом случае имеет вид [3, 4]:

$$n = \left(\frac{\sigma \cdot t_p}{\Delta} \right)^2 = \left(\frac{C_v \cdot t_p}{\varepsilon} \right)^2 \quad (5)$$

где $t = \arg \Phi^x\left(\frac{1+\beta}{2}\right)$ - функция, обратная Φ^x (интервал вероятности), - достоверность, $\varepsilon = \frac{\Delta}{W}$ - максимальное допустимое значение относительной ошибки величины влагозапасов, $C_v = \frac{\sigma}{W}$ - коэффициент вариации W

Значение t_{β} для нормального закона распределения определяет число средних квадратических ошибок, отложенных в обе стороны от m так, чтобы вероятность попадания на этот участок была равна β . Для заданного β величина t_{β} находится по таблицам нормального распределения, с тем значение t_{β} для $n \rightarrow \infty$, однако практически при $n > 40$ отличается от t_{β} при $n \rightarrow \infty$ во втором t_{β} знаке после запятой. Вместо σ обычно пользуются ее приближенной оценкой, которую считают известной из предварительных многочисленных опытов.

Существенное внимание следует оказывать выбору β , т.е. той вероятности, с которой хотят получить результат и которую называют иногда уровнем вероятности, чаще достоверностью. Решая задачу о выборке точек, надо надеяться на получение достоверного результата в конце исследований. Однако по определению (5), достоверным результатом можно считать тот, вероятность появления которого весьма мало отличается от единицы. Исходя из этого, можно сказать, что, задавшись $\beta < 0,9$, мы не можем говорить о достоверном событии, а нахождение числа точек для получения представительной выборки недостоверного события не имеет смысла. В нашем конкретном случае можно в принципе остановиться на $\beta = 0,9$.

Если закон распределения величины влагозапасов неизвестен [3], тогда для подсчета n можно использовать неравенство Чебышева, характерное тем, что оно справедливо для любых законов распределения. Формула подсчета необходимого количества n при ошибке в определении искомого параметра не больше, чем Δ , и с достоверностью не меньше, чем β , может быть записана в следующем виде [3]:

$$n \leq \frac{\sigma^2}{\Delta^2(1-\beta)} = \frac{C_v^2}{\varepsilon^2(1-\beta)}, \quad (6)$$

где σ^2 - дисперсия искомого параметра, Δ - максимально допустимое значение абсолютной ошибки, C_v - коэффициент вариации, β -

достоверность, - ε максимально допустимое значение относительной ошибки влагозапасов.

Формула (6) выведена из неравенства Чебышева и дает верхнюю границу величины n ; необходимое количество точек не может быть больше этого числа ни при каком законе распределения. Максимальное значение n как бы компенсирует нам отсутствие информации о законе распределения случайной величины.

Найти ошибку при заданном количестве точек измерения можно по формуле /3. 4/*.

Составление статистических характеристик измеренных влагозапасов, расчет ошибки и количества измерений (n_1, n_2) и оценка нормального ряда наблюдений по критерию χ^2 .

Характеристика	Слой, см					Примечания
	0-20	0-40	0-60	0-80	0-100	
Количество измерений n_c	49	49	49	46	43	
Среднее значение влагозапасов, мм	44	88	122	157	193	
Среднее квадратическое отклонение, мм	4,4	7,7	12,6	17,5	19,2	
Коэффициент вариации $C_v = \frac{\sigma}{W}$	0,099	0,087	0,103	0,112	0,099	
Коэффициент асимметрии	-0,145	0,193	0,452	0,872	-0,089	
Экцесс	0,680	0,690	0,746	1,940	-0,670	
Оценка измерений	1,23	2,16	3,53	5,06	5,74	$t_{\beta} = 1,96, \beta = 0,95$
$\Delta W = \frac{\sigma \cdot t_{\beta}}{\sqrt{n_c}}$	1,03	1,80	2,95	4,23	4,80	$t_{\beta} = 1,64, \beta = 0,90$
Количество измерений	4	3	4	5	4	$\varepsilon = 0,1, t_{\beta} = 1,96, \beta = 0,95$
$n_1 = \frac{C_v \cdot t_{\beta}^2}{\varepsilon^2}$	15	12	17	20	15	$\varepsilon = 0,05, t_{\beta} = 1,96, \beta = 0,95$
Количество измерений	3	2	3	4	3	$\varepsilon = 0,1, t_{\beta} = 1,64, \beta = 0,90$
$n_1 = \left(\frac{C_v \cdot t_{\beta}}{\varepsilon}\right)^2$	11	9	12	14	11	$\varepsilon = 0,05, t_{\beta} = 1,64, \beta = 0,90$
Количество измерений	20	16	22	25	20	$\varepsilon = 0,1, \beta = 0,95$
$n_2 = \frac{C_v^2}{\varepsilon^2(1-\beta)}$	78	61	85	101	78	$\varepsilon = 0,05, \beta = 0,95$
	10	8	11	13	10	$\varepsilon = 0,1, \beta = 0,95$
	40	31	43	51	39	$\varepsilon = 0,05, \beta = 0,90$
Величина $\chi^2 = \sum \left(\frac{m_i - m_i'}{m_i'}\right)^2$	1,77	6,27	26,99	7,40	16,04	
Критерий В.Н.Романовского						
$\frac{\chi^2 - K}{\sqrt{2K}} < 3$	1,022	0,195	2,455	1,386	0,007	
	0,65	0,31	0,01	0,90	0,31	

В таблице представлен пример расчета n_1, n_2 и ΔW при известном (нормальном) и неизвестном законах распределения.

Рассматривая полученные нами результаты расчетов n_1, n_2 , обнаружим, что если закон распределения нормальный, для получения величины влагозапасов с точностью 10% и достоверностью $\beta - 0,95$ надо сделать замеры влажности в 3...5 точках однородного массива. Если точность

повысить в 2 раза (т.е. до 5%), количество замеров возрастает в 4 раза, до 12...20 точек. Если закон распределения влагозапасов неизвестен, количество замеров возрастает почти в 5 раз.

Оказывается, что достоверность в пределах 0,9...0,95 при нормальном законе распределения не очень заметно влияет на количество точек. Увеличение достоверности с 0,90 до 0,95 увеличивает количество точек на 1. При любом законе распределения влагозапасов повышение достоверности с 0,90 до 0,95 увеличивает количество замеров в два раза. Учитывая, что рост количества точек измерений связан с удорожанием и с увеличением времени измерений, необходимо в первую очередь изучить закон распределения влагозапасов по площади.

Результаты, полученные нами, не намного отличаются от данных Мастинской СБ. /5/, полученных по многим станциям, расположенных в разных биоклиматических зонах, за два года. С.Б. Мастинская приходит к выводу, что методика, принятая в системе Гидрометслужбы (четырёхкратная повторность), не обеспечивает достаточной точности определения запаса влаги в метровом слое - ошибка обычно превышает ± 10 мм при вероятности - 80%. Существенное повышение точности определения может быть достигнуто путем увеличения повторности до 9. Ошибка при этом уменьшается в 1,5-2 раза (при той же вероятности). Для установления числа повторностей, обеспечивающих заданную точность определения влагозапасов, можно воспользоваться повторяемостью ошибки, признанной допустимой, за теплый период времени. По мнению исследователя точность определения влагозапасов может быть принята различной для различных зон: в районах достаточного увлажнения ошибка не должна превышать ± 15 мм, для чего требуется пяти - шестикратная повторность, а в районах недостаточного увлажнения, где ошибка не должна превышать +10 мм, повторность должна быть шести - семикратной.

Значительное пространственное варьирование влажности, иллюстрируемое рассмотренными выше примерами, делает необходимым многократное (т.е. с той или иной повторностью) ее определение и вычисление средней величины, которая может и должна быть охарактеризована в отношении ее точности и степени ее изменчивости с помощью методов вариационной статистики.

Литература

1. Р о д е А.А. Основы учения о почвенной влаге, т. П. Л.: Гидрометеоиздат, 1969.
2. Серия программ для статистической обработки экспериментальных данных. Библиотека алгоритмов и программ для ЭВМ "Наири". М.: Минводхоз СССР, 1970.
3. Шабанов В.В. Минимальный объем измерений при изучении торфяных массивов. Вестник сельскохозяйственной науки, 1969, № 3.
4. Бондаренко Н.Ф. Физические основы мелиорации почв. М.: Колос, 1975.
5. М у ш к и н И.Г. Влагообеспеченность сельскохозяйственных полей (методы оценки). Л.: Гидрометеоиздат, 1971.

С.М.Смирнов,

Л.М.Рекс,

А.В.Ильинко

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ВОДНО-СОЛЕВОГО РЕЖИМА

Одним из путей повышения эффективности орошаемого земледелия является создание эффективных мелиоративных систем (МС), проектирование которых все в большей степени должно основываться на использовании современных экономико-математических методов и средств вычислительной техники. Поэтому одной из важнейших задач является создание системы автоматизированного проектирования (САПР) объектов мелиорации. Необходимость создания САПР в мелиорации в первую очередь обусловлена требованиями проведения более качественного комплекса исследовательских работ как на этапе предпроектных разработок вариантов МС, так и на этапе организации их рациональной эксплуатации. Мелиоративная система по совокупности включаемых в нее элементов, а также многообразию действующих на нее факторов относится к сложным системам, структурный синтез которых представляет собой далеко не простую задачу. Это связано не только с тем, что большинство процессов, определяющих функционирование МС, слабо формализовано, но и с тем, что МС является подсистемой более сложной системы, функционирование которой в значительной степени определяет и цели функционирования МС.

В частности, такой системой может быть водохозяйственная система отдельного региона. Поэтому решение вопросов создания эффективных МС в настоящее время невозможно без комплексного анализа и оценок возможных альтернатив, как в выборе структур, так и параметров систем. Проведение указанного анализа возможно только лишь с использованием методологических принципов современного моделирования сложных систем, предусматривающих создание соответствующих методик, алгоритмов и программ, реализующих вычислительные процедуры анализа и синтеза систем с заданной структурой. Разработка элементов САПР мелиоративных систем и является первым этапом на пути создания автоматизированных диалоговых систем для выполнения всего комплекса

работ, связанных с проектированием и расчетом оптимальных параметров МС. Имитационные расчеты на ЭВМ на предпроектной стадии создания МС могут быть использованы для оценки различных вариантов системы, отдельных структурных схем, выбора типов и конструкций отдельных элементов. В процессе рабочего проектирования имитационные модели могут быть использованы для выбора оптимальных параметров МС, а также для выбора оптимальных эксплуатационных режимов ее функционирования. Учитывая многообразие перечисленных задач и их сложность, видно, что создание эффективных МС возможно лишь на основе разработки комплекса математических моделей.

Постановка в рамках САПР МС комплекса оптимизационных задач, прежде всего, связана с корректной формализацией рассматриваемых задач, отнесением их к задачам различного иерархического уровня и классам. Условием выполнения указанных требований является замкнутость постановки задач относительно реализуемых целевых функций, используемых ограничений и исходных данных.

В общем случае, как известно, функционирование МС обусловлено большим числом факторов стохастической природы. Основными из них являются:

- дефицит водного ресурса;
- дефицит водного баланса;
- факторы внешней среды.

Учитывая это, возможны разнообразные постановки оптимизационных задач, в частности, наиболее традиционной является задача выбора оптимальных площадей орошения и оптимальных параметров МС.

Рассмотрим следующую задачу: для мелиоративной системы с фиксированной площадью орошения и неограниченным источником водного баланса найти оптимальные параметры МС, которые обеспечили бы максимальную эффективность системы за многолетний период ее эксплуатации. В качестве исходных предпосылок будем считать известными:

- параметры и характеристики массива освоения;
- состав возможных севооборотов;

- тип и конструкцию системы.

Урожайность выращиваемых культур может быть оценена или по результатам обработки статистических данных или по динамическим моделям формирования урожая.

В качестве оптимизируемых параметров МС примем:

\bar{g} - значение гидромодуля оросительной сети;

$H_{др}$ - глубина заложения дрен;

H_0 - напор на междренье;

Φ - диаметр дрены;

B - междреннее расстояние.

В дальнейшем совокупность оптимизируемых параметров обозначим через вектор z .

В качестве целевой функции примем функцию вида:

$$F(\bar{z}) = M \left[\max_{\bar{a} \in X} F(\bar{z}, \bar{a}, y, \bar{u}, \bar{z}) \right], \quad (1)$$

где $F(\bar{z}, \bar{a}, y, \bar{u}, \bar{z})$ - функциональная запись критерия эффективности;

\bar{z} - вектор оптимизируемых параметров МС;

\bar{a} - вектор факторов внешней среды;

y - урожайность или суммарный дополнительный доход с орошаемых земель;

\bar{u} - вектор оперативного управления МС;

\bar{z} - вектор капитальных затрат и эксплуатационных издержек.

В критерии (1) представлены две стороны процесса воспроизводства: одна из них связана с капитальными вложениями и эксплуатационными издержками, т.е. компонентами векторов \bar{z} и \bar{z} , другая - с реализацией, полученной за счет орошения земель, продукции. В общем случае для МС, характеризующейся вектором \bar{z} , годовая эффективность системы есть случайная величина. Эффективной будет та система, у которой за многолетний период ее эксплуатации математическое ожидание целевой функции (1) будет максимально, т.е.

$$M_{\bar{a} \in X} [\max F(\bar{z}, \bar{a}, y, \bar{u}, \bar{z})] \rightarrow \max. \quad (2)$$

При этом компонентами вектора \bar{z} будет набор оптимальных параметров МС. В качестве ограничений, рассматриваемых в данной задаче, примем

$$W_{\min}(x, t) < W(x, t) < W_{\max}(x, t), \quad (3)$$

$$C(x, t) \leq C_{\text{дон}}(x, t), \quad (4)$$

где $W(x, t)$ - значение влажности в корнеобитаемом слое в сечении x в момент времени t ;

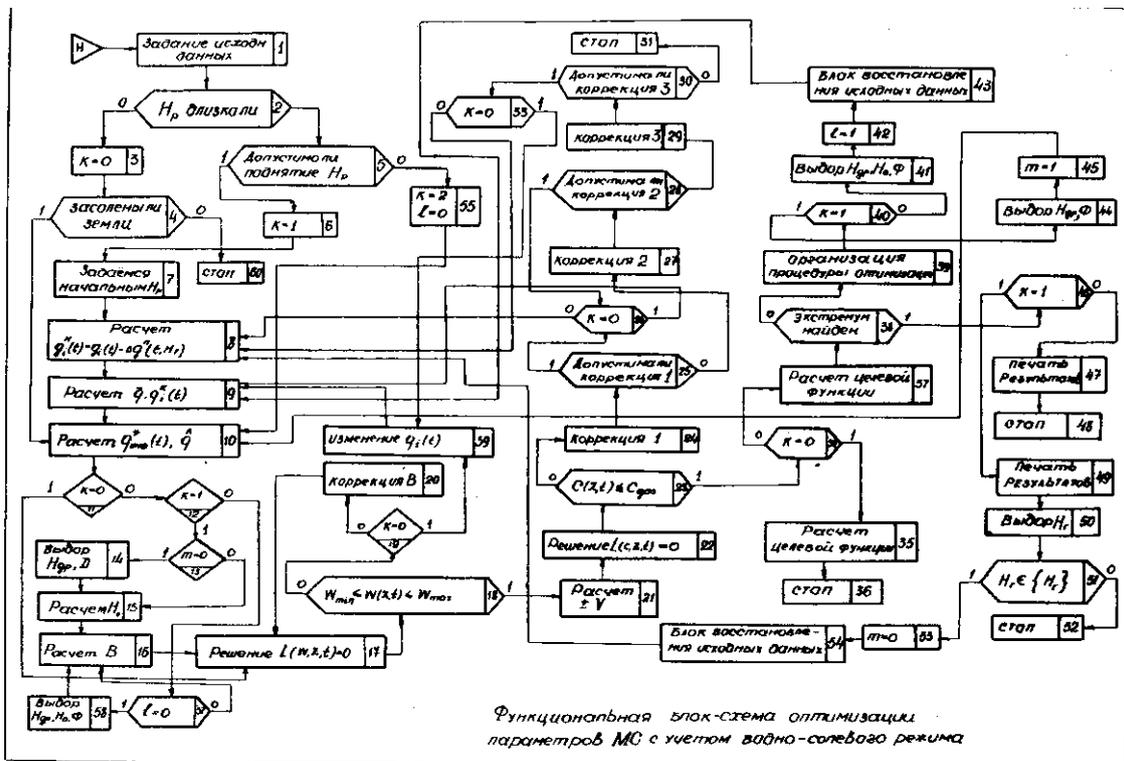
$C(x, t)$ - значение концентрации солей в корнеобитаемом слое в сечении x в момент времени t .

Функции $W(x, t)$ и $C(x, t)$ являются результатом совместного решения системы дифференциальных уравнений (в частных) производных задачи влагосолепереноса.

В общем случае можно рассмотреть три альтернативных возможности функционирования МС (см. рисунок). Первое - уровень грунтовых вод H_g расположен глубоко и его поднятие не предвидится, тогда оптимизируемым параметром является значение гидромодуля \bar{g} и задача формулируется так:

$$M_{\bar{a} \in X} [F(\bar{g}, \bar{a}, y, \bar{u}, \bar{z})] \rightarrow \max \quad (5)$$

при условии наличия ограничения (3). Если же орошаемые земли засолены, то задача решается с целевой функцией (о) и совместным использованием ограничений (3) и (4). Второе - уровень грунтовых вод H_g расположен близко к поверхности почвы или допустимо его поднятие, тогда к числу оптимизируемых параметров добавляется и параметр H_g .



Схематично процедура оптимизации параметров МС в этом случае такова: задавшись значением H_r рассчитываем $q_i^*(t)$, $i = \overline{1, n}$ по формуле

$$q_i^*(t) = q_i(t) - \Delta q_i^r(t, H_r), \quad (6)$$

где $q_i(t)$ - режим полива с того участка севооборота;

$\Delta q_i^r(t, H_r)$ - составляющая водного баланса корнеобитаемого слоя за счет подпитки снизу;

$q_i^r(t)$ - пересчитанный график режима полива i -той культуры за счет подпитки корнеобитаемого слоя от близко расположенных грунтовых вод.

Далее с учетом известных $q_i^*(t)$ решаем задачу укомплектования графика гидромодуля, находим \bar{q} (или задаемся \bar{q}) и с учетом ординат укомплектованного графика гидромодуля находим скорректированные функции $q_i^k(t)$. Зная скорректированный режим орошения участков севооборота, определяем $q_{инф}^*(t)$ и \hat{q} :

$$\hat{q} = (1/(t_2 - t_1)) \int_{t_1}^{t_2} q_{инф}^*(t) dt, \quad (7)$$

где - функция инфильтрационного питания;

$q_{\text{инфр}}^*(z)$: усредненное инфильтрационное питание; - соответственно начало и конец поливных работ на орошаемых площадях. Далее, в качестве исходных параметров, задаемся значениями $H_{\text{доп}}, \phi$, используя которые находим величины H_0, B . Зная перечисленные параметры, можно рассчитать водный режим. Если координаты эпюры $W(x, t)$ удовлетворяют условию (3), то переходим к расчету параметров солевого режима. Если же параметры водного режима не удовлетворяют ограничению (3), то путем коррекции величины B добиваемся того, чтобы параметры водного режима удовлетворяли заданному ограничению. В процессе расчета характеристик водного режима вычисляются значения скоростей перемещения водного потока, необходимых

для решения уравнения солепереноса. Решение уравнения солепереноса позволяет оценить эпюру распределения солей в почве.

Если $C(x, t) \leq C_{\text{дон}}$, то характеристики солевого режима приемлемы, если условие (4) не выполняется, то концентрация солей в корне обитаемом слое превышает предельно допустимую норму. В этом случае требуется изменение водного режима, которое осуществляется за счет трех возможных коррекций режима орошения. Коррекция № 1 осуществляет доопределение функций $q_i^k(t)$ на отрезке $[t_1 - \tau_1, t_2 + \tau_2]$, иными словами, коррекция № 1 предполагает осуществление промывного режима во вневегетационный период. Ограничения возможности осуществления коррекции № 1 обусловлены комплексом допустимых технических и технологических мероприятий, связанных как со сроками проведения необходимых промывок почв, так и с использованием для этого и в последующем различных технических средств.

Если коррекция № 1 не приводит к выполнению ограничения (4), то осуществляется коррекция № 2, функции $q_i^k(t)$ корректируются на отрезке $[t_1, t_2]$, т.е. осуществляется промывной режим в вегетационный период. Ограничением на возможность проведения коррекции № 2 является пропускная способность каналов или, фактически, значение q .

Если коррекция № 1 и № 2 не позволяют выполнить условия солевого режима, то используется коррекция № 3, приводящая к увеличению

значения гидромодуля и соответствующему возможному увеличению ординат функций $q_i^k(t)$. Если параметры солевого режима удовлетворяют заданным ограничениям, то определяется значение целевой функции и организуется процедура оптимизации параметров $H_{\text{др}}, \phi$. Если экстремум целевой функции при фиксированном H_2 и переменных $H_{\text{др}}, \phi, H_o, B$ найден, то, меняя значение H_2 , повторяем процедуру оптимизации снова. В качестве критерия может быть использована функция, учитывающая капитальные затраты и показатели полученного урожая. Таким образом, в данном случае фактически предусматриваются два цикла оптимизации, внешний цикл по H_2 , внутренний по $H_{\text{др}}, \phi$ (параметры H_o, B вычисляются как производные от $H_{\text{др}}, \phi$).

Если же поднятие уровня грунтовых вод недопустимо, то в этом случае по известным $q_i^k(t)$ определяем значение \bar{q} и $q_i^k(t)$, далее $q_{\text{инф}}^*(t)$ и \bar{q}_0 . После этого, задавшись параметрами $H_{\text{др}}, \phi, H_o$, находим экстремум целевой функции, обеспечивающий оптимальные значения параметров $H_{\text{др}}, \phi, H_o, B$ и \bar{q} . При решении данных задач оптимизации рассматриваются ограничения на характеристики водно-солевого режима. Ограничение по солевому режиму выполняется за счет трех введенных коррекций изменения графика полива.

Таким образом, используя данные ряда лет, по дефициту водного баланса и другим факторам внешней среды, определяющим режим орошения, можно для каждого года с учетом выполнения ограничений на водно-солевой режим найти оптимальные значения параметров МС, которые, в свою очередь, однозначно определяют капитальные затраты и эксплуатационные издержки ее функционирования. Урожайность при этом может быть определена или по эмпирическим зависимостям, или с использованием динамических моделей формирования урожая.

С целью выбора эффективной МС за многолетний период ее эксплуатации необходимо оценить функционирование каждой i -той системы для каждого года ретроспективного ряда. Для каждого k -ого года, характеризующегося своими климатическими условиями, возможный урожай, который может быть получен за счет орошения, есть функция водопотребления, ограниченного соответствующим значением гидромодуля. Следовательно в отдельные годы мощности МС будут использованы не полностью, а в другие годы - не обеспечат нужной вододачи на орошаемые земли за счет

ограниченной пропускной способности оросительной сети. Кроме того, в отдельных случаях возможно невыполнение ограничения на параметры солевого режима, т.е. концентрация солей в корнеобитаемом слое может превысить предельно допустимую. Таким образом, в указанные годы понизится урожайность. Функция урожайности в зависимости от водопотребления и концентрации солей в корнеобитаемом слое также может быть задана как эмпирически, так и в виде соответствующей модели.

Эффективной будет та МС, у которой критерий эффективности за многолетний период ее эксплуатации с учетом реализации продукции, капитальных затрат и эксплуатационных издержек, достигает экстремума, т.е. в зависимости от выбранного критерия его значение будет или максимальным или минимальным.

В ы в о д ы

1. Рассмотренная задача оптимизации параметров мелиоративной системы с учетом водно-солевого режима может быть использована для создания имитационной модели оптимизации параметров МС.

2. На имитационной модели в зависимости от параметров и характеристик массива освоения (в частности, значения уровня грунтовых вод) может быть решен широкий класс оптимизационных задач, возникающих на этапе проектирования, например при выборе оптимальных эксплуатационных режимов функционирования МС, при выборе технологии и используемой технике полива.

3. Рассмотренная методика может быть использована также и для решения оптимизационных задач более высокого иерархического уровня. На ее основе возможна постановка задач выбора оптимальных площадей орошения с учетом вероятностных характеристик использования водного ресурса.

ИТЕРАЦИОННЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ПОЛЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЙ В ПОЧВЕ

1. Постановка задачи

Математический анализ процессов тепло- и массопереноса в почве представляет собой сложную задачу, так как требует решения уравнений в частных производных с нестабильными граничными условиями и переменными коэффициентами уравнений. Нами предложен приближенный подход к решению этой задачи, основанный на двухэтапном ее рассмотрении и последовательном уточнении результатов.

Допустим, что изучается поле влагосодержаний в почве $U(x,t)$, где x - линейная координата (глубина), t - время (рис. 1).

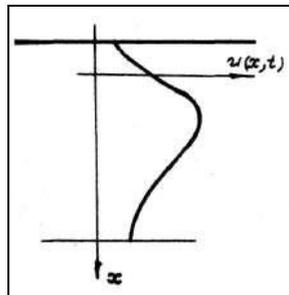


Рис.1 Поле влагосодержаний в почве

Разобьем расчет на два этапа (рис. 2). На первом этапе по предлагаемому закону распределения характерного параметра (здесь - влагосодержания) по координате составляется дифференциальное уравнение для среднего значения U . Это уравнение является обыкновенным дифференциальным уравнением относительно времени. Как будет показано ниже, при составлении дифференциального уравнения для среднего не требуется высокая точность в задании закона распределения, а влияние нестабильностей в исходной системе уравнений сглаживается. На втором этапе по найденному на первом этапе закону изменения среднего влагосодержания $U(t)$ составляется дифференциальное уравнение, определяющее рассеивание влагосодержания относительного среднего. Это дифференциальное уравнение также является обыкновенным, но уже относительно линейной координаты. Можно предположить, что закон распределения, полученный на втором этапе, слабо зависит от времени. Если полученное на втором этапе распределение близко к исходному, расчет завершается; в противном случае требуется новая интеграция.

2. Уравнение для среднего (первый этап)

Рассмотрим методику составления дифференциального уравнения, определяющего закономерность изменения среднего значения параметра во времени /1/ на примере сушки пластины. Ввиду симметрии пластины распределение влагосодержаний по линейной координате в фиксированный момент времени t является симметричным (рис. 3) и может быть задано уравнением:

$$\frac{U_c - U_x}{U_c - U_n} = \left(\frac{x}{R}\right)^2, \quad (1)$$

где $x \in [0, R]$;

U_c, U_n, U_x - значения влагосодержания

соответственно в центре, на

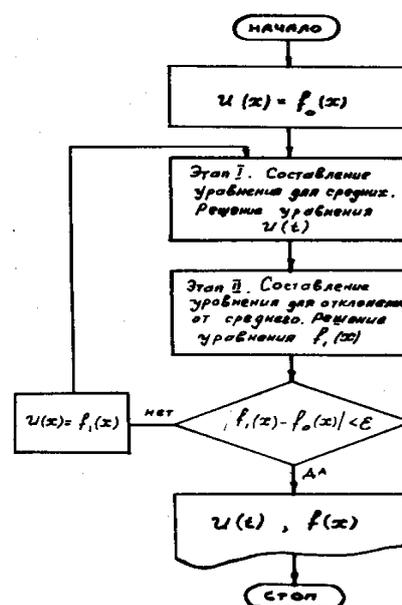


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета поля влагосодержаний

поверхности и в точке, удаленной от центра на расстоянии x ;

n - показатель, характеризующий степень неравномерности распределения влаги по сечению.

Используя выражение (1), определим среднее значение влагосодержания и градиент влагосодержания на поверхности пластины:

$$u = \frac{1}{R} \int_0^R u_x dx = u_n - \frac{u_n - u_n}{R} \int_0^R \left(\frac{x}{R}\right)^n dx = \frac{n u_n + u_n}{n+1} \quad (2)$$

$$(\nabla u)_n = \frac{du_x}{dx} = -\frac{n}{R} (u_n - u_n). \quad (3)$$

Преобразуем выражение (3), заменив в нем на основании формулы (2) $n u_n = (n+1) u - u_n$

$$(\nabla u)_n = -\frac{1}{\xi R} (u - u_n), \quad (3.a)$$

где $\xi = \frac{1}{n+1}$.

Поток влаги, поступающий от внутренних слоев пластины к ее поверхности, равен:

$$i_1 = -\kappa \delta (\nabla u)_n,$$

а поток влаги, испаряемый с поверхности, равен:

$$i_2 = \beta \gamma (u_n - u_p),$$

где γ - массовая плотность материала пластины;

κ, β - коэффициенты соответственно влагопроводности и влагообмена;

u_p - равновесное влагосодержание.

Из условия баланса потоков влаги на поверхности пластины следует:

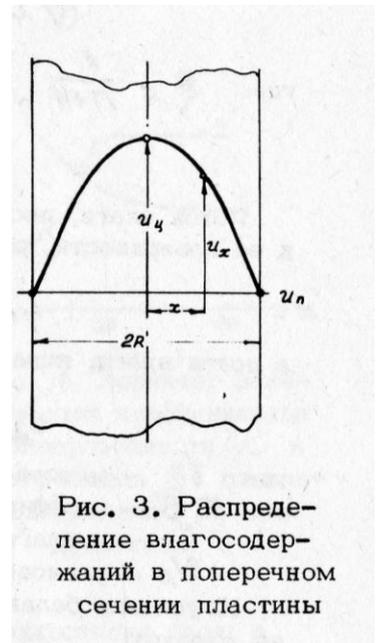


Рис. 3. Распределение влагосодержаний в поперечном сечении пластины

$$-\frac{G}{F} \frac{du}{dt} = -\kappa \delta (\nabla u)_n = \beta \gamma (u_n - u_p), \quad (4)$$

где G - масса сухого вещества половины пластины;

F - площадь поверхности пластины. После преобразований из (4) с учетом (3,а) и замены

$$\frac{G}{\gamma F} = R, \quad \text{получим:} \quad -\frac{du}{dt} = A (u - u_p), \quad (5) \quad \text{где}$$

$$A = \frac{1}{\xi + \frac{\kappa}{\beta R}} \cdot \frac{\kappa}{R^2}. \quad (6)$$

Коэффициент A , определяющий скорость удаления влаги из материала, называют коэффициентом сушки. Коэффициент сушки в каждый момент времени зависит от соотношения влагокоэффициентов κ, β и характера распределения влаги по сечению пластины, определяемого величиной ξ .

На рис. 4 показаны типичные зависимости коэффициентов κ и β от влагосодержания материала u (древесина /2/). Как следует из рис. 4, в процессе сушки $\frac{\kappa}{\beta R}$ уменьшается. В отличие от этого коэффициент ξ в процессе сушки возрастает. В начале процесса сушки, когда влага удаляется только из поверхностного слоя, а внутри материала она распределена равномерно, $n = \infty$ и

$\xi = 0$. В дальнейшем влага начинает удаляться из более глубоких слоев, что отражается в математической модели понижением n . В конце процесса сушки $u \rightarrow u_p, n \rightarrow 0$,

$$\xi \rightarrow 1.$$

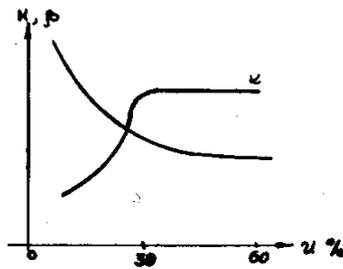


Рис. 4. Характер зависимостей коэффициентов влагопроводности K и влагообмена β от влагосодержания u для древесины

Таким образом, коэффициент β характеризует глубину зоны удаления влаги. Закономерность изменения в процессе сушки зависит от физических свойств материала, формы связи влаги с материалом и режима сушки.

Конкретный анализ закономерностей изменения коэффициентов K, β, β показывает, что их влияние на коэффициент A в процессе сушки частично компенсируется. При

$A = \text{const}$ - результате интегрирования уравнения (5) получим:

$$u - u_p = (u_n - u_p) e^{-t/\tau_c}, \quad (7)$$

где $\tau_c = \frac{1}{A}$ - постоянная времени процесса сушки,

u_n - начальное значение среднего влагосодержания. В более строгом подходе A следует рассматривать

как функцию времени. Тогда

$$u - u_p = (u_n - u_p) e^{-t/\bar{\tau}_c}, \quad (8)$$

Где $\bar{\tau}_c = \frac{1}{\bar{A}}$; $\bar{A} = \frac{1}{T} \int_0^T A dt$.

Коэффициент сушки A можно определять непосредственно из экспериментальной кривой сушки $u(t)$, используя его близость к экспоненциальному графику. Как известно, для экспоненциального графика постоянная времени τ_c может быть определена по длине под секущей,

которая близка к сумме постоянной времени и половины интервала между точками графика, через которые проведена секущая (рис, 5).

Тогда
$$T_c \cong \frac{y}{\Delta u} \Delta t, \quad (9)$$

где y - значение $u - u_p$ в середине интервала; $\Delta t, \Delta u$ - соответственно длина промежутка времени и изменение влагосодержания.

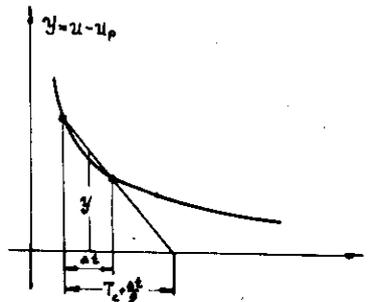


Рис. 5. Определение постоянной времени T_c из кривой сушки I

3. Уравнение для описания рассеивания влагосодержания внутри материала относительно среднего (второй этап)

Рассмотрим методику составления дифференциального уравнения, описывающего рассеивание относительно среднего на примере сушки той же пластины. Положим, что процесс перемещения влаги внутри пластины определяется уравнением Фурье Для теплопроводности:

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2}, \quad (10)$$

где $a^2 = \kappa / c$

c - удельная влагоемкость материала. Из первого этапа найдена закономерность изменения среднего влагосодержания $u(t)$. Для квазилинейных систем можно принять

$$u(x, t) \cong u(t) F(x). \quad (11)$$

Подставляя $u(x, t)$ из уравнения (11) в уравнение (10) и учитывая выражение (8), получим:

$$a^2 \frac{d^2 F(x)}{dx^2} + \bar{A} F(x) = 0 \quad (12)$$

Решая уравнение (12) по известным краевым условиям, можно найти $F(x)$ и $u(x, t) = u(t)F(x)$.

Литература

1. Смирнов СМ. Автоматизация сушильных установок легкой промышленности. М.: "Ростехиздат", 1962.
2. Лебедев П.Д. Сушка инфракрасными лучами. М.: Госэнергоиздат, 1955.

УВЛАЖНЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С ЭЛЕКТРИЗАЦИЕЙ ПОЛИВНОЙ ВОДЫ

Максимально возможный КПД фотосинтеза теоретически составляет около 28%. При современном сельскохозяйственном производстве КПД фотосинтеза редко превышает 3%. Следовательно, существует определенный резерв повышения урожайности растений.

Коренного повышения эффективности мелиорации можно достичь лишь на основе комплексного регулирования факторов жизни растений, создания оптимального водно-воздушного, солевого, теплового, газового и питательного режимов почвогрунтов и приземного слоя воздуха на протяжении вегетационного периода¹⁾.

Целью исследований является разработка дождевания сельскохозяйственных культур с электризацией поливной воды. Оптимальной величиной плотности тока аэроионизации является 10^{-12} А/см², способствующая наиболее полному использованию потенциальных возможностей растения²⁾. Электрические токи осадков при грозе также находятся на уровне 10^{-12} А/см². Поэтому все разработанные устройства для полива электрически заряженной водой изготавливались с учетом создания плотности суммарного тока 10^{-12} А/см² и более.

Исследования проводились на осушенном низинном торфянике "Лесное" в БССР. Район характеризуется умеренно-континентальным климатом, сумма активных температур колеблется в среднем в пределах 2200-2400°С. Средняя многолетняя сумма осадков за май-сентябрь составляет 340 мм. По составу торфа и гидрогеологическим условиям опытный участок "Лесное" относится к пойменным осоко-тростниковым торфяным болотам. Уровень грунтовых вод регулировался в диапазоне 0,9-1,1 м. Многолетние травы увлажнялись дождеванием при помощи среднеструйных насадок СДА с устройством для электроискровой обработки струи воды.

Поливы с интенсивностью дождя 0,12-0,15 мм/мин назначали при снижении влажности почвы в слое 0-50 см до нижнего значения заданного диапазона регулирования и проводили такой нормой, чтобы влажность поднялась до значений верхнего диапазона регулирования: 50-70%*) от объема. Влажность почвы измеряли гамма-влажномерами с ежесуточной

автоматической записью. Для контроля влажность почвы измеряли также тормостатно-весовым способом. Осадки и поливные нормы измеряли дождемерами Давитая, осадкомерами Третьякова. На опытных участках систематически проводились фенологические наблюдения, замер уровня грунтовых вод, испарения, дренажного стока. Повторность всех опытов четырехкратная. Площадь учетной делянки 25 м².

В 1978 г. участок площадью 1,8 га был засеян яровой пшеницей "Ленинградская". Оптимальная для растений влажность почвы в условиях опытного участка "Лесное" составляет для яровой пшеницы 53-60%³). Причем, при дождевании насадками СДА-2 на торфяных почвах, если рассчитывать на максимальную прибавку урожаев, сбросы поливной воды неизбежными доходят до 40% от суммарной водоподачи. Поэтому была смонтирована стационарная система для аэрозольного увлажнения из перфорированных полиэтиленовых трубопроводов и опыт проводился по следующей схеме: 1) контроль, 2) зарядка капель естественных осадков в электрическом поле 1 Кв/м, 3) аэрозольное увлажнение, 4) аэрозольное увлажнение с суммарной плотностью тока 10⁻¹² А/см². Вокруг распыляемой воды, выходящей из перфорированного полиэтиленового трубопровода, создается при помощи индуцирующего электрода электрическое поле. Это поле индуцирует на каплях воды поверхностные заряды. Поливы проводились в соответствии с методикой аэрозольного увлажнения при влажности воздуха менее 70% или температуре воздуха более 21%, а также облачности менее трех баллов. Норма увлажнения 2 м³/ч на 1 га. Норма увлажнения за вегетационный период в 1978 г. составила 18 мм, в 1979 г. - 24 мм.

Результаты опыта представлены в табл. 1.

В результате аэрозольного увлажнения яровой пшеницы нормой от 18 до 24 мм получена средняя прибавка урожая 13,1 ц/га или 41% при контроле без орошения 31,7 ц/га. Аэрозольное увлажнение с суммарной плотностью электрического тока 10⁻¹² А/см² дает дополнительную прибавку урожая 6,85 ц/га или 21,5%. Зарядка естественных осадков в электрическом поле 1 кВ/м в 1978 г. не дала статистически значимых результатов, а в 1979 г. при норме выпадения за вегетационный период 266 мм прибавка урожая составила 6,3 ц/га или 20,1%.

На участке с многолетними травами (ежа сборная, тимофеевка луговая) на струи воды от дождевальными аппаратами СДА-2 подавался искровой заряд от источников напряжения ± 5 кВ и ± 25 кВ. Расстояние между дождевальными аппаратами, расставленными в шахматном, порядке, составляло 23 м. Размер учетной делянки 5 x 5 м. Опыт проводился на участке, где влажность почвы поддерживалась в течение вегетации в пределах 50-70% от объема. Норма полива за второй укос 1978 г. составила 19 мм. Результаты опыта представлены в табл. 2.

1) Галямин Е.П., Шумаков Б.Б. Принципы и пути решения проблемы комплексного регулирования факторов жизни растений. В сб.: "Вопросы управления комплексных факторов жизни растений". М.: ВНИИГиМ, 1978,

2) Опыты проведены Е.Я.Чернявским.

*) Регулирование водного режима на экспериментальном участке "Лесное" с многолетними травами проводилось канд. техн. наук Буниной Н.П.

3) Узузян А.И. Исследование способов и режима увлажнения сельскохозяйственных культур на торфяных почвах в Минской области БССР. Автореферат канд.диссертации. М.: МГМИ, 1974.

Таблица 1

Аэрозольное увлажнение яровой пшеницы

Варианты	Урожай, ц/га			Разность с контролем, ц/га			%		
	1978 г.	1979 г.	Средн.	1978 г.	1979 г.	Сред.	1978 г.	1979 г.	Сред.
Контроль (без орошения)	32,3	31,2	31,7	-	-	-	-	-	-
1 кВ/м	37,1	37,5	37,3	4,8	6,3	5,5	14,8	20,1	17,4
Аэрозольное увлажнение	46,9	42,8	44,8	14,6	11,6	13,1	45,2	37,1	41,1
Аэрозольное увлажнение, 10^{-12} А/см ²	56,5	46,9	51,7	24,2	15,7	19,9	74,8	50,3	62,5
НСР ₀₅				12,5	2,0		38,7	6,4	

Таблица 2

Дождевание многолетних трав СДА-2 (19 мм, 2-й укос, 1978 г.)

Варианты	Урожай, ц/га	Разность с контролем	
		ц/га	%
Контроль (без орошения)	32,8	-	-
0,5-0,7 см ³ /см ³	42,9	10,1	30,8
0,5-0,6 см ³ /см ³	36,4	3,6	10,9
+5 кВ	58,2	25,4	77,4
-5 кВ	54,6	21,8	66,4
-25 кВ	45,0	12,2	37,0
+25 кВ	70,7	37,9	115,5
НСР ₀₅		7,9	16

Полярность напряжения указана на разрядном электроде. Другой вывод от источника питания присоединялся к корпусу дождевального аппарата. Учитывая результаты второго укоса 1978 г. был проведен опыт с применением напряжения -25 кВ, +25 кВ, и +25 кВ. В варианте +25 кВ обработка струи воды искрой проводилась с положительного и отрицательного электрода. Норма полива за третий укос 1978 г. составила "3 9 мм. Результаты опыта представлены в табл. 3,

В 1979 г. проведен опыт с подачей на разрядный электрод напряжения +12,5 кВ и -12,5 кВ, т.е. один источник напряжения 25 кВ работал на 2 дождевальных аппарата СДА-2. Результаты опытов 1979 года. представлены в табл. 4,

Таблица 3

Дождевание многолетних трав СДА-2 (39 мм, 3-й укос, 1978 г.)

Варианты	Урожай, ц/га	Разность с контролем	
		ц/га	%
Контроль (0,5-0,7)	49,9	-	-
+25 кВ	88,1	38,2	76,5
-25 кВ	78,2	28,3	56,7
+25 кВ	79,8	29,9	60
	НСР ₀₅	13,4	18

Анализ опытных данных показывает, что При дождевании многолетних трав среднеструйными аппаратами СДА-2 в диапазоне влажности почвы 0,5-0,7 см³/см нормой 19-39 мм электроискровая обработка струи воды при напряжении -25 кВ дает прибавку урожая сена за один укос 15,2 ц/га или 31,4%, при +25 кВ - 28,3 ц/га или 72,1%, при -12,5 кВ и норме полива 42-50 мм прибавка урожая сена составляет 5,9 ц/га или 16,7%, а при +12,5 кВ - 13,6 ц/га или 38,5%.

В 1979 г. проведены полевые опыты с зарядкой естественных осадков в электрическом поле 1 кВ/м и 5 кВ/м при норме выпадения 266 мм за июнь-август.

Результаты опыта представлены в табл. 5, 6.

При аэрозольном увлажнении электретными форсунками многолетних трав за третий укос 1979 г. урожайность сена представлена в табл. 7.

Таблица 4

Дождевание многолетних трав СДА-2 (42 мм, второй укос 1979 г., 50 мм, третий укос 1979 г.)

Варианты	Урожай, ц/га			Разность с контролем					
	1 укос	2 укос	3 укос	ц/га			%		
				1 укос	2 укос	3 укос	1 укос	2 укос	3 укос
Контроль (0,5-0,7)	35,4	34,5	34,9	-	-	-	-	-	-
+12,5 кВ	52,6	44,6	48,6	17,2	10,1	13,6	48	29,2	38,5
-12,5 кВ	41,5	40,2	40,8	6,1	5,7	5,9	17	16,5	16,7
НСР ₀₅				7,5	4,25		21,2	12,3	

Таблица 5

Урожай картофеля при зарядке естественных осадков

Варианты	Урожай, ц/га	Разность с контролем		Крахмал
		ц/га	%	
Контроль	278,8	-	-	9,87
1 кВ/м	305,4	26,6	9,5	12,1
5 кВ/м	334,6	55,8	20	13,0
НСР ₀₅		19,9	7,14	-

Таблица 6

Урожай капусты при зарядке естественных осадков

Варианты	Урожай, ц/га	Разность с контролем, ц/га	
Контроль	587,6	-	-
+1 кВ/м	491,4	-90,1	-17
-1 кВ/м	647,5	59,7	10
НСР ₀₅		58,7	10

Таблица 7

Аэрозольное увлажнение многолетних трав

Варианты	Урожай, ц/га	Разность с контролем	
		ц/га	%
Контроль (без орошения)	20	-	-
Аэрозольное увлажнение	24,9	4,9	24,5
Аэрозольное увлажнение электретными форсунками с суммарной плотностью тока $+10^{-12}$ А/см ²	33,5	13,5	67,5
НСР ₀₅		4,8	24,1

Электретами называют диэлектрики, которые, будучи наэлектризованы, длительное время сохраняют это состояние. Наиболее стабильными

являются электреты из пленок фторопласта - 4 и поликарбоната. Поверхностная плотность заряда у этих электретов сохраняется в течение нескольких лет на уровне 10^{-8} кл/см².

Разработанная электретная форсунка перспективна для мелиорации потому, что применяется она без дополнительных источников электроэнергии.

Максимальная плотность суммарного электрического тока у разработанных устройств для полива электрически заряженной водой находилась на уровне (1,22-1,83) 10^{-10} А/см². При замере электрометром СГ-2М индукционно заряженных капель при напряжении 5 кВ накопление заряда при бора составило 1,6 с.

С учетом вегетационно-полевых опытов 1976-1977 гг. по аэрозольному увлажнению с электризацией поливной воды свеклы "Эккендорфской" в совхозе "Лесное" проведен полевой опыт с электрической немагнитной обработкой воды, а также с насыщением поливной воды микроэлементами. На опытном участке с помощью перфорированного трубопровода распылялось 2 м³/4 поливной воды в непрерывном режиме. Общее время увлажнения составило 120 ч, поливная норма 24 мм. Скорость ветра, температура воздуха, относительная влажность определялись метеорологической станцией М-49. Влажность почвы на каждом, варианте определялась почвенным электровлагомером ВПГ-29А конструкции Белорусского научно-исследовательского института мелиорации и водного хозяйства. Уровень грунтовых вод в течение вегетационного сезона находился в пределах 0,85-1,15 м. Результаты опыта представлены в табл. 8.

Во всех вариантах прибавка урожая свеклы "Эккендорфской" по сравнению с контролем является статистически значимой.

Таблица 8

Аэрозольное увлажнение свеклы "Эккендорфской" с электрической и магнитной обработкой воды (1979 г.)

Варианты	Урожай, ц/га	Сахара, %	Разность с конт- ролем, ц/га %	
Контроль (0,55-0,65)	270	6,7	-	-
Аэрозольное увлажне- ние -10^{-12} А/см ²	326,4	7,0	56,4	20,9
Аэрозольное увлажне- ние + микроэлементы	331,8	7,8	61,8	22,9
Аэрозольное увлажне- ние + магнит + микро- элементы	321,3	6,8	51,3	19
Аэрозольное увлажне- ние -10^{-12} А/см ² + магнит + микроэlemen- ты	436	8,1	166	61,5
	НСР ₀₅		49,5	18,2

Выводы

1. В результате проведенных нами исследований по дождеванию сельскохозяйственных культур с электризацией поливной воды с суммарной плотностью электрического тока 10^{-12} А/см² установлено повышение урожая яровой пшеницы в среднем 6,85 ц/га или 21,4%, свеклы "Эккендорфской" на 56,4 ц/га или 20,9%. Срок окупаемости капитальных вложений в технику электризации поливной воды составляет около 1 года.

2. При дождевании многолетних трав среднеструйными аппаратами СДА-2 с электроискровой обработкой струи воды с целью обогащения ее азотом из воздуха с концентрацией 30-100 мг/л наблюдается прибавка урожая сена за один укос 15,2 ц/га или 31,4% при -25 кВ, 28,3 ц/га или 72,1% при + 25 кВ, 5,9 ц/га или 16,7% при -12,5 кВ, 13,6 ц/га или 38,5% при +12,5 кВ.

3. Зарядка естественных осадков при норме выпадения 266 мм за вегетационный период в электрическом поле 1 кВ/м дает прибавку урожая яровой пшеницы 5,5 ц/га или 17,4%.

4. При аэрозольном увлажнении многолетних трав электретными форсунками урожай сена за 3-ий укос выше в сравнении с обычным аэрозольным увлажнением на 8,6 ц/га или 34%.

5. Опыт работы с техникой электризации поливной воды позволяет рекомендовать ее для внедрения в мелиоративную практику.

И.П.Айдаров,
Л.Ф.Пестов,
Т. П. Королькова

ВЛИЯНИЕ ТИПА И СТЕПЕНИ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

К настоящему времени накоплен некоторый опыт по оценке солеустойчивости сельскохозяйственных культур для различных регионов нашей страны /1-15/. Однако отсутствие специальных исследований по солеустойчивости для каждого региона позволяет лишь приблизительно оценить влияние типа и степени засоления на урожайность сельскохозяйственных культур.

Для сероземных почв хлоридного, сульфатно-хлоридного, хлоридно-сульфатного и сульфатного (с большим и малым содержанием гипса) типов засоления определена зависимость (рис. 1) снижения урожайности хлопчатника от содержания хлора в корнеобитаемом слое почвы /3-7/. Для тех же типов засоления зависимость снижения урожайности других сельскохозяйственных культур от содержания плотного остатка приведена на рис. 2 /2, 8-13/.

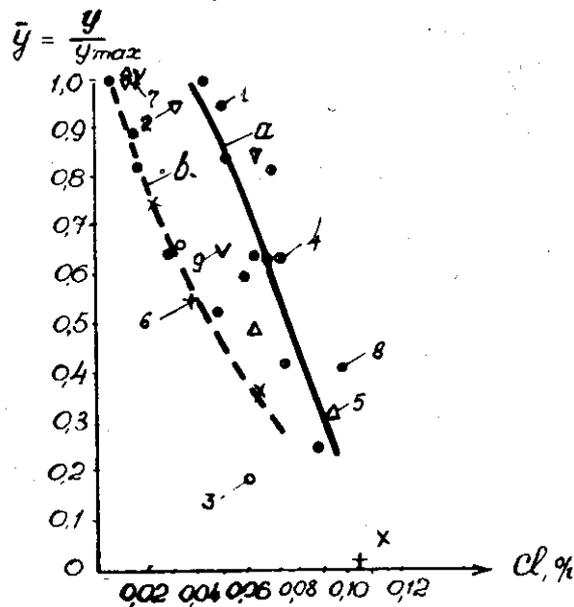


Рис. 1. Зависимость относительной урожайности хлопчатника (\bar{y}) от засоления почв хлором: а - для Средней Азии; б - для Туркмении; по данным: 1 - В.М.Легостаева; 2 - Х.И.Якубова; 3, 4 - П.К.Киселевой; 5 - И.С.Рабочева; 6 - О.Р.Раджепова (Туркмения); 7 - Н.Г.Минашиной; 8 - Ф.Ф.Трапезникова (Мургаб); 9 - Л.П.Розова (Марыйский р-н)

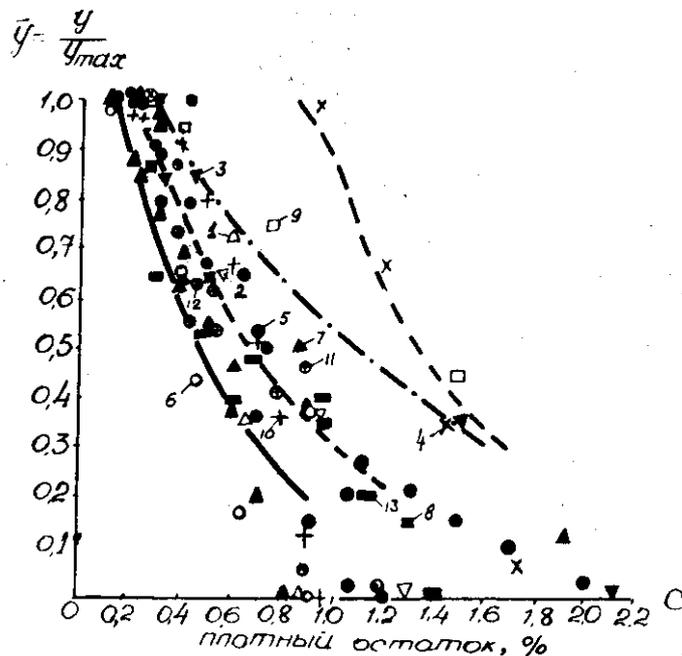


Рис. 2. Зависимость относительной урожайности сельскохозяйственных культур (y) от типа и степени засоления почв (C): 1 - полевые культуры (хлоридное засоление); 2 - полевые культуры (хлоридно-сульфатное засоление); 3 - полевые культуры (сульфатное с малым содержанием гипса); 4 - то же, с большим содержанием гипса (Центральная Фергана,

Голодная степь); 5 - озимая пшеница (Молдавия, Дагестан, США, Иран); 6 - ячмень; 7 - кукуруза на зерно и на силос (Молдавия, Армения); 8 - полевые культуры (сульфатио-хлоридное и хлоридное засоление, Чуйская долина); 9 - полевые культуры (хлоридно-сульфатное и сульфатное, Чуйская долина); 10 - сахарная свекла (хлоридно-сульфатное засоление); 11 - хлопчатник (хлоридно-сульфатное засоление, Мургабский оазис); 12 - хлопчатник (Марыйский р-н, Туркм. ССР); 13 - хлопчатник (Бухарская зональная опытная станция)

Учитывая достаточно хорошее совпадение экспериментальных данных по зависимости урожая различных культур от типа и степени засоления (по плотному остатку) с наиболее обобщенными проработками по солеустойчивости культур, при аппроксимации зависимости $\bar{y} = f(c)$ за основу нами

были приняты данные /2/. При этом учитывалось, что при содержании солей в расчетном слое почвы меньшем или равном порогу токсичности, относительный урожай сельскохозяйственных культур принимался равным единице ($\bar{y} = 1$). Результаты аппроксимации зависимости приведены в табл. 1 и на рис. 2. $\bar{y} = f(c)$

Зависимость относительной урожайности сельскохозяйственных культур $У$ от типа и степени засоления почв ($С$) в аридной зоне

Засоление почв	Расчетная зависимость
Хлоридное	$\bar{y} = 1$ при $0 < C \leq 0,15$ $\bar{y} = 1,39e^{-2,16C}$ при $0,15 < C \leq 0,90$
Хлоридно-сульфатное	$\bar{y} = 1$ при $0 < C \leq 0,20$ $\bar{y} = 1,38e^{-1,48C}$ при $0,20 < C \leq 1,20$
Сульфатное с малым содержанием гипса	$\bar{y} = 1$ при $0 < C \leq 0,3$ $\bar{y} = 1,28e^{-0,87C}$ при $0,30 < C \leq 1,60$
Сульфатное с большим содержанием гипса	$\bar{y} = 1$ при $0 < C \leq 0,94$ $\bar{y} = 4,68e^{-1,64C}$ при $0,94 < C \leq 1,70$

Примечание. $С$ - содержание плотного остатка в метровом слое, % на 100 г. почвы.

На рис. 3 показана зависимость снижения урожая сена люцерны первого и третьего года от содержания хлора для условий Южно-Казахстанской области /14/.

Эти данные аппроксимируются зависимостью:

$$\bar{y} = 1 \text{ при } 0 < C \leq 0,02$$

$$\bar{y} = e^{-36,08C^2} \text{ при } 0,02 < C \leq 0,18$$

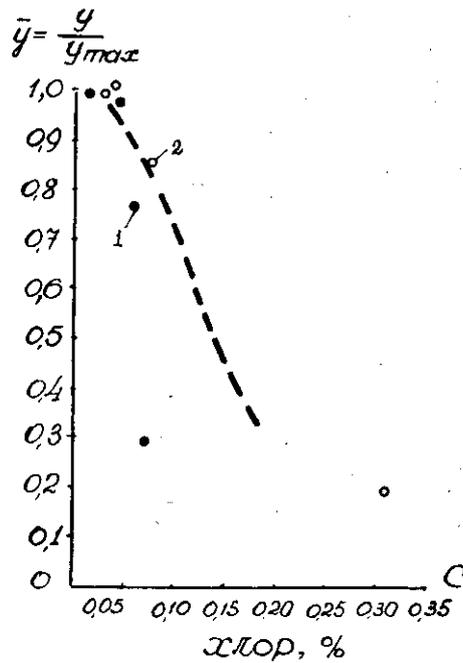


Рис. 3. Зависимость относительного урожая сена люцерны (\bar{y}) от содержания хлора в слое почвы 0–40 см: 1 – фактические данные для 1-го года жизни; 2 – то же, для 3-го года жизни; 3 – кривая аппроксимации

На каштановых и черноземных почвах, обладающих значительной емкостью поглощения, наибольшее распространение получило засоление с участием соды и осолонцевание. Зависимость снижения урожая сельскохозяйственных культур от суммы солей при содовом, хлоридно-содовом и содово-хлоридном засолении показана на рис. 4 /2, 15/.

Аппроксимация зависимости $\bar{y} = f(c)$ для указанных типов засоления приведена в табл. 2.

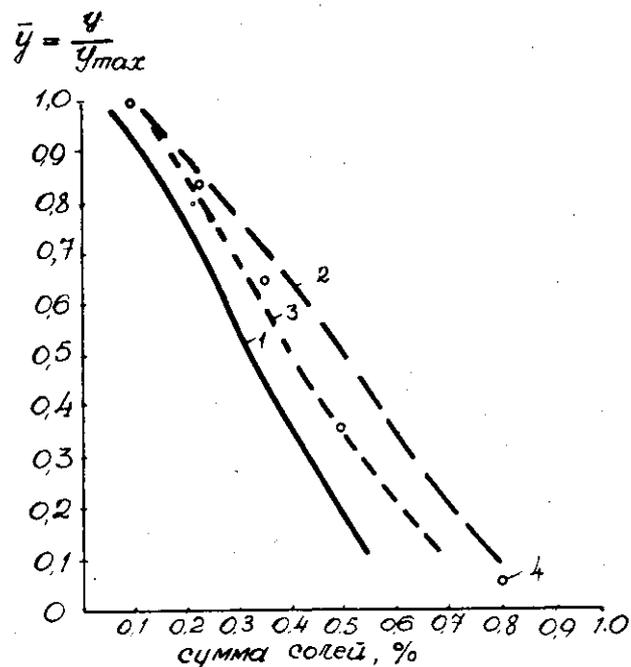


Рис. 4. Зависимость относительной урожайности сельскохозяйственных культур (\bar{y}) от типа и степени засоления почв в слое 0-60 см: 1 - содовое; 2 - хлоридно-содовое и содово-хлоридное; 3 - сульфатно-содовое и содово-сульфатное засоление; 4 - содовое и смешанно-содовое засоление, Чуйская долина

На рис. 5 и 6 приведены зависимости по влиянию обменного натрия, токсичной щелочности и рН среды на снижение урожайности основных сельскохозяйственных культур /1,2/,

Таблица 2

Зависимость относительной урожайности сельскохозяйственных культур (\bar{y}) от типа и степени засоленных почв для степной зоны

Засоление почв	Расчетная зависимость
Содовое	$\bar{y} = 1$ при $0 < C \leq 0,05$
	$\bar{y} = e^{-6,81C^2}$ при $0,05 < C \leq 0,50$
Хлоридно-содовое и содово-хлоридное	$\bar{y} = 1$ при $0 < C \leq 0,10$
	$\bar{y} = 1,02e^{-4,35C^2}$ при $0,10 < C \leq 0,50$
Сульфатно-содовое и содово-сульфатное	$\bar{y} = 1$ при $0 < C \leq 0,10$
	$\bar{y} = 1,02e^{-2,97C^2}$ при $0,10 < C \leq 0,60$

Примечание. C - плотный остаток в метровом слое, % на 100 г почвы.

Зависимости относительного урожая полевых культур (\bar{y}) от содержания обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе (Na в % от ППК), от содержания токсичной щелочности (HCO связанное с Na и Mg , мг-экв/100 г), от реакции почвенной среды (рН) аппроксимированы в следующем виде (табл. 3).

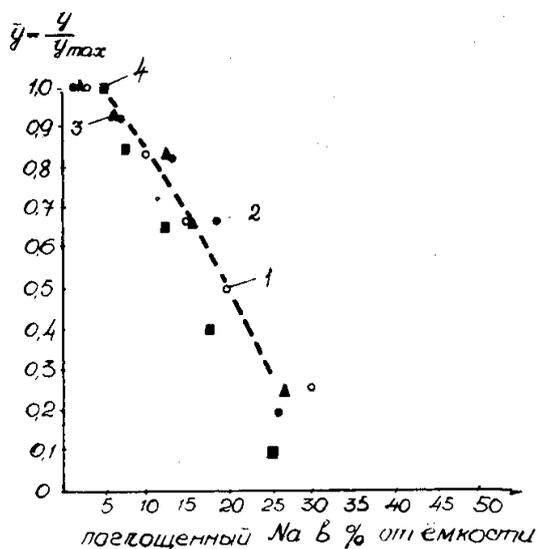


Рис. 5. Зависимость относительной урожайности сельскохозяйственных культур (\bar{y}) от содержания поглощенного натрия в солонцах и солонцеватых почвах: 1 - пшеница (В.А.Ковда); 2 - оз.пшеница (южные солонцеватые черноземы); 3 - ячмень (южные солонцеватые черноземы); 4 - с.-х. культуры (Чуйская долина, Н.К.Баженов)

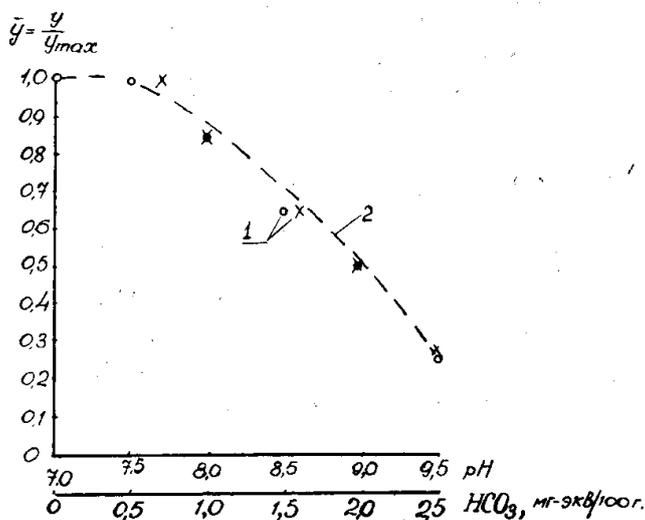


Рис. 6. Влияние щелочности почв (HCO_3^-) и pH среды на относительную урожайность пшеницы (по данным В.А.Ковды): 1 - фактические точки; 2- теоретическая кривая.

Таблица 3

Зависимость относительной урожайности сельскохозяйственных культур от содержания обменного натрия в ППК

Токсичный ион	Расчетная зависимость
Обменный натрий (Na , % от ППК) -C	$\bar{y} = 1$ при $0 < C \leq 5$ $\bar{y} = 1,05e^{-0,00193C^2}$ при $5 < C \leq 30$
Токсичная щелочность (HCO_3^-) связанная с Na и Mg , мг-экв/100 г - C	$\bar{y} = 1$ при $0 < C \leq 0,8$ $\bar{y} = 1,329 - 0,412 C$ при $0,8 < C \leq 2,5$
Реакция почвенной среды (pH водной суспензии 1 : 2,5)-C	$\bar{y} = 1$ при $0 < C \leq 7,5$ $\bar{y} = 1 - 0,1247 (C - 7,0)^2$ при $7,5 < C \leq 9,0$

Выводы

Приведенные данные могут быть использованы при оценке плодородия почв и программирования урожаев сельскохозяйственных культур на засоленных и подверженных засолению орошаемых землях аридной и степной зон.

Литература

1. К о в д а В.А., М а м а е в а Л.И. Пределы токсичности солей в почвах Пахта-Арала для люцерны и хлопчатника. Почвоведение, 1939, № 4.
2. С т р о г а н о в Б.П. Физиологические основы солеустойчивости растений. Изд. АН СССР, М., 196 2.
3. М и н а ш и н а Н.Г. Токсичные соли в почвенном растворе, их расчет и классификация почв по степени засоления. Почвоведение, 1970, № 8.
4. Т р а п е з н и к о в Ф.Ф., К р а с н о в Ф.Г. Эффективность промывок в Мургабском оазисе. Хлопководство, 1967, № 11.
5. Б а л я б о Н.К. Повышение плодородия почв орошаемой хлопковой зоны СССР, М.: Сельхозгиз, 1954.

6. Рабочев. И.С., Бурдыгина В.С. Влияние концентрации почвенного раствора на урожай хлопка-сырца. В сб. статей, изд. "Ылым", Ашхабад, 1968.

7. Духовный В. А. и др. Горизонтальный дренаж орошаемых земель. Изд. "Колос", М., 1979.

8. Мирзаяев Э.М. Реакция некоторых сельскохозяйственных культур на засоленность почв и грунтовых вод в условиях равнинного Дагестана. В кн. "Вопросы рационального использования и повышения плодородия почв Дагестана", Махачкала, 1972. Даг. кн. изд-во.

9. Пиружян С.С. Влияние засоления почвы на рост и развитие кукурузы. Почвоведение, 1959, № 2.

10. Скуртул А.Г., Калашников К.Г. Оценка степени засоления пойменных почв Молдавии. Гидротехника и мелиорация, 1975, № 12.

11. Лютаев Б.В., Баер Р.А. Статистические доказанные связи между концентрацией и составом солей в почвогрунтовой жидкости и водной вытяжке, из орошаемых почв юга Украины. В кн. "Орошаемые почвы и методы их изучения", Ташкент, 1976.

12. Севастьянов В.Н. Влияние засоления почвы на урожай ячменя. Ученые зап. т. УШ. Тр. НИИбиологии, вып. 4, Ростов-на-Дону, 1957.

13. Is mail Majed Shmare, V. Khatchaturian, L. Pestrov. Justification of irrigation leaching regime and grain age parameters on saline land of Iraq. First national conference of water resources engineering, Baghdad, 1979.

14. Патахов М. Н. Солеустойчивость люцерны к водно-растворимым солям почвы. Вестник с.-х. науки Казахской ССР, 1961, № 11.

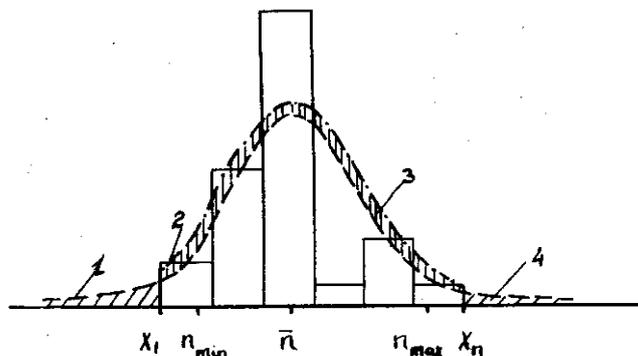
15. Цылев Е.М. Влияние солонцеватости южных черноземов на урожайность зерновых культур. Почвоведение, 1975, № 11.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСЕЧЕННОГО НОРМАЛЬНОГО ЗАКОНА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

В большинстве случаев показатели свойств грунтов (естественная влажность, объемная масса скелета и влажного грунта, плотность, углы откоса, пористость, модуль деформации) распределены по нормальному закону. Известно, что эти распределения фактически являются усеченными, т.е. ограниченными, и частные значения совокупностей находятся внутри границ, определяемых физической сутью показателя и практически никогда не принимают значения больше или меньше граничных.

Усеченное нормальное распределение применимо тогда, когда можно задать пределы варьирования членов совокупности. Например, в естественных условиях влажность суглинистых грунтов четвертичного возраста Подмосковья не опускается ниже 0,07-0,08 и не поднимается выше 0,33-0,35. Влажность юрских глин Подмосковья колеблется в пределах 0,17-0,60. Варьирование значений объемной массы грунтов заключено внутри границ, определяемых объемной массой скелета и плотностью той же породы. Границами варьирования пористости песчаных пород могут служить размахи пористости, определяемые экспериментально (см. таблицу).

На рисунке видно, как описывают ограниченную гистограмму распределения значений максимальной пористости песков кривые нормального и усеченного нормального распределений. Прежде чем решать вопрос о том, какое описание предпочтительнее, необходимо кратко охарактеризовать теорию усеченного нормального распределения.



Аппроксимация гистограммы распределения значений максимальной пористости кривыми нормального и усеченного нормального распределения. Грунт - флювиогляциальные среднечетвертичные пески средней крупности: --- 1- кривая нормального распределения, — · — 2- кривая усеченного нормального распределения, ▤ — 3 - площадь между кривыми распределений, компенсирующая усечение, ▨ - 4 - площадь усечения, $\bar{n} = 0,436$ - среднее значение; $\bar{n}_{min} = 0,40$ - минимальное значение показателя выборки; $\bar{n}_{max} = 0,49$ - максимальное значение показателя выборки; $x_l = 0,385$ - нижняя граница усечения; $x_n = 0,505$ - верхняя граница усечения

Показатели некоторых физико-механических свойств среднечетвертичных флювиогляциальных песков средней крупности

Свойства	Ряд стройплощадок в Москве	Комплекс зданий на юго-востоке Москвы
Объемная масса скелета, г/см ³	$\frac{1,50-1,84}{1,64 \ 0,08}$ 51	$\frac{1,48-1,75}{1,59 \ -}$ 58
Объемная масса влажного грунта, г/см ³	$\frac{1,60-1,95}{1,70 \ 0,09}$ 52	$\frac{1,57-1,78}{1,64 \ -}$ 61
Плотность, г/см ³	$\frac{2,62-2,67}{2,65 \ 0,01}$ 51	$\frac{2,62-2,67}{2,65 \ -}$ 37
Минимальная пористость, в долях единицы	$\frac{0,29-0,37}{0,34 \ -}$ 27	
Естественная пористость, в долях единицы	$\frac{0,31-0,42}{0,39 \ -}$ 70	
Максимальная пористость, в долях единицы	$\frac{0,40-0,49}{0,44 \ 0,02}$ 26	
Объемная масса при минимальной пористости, г/см ³	$\frac{1,68-1,84}{1,74 \ 0,02}$ 24	
Объемная масса влажного грунта, г/см ³	$\frac{1,60-1,95}{1,70 \ 0,09}$ 52	
Объемная масса при максимальной пористости, г/см ³	$\frac{1,35-1,59}{1,49 \ 0,06}$ 26	

Примечание. В числителе - размах значений показателя; в знаменателе - оценка среднего и дисперсии; в дробью - количество измерений показателя.

Усеченное нормальное распределение возникает при наложении на закон нормального распределения следующего дополнительного условия: все варианты совокупности находятся в интервале $[x_1; x_n]$. В общем виде усечение может быть двухсторонним (см. рисунок) и односторонним (слева или справа). Теоретическое выражение функции усеченного нормального распределения получается преобразованием неусеченной функции распределения. Так как рассматриваемая величина распределена нормально, а теоретическими границами двухстороннего в общем виде распределения являются величины x_1 и x_n , то вероятность попадания случайной величины в произвольно взятый интервал $[x_1; x_2]$ является условной P_y . Условие состоит в том, что величина должна находиться внутри интервала усечения $[x_1; x_n]$. По правилу Байеса [1, 2], условная вероятность вычисляется как частное от деления вероятности независимого события на вероятность события-условия.

Вероятность независимого события P (без учета усечения) попадания случайной величины в интервал вычисляется по формуле (1): $[x_1; x_2]$

$$P = P\{x \in [x_1; x_2]\} = [\Phi(x_2) - \Phi(x_1)], \quad (1)$$

где $\Phi(x)$ - функция Лапласа.

Соответствующая величина для интервала $[x_1; x_2]$ есть вероятность события-условия, обозначается $\frac{1}{A}$:

$$\frac{1}{A} = P\{x \in [x_1; x_n]\} = [\Phi(x_n) - \Phi(x_1)]. \quad (2)$$

В результате можно записать выражение условной вероятности (с учетом усечения) попадания случайной величины в интервал $[x_1; x_2]$.

$$= \frac{P\{x \in [x_1; x_2]\}}{P\{x \in [x_1; x_n]\}} = \frac{\Phi(x_2) - \Phi(x_1)}{\Phi(x_n) - \Phi(x_1)} = A \cdot P. \quad (3) \quad P_y = P_y\{x \in [x_1; x_n]\} =$$

Так как $-0,5 \leq \Phi(x) \leq 0,5$, $x_n > x_1$, $\Phi(x_n) > \Phi(x_1)$, то $0 \leq \Phi(x_n) - \Phi(x_1) \leq 1$, следовательно $A \geq 1$.

$$\text{При } x_2 = x_n \quad P_y = 1. \quad (4)$$

Вероятность попадания случайной величины вне границ усечения определяется разностью (5).

$$1 - P\{x \in [x_1; x_n]\} = 1 - \Phi(x_n) + \Phi(x_1) = P\{x \in [-\infty; x_1] \cup [x_n; +\infty]\} \quad (5)$$

и называется величиной усечения.

Вероятность попадания случайной величины в некоторый интервал (интеграл плотности распределения от нижней до верхней границы) интерпретируется как площадь трапеции под кривой распределения в данном интервале /2, 3/. Для нормального распределения в интервале $[-\infty; +\infty]$ и для усеченного нормального распределения в интервале $[x_1; x_n]$ (4) эти площади равны 1. Поскольку по выражению (3) в интервале $[x_1; x_n]$ $P_y = A \cdot P$, а $A \gg 1$, кривая усеченного нормального распределения будет приподнята над соответствующей кривой нормального распределения. Этим "компенсируется" величина усечений (см. рисунок).

В итоге функция усеченного нормального распределения задается соотношением /3/:

$$f_y(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < x_1 \\ A \cdot [\Phi(x_1) - \Phi(x_2)] & \text{при } x_1 \leq x \leq x_n \\ 0 & \text{при } x > x_n \end{cases} \quad (6)$$

Плотность усеченного нормального распределения задается соотношением:

$$f_y(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < x_1 \\ \frac{A}{\sigma_n} \varphi(x) & \text{при } x_1 \leq x \leq x_n \\ 0 & \text{при } x > x_n \end{cases} \quad (7)$$

Необходимо осуществить проверку и сравнение того, какое распределение - усеченное или обычное нормальное - лучше описывает распределения показателей свойств грунтов.

Рассматривались показатели естественной влажности, объемной массы скелета и объемной массы влажного грунта, плотности, углов откоса, пористости, модуля деформации, коэффициента фильтрации. Геологический анализ показывает, что они имеют единый генезис, возраст,

гранулометрический состав. Статистический анализ подтвердил для них однородность совокупностей показателей перечисленных выше свойств.

Как известно, близость теоретического распределения к эмпирическому можно проверить с помощью критерия χ^2 К.Пирсона. Из двух теоретических распределений ближе к эмпирическому то, для которого величина χ^2 меньше.

Было выполнено сравнение сходимости к обоим распределениям 30 совокупностей свойств мелко- и среднезернистых флювиогляциальных песков среднего плейстоцена. Опробование песков проведено в пределах границ монопородных геологических тел второго порядка (МГТ-2) по классификации. /4/.

На основании указанного можно утверждать, что числовой материал рассмотренных статистических совокупностей характеризует однородные объекты и однороден сам по себе. Таким образом, можно считать обоснованной правомерность выполненной статистической обработки.

Вычисление критерия χ^2 проводилось для каждой совокупности дважды, исходя из обеих проверяемых гипотез.

Нормальность распределения подтвердилась в 29 случаях из 30. Во всех 29 случаях величина критерия χ^2_{y} , вычисленная при проверке гипотезы о сходимости к усеченному нормальному распределению, оказалась меньше соответствующей величины χ^2 для гипотезы о нормальном распределении.

Соотношение $\frac{\chi^2_{y}}{\chi^2}$ колеблется в пределах

0,91-0,99.

Это свидетельствует о том, что усеченное нормальное распределение лучше описывает эмпирические распределения свойств грунтов, чем нормальное распределение. Вывод сделан на основании анализа некоторых показателей свойств мелко- и среднезернистых флювиогляциальных песков Подмосковья, поэтому он нуждается в проверке на материале о показателях свойств других грунтов различного генезиса.

В ы в о д ы

1. Распределения частных значений свойств грунтов фактически являются ограниченными с двух сторон.

2. Эмпирические распределения показателей свойств грунтов можно описывать с помощью закона усеченного нормального распределения,

которое в рассмотренных случаях описывает их точнее, чем нормальное распределение.

3. В случае если усеченное нормальное распределение лучше описывает эмпирические распределения, чем нормальное распределение, появляется возможность поиска путей использования этого обстоятельства для усовершенствования методики расчета объемов опробования.

Л и т е р а т у р а

1. К р а м е р Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975.
2. К о р н Г., К о р н Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, термины, формулы. М.: Наука, 1978.
3. Справочник по вероятностным расчетам. М.: Воениздат, 1970.
4. Б о н д а р и к Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981.

Ссылки и аннотации

УДК 40.6

Расчет эффективности оросительной нормы. Шабанов В.В. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с. 3-5.

Работа посвящена важному вопросу современных оросительных мелиораций - расчету функций эффективности оросительной воды.

На основе дифференциальных уравнений, требований растений и изменения влагозапасов во времени найдена аналитическая зависимость между относительным урожаем и оросительной нормой. Расчеты, проведенные для яровой пшеницы, показывают, что при небольшом снижении урожая возможна экономия оросительной воды на 30-50%.

Список лит. - 2.

УДК 631.6+631.615

Расчет проектного режима орошения на осушаемых торфяниках. Никольский Ю.Н., Бунина Н.П. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с. 6-13.

Расчет режима осушаемых глубокозалежных торфяников основан на использовании уравнения водного баланса в расчетном слое почвы при известном (проектном) режиме грунтовых вод. Отличие этого расчета от предложенных к настоящему времени заключается в том, что на основании многолетних полевых и теоретических исследований предложена единая формула для расчета не только капиллярного подпитывания почвы из грунтовых вод, но и капиллярного сброса почвенной влаги, а также методика учета глубины грунтовых вод при расчете суммарного испарения.

Впервые показано, что урожайность сельскохозяйственных культур на торфяных почвах при их оптимальном увлажнении дождеванием зависит от режима грунтовых вод. Приводятся зависимости урожайности основных культур севооборота (зерновые, картофель, многолетние травы на сено) от влажности почвы и от глубины понижения грунтовых вод, которые могут быть использованы для технико-экономического обоснования параметров осушительно-оросительных систем.

Ил. - 2, табл. 1, список лит. - 4.

УДК 626.871

Потери питательных веществ при инфильтрации осадков и оросительной воды. Лавриченко В.М., Мосей Ю.

Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с. 14-23.

В статье рассматриваются вопросы потерь питательных веществ, связанные с инфильтрацией осадков и оросительной воды. Приводятся экспериментальные данные величины потерь питательных веществ в зависимости от величины стока. Получена зависимость концентрации питательных веществ в стоке от начального содержания их в почве.

Ил. 6, табл. 2, список лит. - 9.

УДК 631.6+631.615

Сработка торфяника и вымыв питательных веществ из зоны аэрации мощного низинного торфяника при его интенсивном использовании. Костюков И.С, Лавриченко В.М. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с.23-26.

В статье рассмотрены вопросы сработки торфяной низинной почвы экспериментального участка "Лесное". Показано, что опускание дневной поверхности торфяника в многолетнем разрезе на 1,8-2,2 см в год на 90% происходит за счет физического уплотнения и на 10% - за счет минерализации органического вещества.

Дана оценка вымыва питательных веществ с дренажным стоком.

Табл. 2, список лит. - 3,

УДК 631.6:626.8+631.545

Теоретические основы расчета режима капельного орошения садов в условиях Молдавии. Мессахел Мекки. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с. 27-34.

Для составления прогноза водного режима капельного орошения для садов разрабатывается математическая модель, учитывающая физическое испарение и отбор влаги корнями растений. Дана методика определения параметров математической модели для условий Молдавской ССР.

Список лит. - 7.

УДК 626.81

Формирование питательного режима в процессе осушения. Гасанов А.М. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с.34-44.

Рассматриваются вопросы формирования пищевого режима минеральных почв в процессе их осушения.

Исследования проводились на фоне различных вариантов осушения. Полученные данные показывают, что вынос питательных элементов с дренажной водой происходит интенсивнее при меньшем междренном расстоянии, в основном из почвы вымывается нитратный азот и обменный калий.

При осушении избыточно-увлажненных почв вынос питательных элементов с дренажной водой и растительным покровом создает несбалансированный вынос и, следовательно, для получения планируемого урожая необходимо вносить в почву минеральные удобрения с учетом выноса питательных элементов.

Табл. 6.

УДК 631.461

Некоторые закономерности продуцирования микроорганизмами подвижных форм азота в торфяно-болотной почве. Шабанов В.В., Пушкарева Т.В., Землянов Ю.М. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с. 45-55.

В статье приводится эмпирическое уравнение, описывающее процесс продуцирования азота микроорганизмами в различных гидротермических условиях.

Ил. 4, табл. 4, список лит. - 2.

УДК 626.81.84

Сравнение критериев оптимизации параметра гидродинамической дисперсии в зоне неполного насыщения. Зейлигер А.М. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с. 56-60.

Приводится методика определения параметра гидродинамической дисперсии по данным полевых мелкоделяночных промывок верхних корнеобитаемых почвенных горизонтов. В результате сравнения результатов, получаемых при нахождении этого параметра по семи оптимизационным критериям, рекомендуется использовать два из них.

УДК 631.62.470.32

Построение двумерной математической модели влагопереноса. Сухарев Ю.И. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с. 60-67.

Приводятся опытные данные по распределению влаги междренья, анализируются литературные данные. Рассматривается вопрос

разработки двумерной математической модели влагопереноса, приводятся начальные и граничные условия.

Ил. 2, список лит. - 8.

УДК 626.824:658.012,011.56

Решение двумерной задачи влагопереноса в почвогрунтах на ЭВМ. Борисов В.С., Рекс Л.М. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с 67-69.

Дано описание численного решения двухмерной профильной задачи влаго-солепереноса в почвогрунтах.

Рассматривается изотермический процесс движения влаги и солей в насыщенной и ненасыщенной зонах с учетом растворения солей твердой фазы.

Список лит. - 2.

УДК 519.95+631.6

Определение капиллярного потенциала по данным влажности и впитывания влаги через поверхность при орошении. Шадрин Г.А. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с. 70-74.

В работе рассматривается проблема получения приближенных решений для определения влажности в задачах орошения. Нелинейный характер задачи приводит к конечной скорости распространения фронта смачивания.

По условиям на поверхности - влажность потока жидкости - определяет капиллярный потенциал. Находится приближенное выражение для капиллярного потенциала для степенного закона впитывания влаги через поверхность.

УДК 626.874:626.86

Численный метод решения нелинейной задачи конвективной диффузии при условии сорбционного равновесия ионов. Глобенко И.Г. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с. 75-87.

В работе рассматривается одномерная задача конвективной диффузии в пористой среде двух типов катионов, находящихся в условии сорбционного равновесия и сводится к решению системы двух уравнений конвективной диффузии с нелинейными источниковыми членами. Предлагается численный метод решения указанной задачи с помощью некоторых вариантов явной и неявной разностных схем и показывается их устойчивость.

Список лит. - 7.

УДК 631.617

Статистическое обоснование минимального объема измерений влажности при использовании ВПГР-1. Мосей Ю. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с. 87-93.

В статье рассмотрены вопросы точности измерений, составляющих водного баланса корнеобитаемой зоны, а в основном влажности почвы.

Приводится расчет количества необходимых измерений влажности почвы для получения влагозапасов с определенной точностью при заданном уровне значимости.

Табл. 1, список лит. - 5.

УДК 626.824:658.012.011,56

Постановка задачи оптимизации параметров мелиоративных систем с учетом водно-солевого режима. Смирнов С.М., Рекс Л.М., Ильинко А.В. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с. 94-102.

Рассмотрены алгоритм и функциональная блок-схема процедуры оптимизации параметров мелиоративной системы с учетом характеристик, водно-солевого режима. Предложенный алгоритм может быть использован для выбора параметров мелиоративной системы на предпроектной стадии проектирования.

УДК 626.8

Итерационный подход к расчету поля влагосодержаний в почве. Смирнов С.М. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с. 103-109.

В статье предлагается приближенный метод решения задачи тепло- и влагопереноса в почве, основанный на двухэтапном (имитационном) способе ее реализации и последовательном уточнении результатов расчета.

Ил. 5, список лит, - 2.

УДК 537.221:631.67.03:631.559.2

Увлажнение сельскохозяйственных культур с электризацией поливной воды. Логинов В.Г. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с. 110-120.

Приведены данные о влиянии электризации поливной воды на урожайность яровой пшеницы, многолетних трав, кормовой свеклы. Опыт

использования разработанных устройств для электрической обработки воды, аппарата для обогащения воды микроэлементами и электрических форсунок в условиях опытного участка позволяет рекомендовать их для дальнейшего изучения влияния электризации поливной воды на урожайность сельскохозяйственных культур.

Табл. 8, список лит. - 10.

УДК 626.8:631.41

Влияние типа и степени засоления почв на урожайность сельскохозяйственных культур. Айдаров И.П., Пестов Л.Ф., Королькова Т.П. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1982, с. 120-131.

В статье приведены фактические данные по солеустойчивости сельскохозяйственных культур, зависимости относительной урожайности различных сельскохозяйственных культур от типа и степени засоления почв.

Полученные данные могут использоваться при обосновании мероприятий по борьбе с засолением орошаемых земель.

Табл. 3, ил. 6, список лит. - 6.

УДК 624.131.1

Использование усеченного нормального закона для описания эмпирических распределений свойств грунтов. Дроздов В.С. Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов. Сборник научных трудов МГМИ, 1980, с. 131-137.

В настоящей статье кратко излагаются сведения по теории усеченного нормального распределения в приложении к показателям свойств грунтов.

С помощью критерия Пирсона проверяется сходимость к нормальному и усеченному нормальному законам распределений показателей свойств флювиогляциальных среднезернистых песков Подмосковья. Устанавливается лучшая сходимость этих распределений к усеченному нормальному закону.

Табл. 1, ил. 1, список лит. 4 .

СОДЕРЖАНИЕ

- [В.В. Ш а б а н о в . Расчет эффективности оросительной нормы](#)
- [Ю.Н. Н и к о л ь с к и й, Н.П. Б у н и н а . Расчет проектного режима орошения на осушаемых низинных торфяниках](#)
- [В.М. Л а в р и ч е н к о , М о с е й . Потери питательных веществ при инфильтрации осадков и оросительной воды](#)
- [И.С. К о с т я к о в , В.М. Л а в р и ч е н к о . Сработка торфяника и вымыв питательных веществ из зоны аэрации мощного низинного торфяника при его интенсивном использовании](#)
- [М е с с а х е л М е к к и . Теоретические основы расчета режима капельного орошения садов в условиях Молдавии](#)
- [А.М. Г а с а н о в . Формирование питательного режима в процессе осушения](#)
- [В.В. Ш а б а н о в , П у ш к а р е в а Т.В., З е м л я н о в Ю.М. Некоторые закономерности продуцирования микроорганизмами подвижных форм азота в торфяно-болотной почве](#)
- [А.М. З е й л и г е р . Сравнение критериев оптимизации параметра гидродинамической дисперсии в зоне неполного насыщения](#)
- [Ю.И. С у х а р е в . Построение двумерной математической модели влагопереноса](#)
- [В.С. Б о р и с о в , Л.М. Р е к с . Решение двумерной задачи влагопереноса в почвогрунтах на ЭВМ](#)
- [Г.А. Ш а д р и н . Определение капиллярного потенциала по данным влажности и впитывания влаги через поверхность при орошении](#)
- [И.Г. Г л о б е н к о . Численный метод решения нелинейной задачи конвективной диффузии при условии сорбционного равновесия ионов](#)
- [Ю. М о с е й . Статистическое обоснование минимального объема измерений влажности при использовании ВПГР-](#)
- [С.М. С м и р н о в , Л.М. Р е к с , А.В. И л ь и н к о . Постановка задачи оптимизации параметров мелиоративных систем с учетом водно-солевого режима](#)
- [С.М. С м и р н о в . Итерационный подход к расчету поля влагосодержаний в почве](#)
- [В.Г. Л о г и н о в . Увлажнение сельскохозяйственных культур с электризацией поливной воды](#)

- И.П. Айдаров, Л.Ф. Пестов, Т.П. Корольков а.
Влияние типа и степени засоления почв на урожайность
сельскохозяйственных культур
- В.С. Дроздов . Использование усеченного нормального закона для
описания эмпирических распределений свойств грунтов