

УДК 631.6

М. Х. Хамидов, С. Исаев, Бараев, Р. А. Мурадов

Ташкентский институт ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

СУБИРРИГАЦИЯ – ДЕЙСТВЕННЫЙ ПРИЕМ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НА ПОЛИВНЫХ УЧАСТКАХ

Целью исследования являлось моделирование субирригации – одного из приемов увлажнения почвы, широко применяемых фермерами Узбекистана на фоне близкого расположения грунтовых вод при орошении сельскохозяйственных культур. В ходе моделирования и решения обратных физических задач авторами были определены коэффициенты уравнений, позволяющие прогнозировать динамику влажности почвогрунтов на фоне применения субирригации.

Ключевые слова: субирригация, моделирование, влагоперенос, система «почва – растение – вода», корневая система.

На сегодняшний день возникла необходимость с целью мелиорации использовать математические модели для почв, наиболее распространенных в регионе. Такие модели важны как основа для оптимизации использования земельных ресурсов на орошаемых территориях путем изменения структуры землепользования, специализации земледелия и т. п. В этих исследованиях необходимо использовать достижения фундаментальных наук, математического аппарата и ПЭВМ [1, 2]. Проведенные до настоящего времени исследования доказали несостоятельность трактовок управления продуктивностью агроэкосистем, при которых во внимание принимались изменения только нескольких изолированных показателей либо об информативности интегральных показателей судили по данным корреляционного и регрессионного анализов, что не всегда отражает реальные процессы, происходящие в системе «почва – растение» [3, 4].

В начальный период развития растений при стационарном режиме, когда транспирацией E_T можно пренебречь, для двухслойной среды, состоящей из пахотного и подпахотного слоев, будет использована следующая математическая модель (в модели введены обозначения 1 и 2 соответственно для пахотного и подпахотного слоев):

$$\begin{cases} \frac{d}{dz} \left[D_1(W_1) \frac{dw_1}{dz} \right] - \frac{dK_1(W_1)}{dz} = 0, & (0 \leq z \leq z_1) \\ \frac{d}{dz} \left[D_2(W_2) \frac{dw_2}{dz} \right] - \frac{dK_2(W_2)}{dz} = 0, & (z_1 \leq z \leq L) \end{cases}, \quad (1)$$

$$W(0) = W_{\text{ПР}} = \text{const}, \quad (2)$$

$$W_1(z_1) = W_2(z_1), \quad (3)$$

$$\left[K_1(W_1) - D_1(W_1) \frac{dW_1}{dz} \right]_{z=z_1} = \left[K_2(W_2) - D_2(W_2) \frac{dW_2}{dz} \right]_{z=z_1}, \quad (4)$$

$$W_2(L) = W_{\text{ПВ}}, \quad (5)$$

где $D_1(W_1)$, $D_2(W_2)$ – коэффициенты диффузивности соответственно пахотного и подпахотного слоя; ввиду того что рассматривается стационарный режим, в качестве данных коэффициентов использовались их средние значения:

$$D_1(W_1) = D_1 = \text{const}, \quad D_2(W_2) = D_2 = \text{const};$$

W_1 , W_2 – объемная влажность соответственно пахотного и подпахотного слоя;

K_1 , K_2 – коэффициенты влагопроводности соответственно пахотного и подпахотного слоя; приняты в виде:

$$K_1(W_1) = A_1 e^{A_2 z}, \quad K_2(W_2) = B_1 e^{B_2 z};$$

Z – вертикальная координата, направленная вниз от поверхности земли;

Z_1 – граница между пахотным и подпахотным слоями, м;

L – глубина грунтовых вод, м;

$W_{\text{ПР}}$ – некоторая промежуточная влагоемкость между влажностью завядания W_3 и предельной влагоемкостью $W_{\text{ППВ}}$:

$$W_3 < W_{\text{ПР}} < W_{\text{ППВ}};$$

$W_{\text{ПВ}}$ – полная влагоемкость.

Краевую задачу (1)–(5) перепишем следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{d^2 W_1}{dz^2} - A_1 e^{A_2 z} = 0 \\ \frac{d^2 W_2}{dz^2} - B_1 e^{B_2 z} = 0 \end{cases}, \quad (6)$$

$$W(0) = W_{\text{ПР}}, \quad (7)$$

$$W_1(Z_1) = W_2(Z_1), \quad (8)$$

$$D_1 \left(\frac{dW_1}{dz} - A_4 e^{A_2 z} \right) \Big|_{z=Z_1} = D_2 \left(\frac{dW_2}{dz} - B_4 e^{B_2 z} \right) \Big|_{z=Z_1}, \quad (9)$$

$$W_2(L) = W_{\text{ПВ}}, \quad (10)$$

где $A_1, A_2, B_1, B_2, D_1, D_2$ – некоторые константы, определяемые путем сопоставления аналитического решения с данными эксперимента;

$$A_3 = \frac{A_1 A_2}{D_1}; \quad A_4 = \frac{A_1}{D_1}; \quad B_3 = \frac{B_1 B_2}{D_2}; \quad B_4 = \frac{B_1}{D_2}.$$

Интегрируя первое уравнение системы (6), последовательно будем находить:

$$\frac{dW_1}{dz} = \frac{A_3}{A_2} e^{A_2 z} + C_1, \quad \text{или} \quad W_1 = \frac{A_3}{A_2^2} e^{A_2 z} + C_1 z + C_2. \quad (11)$$

Аналогично после интегрирования второго уравнения этой же системы получим:

$$\frac{dW_2}{dz} = \frac{B_3}{B_2} e^{B_2 z} + C_3, \quad \text{или} \quad W_2 = \frac{B_1}{B_2 D_2} e^{B_2 z} + C_3 z + C_4. \quad (12)$$

Используя условие (7), найдем из (11):

$$C_2 = W_{\text{ПР}} - \frac{A_1}{A_2 D_1}. \quad (13)$$

На основании зависимости (9) находим соотношение:

$$C_3 = \frac{D_1}{D_2} C_1. \quad (14)$$

Из соотношения (10) получаем:

$$W_{\text{ПВ}} = \frac{B_1}{B_2 D_2} e^{B_2 L} + C_3 L + C_4. \quad (15)$$

Зависимость C_4 от C_1 находится из выражения (15) с учетом соотношения (14):

$$\frac{B_3}{B_2^2} e^{B_2 L} - \frac{D_1 L E_{\Phi}^*}{D_2} + C_4 = W_{\text{ПВ}}.$$

Соотношение (8) с учетом выражений (13)–(15) позволяет определить C_1 из равенства:

$$\frac{A_1}{A_2 D_1} (e^{A_2 z_1} - 1) + C_1 z_1 + W_{\text{ПР}} = W_{\text{ПВ}} - \frac{B_1}{B_2 D_2} (e^{B_2 L} - e^{B_2 z_1}) + \frac{D_1}{D_2} L C_1,$$

откуда находим:

$$C_1 = \frac{1}{G} \left(W_{\text{ПВ}} - W_{\text{ПР}} + \frac{A_1}{A_2 D_1} - \frac{B_1}{B_2 D_2} (e^{B_2 L} - e^{B_2 z_1}) - \frac{A_1}{A_2 D_1} e^{A_2 z_1} \right),$$

где $G = \frac{D_1}{D_2} (L - z_1) + z_1$.

Подставляя значения произвольных C_1 , C_2 , C_3 и C_4 в выражения (11) и (12), получим распределение объемной влажности как функции z :

$$W_1(z) = \frac{A_1}{A_2 D_1} (e^{A_2 z} - 1) + \frac{z}{G} \left[W_{\text{ПВ}} - W_{\text{ПР}} + \frac{A_1}{A_2 D_1} - \frac{B_1}{B_2 D_2} (e^{B_2 L} - e^{B_2 z_1}) - \frac{A_1}{A_2 D_1} e^{A_2 z_1} \right] + W_{\text{ПР}}, \quad (0 \leq z \leq z_1), \quad (16)$$

$$W_2(z) = W_{\text{ПВ}} - \frac{B_1}{B_2 D_2} (e^{B_2 L} - e^{B_2 z}) - \frac{D_1 (L - z)}{D_2 G} \left[W_{\text{ПВ}} - W_{\text{ПР}} + \frac{A_1}{A_2 D_1} - \frac{B_1}{B_2 D_2} (e^{B_2 L} - e^{B_2 z_1}) - \frac{A_1}{A_2 D_1} e^{A_2 z_1} + W_{\text{ПР}} \right], \quad (z_1 \leq z \leq L). \quad (17)$$

Изменение влажности при различных начальных поверхностных показателях влаги без учета развития корневой системы растения для условий АВП «Янгиобод» Мирзаабадского района Сырдарьинской области приводится на рисунке 1.

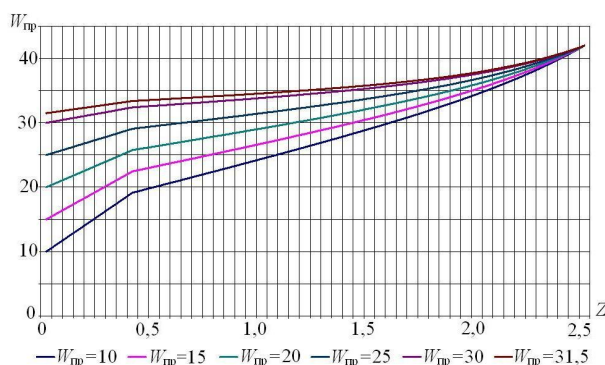


Рисунок 1 – Распределение влажности без учета развития корневой системы растения

Рисунок 1 показывает изменение влажности почвогрунтов в начальный период развития растений (хлопчатника). Место изгиба на графике указывает границу между пахотным и подпахотными слоями (42 см). Начиная с периода, когда корневая система будет находиться в пахотном слое и транспирацией E_T пренебрегать нельзя, вместо краевой задачи (1)–(5) рассматривается следующая:

$$\begin{cases} \frac{d}{dz} \left[D_1 (W_1) \frac{dW_1}{dz} \right] - \frac{dK_1}{dz} - \frac{12E_T}{7(\delta + u_*)} \left[1 - \frac{z}{2(\delta + u_*)} - \frac{z^2}{2(\delta + u_*)^2} \right] = 0, & (0 \leq z \leq \delta + u_*) \\ \frac{d}{dz} \left[D_1^* (W_1^*) \frac{dW_1^*}{dz} \right] - \frac{dK_1^*}{dz} = 0, & (\delta + u_* \leq z \leq z_1) \\ \frac{d}{dz} \left[D_2 (W_2) \frac{dW_2}{dz} \right] - \frac{dK_2}{dz} = 0, & (z_1 \leq z \leq L) \end{cases}, \quad (18)$$

$$W(0) = W_{\text{пп}} = \text{const}, \quad (19)$$

$$W_1(\delta + u_*) = W_1^*(\delta + u_*), \quad (20)$$

$$\left[K_1(W_1) - D_1(W_1) \frac{dW_1}{dz} \right]_{Z=\delta+u_*} = \left[K_1^*(W_1^*) - D_1^*(W_1^*) \frac{dW_1}{dz} \right]_{Z=\delta+u_*}, \quad (21)$$

$$W_1^*(z_1) = W_2(z_1), \quad (22)$$

$$\left[K_1^*(W_1^*) - D_1^*(W_1^*) \frac{dW_1}{dz} \right]_{Z=Z_1} = \left[K_2(W_2) - D_2(W_2) \frac{dW_2}{dz} \right]_{Z=Z_1}, \quad (23)$$

$$W_2(L) = W_{\text{пб}} = \text{const}. \quad (24)$$

Дополнительно к предыдущим обозначениям введем следующие:

$$K_1^*(W_1^*) = A_1^* e^{A_2 Z}, \quad D_1^*(W_1^*) = D_1^* = \text{const}, \quad (25)$$

δ – глубина корневой системы;

$\delta + u_*$ – глубина подсоса влаги корнями растений.

Здесь выполнено условие:

$$\frac{12E_T}{7(\delta + u_*)} \int_0^{\delta+u_*} \left[1 - \frac{z}{2(\delta + u_*)} - \frac{z^2}{2(\delta + u_*)^2} \right] dz = E_T.$$

С учетом выражения (25) краевую задачу (18)–(24) перепишем следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{d^2 W_1}{dz^2} - \frac{A_1 A_2}{D_1} e^{A_2 Z} - A_5 \left[1 - \frac{z}{2(\delta + u_*)} - \frac{z^2}{2(\delta + u_*)^2} \right] = 0, & (0 \leq z \leq \delta + u_*) \\ \frac{d^2 W_1^*}{dz^2} - A_7 A_2^* e^{A_2 Z} = 0, & (\delta + u_* \leq z \leq z_1) \\ \frac{d^2 W_2}{dz^2} - \frac{B_1 B_2}{D_2} e^{B_2 Z} = 0, & (z_1 \leq z \leq L) \end{cases}, \quad (26)$$

$$W_1(z)|_{Z=0} = W_{\text{пп}} = \text{const}, \quad (27)$$

$$W_1(\delta + u_*) = W_1^*(\delta + u_*), \quad (28)$$

$$D_1 \left(\frac{\delta W_1}{dz} - \frac{A_1}{D_1} e^{A_2 Z} \right)_{Z=\delta+u_*} = D_1^* \left(\frac{dW_1^*}{dz} - \frac{A_1^*}{D_1^*} e^{A_2^* Z} \right)_{Z=\delta+u_*}, \quad (29)$$

$$W_1^*(z_1) = W_2(z_1), \quad (30)$$

$$D_1^* \left(\frac{dW_1^*}{dz} - \frac{A_1^*}{D_1^*} e^{A_2^* Z} \right)_{Z=Z_1} = D_2 \left(\frac{dW_2}{dz} - \frac{B_1}{D_2} e^{B_2 Z} \right)_{Z=Z_1}, \quad (31)$$

$$W_2(L) = W_{\text{пб}} = \text{const}, \quad (32)$$

где $A_5 = \frac{12E_T}{7D_1(\delta + u_*)}$; $A_6 = \frac{A_1^* A_2^*}{D_1^*}$; $A_7 = \frac{A_1^*}{D_1^*}$.

Дважды интегрируя каждое из уравнений системы (26), получим

$$\begin{aligned} \frac{dW_1}{dz} - \frac{A_1}{D_1} e^{A_2 Z} - \frac{A_5}{D_1} \left[z - \frac{z^2}{4(\delta + u_*)} - \frac{z^3}{6(\delta + u_*)^2} \right] &= C_5, \\ W_1(z) = \frac{A_1}{A_2 D_1} e^{A_2 Z} - \frac{A_5}{D_1} \left[\frac{z^2}{2} - \frac{z^3}{12(\delta + u_*)} - \frac{z^4}{24(\delta + u_*)^2} \right] &+ C_5 z + C_6. \end{aligned} \quad (33)$$

Интегрируя второе уравнение системы (26), получим:

$$\frac{dW_1^*}{dz} - \frac{A_1^*}{D_1^*} e^{A_2^* z} = C_7, \text{ или } W_1^*(z) = \frac{A_1^*}{A_2^* D_1^*} e^{A_2^* z} + C_7 z + C_8, \quad (34)$$

$$\frac{dW_2}{dz} = \frac{B_1}{D_2} e^{B_2 z} + C_9, \text{ или } W_2(z) = \frac{B_1}{B_2 D_2} e^{B_2 z} + C_9 z + C_{10}.$$

Из выражения (33) с учетом соотношения (27) будем иметь:

$$C_6 = W_{\text{пр}} - \frac{A_1}{A_2 D_1}. \quad (35)$$

Исходя из выражения (28), обозначив $U = \delta + u_*$, определяем:

$$C_8 = W_{\text{пр}} + \frac{A_1}{A_2 D_1} e^{A_2 U} - \frac{3A_5 U^2}{8D_1} + C_5 U - \frac{A_1}{A_2 D_1} - \frac{A_1^*}{A_2^* D_1^*} e^{A_2^* U} - C_7 U. \quad (36)$$

На основании выражения (29) получим:

$$D_1 \left(\frac{A_1}{D_1} e^{A_2 U} + \frac{3A_5 U}{4D_1} + C_5 - \frac{A_1}{D_1} e^{A_2 U} \right) = D_1^* \left(C_7 + \frac{A_1^*}{D_1^*} e^{A_2^* U} - \frac{A_1}{D_1^*} e^{A_2^* U} \right), \text{ или}$$

$$C_7 = \frac{D_1}{D_1^*} \left(C_5 + \frac{7A_5 U}{12D_1} \right).$$

Используя условия (30) и (36), получим:

$$\frac{A_1^*}{A_2^* D_1^*} e^{A_2^* z_1} + \frac{D_1 z_1}{D_1^*} \left[C_5 + \frac{7A_5 U}{12D_1} \right] + W_{\text{пр}} + \frac{A_1}{A_2 D_1} e^{A_2 U} - \frac{3A_5 U^2}{8D_1} + C_5 U - \frac{A_1}{A_2 D_1} -$$

$$- \frac{A_1^*}{A_2^* D_1^*} e^{A_2^* U} - \frac{D_1 U}{D_1^*} \left[C_5 + \frac{7A_5 U}{12D_1} \right] = \frac{B_1}{B_2 D_2} e^{B_2 z_1} + C_9 z_1 + C_{10}.$$

Выделяем C_{10} и получаем:

$$C_{10} = \frac{A_1^*}{A_2^* D_1^*} [e^{A_2^* z_1} - e^{A_2^* U}] + \frac{D_1}{D_1^*} \left[C_5 + \frac{7A_5 U}{12D_1} \right] (z_1 - U) + W_{\text{пр}} +$$

$$+ \frac{A_1}{A_2 D_1} [e^{A_2 U} - 1] - \frac{3A_5 U^2}{8D_1} + C_5 U - \frac{B_1}{B_2 D_2} e^{B_2 z_1} + C_9 z_1.$$

Условие (31) с учетом соотношений (34), (35) перепишется в виде:

$$D_1^* \left(C_7 + \frac{A_1^*}{D_1^*} e^{A_2^* z_1} - \frac{A_1^*}{D_1^*} e^{A_2^* U} \right) = D_2 \left(\frac{B_1}{D_2} e^{B_2 z_1} + C_9 - \frac{B_1}{D_2} e^{B_2 U} \right), \text{ или}$$

$$C_9 = \frac{D_1}{D_2} \left(C_5 + \frac{7A_5 U}{12D_1} \right). \quad (37)$$

Соотношение (37) позволяет выразить C_{10} через C_5 :

$$C_{10} = \frac{A_1^*}{A_2^* D_1^*} [e^{A_2^* z_1} - e^{A_2^* U}] + \frac{D_1}{D_1^*} \left[C_5 + \frac{7A_5 U}{12D_1} \right] (z_1 - U) + W_{\text{пр}} + \frac{A_1}{A_2 D_1} [e^{A_2 U} - 1] -$$

$$- \frac{3A_5 U^2}{8D_1} + C_5 U - \frac{B_1}{B_2 D_2} e^{B_2 z_1} - \frac{D_1 z_1}{D_2} \left[C_5 + \frac{7A_5 U}{12D_1} \right]. \quad (38)$$

Реализуя последнее условие (32), определяем C_{10} :

$$C_{10} = W_{\text{пр}} - \frac{B_1}{B_2 D_2} e^{B_2 L} - \frac{D_1}{D_2} L \left(C_5 + \frac{7A_5 U}{12D_1} \right). \quad (39)$$

Воспользовавшись зависимостями (38) и (39) и совершив некоторые арифметические преобразования, определяем C_5 :

$$C_5 = \frac{D_1^* D_2}{D_1 D_2 (z_1 - U) + D_1^* D_2 U + D_1^* D_1 (L - z_1)} \left\{ W_{\text{ПВ}} - W_{\text{ПР}} - \frac{B_1}{B_2 D_2} [e^{B_2 L} - e^{B_2 z_1}] - \right. \\ \left. - \frac{A_1^*}{A_2^* D_1^*} [e^{A_2^* z_1} - e^{A_2^* U}] - \frac{A_1}{A_2 D_1} [e^{A_2 U} - 1] + \frac{3 A_5 U^2}{8 D_1} - \frac{7 A_5 U^2}{12 D_1} \left[\frac{z_1 - U}{D_1^*} - \frac{L - z_1}{D_2} \right] \right\}.$$

Введем следующие обозначения:

$$P = D_1 D_2 (z_1 - U) + D_1^* D_2 U + D_1^* D_1 (L - z_1), \\ \Phi_1 = W_{\text{ПВ}} - W_{\text{ПР}} - \frac{B_1}{B_2 D_2} [e^{B_2 L} - e^{B_2 z_1}] - \frac{A_1^*}{A_2^* D_1^*} [e^{A_2^* z_1} - e^{A_2^* U}] - \frac{A_1}{A_2 D_1} [e^{A_2 U} - 1] + \\ + \frac{3 A_5 U^2}{8 D_1} - \frac{7 A_5 U^2}{12 D_1} \left[\frac{z_1 - U}{D_1^*} - \frac{L - z_1}{D_2} \right].$$

Ввиду вышеприведенных зависимостей определим C_5 , C_7 , C_9 и C_{10} :

$$C_5 = \frac{D_1^* D_2 \Phi_1}{P}, \\ C_7 = \frac{D_1 D_2 \Phi_1}{P} + \frac{7 A_5 U}{12 D_1^*}, \\ C_9 = \frac{D_1 D_1^* \Phi_1}{P} + \frac{7 A_5 U}{12 D_2}, \\ C_{10} = W_{\text{ПВ}} - \frac{B_1}{B_2 D_2} e^{B_2 L} - L \left[D_1 D_1^* \frac{\Phi_1}{P} + \frac{7 A_5 U}{12 D_2} \right].$$

Из соотношения (36) определим C_8 :

$$C_8 = W_{\text{ПР}} + \frac{A_1}{A_2 D_1} [e^{A_2 U} - 1] - \frac{3 A_5 U^2}{8 D_1} - \frac{A_1^*}{A_2^* D_1^*} e^{A_2^* U} + U \left[D_2 (D_1^* - D_1) \frac{\Phi_1}{P} - \frac{7 A_5 U}{12 D_1^*} \right].$$

Подставляя все найденные произвольные постоянные $C_j = (j = 5, 10)$, найдем распределение объемной влажности как функции глубины:

$$W_1(z) = W_{\text{ПР}} + \frac{A_1}{A_2 D_1} [e^{A_2 z} - 1] + \frac{12 E_T z^2}{7 D_1^2 (\delta + u_*)} \left[\frac{1}{2} - \frac{z}{12 U} - \frac{z^2}{24 U^2} \right] + \\ + D_1^* D_2 \frac{\Phi_1}{P} z, \quad 0 \leq z \leq \delta + u_*, \quad (40)$$

$$W_1^*(z) = \frac{A_1^*}{A_2^* D_1^*} [e^{A_2^* z} - e^{A_2^* (\delta + u_*)}] + z \left[D_1 D_2 \frac{\Phi_1}{P} + \frac{7 A_5 (\delta + u_*)}{12 D_1^*} \right] + \frac{A_1}{A_2 D_1} (e^{A_2 (\delta + u_*)} - 1) + \\ + W_{\text{ПР}} - \frac{3 A_5 (\delta + u_*)^2}{8 D_1} + \left[(D_1^* - D_1) D_2 \frac{\Phi_1}{P} - \frac{7 A_5 (\delta + u_*)}{12 D_1^*} \right] (\delta + u_*), \quad \delta + u_* \leq z \leq z_1, \quad (41)$$

$$W_2(z) = W_{\text{ПВ}} - \frac{B_1}{B_2 D_2} (e^{B_2 L} - e^{B_2 z}) + (L - z) \left[D_1 D_1^* \frac{\Phi_1}{P} + \frac{7 A_5 (\delta + u_*)}{12 D_2} \right], \quad z_1 \leq z \leq L. \quad (42)$$

На рисунке 2 приводится распределение влажности по глубине почвогрунтов, приведенные изгибы на графике указывают границы между зоной всасывания и подпа-

хотным слоем. Влажность почвы падает в корневом слое (0–15 см), поднимается в подпахотном (15–40 см) и достигает максимума у ГВ (2,5 м).

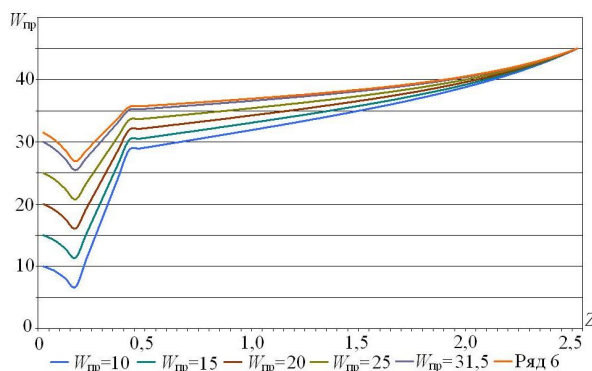


Рисунок 2 – Распределение влажности с учетом развития корневой системы растения (АВП «Янгиобод» Мирзаабадского района Сырдарьинской области)

Сравнение теоретических результатов с опытными данными авторов позволило уточнить параметры уравнений (16), (17) и (40)–(42) (таблица 1).

Таблица 1 – Коэффициенты для определения параметров влагопереноса из пресной подушки грунтовых вод в активную зону почвогрунта

Район	Куйичир- чикский	Заамин- ский	Мирзаа- бадский	Каттакур- ганский	Нишан- ский	Кумкур- ганский	Кувин- ский	Сардо- бинский	
АВП	Сайрам суви	Голиб суви	Янгиобод	Мадат сув – ЖРК	Учбулок	Н. Мир- заев	Акбаро- бод	Г. Гулом	
Грануло- метриче- ский со- став	супесь	тяжелый суглинок			средний суглинок		легкий суглинок		
Коэффициенты уравнения	A_1	$9,39 \cdot 10^{-4}$	$3,29 \cdot 10^{-4}$	$2,18 \cdot 10^{-4}$	$2,02 \cdot 10^{-4}$	$5,44 \cdot 10^{-4}$	$2,31 \cdot 10^{-4}$	$3,64 \cdot 10^{-3}$	$3,32 \cdot 10^{-3}$
	A_1^*	$7,83 \cdot 10^{-4}$	$4,51 \cdot 10^{-4}$	$7,34 \cdot 10^{-5}$	$2,21 \cdot 10^{-4}$	$1,08 \cdot 10^{-4}$	$9,28 \cdot 10^{-5}$	$4,28 \cdot 10^{-3}$	$3,68 \cdot 10^{-3}$
	A_2	1,94	2,01	1,73	1,56	2,23	2,40	2,31	2,20
	A_2^*	1,94	1,49	1,57	1,84	2,73	2,65	2,44	2,10
	B_1	$2,70 \cdot 10^{-3}$	$4,60 \cdot 10^{-4}$	$3,44 \cdot 10^{-4}$	$1,66 \cdot 10^{-4}$	$2,27 \cdot 10^{-4}$	$1,52 \cdot 10^{-4}$	$5,17 \cdot 10^{-3}$	$3,71 \cdot 10^{-3}$
	B_2	1,562	2,310	2,517	2,440	2,430	2,650	1,828	2,088
	D_1	0,0050	0,0037	0,0044	0,0052	$6,85 \cdot 10^{-3}$	$5,50 \cdot 10^{-3}$	$3,98 \cdot 10^{-3}$	0,003
	D_1^*	0,0011	0,00086	0,00093	0,0012	$1,05 \cdot 10^{-3}$	$9,50 \cdot 10^{-4}$	$4,81 \cdot 10^{-4}$	0,0005
	D_2	0,022	0,010	0,017	0,023	$12,4 \cdot 10^{-3}$	$19,1 \cdot 10^{-3}$	$6,84 \cdot 10^{-3}$	0,008

Вывод. Распределение влажности с учетом развития корневой системы растений позволяет определить глубину проведения послойно-поэтапного рыхления, а также параметры влагопереноса из пресной подушки грунтовых вод в активную зону почвогрунта.

Список использованных источников

- 1 Аббасханов, М. Зона «демпфер» / М. Аббасханов // Сельское хозяйство Узбекистана. – Ташкент, 2007. – № 4. – С. 19.
- 2 Мурадов, Р. А. Об определении положения уровня грунтовых вод при систематическом горизонтальном дренаже / Р. А. Мурадов // Проблемы механики: журн. – Ташкент, 2011. – № 2. – С. 35–40.
- 3 Мурадов Р. А. К вопросу моделирования влагопереноса / Р. А. Мурадов // Проблемы механики: журн. – Ташкент, 2011. – № 2. – С. 85–89.
- 4 Muradov, R. A. Uzbekistan: Ways of water and land management in watershortage period / R. A. Muradov // Modernization and automatization water management systems. – California, 2011. – P. 35–47.