

11. Айдаров И. П. Устойчивое развитие сельского хозяйства России: монография. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2009. – С. 56–78.

12. Ганя И. М., Мунтяну А. И., Остафчук В. Г. Значение лесных полос как резервата флоры и фауны // Известия АН МССР. Сер. Биологические и химические науки. – 1983. – № 4. – С. 15–20.

13. Лопырев М. И., Рябов Е. И. Защита земель от эрозии и охрана природы. – М.: Агропромиздат, 1989. – 215 с.

Материал поступил в редакцию 02.04.12.

*Айдаров Иван Петрович, доктор технических наук, профессор, академик Россельхозакадемии*  
Тел. 8 (499) 976-16-02

УДК 502/504:631.6

**А. И. ГОЛОВАНОВ, В. В. ПЧЁЛКИН**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

**М. М. АЛИ АБДЕЛЬАЗИМ**

Фаюм, университет, Египет

## **СВЯЗЬ ИСПАРЕНИЯ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ОСУШАЕМЫХ ПОЙМЕННЫХ ЗЕМЛЯХ**

*В современных методах расчета режимов орошения используются эмпирические зависимости, выражающие корреляционные связи между суммарным водопотреблением и климатическими факторами. Для перехода от испаряемости к суммарному водопотреблению конкретной культуры вводятся переходные коэффициенты, учитывающие отклонение потенциального водопотребления от испаряемости, биологические особенности сельскохозяйственной культуры, отклонение влажности почвы от оптимальных значений.*

*Испаряемость, водопотребление, орошение, вода, почва.*

*The up-to-date estimation methods of irrigation regimes use empiric dependencies which express correlation connections between total water consumption and climatic factors. For transition from evaporability to the total water consumption of a particular crop transition coefficients are introduced which take into consideration deviations of the potential water consumption from evaporability, biological peculiarities of the agricultural crop, deviation of the soil moisture from optimal values.*

*Evaporability, water consumption, irrigation, water, soil.*

При расчете режимов орошения и осушения используется уравнение водного баланса. Основной расходной статьей водного баланса сельскохозяйственного поля является водопотребление, которое состоит из физического испарения и транспирации растений. На испарение с поверхности почвы оказывают влияние

только внешние факторы и влажность почвы, а на транспирацию воздействуют как внешние, так и внутренние факторы растений. При оптимальной влажности почвы это потенциальное суммарное водопотребление.

Существующие расчетные методы используют эмпирические зависимости,

выражающие корреляционные связи между суммарным водопотреблением и климатическими факторами по данным метеорологических наблюдений. Х. Л. Пенман, Л. Тюрк, Н. Н. Иванов определяют испаряемость  $E_0$  – максимально возможное испарение с водной поверхности [1].

Для перехода от испаряемости к суммарному водопотреблению конкретной культуры следует вводить переходные коэффициенты  $K_{pp}$ ,  $K_0$ ,  $K_B$ , учитывающие отклонение потенциального водопотребления от испаряемости, биологические особенности сельскохозяйственной культуры, отклонение влажности почвы от оптимальных значений:

$$E_{pp} = K_{pp} K_0 K_B E_0, \quad (1)$$

где  $E_{pp}$  – водопотребление столовой свеклы, мм/декада;  $K_{pp}$  – коэффициент, учитывающий отклонение потенциального водопотребления от испаряемости  $E_0$ ;  $K_0$  – биологический коэффициент;  $K_B$  – коэффициент, учитывающий влажность почвы;  $E_0$  – испарение с водой поверхностей (испаряемость), мм/декада.

Для получения  $K_{pp}$  в 1981 году были проведены исследования по определению с помощью ГГИ-3000 испарения с водной поверхности (испаряемость) и потенциального водопотребления сельскохозяйственных культур в лизиметрах (площадь поперечного сечения 2 м<sup>2</sup>, глубина 2 м). Влажность почвы в лизиметрах поддерживалась в оптимальном диапазоне (0,7...0,8 ПВ).

Используя данные испарения с водной поверхности (испаряемость) и сумму среднесуточных дефицитов влажности воздуха за декадные периоды, методом математической статистики получили уравнение регрессии:

$$E_0 = a_1 d_s^{n_1}. \quad (2)$$

Связь испаряемости с дефицитом влажности воздуха показана на рис. 1.

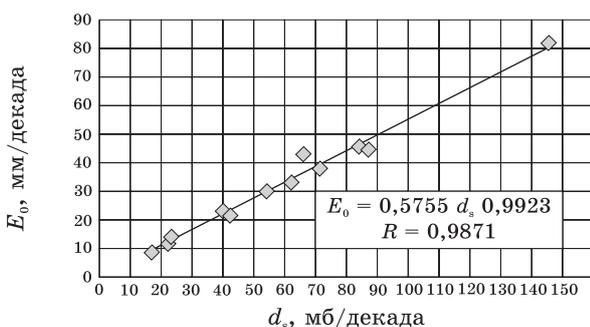


Рис. 1. Связь испаряемости с суммой среднесуточных дефицитов влажности воздуха за 1981 год

Коэффициент корреляции этой связи равен  $0,987+0,051$ , а коэффициент детерминации –  $0,974$ . Это означает, что 97,4 % случаев колебания испаряемости обусловлено колебаниями дефицита влажности воздуха.

С использованием данных по водопотреблению водного баланса лизиметров (1981), при оптимальной влажности почвы, методом математической статистики было получено уравнение регрессии между потенциальными водопотреблением многолетних трав, капустой, кукурузой, картофелем и суммой среднесуточных дефицитов влажности воздуха за декадные периоды. Следует отметить, что в статистические ряды включились наблюдения за водопотреблением тех периодов, когда сельскохозяйственные культуры были хорошо развиты, а влажность почвы находилась в оптимальном диапазоне, т. е. когда водопотребление соответствовало потенциально возможному суммарному испарению.

Подробно разработана формула для расчетов водопотребления сельскохозяйственных культур на осушаемых пойменных землях дана в работе [2]. Формула для расчета потенциально возможного водопотребления сельскохозяйственных культур имеет следующий вид:

$$E_p = a_2 d_s^{n_2}, \quad (3)$$

где  $E_p$  – потенциально возможное водопотребление сельскохозяйственных культур, мм/декада;  $d_s$  – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха, мм/декада;  $a_2$ ,  $n_2$  – эмпирические коэффициенты, учитывающие климатическую зону, сельскохозяйственную культуру и почвы (табл. 1).

Таблица 1

Эмпирические коэффициенты

| Сельскохозяйственные культуры | $a_2$ | $n_2$ |
|-------------------------------|-------|-------|
| Многолетние травы             | 1,38  | 0,79  |
| Капуста                       | 1,38  | 0,80  |
| Кукуруза                      | 1,38  | 0,84  |
| Картофель                     | 1,38  | 0,68  |

Используя формулы (2) и (3), рассчитываем испаряемость  $E_0$  и потенциально возможное водопотребление сельскохозяйственных культур  $E_p$ .

Результаты расчетов даны в табл. 2.

Для того чтобы использовать формулу испарения с водной поверхности при расчете водопотребления, необходимы коэффициенты перехода испарения с водной поверхности к потенциально возможному водопотреблению  $K_{рп}$ . Коэффициенты перехода определяли по следующей формуле:  $K_{рп} = E_p/E_0$ , (4) где  $E_p$  – потенциально возможное водопотребление сельскохозяйственных культур, мм/декада;  $E_0$  – испаряемость, мм/декада.

Результаты расчетов сведены в табл. 3.

Используя значение испаряемости  $E_0$  и  $K_{рп}$ , составили статистические ряды для каждой культуры и получили уравнение регрессии. Результаты расчетов даны на рис. 2.

Анализ графиков на рис. 2 показывает, что коэффициент корреляции для многолетних трав, капусты, кукурузы

и картофеля соответственно составляет:  $0,926 \pm 0,119$ ;  $0,927 \pm 0,118$ ;  $0,907 \pm 0,133$ ;  $0,928 \pm 0,118$ . Это говорит о тесной связи между рассматриваемыми признаками.

Используя уравнения регрессии на рис. 3, определили коэффициент  $K_{пр}$ , а результаты расчета свели в табл. 4. Таким образом, была выполнена аппроксимация коэффициентов  $K_{рп}$  для практического пользования.

Для расчета водопотребления сельскохозяйственных культур была использована формула В. В. Пчелкина [2]:

$$E_{рф} = K_6 a_2 d_s^{n_2}. \quad (5)$$

Биологические коэффициенты  $K_6$  даны в табл. 5 [2].

С помощью формул (1) и (5) выполнен расчет  $E_{рп}$  и  $E_{рф}$ , результаты расчета представлены на графике связи.

Таблица 2

Результаты расчета испаряемости  $E_0$  и потенциально возможного водопотребления сельскохозяйственных культур  $E_p$

| Месяц    | Декада | $E_0$ , мм/декада | $d_s$ , мб/декада | $E_p$ , мм/декада |         |                   |           |
|----------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|-------------------|-----------|
|          |        |                   |                   | Многолетние травы | Капуста | Кукуруза на силос | Картофель |
| Июнь     | 1      | 40,0              | 71                | 40,03             | 41,77   | 49,54             | 25,05     |
|          | 2      | 34,7              | 62                | 35,96             | 37,48   | 44,21             | 22,84     |
|          | 3      | 47,5              | 87                | 47,00             | 49,15   | 58,76             | 28,76     |
| Июль     | 4      | 35,8              | 66                | 37,78             | 39,40   | 46,59             | 23,83     |
|          | 5      | 44,2              | 84                | 45,72             | 47,79   | 57,05             | 28,08     |
|          | 6      | 80,2              | 145               | 70,37             | 73,96   | 90,25             | 40,70     |
| Август   | 7      | 29,3              | 54                | 32,25             | 33,56   | 39,36             | 20,79     |
|          | 8      | 23,2              | 40                | 25,44             | 26,40   | 30,59             | 16,95     |
|          | 9      | 24,0              | 42                | 26,44             | 27,45   | 31,87             | 17,53     |
| Сентябрь | 10     | 14,2              | 23                | 16,43             | 16,95   | 19,22             | 11,64     |
|          | 11     | 10,5              | 17                | 12,94             | 13,31   | 14,91             | 8,48      |
|          | 12     | 13,6              | 22                | 15,86             | 16,36   | 18,51             | 11,29     |

Таблица 3

Коэффициенты перехода  $K_{рп}$  испарения с водной поверхности к потенциально возможному водопотреблению

| Месяц    | Декада | $E_0$ , мм/декада | $d_s$ , мб/декада | $K_{рп}$ , мм/декада |         |                   |           |
|----------|--------|-------------------|-------------------|----------------------|---------|-------------------|-----------|
|          |        |                   |                   | Многолетние травы    | Капуста | Кукуруза на силос | Картофель |
| Июнь     | 1      | 40,0              | 71                | 1,00                 | 1,04    | 1,24              | 0,63      |
|          | 2      | 34,7              | 62                | 1,04                 | 1,08    | 1,27              | 0,66      |
|          | 3      | 47,5              | 87                | 0,99                 | 1,03    | 1,24              | 0,61      |
| Июль     | 4      | 35,8              | 66                | 1,06                 | 1,10    | 1,30              | 0,67      |
|          | 5      | 44,2              | 84                | 1,03                 | 1,08    | 1,29              | 0,64      |
|          | 6      | 80,2              | 145               | 0,88                 | 0,92    | 1,13              | 0,51      |
| Август   | 7      | 29,3              | 54                | 1,10                 | 1,15    | 1,34              | 0,71      |
|          | 8      | 23,2              | 40                | 1,10                 | 1,14    | 1,33              | 0,73      |
|          | 9      | 24,0              | 42                | 1,10                 | 1,14    | 1,32              | 0,73      |
| Сентябрь | 10     | 14,2              | 23                | 1,16                 | 1,19    | 1,33              | 0,82      |
|          | 11     | 10,5              | 17                | 1,23                 | 1,27    | 1,42              | 0,81      |
|          | 12     | 13,6              | 22                | 1,17                 | 1,20    | 1,36              | 0,83      |

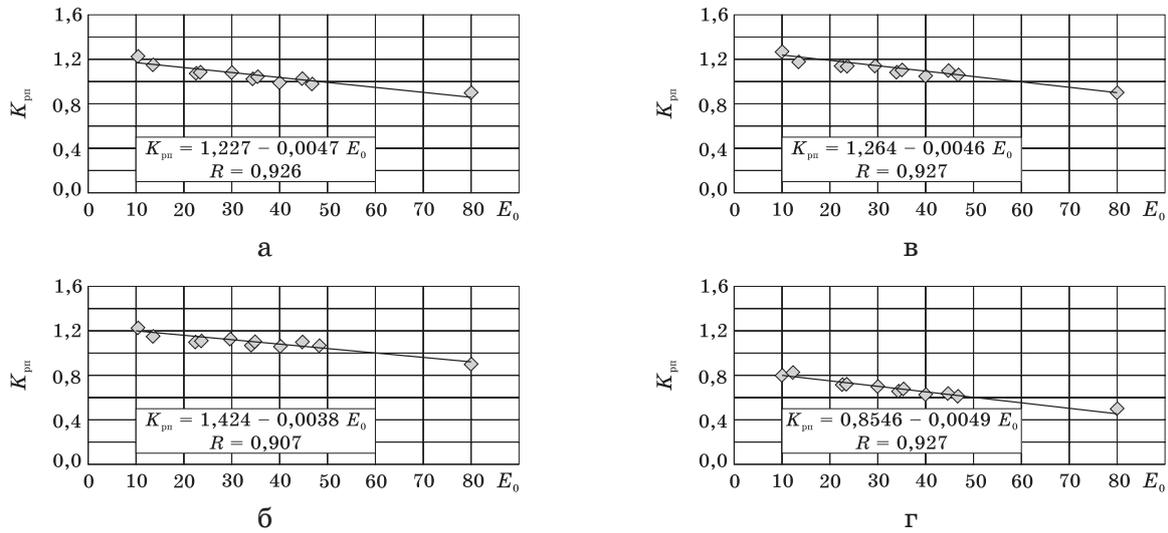


Рис. 2. Связь испарения с водной поверхности  $E_0$  с коэффициентом перехода  $K_{рп}$  для различных сельскохозяйственных культур: а – многолетние травы; б – кукуруза; в – капуста; г – картофель

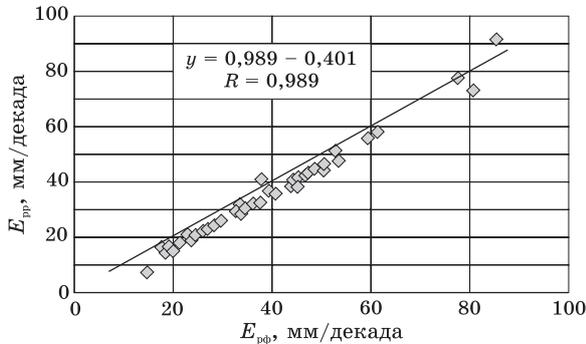


Рис. 3. Связь фактического водопотребления  $E_{рф}$ , рассчитанного по формуле (5), с расчетным  $E_{рр}$ , рассчитанным по формуле (1)

Анализ графика на рис. 3 показывает, что коэффициент корреляции составляет  $0,989 \pm 0,027$ , что говорит о тесной связи между рассматриваемыми признаками. Поэтому формулу (1) можно рекомендовать для практического пользования.

Таблица 4

Испарение с водной поверхности и коэффициент  $K_{рп}$

| $E_0$ , мм/декада | Коэффициент $K_{рп}$ |         |                   |           |
|-------------------|----------------------|---------|-------------------|-----------|
|                   | Многолетние травы    | Капуста | Кукуруза на силос | Картофель |
| 10                | 1,180                | 1,218   | 1,386             | 0,806     |
| 15                | 1,156                | 1,195   | 1,367             | 0,781     |
| 20                | 1,133                | 1,172   | 1,348             | 0,757     |
| 25                | 1,109                | 1,149   | 1,329             | 0,732     |
| 30                | 1,086                | 1,126   | 1,310             | 0,708     |
| 35                | 1,062                | 1,103   | 1,291             | 0,683     |
| 40                | 1,039                | 1,080   | 1,272             | 0,659     |
| 45                | 1,015                | 1,057   | 1,253             | 0,634     |
| 50                | 0,992                | 1,034   | 1,234             | 0,610     |
| 55                | 0,968                | 1,011   | 1,215             | 0,585     |
| 60                | 0,945                | 0,988   | 1,196             | 0,561     |
| 60                | 0,945                | 0,988   | 1,196             | 0,561     |

Таблица 5

Биологические коэффициенты сельскохозяйственных культур на осушаемых пойменных землях

| Месяц    | Декада | Капуста (Ф. М. Зимин) | Многолетние травы | Кукуруза (Синара Хонг) | Картофель (Нианг Алеун) |
|----------|--------|-----------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| Май      | 1      | 0,5...1,6             | 0,5...1,4         | 0,8...1,6              | 0,7..1,6                |
|          | 2      | –                     | 0,56              | –                      | –                       |
|          | 3      | –                     | 0,78              | –                      | –                       |
| Июнь     | 1      | 0,73                  | 0,97              | 0,77                   | 0,78                    |
|          | 2      | 0,81                  | 1,00              | 0,84                   | 0,83                    |
|          | 3      | 0,88                  | 0,85              | 0,89                   | 0,90                    |
| Июль     | 1      | 0,93                  | 0,88              | 0,93                   | 0,95                    |
|          | 2      | 0,97                  | 1,00              | 0,95                   | 0,98                    |
|          | 3      | 0,99                  | 1,00              | 0,97                   | 0,99                    |
| Август   | 1      | 1,00                  | 1,00              | 1,00                   | 1,00                    |
|          | 2      | 1,00                  | 1,00              | 0,94                   | 0,99                    |
|          | 3      | 0,99                  | 1,00              | 0,92                   | 0,97                    |
| Сентябрь | 1      | 0,96                  | 1,00              | 0,87                   | 0,94                    |
|          | 2      | 0,92                  | 0,98              | –                      | 0,89                    |
|          | 3      | 0,87                  | 0,80              | –                      | –                       |

**Выводы**

Получена формула (1) для пересчета испарения с водной поверхности на водопотребление сельскохозяйственных культур.

Получены коэффициенты перехода  $K_{\text{рп}}$  (см. табл. 4) испаряемости  $E_0$  к потенциально возможному водопотреблению  $E_p$ .

Получена связь фактического водопотребления с расчетным по формуле (1). Коэффициент корреляции расчетного водопотребления с фактическим составляет  $0,989 \pm 0,027$ .

1. Зарубежный опыт расчета режима орошения сельскохозяйственных культур: обзор литературных источников. –

М., 1965. – С. 1–44.

2. Пчёлкин В. В. Обоснование мелиоративного режима осушаемых пойменных земель. – М.: КолосС, 2003. – 253 с.

Материал поступил в редакцию 03. 04. 12.

**Голованов Александр Иванович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Мелиорация и рекультивация земель»  
Тел. 8 (499) 153-96-28

**Пчёлкин Виктор Владимирович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Мелиорация и рекультивация земель»  
E-mail: vpchelkin@cln.ru

**Абдельазим Махмуд Мохамед Али**, кандидат технических наук  
Тел. 8 (499) 153-96-28

УДК 502/504:631.6

**Д. П. ГОСТИЩЕВ, Е. Ю. ГИЛЬДЕНБЕРГ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПО ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ РАССТАНОВКИ ТРЕХЪЯРУСНОЙ НАСАДКИ НА ВОДОПРОВОДЯЩЕМ ПОЯСЕ ДДА-100МА**

*Рассмотрены оптимальные схемы расстановки дождевальными насадок. Представлена методика математического моделирования расстановки по квадрату трехъярусной дождевальной насадки на ДДА-100МА. По картам распределения интенсивности оптимальным вариантом следует считать расстановку насадок  $4 \times 4$  м, а учитывая гидравлические параметры ДДА-100МА – квадрат  $4,5 \times 4,5$  м.*

*Интенсивность искусственного дождя, математическое моделирование, площадь орошения, дождевальные насадки, дождемеры, график частотного распределения дождя, трехъярусная насадка.*

*The optimal schemes of arrangement of sprinkling nozzles are considered. There is shown a method of mathematical simulation of arrangement of the three-storey nozzle of sprinkler on DDA-100MA along the square. According to the maps of intensity the optimal variant is considered to be an arrangement of nozzles –  $4 \times 4$  m, and taking into consideration hydraulic parameters of DDA-100MA – the square  $4,5 \times 4,5$  m.*

*Intensity of artificial rain, mathematical simulation, area of irrigation, nozzles of sprinklers, rain gauges, graph of sprinkling frequency distribution, three-storey nozzle.*

Учитывая конструктивную особенность ДДА-100МА, авторы выбрали четыре варианта расстановки насадок на водопроводящем поясе машины: 1 –  $4 \times 4$ ; 2 –  $4,5 \times 4,5$ ; 3 –  $5 \times 4,5$ ; 4 –  $5 \times 5$  м.

Согласно СТО АИСТ 11.1–2004, для определения коэффициента эффективного полива площадь орошения разбивают на равновеликие площадки квадратной или прямоугольной формы [1]. Размер площа-