

Я.А. АКСЁНОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный аграрный университет», Брянская область, Российская Федерация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ПРЕДЕЛА ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ПРИ РАСЧЁТАХ РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ

Цель исследований – определение предела испарения нижнего порога влажности почвы на основе экспериментов и расчётов с использованием математической модели. Предложена математическая модель, где нижний допустимый порог влажности характеризуется параметром Z_{∞} , что соответствует замедлению испарения, которое может наступать в разные моменты времени суток. Почвенные колонки предварительно насыщались до предельной полевой влагоёмкости. Процесс испарения влаги в течение суток фиксировался при помощи измерения веса почвенных колонок, результаты наносились на графики. Параметр Z_{∞} при $t_{\text{воздуха}} = +17^{\circ}\text{C}$ в лаборатории составил: в почвенной колонке с толщиной слоя почвы 5 см – 39,85 мм, 10 см – 50,08 мм, 15 см – 59,81 мм, 20 см – 62,77 мм. Затем колонки устанавливались в поле таким образом, чтобы уровень почвы в колонке соответствовал уровню земли, дневная температура воздуха составляла $+38^{\circ}\text{C}$. Параметр Z_{∞} достиг: в колонке с толщиной слоя почвы 5 см – 18,69 мм, 10 см – 23,95 мм, 15 см – 25,67 мм, 20 см – 27,05 мм. Эксперименты показали, что при низкой температуре воздуха иссушение почвы происходит сильнее, чем при высокой температуре, то есть, процесс наступления снижения тургора растягивается во времени. Обработка данных по испарению с использованием математической модели позволяет получить допустимые пределы влажности почвы в течение суток и производить корректировку поливов.

Минимально допустимый предел влажности почвы, капилляры, почвенная колонка, испарение, математическая модель, поливы.

Введение. Оптимизация водного режима почвы достигается, прежде всего, совершенствованием технологий полива, играющим решающую роль в повышении урожайности, в эффективном использовании воды, удобрений и других ресурсов. Считается, что в интервале НВ – ВРК (наименьшая влагоёмкость – влажность разрыва капилляров) влага для растений легкодоступна и высокоэффективна. Тем не менее, ещё Костяков А.Н., потом Роде А.А. и др. считали, что величина этих пределов исследована недостаточно. [1, 2, 3, 9, 10]

Методы исследования. В лабораторных опытах Брянского ГАУ четыре почвенных колонки с разной толщиной слоя суглинка (5, 10, 15 и 20 см) насыщались водой до состояния предельной полевой влагоёмкости (ППВ), затем они испарялись в течение месяца с ежедневным контролем изменения веса при средней температуре окружающего

воздуха $+17^{\circ}\text{C}$ и постоянной влажности воздуха, отсутствии ветра и прямого солнечного излучения. В других опытах такие же почвенные колонки насыщались до ППВ, затем испарялись шесть суток с ежедневным контролем при средней температуре окружающего воздуха $+30^{\circ}\text{C}$ и постоянных влажности воздуха, отсутствии ветра и прямого солнечного излучения. В третьей серии эксперименты с испарением с почвенных колонок проводились на открытом воздухе при максимальной дневной температуре $+38^{\circ}\text{C}$. В четвёртой серии почва в колонках с толщиной слоя почвы 20 см нагревалась до температуры $+33^{\circ}\text{C}$, поливная вода имела температуру $+22^{\circ}$. С помощью рефлектора в лаборатории имитировалось прямое солнечное излучение через каждые два часа, затем производился контроль изменения веса. В опытах исследовался процесс физического испарения влаги, влияние растений не учитывалось.

Результаты исследования. Данные опытов приведены в таблице 1. Как видно из таблицы 1, максимальное количество испарившейся влаги Z_{∞} , соответствующей ВРК, достигается при температуре воздуха +17°C. К примеру, в слое почвы 20 см Z_{∞} в лаборатории при низкой температу-

ре составила 62,77 мм, а в реальных условиях при температуре воздуха +38°C всего 17,8 мм. Воздух, находящийся в капиллярах почвы, нагревается, и его вязкость, как известно из физики, увеличивается, его поступление в освободившиеся от воды в результате испарения капилляры, затрудняется.

Таблица 1

Испарения с почвенных колонок в различных условиях

Опыты	Z_0 , мм	Z_{∞} , мм	$1/\mu_1 H_{\text{вв}}, 1/\text{сут}$
Слой почвы 5 см, $S = 70,882 \text{ см}^2$			
Испарения с колонок при $t_{\text{возд}} = +17^\circ\text{C}$ в лаборатории	22,14	39,85	0,111
Испарения с колонок при $t_{\text{возд}} = +30^\circ\text{C}$ в лаборатории	8,46	35,55	0,308
Испарения с колонок при $t_{\text{возд}} = +38^\circ\text{C}$ в реальных условиях	4,11	18,69	0,318
Слой почвы 10 см, $S = 70,882 \text{ см}^2$			
Испарения с колонок при $t_{\text{возд}} = +17^\circ\text{C}$ в лаборатории	14,1	50,08	0,105
Испарения с колонок при $t_{\text{возд}} = +30^\circ\text{C}$ в лаборатории	11,29	39,93	0,302
Испарения с колонок при $t_{\text{возд}} = +38^\circ\text{C}$ в реальных условиях	4,9	23,95	0,308
Слой почвы 15 см, $S = 70,882 \text{ см}^2$			
Испарения с колонок при $t_{\text{возд}} = +17^\circ\text{C}$ в лаборатории	15,51	59,81	0,097
Испарения с колонок при $t_{\text{возд}} = +30^\circ\text{C}$ в лаборатории	28,22	41,2	0,297
Испарения с колонок при $t_{\text{возд}} = +38^\circ\text{C}$ в реальных условиях	18,34	25,67	0,318
Слой почвы 20 см, $S = 70,882 \text{ см}^2$			
Испарения с колонок при $t_{\text{возд}} = +17^\circ\text{C}$ в лаборатории	14,44	62,77	0,077
Испарения с колонок при $t_{\text{возд}} = +30^\circ\text{C}$ в лаборатории	26,81	43,88	0,308
Испарения с колонок при $t_{\text{возд}} = +38^\circ\text{C}$ в реальных условиях	19,25	27,05	0,318
Испарения под рефлектором $t_{\text{возд}} = +32^\circ\text{C}$ $t_{\text{воды}} = +22^\circ\text{C}$ $t_{\text{почвы}} = +33^\circ\text{C}$	10,59	19,64	0,308

Вязкость газов определяется по формуле: $\eta = \frac{1}{3} m \bar{u} \lambda$, где m – масса молекул, \bar{u} – средняя скорость молекул, λ – длина свободного пробега между двумя соударениями молекул, n – число молекул в единице объёма.

Так как средняя скорость молекул возрастает с ростом температуры (также, как и « λ »), то вязкость газов увеличивается при нагревании пропорционально \sqrt{T} , а вязкость воды – наоборот. Таким образом, образуется вакуум, тормозящий испарение.

Способствовать образованию вакуума может избыточное насыщение влагой верхнего слоя почвы вследствие атмосферных осадков. Это также подтверждается опытами А.А. Черкасова, А.М. Алпатьева, в которых при насыщении почвы водой свыше 80% скважности, аэрация почвы серьёзно затрудняется. [8]

Температура воздуха в течение суток постоянно меняется – возрастает днём, снижается ночью. Соответственно, меняется величина вакуума, тормозящего испарение воды. Допустимый предел минимального содержания влаги в почве (ВРК по Роде А.А.) для дневных и ночных периодов в течение суток должен меняться. Этот предел не может быть константой.

В учебнике [4] приводится график изменений запасов влаги в расчётном слое почвы в течение вегетации, на котором отображается схема поливов за сезон. Первый полив производится до ППВ в конце второй декады мая, затем влажность почвы опускается практически до ВРК, после чего производится новый полив. Начиная с третьей декады июня уровень влажности доводится практически до ППВ, далее идёт испарение до ВРК.

Ю.А. Мажайский и др.[11] приводят графики динамики внутрисуточного

водопотребления и метеофакторов, из которых видно, что в период роста температуры (в период с 6:00 утра до 14:00) растёт и водопотребление. Но после 14:00 и вплоть до 18:00 температура продолжает расти, а водопотребление начинает снижаться и к 19:00 достигает ВРК.

Движение почвенной влаги характеризуется схемой, представленной на рисунке 1.

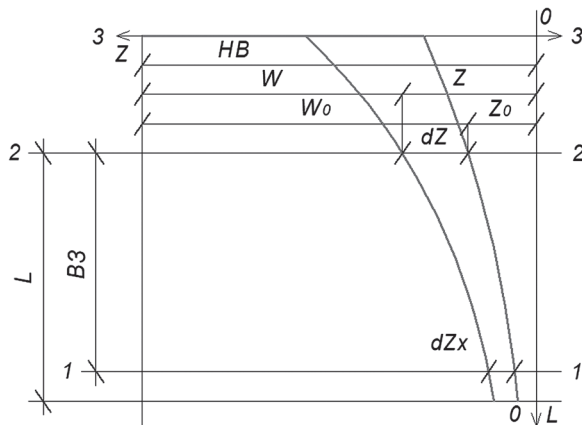


Рис. 1. Схема процесса влагопереноса в поверхностном слое почвенной колонки:
1-1 – граница водосбора;

2-2 – рассматриваемое горизонтальное сечение; 3-3 – поверхность почвы в почвенной колонке;

W – зона почвенного профиля, занятого влагой; Z – осушенный в результате испарения влаги слой почвенной толщи в сечении 2-2;

H_b – зона почвенной толщи, занятой влагой при насыщении до ППВ

Напишем уравнение баланса в дифференциальной форме:

$$l\varphi K_c dZ = \frac{KPWdt}{L} \quad (1)$$

где K – коэффициент влагопроводности почвы; K_c – коэффициент содержания влаги в почве в процентах от сухого веса при влажности, близкой к ППВ; P – давление менисков, пропорциональное Z: $P = \alpha Z$; α – коэффициент пропорциональности.

Так как $W = H_b - Z$, то

$$\frac{dz}{dt} = \frac{K\alpha(H_b - Z)Z}{Ll\varphi K_c} \quad (2)$$

где φ – коэффициент, характеризующий форму кривой, ограничивающей капиллярные мениски.

Введём комплексный параметр, константу скорости: $\eta_1 = \frac{K\alpha}{Ll\varphi K_c}$

$$\text{тогда} \quad \frac{dZ}{dt} = \eta_1 (H_b - Z) Z \quad (3)$$

Интегрируя уравнение (3) при $t = 0$ и $Z = Z_0$, получаем:

$$Z = \frac{H_b}{1 + \frac{H_b - Z_0}{Z_0} e^{-\eta_1 H_b t}}$$

Полученное выражение описывает закономерность изменения запасов влаги в почве по времени в процессе испарения. Но в процессе испарения, одновременно с увеличением иссушенной зоны, происходит уменьшение мощности насыщенной зоны и уменьшение скорости снижения запасов влаги под действием вакуума до $dZ/dt = 0$. При этом бывшая часть иссушенной зоны под влиянием вакуума присоединяется к насыщенной зоне и в дальнейшем ничем не отличается от насыщенной зоны.

Скорость снижения запасов влаги описывается уравнением:

$$\frac{dZ}{dt} = \eta_1 (H_b - Z) Z - \eta_2 Z^2 \quad (4)$$

Из условия равновесия $dZ/dt = 0$, когда $Z \rightarrow Z_\infty$, можно найти соотношения между равновесной мощностью иссушенной зоны Z_∞ и мощностью насыщенной зоны, разделив обе части уравнения на $\eta_2 Z_\infty^2$:

$$Z_\infty = H_b \frac{\eta_1}{\eta_1 + \eta_2} \quad (5)$$

Уравнение (4) с учётом (5) при начальных значениях $t = 0$ и $Z = Z_0$, получим аналитическое выражение:

$$Z = \frac{Z_\infty}{1 + \frac{Z_\infty - Z_0}{Z_0} e^{-\eta_1 H_b t}} \quad (6)$$

Z_∞ – количество влаги, испарившееся из колонки за бесконечный период времени, или количество влаги, которое должно покинуть слой почвы для достижения им минимально допустимого порога влажности.

С учётом вышеизложенного, можно увидеть, что данная математическая модель предлагает получать допустимый предел снижения влажности, характеризуемый параметром Z_∞ , а не привязывать ВРК по процентному отношению к предельной полевой влагоёмкости.

По словам А.А. Роде, «В интервале влажности от H_b и ВРК достаточная подвижность влаги создаёт, по-видимому,

полную обеспеченность растений влагой. Мы говорим «по-видимому», так как прямых опытных данных для этого интервала влажности не имеется.» [10]

В книге А.А. Роде, [10] приведены кривые испарения при различных условиях окружающей среды. При высокой температуре воздуха, в жаркий день, транспирация является максимальной, точка снижения тургора наступает при 34% от НВ, интенсивность транспирации составляет 6,5 мм/сут. в частично облачный влажный день интенсивность транспирации составляет 4,2 мм/сут, точка снижения тургора наступает при 28% от НВ. В пасмурный влажный день точка снижения тургора наступает при 23% от НВ, интенсивность транспирации составляет 1,4 мм/сут. Как видно из анализа, точки снижения тургора при разных погодных условиях наступают в разные моменты. В наших опытах по испарению влаги из почвенных колонок при различных условиях окружающей среды, были получены аналогичные результаты.

Определим допустимый предел снижения влажности на примере расчёта испарений с почвенной колонки с толщиной слоя почвы 20 см по предложенной математической модели. Почвенные колонки были установлены таким образом, чтобы поверхность почвы в колонке была на одном уровне с поверхностью земли. Температура воздуха составляла +38°С. Контроль веса производился каждые 2 часа, в том числе и вночные часы – с 23:00 до 08:00 следующего дня. Следовательно, Δt принимаем равной 2 часам. В первые два часа испарений потеря веса колонки составила 0,03 кг, в следующие два часа – 0,049 кг, через 10 часов испарения составили 0,074 кг. Нанесём данные на график рисунка 3.

Рассчитаем параметры кинетической кривой испарения: скоростной коэффициент $\mu_1 H_{\text{ВВ}}$ и Z_{∞} , принимая недостаток до ППВ 0,01 кг. ($Z_0 = 0,01$ кг).

$$\Psi = \frac{0,033 - 0,01}{0,033} = 0,75;$$

$$\Psi_2 = \frac{0,06 - 0,033}{0,06} = 0,45;$$

$$\Psi_3 = \frac{0,07 - 0,06}{0,07} = 0,142;$$

$$\Psi_4 = \frac{0,073 - 0,07}{0,073} = 0,041;$$

$$\Psi_5 = \frac{0,074 - 0,073}{0,074} = 0,013$$

Наносим полученные точки на график зависимости $\Psi = f(Z)$ и определяем $\mu_1 H_{\text{ВВ}}$ и Z_{∞} .

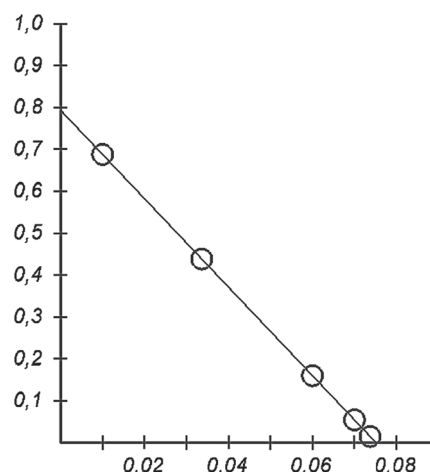


Рис. 2. Зависимость $\Psi_m = f(Z)$ для дневного периода

По оси абсцисс прямая отсекает отрезок длиной 0,075, что соответствует $Z_{\infty} = 0,075$ кг. По оси ординат прямая попадает на отметку 0,79, то есть $\Psi_m = 0,79$.

Далее рассчитаем скоростной коэффициент $\mu_1 H_{\text{ВВ}}$ по формуле:

$$\mu_1 H_{\text{ВВ}} = -\frac{\ln(1 - \Psi_m)}{\Delta t} = -\frac{\ln(1 - 0,79)}{2} = 0,78 \text{ 1/сут}$$

Для определения теоретических точек на графике рассчитаем Z в зависимости от времени t .

$$Z = \frac{0,075}{1 + \frac{0,075 - 0,01}{0,01} e^{-\mu_1 H_{\text{ВВ}} t}}$$

Наносим теоретические точки на график рисунка 3 и видим, что они совпадают с экспериментальными. Это говорит о высокой точности расчёта параметров с использованием данной модели, а небольшие отклонения теоретических точек на 1 гр можно объяснить погрешностью измерительного прибора.

Проведём расчёт допустимого предела снижения влажности для ночных испарений, полученных в почвенной колонке с толщиной слоя почвы 20 см при температуре ночного воздуха +18°С и отсутствии осадков.

Принимаем $\Delta t = 2$ часа. В первые два часа испарений потеря веса колонки составила 1,3 гр (0,0013 кг), в следующие два часа – 2,9 гр, через 10 часов испарения составили 10,1 гр (0,01 кг). Нанесём данные на график рис. 4.

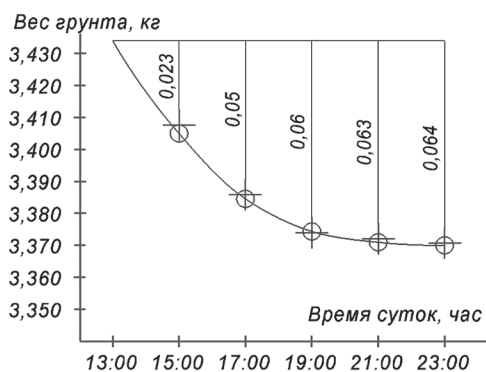


Рис. 3. Испарение при максимальной температуре воздуха +38°C
○ – теоретические точки
+ – экспериментальные точки

Рассчитаем параметры прямой для определения скоростного коэффициента $\mu_1 H_{\text{вв}}$ и Z_{∞} , принимая недостаток до ППВ 0,005 кг. ($Z_0 = 5$ гр).

$$\Psi_1 = \frac{6,3 - 5}{6} = 0,206;$$

$$\Psi_2 = \frac{7,92 - 6,3}{7,92} = 0,204;$$

$$\Psi_3 = \frac{9,9 - 7,92}{9,9} = 0,2;$$

$$\Psi_4 = \frac{12,3 - 9,9}{12,3} = 0,195;$$

$$\Psi_5 = \frac{15,1 - 12,3}{15,1} = 0,185.$$

Наносим полученные точки на график зависимости $\Psi = f(Z)$ и определяем $\mu_1 H_{\text{вв}}$ и Z_{∞} .

По оси абсцисс прямая отсекает отрезок длиной 0,084, что соответствует $Z_{\infty} = 84$ гр. По оси ординат прямая попадает на отметку 0,21, поэтому принимаем $\psi_m = 0,21$.

Далее рассчитаем скоростной коэффициент $\mu_1 H_{\text{вв}}$ по формуле:

$$\mu_1 H_{\text{вв}} = -\frac{\ln(1 - \Psi_m)}{\Delta t} = -\frac{\ln(1 - 0,21)}{2} = 0,117 \text{ 1/сут}$$

Для определения теоретических точек на графике рассчитаем Z в зависимости от времени t .

Рассчитываем Z , подставляя уже известные параметры – Z_0 , Z_{∞} , $e^{-\mu_1 H_{\text{вв}} t}$.

$$Z = \frac{84}{1 + \frac{84 - 5}{5} e^{-\mu_1 H_{\text{вв}} t}};$$

Наносим теоретические точки на график рисунка 4 и видим, что они совпадают с экспериментальными.

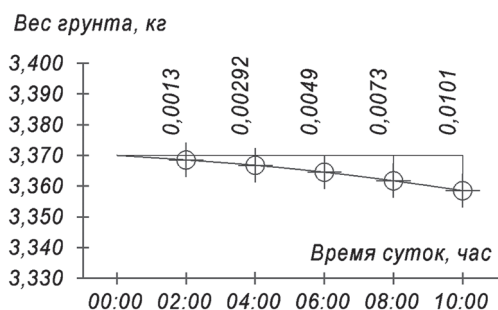


Рис. 4. Испарение в ночное время
○ – теоретические точки
+ – экспериментальные точки

Аналогичные расчёты выполняем для дневного испарения при температуре воздуха +38°C, ночного испарения при температуре +18°C и следующего за ним дневного испарения при температуре +24°C. Теоретические точки наносим на график (рис. 5).

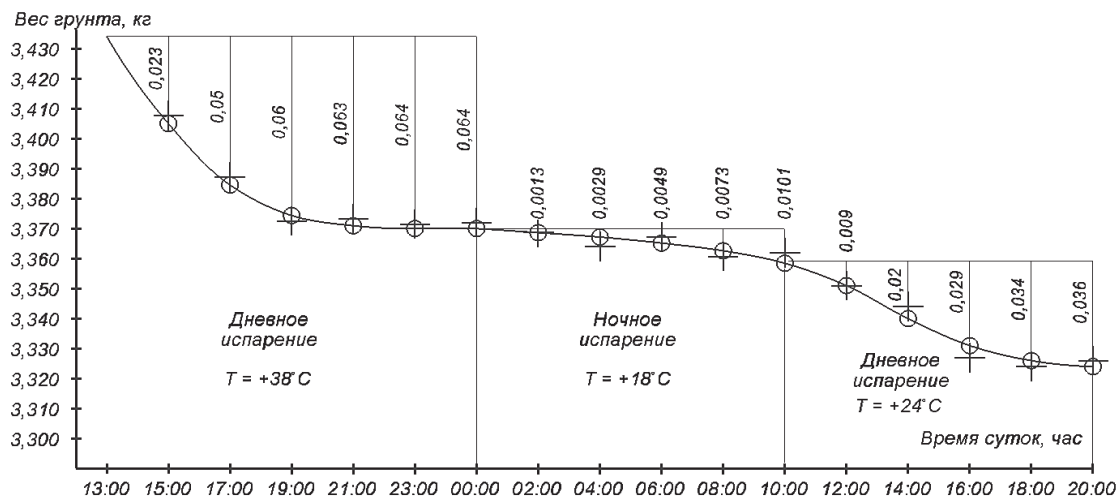


Рис. 5. Обобщённый график испарения за 1,5 суток в полевых условиях
○ – теоретические точки + – экспериментальные точки

Первый дневной период характеризуется предельным порогом снижения влажности – 75 гр или 7,22 мм (9,17% от ППВ), ночной период – 159 гр или 15,3 мм (19,4% от ППВ), второй дневной период – 121 гр или 11,64 мм (14,8% от ППВ).

Выводы

Исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что при различных метеорологических условиях нижний порог влажности почвы, характеризуемый параметром Z_{∞} , постоянно изменяется в течение суток. К концу дня испарение почти прекращается, а в ночное время снова восстанавливается.

В производственных условиях необходимо по датчикам влажности каждый час фиксировать, как идёт испарение, и осуществлять поливы в соответствии с почасовым ходом водопотребления.

Библиографический список

1. Система капельного орошения на землях Брянского ГАУ. / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, В.Ф. Василенков, С.В. Василенков, Е.В. Байдакова, Я.А. Аксёнов. // Вестник Брянской ГСХА. – 2017. – № 4. – С. 16-24.
2. Экологическая и экономическая оптимизация эксплуатационного режима орошения современными дождевальными машинами. / В.Ф. Василенков, С.В. Василенков, Ю.А. Мажайский, О.Н. Демина, Е.А. Мельникова. // Вестник Рязанского государственного агро-технологического университета имени П.А. Костычева. – 2015. – № 4 (28). – С. 85-92.
3. Василенков В.Ф., Демина О.Н., Мельникова Е.А. Разработка модели влагопереноса с целью планирования водопользования при орошении дождевальными

ми установками. // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2016. – № 1. – С. 3-9.

4. Природообустройство. Учебник./Подред. А.И. Голованова. – СПб.: Лань, 2015. – 558 с.

5. Константинов А.Р. Испарение в природе. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1968. – 529 с.

6. Разработка методики, алгоритмов и модели информационно-аналитической системы оптимизации планирования водопользования на гидромелиоративных системах с использованием методов системного анализа: отчёт о НИР. / О.Н. Демина, В.Ф. Василенков, С.В. Василенков и др. – Брянск: Брянский ГАУ, 2015. – 94 с.

7. Судницын И.И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 255 с.

8. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1968. – 246 с.

9. Шуравилин А.В., Кибек А.И. Мелиорация. – М.: ЭКСМОС, 2006. – 944 с.

10. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге: монография, т. 1 – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – 663 с.

11. Экологические аспекты орошения земель в условиях техногенного загрязнения. / Ю.А. Мажайский, В.И. Желязко, Н.Н. Дубенок и др. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 319 с.

Материал поступил в редакцию 25.04.2018 г.

Сведения об авторе

Аксёнов Яков Андреевич, ассистент кафедры природообустройства и водопользования, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ; 243365, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а; тел.: +7(919)2921742, e-mail: poivp@bgsha.com

YA.A. AKSENOV

Federal state budgetary educational institution of higher education «Bryansk state agrarian university», Bryansk region, Russian Federation

DETERMINATION OF THE MINIMALLY PERMISSIBLE SOIL MOISTURE LIMIT AT CALCULATIONS OF THE IRRIGATION REGIME

The purpose of investigations is determination of the evaporation limit of the lower threshold of soil moisture on the basis of experiments and calculations using a mathematical model. There is proposed a mathematical model where the lower permissible humidity threshold is characterized by the parameter Z_{∞} corresponding to the slowdown in evaporation which can occur at different moments of the day. Soil columns were pre-saturated to the limit field water capacity. The process of moisture evaporation during the day was registered by measuring the weight of soil columns, the results were plotted. Parameter Z_{∞} at $t_{air} = + 17^{\circ}C$ in the laboratory was: in the soil column

with the soil layer thickness 5 cm – 39.85 mm, 10 cm – 50.08 mm, 15 cm – 59.81 mm, 20 cm – 62.77 mm. Then the columns were installed in the field so that the soil level in the column corresponded to the ground level, the daily air temperature was + 38°C. Parameter Z_{∞} reached: in the column with the thickness of the soil layer 5 cm – 18.69 mm, 10 cm – 23.95 mm, 15 cm – 25.67 mm, 20 cm – 27.05 mm. It turned out that at a low air temperature the soil drying occurs more strongly than at a high temperature, that is, the process of decrease occurrence in turgor stretches in time. Processing of data on evaporation using a mathematical model allows obtaining permissible limits of soil moisture during the day and making adjustments of watering.

Minimal acceptable limit of moisture content, capillaries, soil column, evaporation, mathematical model, irrigation.

References

1. Sistema kapeljnogo orosheniya na zemlyah Bryanskogo GAU. / N.M. Belous, V.E. Torikov, V.F. Vasilenkov, S.V. Vasilenkov, E.V. Baidakova, Ya.A. Aksenov. // Vestnik Bryanskoj GSHA. – 2017. – № 4. – S. 16-24.
2. Ekologicheskaya i ekonomicheskaya optimizatsiya ekspluatatsionnogo rezhima orosheniya sovremennymi dozhdevaljnymi mashinami / V.F. Vasilenkov, S.V. Vasilenkov, Yu.A. Mazhaisky, E.A. Melnikova. // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. – 2015. – № 4 (28). – S. 85-92.
3. **Vasilenkov V.F., Demina O.N., Melnikova E.A.** Razrabotka modeli vlagoperenosa s tsel'yu planirovaniya vodopol'zovaniya pri oroshenii dozhdevaljnymi ustanovkami. // Innovatsii v APK: problem i perspektivy. – 2016. – № 1. – S. 3-9.
4. Prirodoobustrojstvo. Uchebnik. / Pod red. A.I. Golovanova. – SPb.: Lan, 2015. – 558 s.
5. **Konstantinov A.R.** Isparenije v prirode. – L.: Gidrometeorologicheskoe izd-vo, 1968. – 529 s.
6. Razrabotka metodiki, algoritmov i modeli informatsionno-analiticheskoy sistemy optimizatsii planirovaniya vodopol'zovaniya na gidromeliorativnyh sistemah s ispol'zovaniem metodov sistemnogo analiza: otchet o NIR. / O.N. Demina, V.F. Vasilenkov, S.V. Vasilenkov i dr. – Bryanskaya oblast: Bryansky gosudarstvenny agrarny universitet, 2015. – 94 s.
7. **Sudnitsyn I.I.** Dvizhenie pochvennoj vlagi i vodopotreblenie rastenij. – M.: Izd-vo MGU, 1979. – 255 s.
8. **Kharchenko S.I.** Gidrologiya oroshayemyh zemel. – L.: Gidrometeorologicheskoe izd-vo, 1968. – 246 s.
9. **Shuravilin A.V., Kibek A.I.** Melioratsiya. – M.: EKSMOS, 2006. – 944 s.
10. **Rode A.A.** Osnovy ucheniya o pochvennoj vlage: monografiya, t. 1 –L.: Gidrometeoizdat, 1965. – 663 s.
11. Ekologicheskie aspekty orosheniya zemel v usloviyah tehnogennogo zagryazneniya. / Yu.A. Mazhaisky, V.I. Zhelyazko, N.N. Dubenok i dr. – M.: Izd-vo Mosk. Un-ta, 2003. – 319 s.

The material was received at the editorial office
25.04.2018 g.

Information about the author

Aksenov Yakov Andreevich, assistant of the chair of environmental engineering and water use, FSBEI HE SAU; 243365, Bryanskaya region, Vygonichsky district, s. Kokino, ul. Sovetskaya, 2a, tel.: +7(919)2921742, e-mail: poivp@bgsha.com