

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633:(631.432.22+631.436.2)

ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА ВЛАГО-ТЕПЛОБЕСПЕЧЕННОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

А.П. Лухацевич, член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук

А.В. Вага, инженер

РУП «Институт мелиорации»

Ключевые слова: влаго-теплообеспеченность растений, водный баланс, почвенные влагозапасы, эвапотранспирация (водопотребление), испаряемость

Введение

Сельскохозяйственные мелиорации имеют целью создание благоприятных условий для возделывания сельскохозяйственных культур на землях с неудовлетворительным водным режимом почв. Однако из-за различий в конструкциях и по причине встречающихся сложных почвенно-гидрологических условий не все мелиоративные системы способны, помимо сброса с полей избыточной влаги, обеспечить подачу воды из водоемочника на поля для поддержания оптимальной почвенной влажности в засушливые периоды вегетации. Переосушение почвы при высоких температурах воздуха отрицательно влияет на продукционный процесс и, в конечном итоге, снижает урожайность. Угнетает растения и переувлажнение почвы.

Для управления водным режимом необходимо, прежде всего, знать меру его соответствия требованиям сельскохозяйственных культур при заданных метеоусловиях. Использование для этой цели только данных по содержанию влаги в почве недостаточно, поскольку водопотребление сельскохозяйственных культур зависит и от температур воздуха. Решение проблемы состоит в контроле и управлении эвапотранспирацией (водопотреблением) сельскохозяйственных культур, поскольку именно этот показатель является связующим звеном в водно-тепловом балансе растений.

Элементы водно-теплового баланса растений

Общеизвестно, что водопотребление растений весьма тесно коррелирует с температурами воздуха. В общем виде зависимость эвапотранспирации от температуры воздуха при влагообеспеченности, не лимитирующей водопотребление, аппроксимируется линейной функцией [1]

$$E = E_H + C_E \Sigma T, \quad (1)$$

$$\Sigma T = n T_{CP}, \quad (2)$$

где E – эвапотранспирация растений за расчетный период; E_H – «начальное» значение эвапотранспирации растений (отрезок, отсекаемый экстраполируемой прямой $E(T)$ на оси ординат, т.е. «гипотетическая» эвапотранспирация при $\Sigma T=0$); C_E – коэффициент пропорциональности в зависимости от эвапотранспирации и температуры воздуха; ΣT – сумма среднесуточных температур воздуха за расчетный период; n – продолжительность расчетного периода; T_{CP} – температура воздуха, осредненная за расчетный период.

Чаще принимается $E_H=0$ и функция (1) используется в расчетах в упрощенном варианте, например

$$C_E = \frac{E}{\Sigma T}$$

Исследования показали, что коэффициент пропорциональности (C_E) не является для культуры постоянной величиной, а сам зависит от температуры воздуха. Причем установлено, что наиболее статистически значима зависимость эвапотранспирации от температуры воздуха для овощных культур [2].

В качестве примера на рис. 1 показана зависимость коэффициента пропорциональности водопотребления и среднедекадных температур воздуха для капусты поздней. Коэффициент детерминации этой связи для данной овощной культуры оказался наиболее высоким и существенным во всех гидролого-климатических зонах республики.

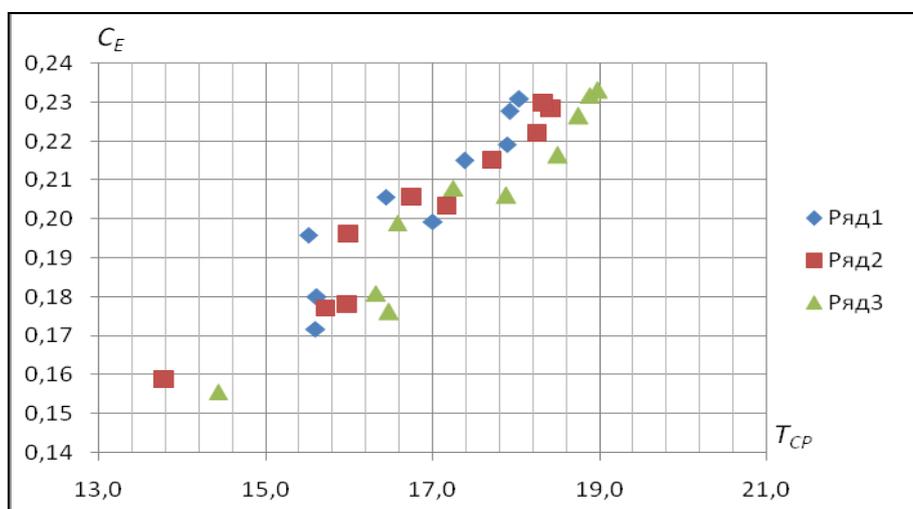


Рисунок 1 – Связь коэффициента пропорциональности (C_E) эвапотранспирации и среднедекадных температур воздуха для капусты поздней при отсутствии дефицита почвенной влаги: ряд 1 – северная гидролого-климатическая зона; ряд 2 – центральная; ряд 3 – южная гидролого-климатическая зона Беларуси

Достаточно тесная зависимость эвапотранспирации от среднедекадных температур воздуха во всех регионах Беларуси характерна и для свеклы столовой. Аналогичный

вывод справедлив для моркови, а также для многолетних трав пастбищного использования. В отличие от овощных культур и пастбищ для многолетних трав сенокосного использования связь между эвапотранспирацией и среднесуточными температурами воздуха оказалась несущественной во всех гидролого-климатических зонах Беларуси [2].

На рис. 2 показана зависимость коэффициента пропорциональности (C_E) от среднедекадных температур воздуха для пастбищ на торфяных почвах. Как видим, у капусты поздней (рис. 1), как и у других овощных культур, имеет место прямая пропорциональность связи между водопотреблением и среднесуточной температурой воздуха, а у многолетних трав (рис. 2), наоборот, – обратная пропорциональность в рассматриваемом диапазоне наблюдаемых температур.

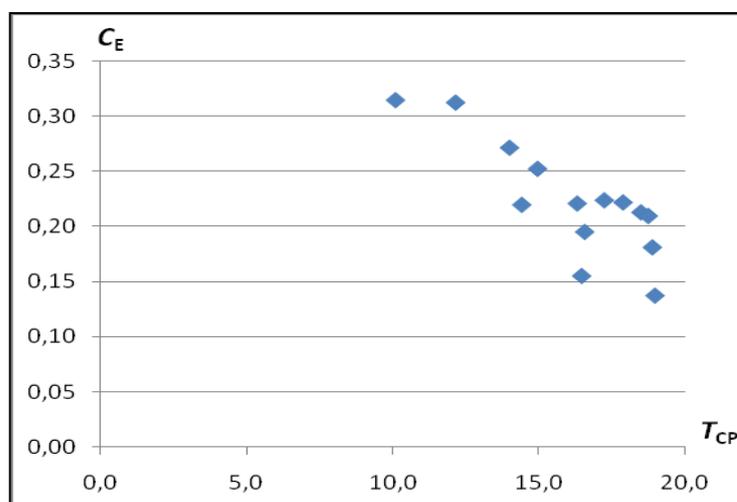


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента пропорциональности (C_E) эвапотранспирации и среднедекадных температур воздуха (T_{CP}) для пастбищ на торфяных почвах в южной гидролого-климатической зоне Беларуси.

Данный факт можно объяснить направленностью влияния температуры на протекание процессов жизнедеятельности в растительном организме. Полагаем, что у овощных культур оптимум температур воздуха находится у верхней границы наблюдаемого диапазона (рис. 1). Поэтому с ростом температуры ее комфортность для растений повышается, что вызывает рост коэффициента пропорциональности (C_E) и, соответственно, повышает интенсивность водопотребления овощных культур.

В свою очередь, у многолетних трав, наоборот, оптимум находится у нижней границы наблюдаемого диапазона температур воздуха (рис. 2). Поэтому с ростом температуры ее комфортность для растений падает, что вызывает снижение коэффициента пропорциональности (C_E) и уменьшает интенсивность водопотребления многолетних трав.

Покажем, что отношение эвапотранспирации к сумме среднесуточных температур воздуха (3) можно использовать не только для расчета водопотребления, но и для харак-

теристики влаго-теплообеспеченности растений. Для этого рассмотрим уравнение водного баланса сельскохозяйственного поля

$$W_K = W_H + P - E \pm Q - V, \quad (4)$$

где W_K, W_H – запасы почвенной влаги в конце и начале расчетного периода, соответственно; P, E, Q, V – атмосферные осадки, водопотребление (эвапотранспирация), внутрипочвенный влагообмен, поверхностный сток за расчетный период, соответственно.

Уравнение (4) представим в удобной для дальнейшего анализа форме (5)

$$\frac{E}{C_{E \max} \Sigma T} = \frac{P}{C_{E \max} \Sigma T} + \frac{\Delta W}{C_{E \max} \Sigma T} \pm \frac{Q}{C_{E \max} \Sigma T} - \frac{V}{C_{E \max} \Sigma T}$$

где ΔW – изменение запасов почвенной влаги в корнеобитаемом слое за расчетный период ($\Delta W = W_H - W_K$); $C_{E \max}$ – максимально возможное при данных условиях значение коэффициента пропорциональности в зависимости эвапотранспирации от температуры воздуха.

Знаменатель уравнения (5) представляет собой испаряемость

$$E_0 = C_{E \max} \Sigma T, \quad (6)$$

где E_0 – максимально возможная при оптимальной влагообеспеченности эвапотранспирация растений, которую принято называть испаряемостью.

Многими исследователями отношение элементов водного баланса к сумме температур воздуха использовалось для характеристики влаго-теплообеспеченности периода вегетации. Причем значение коэффициента пропорциональности в знаменателе уравнения (5) принималось, исходя из субъективных соображений.

Например, Г. Т. Селянинов ввел в исследовательскую практику так называемый гидротермический коэффициент с $C_{E \max} = 0,1$. (7)

$$K_P = \frac{P}{0,1 \Sigma T},$$

где K_P – гидротермический коэффициент, мм/°С; P – сумма атмосферных осадков за расчетный период, мм; ΣT – сумма среднесуточных температур воздуха более 10°С за расчетный период, °С.

По аналогии с Г.Т. Селяниновым эту же величину константы ($C_{E \max} = 0,1$) использовали Н.Н. Семененко и И.И. Вага при анализе связи водного режима почв с урожайностью озимого тритикале с помощью относительного параметра, названного ими «показателем водного режима растений» [3] (8)

$$K_w = \frac{\Delta W}{0,1 \Sigma T},$$

где K_w – показатель водного режима растений (по Н.Н. Семененко), мм/°С; ΔW – изменение почвенных влагозапасов в слое 0–50 см за анализируемый период; $\sum T$ – сумма среднесуточных температур воздуха более 10 °С за тот же период.

Заметим, что зависимость коэффициента пропорциональности (C_E) от температур воздуха нами установлена впервые, а ранее в расчетах водопотребления значение коэффициента пропорциональности в (1) принималось постоянным. Например, в соответствии с рис. 1–2, в среднем для овощных культур и многолетних трав справедливо приближенное равенство

$$E \approx 0,2 \sum T. \quad (9)$$

Именно формула (9) широко использовалась для определения эвапотранспирации в методике регулирования водного режима на оросительных и осушительно-увлажнительных мелиоративных системах Беларуси.

При анализе влияния влаго-теплообеспеченности на водопотребление и продуктивность растений с использованием относительных показателей (в т. ч. отношения водопотребления сельскохозяйственных культур к сумме среднесуточных температур воздуха), также можно использовать подобное (9) упрощение. При этом будем ориентироваться на максимальную величину коэффициента пропорциональности (C_{Emax}), которая, в соответствии с представленными выше данными (рис.1–2), для условий Беларуси колеблется в пределах 0,23–0,28.

Учитывая, что эвапотранспирация при оптимальном водном режиме приближается к испаряемости, но не превышает ее, определим для расчета испаряемости в Беларуси величину коэффициента пропорциональности несколько большую, чем полученную при расчете водопотребления, – округленно $C_{Emax}=0,3$, т.е.

$$E_0 = 0,3 \sum T$$

Именно данную величину ($C_{Emax}=0,3$) можно использовать для приблизительной оценки водно-теплового режима сельскохозяйственных культур в условиях Беларуси.

В целом влаго-теплообеспеченность растений обобщенно можно характеризовать следующими показателями [4]

$$K_w = \frac{\Delta W}{E_0}, \quad K_Q = \frac{Q}{E_0}, \quad K_V = \frac{V}{E_0}, \quad K_P = \frac{P}{E_0},$$

где K_P , K_w , K_Q , K_V – соответственно, показатель атмосферного увлажнения (синоним гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова), показатель использования растениями почвенной влаги (синоним показателя водного режима растений Н.Н. Семененко), показатели внутрипочвенного влагообмена и поверхностного стока.

Следуя традициям формирования терминологии в области почвенной гидрологии, отношение водопотребления (эвапотранспирации) к испаряемости можно назвать *биотермическим коэффициентом*, который обобщенно характеризует степень влаго-теплообеспеченности растений

$$K_E = \frac{E}{E_0}, \quad (12)$$

где K_E – биотермический коэффициент, мм/°С.

В свою очередь, показатель использования растениями почвенной влаги (синоним показателя водного режима растений Н.Н. Семененко) можно определить как *геотермический коэффициент*, поскольку его величина зависит от изменения влагозапасов в почве, т.е.

$$K_W = \frac{\Delta W}{E_0}. \quad (13)$$

При отсутствии поверхностного стока и внутрипочвенного влагообмена, что характерно для значительной части земель, не требующих осушения, и для большинства осушительных систем Беларуси, из (5) можно получить приближенную зависимость для определения биотермического коэффициента

$$\frac{E}{E_0} \approx \frac{P}{E_0} + \frac{\Delta W}{E_0} \quad (14)$$

Как видим, на автоморфных почвах и на осушенных землях, где не проводится подача воды на увлажнение, биотермический коэффициент приближенно равен сумме гидротермического и геотермического коэффициентов

$$K_E \approx K_P + K_{\Delta W}. \quad (15)$$

Однако в условиях функционирования осушительно-увлажнительных и оросительных систем при оценке водно-теплового баланса сельскохозяйственного поля следует учитывать все основные составляющие, т.е.

$$K_E = K_P + K_{\Delta W} \pm K_Q + K_V. \quad (16)$$

На рис. 3 представлены данные расчета биотермического коэффициента для сенокоса на торфяных почвах Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства [1]. Биотермическому коэффициенту в расчете по (15) соответствует константа $C_{E_{\max}}=0,3$.

Как видим, биотермический коэффициент (K_E) увеличивается при повышении урожайности многолетних трав и связан с ней криволинейной зависимостью. Причем рост коэффициента имеет затухающий характер и прекращается при достижении оптимальной для растений влажности почвы. Не вызывает сомнений, что данная закономерность, экспериментально установленная для многолетних трав, будет справедливой и для дру-

гих культур.

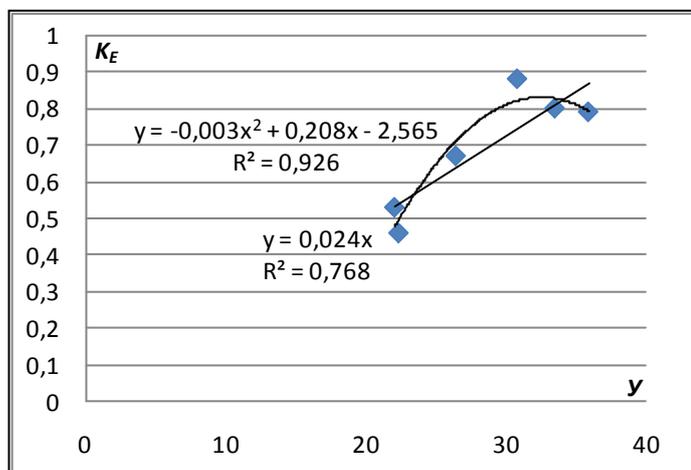


Рисунок 3 – Связь биотермического коэффициента с урожайностью, полученной во втором укосе многолетних злаковых трав на торфяных почвах.

Данные расчета, приведенные на рис. 3, позволяют предложить следующую качественную оценку влаго-теплообеспеченности растений на основе биотермического коэффициента (за период вегетации):

$K_E > 0,75$ – влагообеспеченность хорошая;

$K_E = 0,60–0,75$ – влагообеспеченность удовлетворительная;

$K_E = 0,45–0,60$ – влагообеспеченность пониженная;

$K_E < 0,45$ – влагообеспеченность критическая, приводящая к значительным потерям продуктивности.

Заметим, что на рис. 3 три верхние точки соответствуют варианту с орошением многолетних трав (влагообеспеченность хорошая), средняя точка характеризует удовлетворительную влагообеспеченность на неорошаемом варианте в средний год, а две нижние точки соответствуют пониженной влагообеспеченности на этом варианте в сухие годы.

Выводы

1. При управлении водным режимом растений необходимо знать меру его соответствия требованиям сельскохозяйственных культур при заданных метеоусловиях. Использование для этой цели только данных по содержанию влаги в почве недостаточно, поскольку водопотребление сельскохозяйственных культур зависит, кроме того, и от температур воздуха. Решение проблемы состоит в контроле и управлении эвапотранспирацией (водопотреблением) сельскохозяйственных культур, поскольку именно этот показатель является связующим звеном в водно-тепловом балансе растений.

2. Для приближенной характеристики влаго-теплообеспеченности растений пред-

ложено использовать так называемый биотермический коэффициент, представляющий отношение водопотребления (эвапотранспирации) к испаряемости и в простейшем случае равный сумме гидротермического (в уточненной формулировке) и геотермического коэффициентов.

3. Биотермический коэффициент увеличивается при повышении урожайности и влагообеспеченности растений. Причем его рост происходит по криволинейной зависимости с постепенным затуханием, прекращаясь при достижении оптимальной для растений влажности почвы.

Литература

1. Михальцевич, А.И. Расчет испарения с орошаемых сенокосов на торфяных почвах Белорусского Полесья / А.И.Михальцевич, А.П.Лихацевич // Регулирование водного режима торфяных почв: сб. науч. тр. / БелНИИМирВХ. – Минск, 1981. – С.100–107.
2. Лихацевич, А.П. Влияние температуры воздуха на водопотребление сельскохозяйственных культур / А.П. Лихацевич, А.В. Вага // Вес. Нац. акад. Навук Беларусі. Сер. Аграр. Навук. – 2012. – С. 65–72.
3. Семененко, Н.Н., Вага И.И. Влияние гидротермических условий роста и развития на урожайность озимого тритикале // Мелиорация. – 2011. – №2(66). С. 137–144.
4. Лихацевич, А.П. Приближенная количественная оценка воздействия факторов окружающей среды на формирование урожая сельскохозяйственных культур / А.П.Лихацевич // Мелиорация переувлажненных земель. -2006. - № 1(55). – С. 95–102.

Summary

Likhatsevich A., Vaga A.

AN APPROXIMATE ESTIMATE OF MOISTURE-HEAT SUPPLY OF CROPS

For estimation of moisture-heat supply it is proposed to use bio thermal factor equal to the algebraic sum of known indicators of water regime of plants. Bio thermal factor depends on the level of dietary regime and increases with increasing yield and water supply of plants. And its growth is based on a curvilinear, stopping when it reaches the optimal soil moisture for plants.

Поступила 2 октября 2012 г.