

УДК 631.671.2

УПРАВЛЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПОЧВЕННЫХ ВЛАГОЗАПАСОВ

В. Е. ВАЛУЕВ, А. А. ВОЛЧЕК, О. П. МЕШИК

Брестский политехнический институт
г. Брест, Республика Беларусь

Максимальная урожайность сельскохозяйственных культур достигается при максимальной интенсивности эвапотранспирации, которая является, прежде всего, продуктом благоприятного воздушного режима почв, достаточного притока влаги к корневой системе и тепла к испаряющей поверхности. Как известно, нижняя граница влагозапасов, при которых эвапотранспирация еще может поддерживаться на максимальном уровне, определяется подвижностью почвенной влаги и составляет примерно 60...80% от наименьшей влагоемкости ($W_{нв}$, W_{max}) (рис 1, линия 1). А.А. Роде [1] определил эту границу как влажность разрыва водных капиллярных связей ($W_{врк}$, W_{min}) (рис. 1, линия 2). С другой стороны, наименьшая влагоемкость ($W_{нв}$) здесь выступает как верхняя граница оптимальной увлажненности (рис. 1, линия 1). Таким образом, если динамика текущих почвенных влагозапасов (W_{oi}) будет отвечать максимальному водопотреблению (рис. 1, линия 7- для многолетних трав), при

$$W_{врк} \leq W_{oi} \leq W_{нв}, \quad (1)$$

то урожай сельскохозяйственных культур, при прочих равных условиях, будет максимальным. В критические периоды (фазы развития растений) влажность почвы должна быть близкой к $W_{нв}$, но в отдельные стадии вегетации возможно снижение текущей влажности почвы (W_{oi}) до значений, близких к $W_{врк}$. Влажность корнеобитаемого слоя почвы на практике удерживается в некотором среднем (для данной фазы развития культуры) диапазоне (рис. 1, линия 3), который может быть определен как

$$V_{oi} = \frac{W_{\max i} + W_{\min i}}{2 \cdot W_{\max}} \approx \frac{W_{нв} + W_{врк}}{2 \cdot W_{нв}}. \quad (2)$$

Для управления водно-воздушным режимом почв необходимо иметь фактический (расчетный) гидрограф влажности почвы корнеобитаемого слоя. Так как влажность почвы имеет стохастическую природу и зависит от целого ряда случайных факторов, можно с достаточной степенью достоверности при построении гидрографа использовать методы математической статистики. Как известно, наиболее точно рассчитывается гидрограф естественной влажности почвы для среднего многолетнего периода (рис. 1, кривая 4), который может служить основой в процессе моделирования динамики почвенных влагозапасов и разработки, с использованием статистических методов, типовых (обеспеченных) гидрографов влагозапасов расчетного почвенного слоя (рис. 1, кривая 5).

В настоящее время предлагаются разнообразные модели, описывающие динамику почвенных влагозапасов с той или иной степенью дискретности и точности, но для практических целей наиболее приемлем водно-балансовый метод, обеспечивающий степень дискретности - месяц, декада, пентада. В общем виде уравнение водного баланса записывается как

$$W_{ki} = W_{нi} + X_i - E_{oi} - Y_i + G_i - J_i, \quad (3)$$

где W_{ki} ; $W_{нi}$ - запасы влаги соответственно на конец и начало расчетного интервала времени, мм;

X_i - сумма атмосферных осадков за расчетный интервал времени, мм;

E_{oi} - оптимальное водопотребление сельскохозяйственной культуры за тот же период, мм;

Y_i - поверхностный сток, мм;

G_i - грунтовая составляющая водного баланса расчетного слоя почвы, мм;

J_i – инфильтрация почвенной влаги в более глубокие слои из зоны аэрации, мм.

Как правило, уравнение (3) при расчетах по средним многолетним величинам балансовых элементов используется с некоторыми допущениями: не учитывается величина поверхностного стока (Y_i), т.к. для средних многолетних условий в период вегетации поверхностный сток наблюдается довольно редко; не учитывается также инфильтрационная составляющая влагообмена с нижележащими слоями почвогрунтов (J_i). В противном случае эти расходные элементы (Δ) суммарно будут оцениваться как

$$\Delta = (Y_i + J_i) = W_{\text{пв}} - W_{\text{ки}}, \text{ при } W_{\text{ки}} \geq W_{\text{нв}}, \quad (4)$$

где $W_{\text{пв}}$ – полная влагоемкость расчетного слоя почвы, мм.

Как показывают многочисленные исследования, распределение вероятностей величин влажности почвы подчиняется нормальному закону и определяется двумя параметрами (средним многолетним значением - W_{icp} ; коэффициентом вариации - C_{vi}), а обеспеченные величины влагозапасов ($W_i^{\text{p\%}}$) могут рассчитываться по схеме

$$W_i^{\text{p\%}} = W_{\text{icp}} \cdot (C_{\text{vi}} \cdot \Phi_{\text{p\%}} + 1), \quad (5)$$

где $\Phi_{\text{p\%}}$ - нормированные отклонения ординат кривой (расчетной обеспеченности) от среднего многолетнего значения.

Исследования временной изменчивости величин влажностей почвы, полученных экспериментальным путем за короткие интервалы времени, показали, что коэффициент вариации (C_{vi}) можно достаточно точно определять по зависимости [2]

$$C_{\text{vi}} = \lambda \cdot \left(\frac{W_{\text{нв}}}{W_{\text{icp}}} + \frac{W_{\text{нв}}}{W_{\text{пв}}} \right), \quad (6)$$

где λ - эмпирический коэффициент, зависящий от влагоемкости почвы и естественной ее увлажненности.

При этом величина (λ) определяется как

$$\lambda = A \cdot W_{\text{нв}} + B, \quad (7)$$

где А, В – эмпирические коэффициенты, зависящие от мощности расчетного почвенного слоя (для 0,5 – метрового слоя соответственно равны 0,0021; 0,11).

Определяя влажность деятельного слоя почвы за вегетационный период в характерные годы, необходимо учитывать асинхронность хода рассчитанных (рис.1, кривая 5) обеспеченных значений почвенных влагозапасов ($W_i^{p\%}$) с реальным их ходом в год той же обеспеченности ($W_i^{(p\%)}$) (рис.1, кривая 6). Мера асинхронности определяется неадекватностью соотношений естественных ресурсов тепла и влаги в конкретные расчетные интервалы времени и в целом за период вегетации растений.

Поэтому влажность почвы ($W_i^{p\%}$), полученная для характерных лет по уравнению (5), требует корректировки с учетом реального ее хода в аналогичном реальном году расчетной обеспеченности ($W_i^{(p\%)}$).

Схематизируя внутригодовое распределение выявленных невязок, надо исходить из наличия критических периодов (фаз) развития культур, в которые они наиболее чувствительны к колебаниям почвенных влагозапасов.

Скорректированные значения влажности почвы ($W_i^{(p\%)}$) любой обеспеченности оцениваются по выражению

$$W_i^{(p\%)} = W_i^{p\%} - \frac{\sum_{i=1}^n W_i^{p\%} \cdot (1 - \alpha_w(P)) \cdot (K_{b(max)}^{p\%} - K_{b(i)}^{p\%})}{\sum_{i=1}^n (K_{b(max)}^{p\%} - K_{b(i)}^{p\%})}, \quad (8)$$

где $K_{b(max)}^{p\%}$ - максимальное декадное значение коэффициента водопотребления (биологического, биоклиматического и т.п.) Р% - ной обеспеченности;

$K_{b(i)}^{p\%}$ - значение коэффициента водопотребления той же обеспеченности за конкретную декаду (i);

$\alpha_w(P)$ – коэффициент перехода от значений влажности почвы ($W_i^{p\%}$) к скорректированным ее значениям ($W_i^{(p\%)}$).

Анализ асинхронности обеспеченностей влажностей почвенных влагозапасов в смежных интервалах осреднения позволил выявить эмпирическую зависимость для определения переходного коэффициента ($\alpha_w(P)$)

$$\alpha_w(P) = \left(\left(0,915 \cdot \exp\left(\frac{26}{W_{нв}}\right) \right) - \alpha_1 \cdot \exp\left(\frac{\beta_1}{W_{нв}}\right) \cdot P \right)^{-1}, \quad (9)$$

где α_1 и β_1 – эмпирические коэффициенты, зависящие от продолжительности периода вегетации. Например, в зоне неустойчивого естественного увлажнения для периода май-август ($\alpha_1^{V-VIII} = 0,047$, $\beta_1^{V-VIII} = 202$); для периода апрель-октябрь ($\alpha_1^{IV-X} = 0,084$, $\beta_1^{IV-X} = 152$).

Таким образом, можно получить расчетный гидрограф влагозапасов корнеобитаемого слоя почвы любой обеспеченности с учетом биологических особенностей возделываемой культуры. Полученный гидрограф может быть использован как стратегический компонент управления режимами почвенных влагозапасов на стадии проектирования и эксплуатации гидромелиоративных систем.

При этом реализуются различные типы режимов гидромелиораций (увлажнительный, увлажнительно-промывной, ирригационно-возможный, хозяйственно-возможный), которые можно дополнить технически возможным и экологически необходимым. При надлежащем обосновании используемый в конкретных условиях режим гидромелиораций можно назвать "рациональным" [2]. Отличительной чертой разрабатываемого рационального режима гидромелиораций является присущая ему и соответствующим образом обоснованная динамика почвенных влагозапасов как в целом за вегетационный период, так и в конкретные фазы развития растений ($W_{ргм}$) (рис.1, линия 8).

Наличие дефицитов (D_i) или избытков (U_i) водного баланса (ВБ) корнеобитаемого слоя почвы за расчетный интервал времени (для большинства сельскохозяйственных культур - декада) можно установить из соотношений

$$D_i \cdot (H_i) ВБ = \begin{cases} W_i - W_{нв}, & \text{если } W_i > W_{нв} - \text{требуется осушение;} \\ 0, & \text{если } W_{нв} \geq W_i \geq W_{крит} - \text{гидромелиорации не требуются;} \\ W_i - W_{крит}, & \text{если } W_i < W_{крит} - \text{требуется орошение.} \end{cases} \quad (10)$$

Поэтому при разработке режимов гидромелиораций водохозяйственная задача сводится к объективному описанию естественного внутригодового хода почвенных влагозапасов в деятельном слое ($W_i^{(p\%)}$) (рис 1, кривая 6), моделированию рационального для конкретных условий хода декадных значений влажностей почв ($W_{ргм}$) (рис.1, линия 8) с установлением при этом неизбежных диспропорций ($\pm m_{ip\%}$) и путей их

ликвидации за счет совмещения кривых (6) и (7) в одну линию (рис. 1, линия 8-9).

Декадные значения дефицитов (избытков) водного баланса корнеобитаемого слоя почвы ($\pm m_{ip\%}$) находятся из соотношения

$$\pm m_{ip\%} = W_i^{(p\%)} - W_{oi}, \quad (11)$$

где $W_i^{(p\%)}$ - фактическая-(истинная) влажность почвы, причем в условиях гидромелиорации это значение не должно опускаться ниже нижнего оптимального уровня, т.е. ($W_i^{(p\%)} \geq W_{врк}(W_{min})$); W_{oi} - оптимально потребные почвенные влагозапасы, обеспечивающие оптимальное водопотребление сельскохозяйственной культуры.

Почвенные влагозапасы под сельскохозяйственной культурой необходимого уровня оптимальности (W_{oi}) (рис. 1, кривая 7) задаются соответствующим процентом обеспеченности, рациональным для данного режима гидромелиораций ($W_{oi} = W_{ргми}$); тогда выражение (11) примет вид

$$\pm m_{ip\%} = W_i^{(p\%)} - W_{ргми}, \quad (12)$$

где $W_{ргми}$ - рациональное для данного типа режима гидромелиораций значение почвенной влажности (соответствующей обеспеченности).

При этом решается задача наиболее полного копирования линией ($W_{ргми}$) (рис. 1, линия 8) хода почвенных влагозапасов заданного уровня оптимальности, отвечающего оптимальному водопотреблению (W_{oi}) (рис. 1, кривая 7), что осуществляется через мелиоративные воздействия соответствующими нормами (m_i) (рис. 1, линия 9) в сроки, приуроченные к моментам значительных расхождений кривой 7 и линии 8. В принципе, при регулировании водного режима почв мелиоративной нормой (m_i) (рис. 1, линия 9) в сочетании с естественными почвенными влагозапасами ($W_i^{(p\%)}$), определяется рациональная динамика почвенной влажности ($W_{ргми}$).

Тенденция изменения естественных почвенных влагозапасов ($W_i^{(p\%)}$) должна быть учтена при моделировании рационального их хода в межполивной период ($W_{ргми}^k$)

$$W_{ргми}^k = \frac{W_{ргми}^n \cdot (2 \cdot W_{ki}^{(p\%)} - X_i) + X_i \cdot (W_{ni}^{(p\%)} + W_{ki}^{(p\%)})}{2 \cdot W_{ni}^{(p\%)} + X_i}, \quad (13)$$

где $W_{\text{ргми}}^H$ – влажность почвы на начало расчетного периода или сформированная в результате проведенного полива (рис 1., линия 8);

$W_{\text{ргми}}^K$ – влажность почвы на конец расчетного периода или первого после полива расчетного интервала времени (рис 1., линия 8);

$W_{\text{нi}}^{(p\%)}$ и $W_{\text{кi}}^{(p\%)}$ – фактические (истинные) влажности почвы, соответственно, на начало и конец расчетного периода (рис 1., кривая 6);

X_i – прогнозируемые атмосферные осадки на данный расчетный период.

Поливные нормы (m_i) получаютс я графически в результате оптимизации почвенных влагозапасов ($W_{\text{ргми}}$) (рис 1., линия 8-9). Проекция наклонной линии (9) на абсциссу времени зависит от площади орошаемого поля, поливной нормы, метода орошения и способа полива, влияющей способности почв и увязанной с ней интенсивности дождя используемых дождевальных устройств.

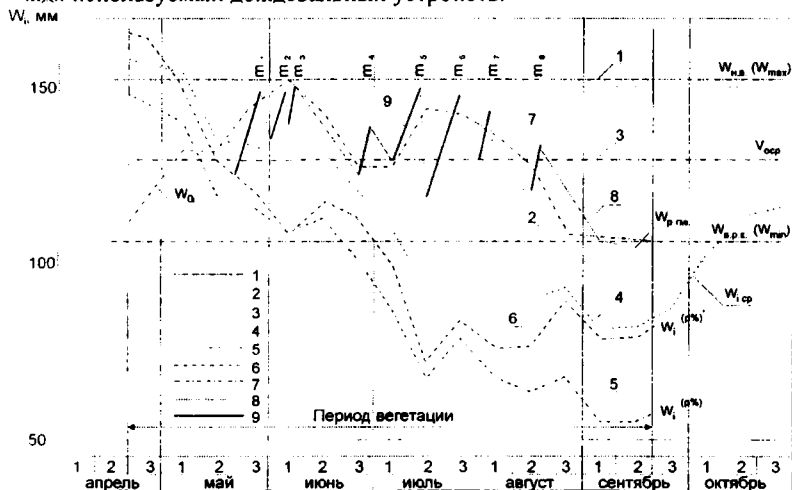


Рис. 1. Динамика влагозапасов в деятельном слое (0,5 м) суглинистых почв (п. Пинск): 1 – наименьшая влагоспособность ($W_{\text{н.в.}}$); 2 – влажность разрыва капиллярных связей ($W_{\text{р.п.в.}}$); 3 – средняя за вегетацию относительная влажность ($W_{\text{ср.}}$); 4 – средняя многолетняя ($P=50\%$) влажность ($W_{\text{и.п.}}$); 5 – равнообеспеченная ($P=75\%$) влажность ($W_{\text{р.п.}}$); 6 – скорректированная по реальному ($P=75\%$) году влажность ($W_{\text{и.п.}}^{(p\%)}$); 7 – влажность заданного для многолетних трав уровня оптимальности ($W_{\text{н.в.}}$); 8 – рациональная для принятого режима гидромелиораций влажность ($W_{\text{р.п.}}$); 9 – поливная норма (m_i), мм.

Оценка экологических последствий проводимых поливов осуществляется с использованием следующего алгоритма [3] :

$$U = \sum_{i=1}^n \begin{cases} k_1(m) \cdot [W_{ргми} - W_{\max}], & \text{если } W_{ргми} > W_{\max}; \\ 0, & \text{если } W_{\min} \leq W_{ргми} \leq W_{\max}; \\ k_2(W) \cdot (W_{\min} - W_{ргми}), & \text{если } W_{ргми} < W_{\min}, \end{cases} \quad (14)$$

где U – ущерб от переувлажнения почвы в процессе полива (эрозия, вынос питательных веществ, потери поливной воды и т.д.), а также от чрезмерного ее просыхания перед поливом (недобор урожая, снижение эффективности орошения и т.д.);

$k_1(m)$, $k_2(W)$ – показатели ущерба, соответствующие избыткам / недостаткам почвенных влагозапасов.

Изложенный подход рекомендуется использовать для объективной и качественной оценки естественного водного режима почв на конкретном сельскохозяйственном поле при оперативном формировании мелиоративных воздействий в процессе управления осушением и искусственным увлажнением сельскохозяйственных земель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Роде А. А. Водный режим почв и его регулирование. М.: АН СССР, 1963.-120 с.
2. Волчек А. А., Валуев В. Е., Юрченко Н. Т. Моделирование динамики почвенных влагозапасов в условиях гидромелиорации // Совершенствование и реконструкция мелиоративных систем. Тр. ВНИИГиМ, т.78.-М., 1990.-С.46-55.
3. Лихачевич А. П. Пути повышения эффективности и экологической безопасности дождевания // Экологические аспекты мелиорации. Сб. науч. трудов. -Минск, 1990.-С.34-42.