

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ВОДОСБЕРЕГАЮЩЕГО РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ

*А. А. Волчек<sup>1</sup>, О. П. Мешик<sup>1</sup>, Ю. А. Мажайский<sup>2</sup>, О. В. Черникова<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, volchak@tut.by

<sup>2</sup> Мещерский филиал ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова, Рязань, Россия, director@mntc.pro

<sup>3</sup> Академия ФСИН России, Рязань, Россия, chernikova\_olga@inbox.ru

### **Аннотация**

Представлены результаты разработки метода для оценки и оптимизации водного режима на мелиорируемых землях. Реализация метода возможна при управлении сооружениями мелиоративных систем на основании рассчитанного гидрографа влажности корнеобитаемого слоя почвы.

**Ключевые слова:** метод, почвенные влагозапасы, режим орошения.

### **METHODOLOGICAL APPROACHES TO DESIGNING A WATER SAVING REGIME OF IRRIGATION**

*A. A. Volchak, A. P. Meshyk, Yu. A. Mazhayskiy, O. V. Chernikova*

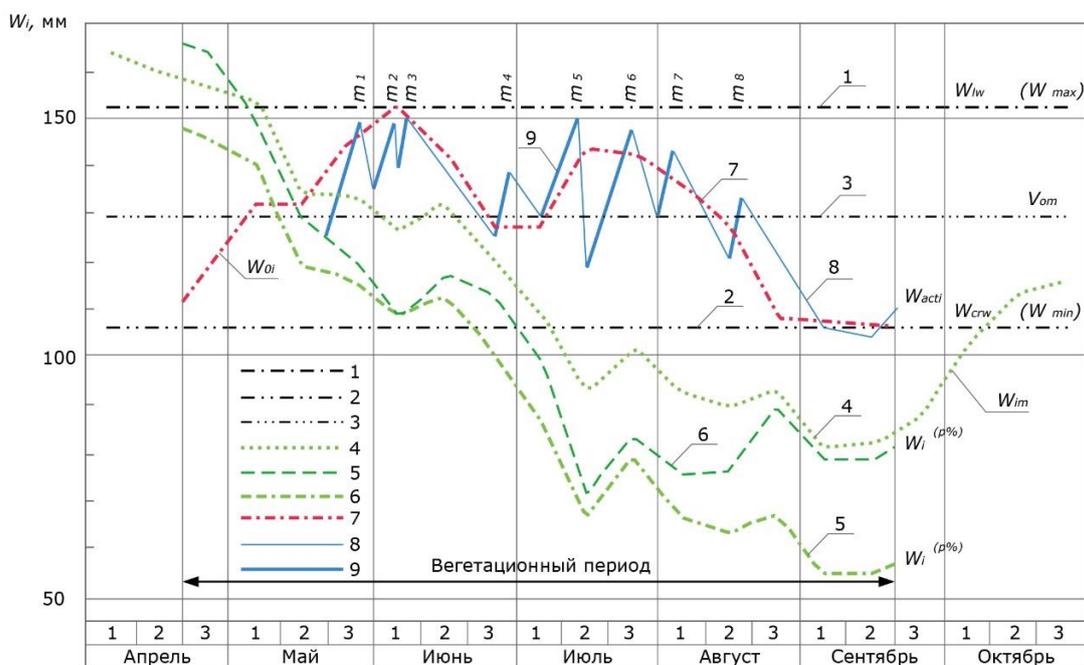
### **Abstract**

The developed method is recommended to be used for an objective and qualitative assessment of the natural water regime of soils on agricultural land in the operational formation of reclamation impacts in the process of managing the structures of drainage and irrigation systems.

**Keywords:** method, stored soil moisture, irrigation regime.

**Введение.** Сельскохозяйственное поле по комплексу своих свойств (рельеф, микрорельеф, почвенный покров, геологические условия, характер и густота растений, естественное водное и минеральное питание и др.), как правило, чрезвычайно неоднородно. Для обеспечения экологически безопасного режима увлажнения (орошения) необходим оперативный инструментальный контроль, динамики почвенных влагозапасов. Однако реализовать эту задачу с малыми затратами, с учетом фактической пестроты свойств сельскохозяйственного поля очень затруднительно.

**Методика и объекты исследования.** Максимальная урожайность сельскохозяйственных культур достигается при максимальной интенсивности эвапотранспирации, достаточном притоке влаги к корневой системе и тепла к испаряющей поверхности. Нижняя граница влагозапасов определяется подвижностью почвенной влаги и составляет, примерно, 60–80% от наименьшей влагоемкости ( $W_{lw}$ ,  $W_{max}$ ) (рис., линия 1). Эта граница представляет собой влажность разрыва водных капиллярных связей ( $W_{crw}$ ,  $W_{min}$ ) (рис., линия 2).



**Рисунок 1** – Динамика влагозапасов в корнеобитаемом слое (0,5 м) суглинистых почв: 1 – наименьшая влагоемкость ( $W_{lw}$ ); 2 – влажность разрыва капиллярных связей ( $W_{crw}$ ); 3 – средняя за вегетацию относительная влажность ( $V_{om}$ ); 4 – средняя многолетняя ( $P=50\%$ ) влажность ( $W_{im}$ ); 5 – равнообеспеченная ( $P=75\%$ ) влажность ( $W_i^{P\%}$ ); 6 – скорректированная по расчетному году влажность ( $W_i^{P\%}$ ); 7 – влажность заданного для многолетних трав уровня оптимума ( $W_{oi}$ ); 8 – фактическая влажность почвы ( $W_{acti}$ ); 9 – поливная норма ( $m$ ), мм

Наименьшая влагоемкость ( $W_{lw}$ ) является верхней границей оптимальной увлажненности корнеобитаемого почвенного слоя (рис., линия 1). Таким образом, динамика текущих почвенных влагозапасов ( $W_{oi}$ ) должна отвечать условию (рис., линия 7 – для многолетних трав)

$$W_{crw} \leq W_{oi} \leq W_{lw} . \quad (1)$$

В критические фазы развития растений влажность почвы ( $W_{oi}$ ) должна быть близкой к ( $W_{lw}$ ), но в отдельные стадии вегетации возможно ее снижение до значений, близких к ( $W_{crw}$ ). Влажность корнеобитаемого слоя почвы удерживается в некотором среднем диапазоне (рис., линия 3), который определяется как

$$V_{oi} = \frac{W_{maxi} + W_{mini}}{2 \cdot W_{max}} \approx \frac{W_{lw} + W_{crw}}{2 \cdot W_{lw}} . \quad (2)$$

**Результаты и их обсуждение.** Для управления водно-воздушным режимом почв необходимо иметь фактический (рассчитанный) гидрограф влажности почвы корнеобитаемого слоя. Так как влажность почвы имеет стохастическую природу и зависит от целого ряда случайных факторов, при построении гидрографа можно использовать методы математической статистики. Наиболее точно рассчитывается гидрограф естественной влажности почвы для среднего многолетнего периода (рис., линия 4). Этот гидрограф может служить основой для моделирования динамики почвенных влагозапасов и разработки типовых гидрографов почвенных влагозапасов различных обеспеченностей (рис., линия 5).

В настоящее время предлагаются разнообразные модели, описывающие динамику почвенных влагозапасов с той или иной степенью точности [1, 2, 3 и др.], но для практических целей наиболее приемлем воднобалансовый метод

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

где  $W_{ei}$ ;  $W_{bi}$  – запасы влаги, соответственно, на конец и начало расчетного интервала времени ( $i$  – месяц, декада, сутки), мм;  $X_i$  – сумма атмосферных осадков за расчетный интервал времени, мм;  $E_{oi}$  – оптимальное водопотребление сельскохозяйственной культуры, 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 показывают исследования [4], распределение вероятностей величин влажности почвы подчиняется нормальному закону и определяется двумя параметрами (средним многолетним значением –  $W_{im}$ ; коэффициентом вариации –  $C_{vi}$ ), а обеспеченные величины влагозапасов ( $W_i^{P\%}$ ) могут рассчитываться по схеме

$$W_i^{P\%} = W_{im} \cdot (C_{vi} \cdot F_{P\%} + 1), \quad (4)$$

где  $F_{P\%}$  – нормированные отклонения ординат кривой расчетной обеспеченности от среднего многолетнего значения.

Исследования показали, что коэффициент вариации ( $C_{vi}$ ) можно достаточно точно определять по зависимости [4]

$$C_{vi} = \lambda \cdot \left( \frac{W_{hr}}{W_{im}} + \frac{W_{lw}}{W_{fw}} \right), \quad (5)$$

где  $\lambda$  – эмпирический коэффициент, зависящий от влагоемкости почвы и естественной ее увлажненности.

Определяя влажность корнеобитаемого слоя почвы за вегетационный период в характерные годы, необходимо учитывать асинхронность хода рассчитанных (рис., линия 5) обеспеченных значений почвенных влагозапасов ( $W_i^{P\%}$ ) с реальным их ходом в год той же обеспеченности ( $W_i^{P\%r}$ ) (рис., линия 6). Поэтому влажность почвы ( $W_i^{P\%}$ ), полученная для характерных лет по уравнению (4), требует корректировки с учетом реального ее хода в аналогичном реальном году расчетной обеспеченности ( $W_i^{P\%r}$ ). 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 ( $W_i^{P\%r}$ ) любой обеспеченности оцениваются по выражению

$$W_i^{P\%r} = W_i^{P\%} - \frac{\sum_{i=1}^n W_i^{P\%} \cdot (1 - \alpha_W(P)) \cdot (K_{bmax}^{P\%} - K_{bi}^{P\%})}{\sum_{i=1}^n (K_{hmax}^{P\%} - K_{hi}^{P\%})}, \quad (6)$$

где  $K_{bmax}^{P\%}$  – максимальное декадное значение коэффициента водопотребления (биологического, биоклиматического и т. п.)  $P\%$  – ной

обеспеченности;  $K_{bi}^{P\%}$  – значение коэффициента водопотребления той же обеспеченности;  $\alpha_w(P)$  – 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 ( $\alpha_w(P)$ )

$$\alpha_w(P) = \left( \left( 0,915 \cdot \exp\left(\frac{26}{W_{lw}}\right) \right) - \alpha_t \cdot \exp\left(\frac{\beta_t}{W_{lw}}\right) \cdot P \right)^{-1}, \quad (7)$$

где  $\alpha_t$  и  $\beta_t$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от продолжительности периода вегетации – для периода май-август ( $\alpha_t^{V-VIII} = 0,047, \beta_t^{V-VIII} = 202$ ), для периода апрель-октябрь ( $\alpha_t^{IV-X} = 0,084, \beta_t^{IV-X} = 152$ ).

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 управлении линейными и сетевыми сооружениями. При этом реализуются различные типы режимов увлажнительных гидромелиораций, которые можно дополнить технически-возможным и экологически-необходимым. При надлежащем экономическом обосновании разрабатываемый эксплуатационный режим гидромелиораций можно назвать «рациональным» [4]. Рациональному режиму гидромелиораций соответствует обоснованная динамика почвенных влагозапасов как в целом за вегетационный период, так и в конкретные фазы развития растений ( $W_{acti}$ ) (рис., линия 8).

Наличие дефицитов ( $D_i$ ) водного баланса ( $WB$ ) корнеобитаемого слоя почвы за расчетный интервал времени можно установить из соотношений

$$D_i \cdot (H_i)WB = \begin{cases} W_i - W_{lw}, \text{ if } W_i > W_{lw} - \text{требуется осушение;} \\ 0, \text{ if } W_{lw} \geq W_i \geq W_{crw} - \text{гидромелиорации не требуются;} \\ W_i - W_{crw}, \text{ if } W_i < W_{crw} - \text{требуется орошение.} \end{cases} \quad (8)$$

При разработке режимов гидромелиораций водохозяйственная задача сводится к описанию естественного внутригодового хода почвенных влагозапасов в корнеобитаемом слое ( $W_i^{P\%}'$ ) (рис., линия 6), моделированию внутригодового хода значений влажностей почв ( $W_{acti}$ ) (рис., 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., линии 8–9).

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

$$\pm m_{ip\%} = W_i^{P\%}' - W_{oi}, \quad (9)$$

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

Почвенные влагозапасы необходимого уровня оптимальности ( $W_{oi}$ ) (рис., линия 7) задаются соответствующим процентом обеспеченности, рациональным для данного режима гидромелиораций ( $W_{oi} = W_{acti}$ ). Тогда выражение (9) примет вид

$$\pm m_{ip\%} = W_i^{P\%} - W_{acti}, \quad (10)$$

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

При этом решается задача наиболее полного копирования линией ( $W_{acti}$ ) (рис., линия 8) хода почвенных влагозапасов заданного уровня оптимальности, отвечающего оптимальному водопотреблению ( $W_{oi}$ ) (рис., линия 7). Это осуществляется мелиоративными воздействиями ( $m_i$ ) (рис., линия 9) в сроки, приуроченные к моментам значительных расхождений кривой 7 и линии 8. При регулировании водного режима почв мелиоративной нормой ( $m_i$ ) (рис., линия 9) в сочетании с естественными почвенными влагозапасами ( $W_i^{P\%}$ ) формируется рациональная динамика почвенной влажности ( $W_{acti}$ ). Тенденция изменения естественных почвенных влагозапасов ( $W_i^{P\%}$ ) должна быть учтена при моделировании рационального их хода в межполивной период ( $W_{acti}^e$ )

$$W_{acti}^e = \frac{W_{acti}^b \cdot (2 \cdot W_{ei}^{P\%} - X_i) + X_i \cdot (W_{bi}^{P\%} + W_{ei}^{P\%})}{2 \cdot W_{hi}^{P\%} + X_i}, \quad (11)$$

где  $W_{acti}^b$  – влажность почвы на начало расчетного периода или сформированная в результате проведенного полива (рис., линия 8);  $W_{acti}^e$  – влажность почвы на конец расчетного периода или первого после полива расчетного интервала времени (рис., линия 8);  $W_{bi}^{P\%}$  и  $W_{ei}^{P\%}$  – фактические влажности почвы, соответственно, на начало и конец расчетного периода (рис., линия 6);  $X_i$  – прогнозируемые атмосферные осадки на расчетный период ( $i$ ).

Поливные нормы ( $m_i$ ) получают графически в результате оптимизации почвенных влагозапасов ( $W_{acti}$ ) (рис., линии 8–9). Проекция наклонной линии 9 на абсциссу времени зависит от площади орошаемого поля, поливной нормы, способа орошения, впитывающей способности почв и увязанной с ней интенсивности дождя используемых дождевальными устройствами.

**Выводы.** Изложенный подход рекомендуется использовать для объективной и качественной оценки естественного водного режима почв на сельскохозяйственных землях при оперативном формировании мелиоративных воздействий в процессе управления сооружениями осушительно-увлажнительных систем.

#### Список цитированных источников

1. Roderick M.L., Hobbins M.T. and Farquhar G.D., 2009. Pan Evaporation Trends and the Terrestrial Water Balance. II. Energy Balance and Interpreta-

- tion. - Hydrology and Water Resources, vol. 4, doi: 10.1111/j.1749-8198.2008.00214.x.
2. Xingyao P., Lu Z., Nicholas J.P., Jun X. & Yongqiang Z. 2011. Probabilistic modeling of soil moisture dynamics of irrigated cropland in the north China plain. *Hydrological Sciences Journal/journal Des Sciences Hydrologiques* 56, 123–137.
  3. Volchak, A. Modeling Dynamics of Stored Soil Moisture at Stage of Control of Structures of Amelioration Systems / A. Volchak, A. Meshyk, Yu. Mazhayskiy, O. Chernikova // *Engineering for Rural Development : 19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development Proceedings, Jelgava, 20–22.05.2020.* – Jelgava (Latvia) : Latvia University of Life Science and Technologies, 2020 – P. 114–120. <https://doi.org/10.22616/erdev.2020.19.tf026>.
  4. Валуев, В. Е. Моделирование динамики почвенных влагозапасов на стадии управления сооружениями мелиоративных систем / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, О. П. Мешик // *Вестник Брестского политехнического института.* – 2000. – № 2 : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. – С. 30–35.

УДК 551.5, 555.59

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПРИМЕРЕ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

*А. А. Волчек, А. Г. Новосельцева*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, volchak@tut.by

### **Аннотация**

В статье дана оценка влияния городской среды на изменение температуры воздуха за период с 1975 по 2020 годы и относительной влажности воздуха за период с 2006 по 2020 годы на примере Брестской области. Представлены разницы в среднегодовой, среднемесечной и минимальной температуре, разницы в относительной влажности по разным метеостанциям. Показана зависимость роста температуры воздуха и уменьшения относительной влажности в крупном городе по сравнению с его пригородом.

**Ключевые слова:** микроклимат, городская среда, температура воздуха, относительная влажность воздуха, метеостанция.

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE URBAN ENVIRONMENT ON CLIMATIC CHARACTERISTICS ON THE EXAMPLE OF THE BREST REGION

*A. A. Volchak, A. G. Novoseltseva*

### **Abstract**

The article provides an assessment of the influence of the urban environment on the change in air temperature for the period from 1975 to 2020 and relative humidity for the period from 2006 to 2020, using the example of Brest region. Differences in