

УДК 631.425.2:551.58

## УЧЕТ ВНУТРИСЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГРАНИЦ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЛАГОЗАПАСОВ ПОЧВЫ В РАСЧЕТАХ РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ

**В. И. ВИХРОВ**

*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407*

*(Поступила в редакцию 04.10.2018)*

*Основу исследований в данной работе составили многолетние расчеты режима орошения с применением компьютерной программы RETRO-2, которая предусматривает варианты как постоянных, так и переменных границ регулирования влагозапасов почвы.*

*Для определения переменного в течение вегетации нижнего предела регулирования влагозапасов почвы использована усовершенствованная зависимость предполивной влажности почвы от температурных условий в виде нелинейной кинетической функции. Представлены расчетные параметры данной зависимости, а также соответствующие им пределы изменения предполивной влажности почвы для основных орошаемых культур в Республике Беларусь.*

*Расчеты режима и проектных норм орошения выполнены по метеорологическим данным опорной метеостанции Горки за 73-летний период, орошаемое угодье – пастбище на суглинистых почвах.*

*Использованы следующие варианты расчетов: вариант 1 – постоянные верхняя и нижняя границы регулирования влагозапасов; вариант 2 – постоянная верхняя и переменная нижняя границы регулирования влагозапасов; вариант 3 – переменная (в случае стока) верхняя граница и постоянная нижняя граница регулирования влагозапасов; вариант 4 – переменные верхняя и нижняя границы регулирования влагозапасов почвы.*

*Для каждого из приведенных вариантов рассчитаны многолетние ряды оросительных норм пастбища и выполнена их статистическая обработка с получением среднесезонных и обеспеченных значений. В результате расчетов среднесезонные оросительные нормы для вариантов 1, 2, 3 и 4 соответственно составили 104 мм; 95 мм; 92 мм и 91 мм. Для полученных обеспеченных величин отмечается сокращение проектных норм орошения по варианту 4 по сравнению с вариантом 1 от 10 до 21 мм, что объясняется более полным учетом внутрисезонных особенностей регулирования водного режима почвы при орошении.*

**Ключевые слова:** *влагозапасы почвы, режим орошения, почвенный сток, предполивная влажность почвы, проектные нормы орошения.*

*The basis of the research in this paper was the long-term calculations of irrigation regime using the RETRO-2 computer program, which provides options for both fixed and variable limits of regulation of soil moisture reserves.*

*To determine the lower limit of soil moisture reserves during the growing season, an improved dependence of pre-irrigated soil moisture on temperature conditions in the form of a nonlinear kinetic function was used. We have presented the calculated parameters of this dependence, as well as the corresponding limits of changes in pre-irrigated soil moisture for the main irrigated crops in the Republic of Belarus.*

*Calculations of the regime and design norms of irrigation were made according to the meteorological data of the reference meteorological station Gorki for the 73-year period, the irrigated land is pasture on loamy soils.*

*The following calculation options were used: option 1 – constant upper and lower limits for regulating moisture reserves; option 2 – a constant upper and a variable lower limit of regulation of moisture reserves; option 3 – a variable (in the case of runoff) upper limit and a constant lower limit of regulation of moisture reserves; option 4 – variable upper and lower limits of regulation of soil moisture reserves.*

*For each of the above options, the perennial series of pasture irrigation rates were calculated and statistical processing was carried out to obtain average long-term and secured values. As a result of the calculations, the average long-term irrigation rates for options 1, 2, 3, and 4, respectively, were 104 mm; 95 mm; 92 mm and 91 mm. For the obtained secured values, a reduction in design irrigation norms for option 4 compared with option 1 from 10 to 21 mm is observed, which is explained by a more complete account of intra-seasonal features of regulating the water regime of the soil during irrigation.*

**Key words:** *soil moisture reserves, irrigation regime, soil runoff, pre-irrigated soil moisture, design irrigation norms.*

### **Введение**

В зоне неустойчивого естественного увлажнения, к которой можно отнести территорию Республики Беларусь, существует объективная потребность в искусственном орошении автоморфных почв [1, 2, 3]. Вместе с тем в данных почвенно-климатических условиях высокая эффективность оросительных мелиораций может быть достигнута лишь путем их всестороннего совершенствования, включая оптимизацию водного режима орошаемых культур.

Расчет проектных норм орошения сельскохозяйственных культур основан на ретроспективном моделировании водного режима и баланса почв по многолетним метеорологическим данным с применением ПЭВМ. Опыт реализации данного метода показал необходимость и возможность совершенствования его существующих в литературе алгоритмов по ряду направлений [4, 5, 6]. В числе данных направлений существенными путями уточнения и оптимизации водобалансовых ретроспективных расчетов являются учет внутрисезонной изменчивости требований растений к предполивной границе почвенных влагозапасов, а также динамики инерционности почвенного стока при превышении ими наименьшей влагоемкости в зависимости от гранулометрического состава почв.

Методика определения переменного нижнего предела оптимальной влажности почвы в зависимости от температурных условий для торфяных почв сенокосного использования теоретически обоснована А. П. Лихацевичем и предложена им в виде соответствующей линейной зависимости [7, 8]. Нами разработана подобная усовершенствованная зависимость в виде нелинейной кинетической функции для ряда основных орошаемых культур [4, 9].

### Основная часть

Исходную основу данных исследований составили многолетние ряды норм орошения, рассчитанные с применением разработанной ранее компьютерной программы RETRO-2 [4, 9], которая предусматривает варианты как постоянных, так и переменных границ регулирования влагозапасов почвы. Расчеты выполняются по декадам вегетационного периода многолетнего ряда с использованием соответствующей базы метеорологических данных опорной метеостанции и уравнения водного баланса влагозапасов почвы:

$$W_k^i = W_n^i + K_p P^i - \phi K_b E^i,$$

(1)

где  $W_k^i$ ,  $W_n^i$  – влагозапасы расчетного слоя почвы на конец и начало  $i$ -й декады;  $P^i$  – измеренные осадки за  $i$ -ю декаду, мм;  $K_p$  – поправочный коэффициент к осадкам;  $E^i$  – водопотребление культуры за  $i$ -ю декаду, мм;  $K_b$  – коэффициент влагообмена;  $\phi$  – коэффициент корректировки водопотребления [3, 8].

При переходе от рассчитанных влагозапасов  $W_k^i$  к влагозапасам на начало следующей декады  $W_n^{i+1}$  учитываются следующие 3 случая:

- а)  $W_k^i > W_{nb}$ , тогда  $W_n^{i+1} = W_k^i - C^i$ ;
- б)  $W_{np} < W_k^i \leq W_{nb}$ , тогда  $W_n^{i+1} = W_k^i$ ;
- в)  $W_k^i \leq W_{np}$ , тогда  $W_n^{i+1} = W_k^i + n_p^i m$ ,

где  $W_{nb}$  – влагозапасы при наименьшей влагоемкости;  $C^i$  – почвенный сток, мм;  $W_{np}$  – нижняя граница регулирования влагозапасов почвы;  $m$  – поливная норма, мм;  $n_p^i$  – число поливов в  $i$ -й декаде.

Для случая а) предусматривается введение переменной границы почвенного стока, который с учетом его инерционности определяется на основе следующей зависимости:

$$C^i = K_c (W_k^i - W_{nb}),$$

(2)

где  $K_c$  – коэффициент стока, зависящий от гранулометрического состава почвы ( $K_c \leq 1$ ) [3, 4]. Значения  $K_c$  принимаются равными 1,0; 0,95 и 0,90 соответственно для легких, средних и тяжелых по гранулометрическому составу минеральных почв. Таким образом, переменная граница почвенного стока фактически приводит в случае а) к внутрисезонной изменчивости верхней границы регулирования влагозапасов почвы.

Для случая в) определяется нижняя граница регулирования влагозапасов почвы ( $W_{np}$ , мм) по одному из двух вариантов:

– вариант с постоянной величиной  $W_{np}$ :

$$W_{np} = K_{min} \cdot W_{nb};$$

– вариант с переменной величиной  $W_{np}$ :

$$W_{np} = \beta_{np} \cdot W_{nb},$$

где  $K_{min}$  – постоянный коэффициент нижней границы оптимального увлажнения для определенной орошаемой культуры;  $\beta_{np}$  – переменный нижний предел оптимального увлажнения, учитывающий

наряду с видом орошаемой культуры температурные условия расчетной декады вегетационного периода.

Опираясь на результаты исследований [7, 8], разработана и адаптирована в алгоритм ретроспективных расчетов следующая криволинейная зависимость для  $\beta_{\text{нп}}$ :

$$\beta_{\text{нп}} = 6,623 \exp(-3,5 t_3) t_3^{3,5} + \lambda, \quad (5)$$

где  $\beta_{\text{нп}}$  – нижний предел оптимальной влажности почвы, выраженный в долях наименьшей влагоемкости;  $\lambda$  – коэффициент аппроксимации;  $t_3$  – относительная эффективная (действующая) температура воздуха.

$$t_3 = \frac{t_{\text{cp}}^i - t_{\text{min}}}{t_{\text{max}} - t_{\text{min}}}, \quad (6)$$

где  $t_{\text{cp}}^i$  – среднесуточная температура воздуха  $i$ -й декады, °C;  $t_{\text{min}}$ ,  $t_{\text{max}}$  – минимальная и максимальная границы диапазона среднесуточной температуры воздуха, в котором наблюдается изменчивость  $\beta_{\text{нп}}$ , °C.

Заметим, что при  $t_{\text{cp}} = t_{\text{min}}$   $t_3 = 0$ ; при  $t_{\text{cp}} = t_{\text{max}}$   $t_3 = 1$ .

При использовании зависимости (4) в алгоритме расчетов RETRO-2 принимаются следующие ограничения:

а) при  $0 \leq t_3 \leq 1$   $\beta_{\text{нп}}$  определяется согласно (4);

б) при  $t_3 < 0$   $\beta_{\text{нп}} = \lambda$ ;

в) при  $t_3 > 1$  принимается  $t_3 = 1$ .

Коэффициент  $\lambda$  численно определяет минимальное значение  $\beta_{\text{нп}}$  при  $t_3 \leq 0$  или  $t_{\text{cp}} \leq t_{\text{min}}$ . При  $t_3 \geq 1$  (или  $t_{\text{cp}} \geq t_{\text{max}}$ ) нижний предел  $\beta_{\text{нп}}$  принимает максимальное значение.

В результате анализа и обработки соответствующих литературных опытных и нормативных данных [9] нами получены параметры  $\lambda$ ,  $t_{\text{min}}$  и  $t_{\text{max}}$ , а также соответствующие им пределы изменения  $\beta_{\text{нп}}$  для основных орошаемых культур в Республике Беларусь (табл. 1).

Таблица 1. Минимальная, максимальная температуры воздуха и определяемый ими диапазон изменения нижнего предела оптимальной влажности минеральных почв

Сельскохозяйственное угодье, культуры	Почва	$\lambda$	$T_{\text{min}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$	Диапазон изменения $\beta_{\text{нп}}^{\text{min}} - \beta_{\text{нп}}^{\text{max}}$
Сенокос	легкая	0,60	5	28	0,60–0,80
	средняя	0,62			0,62–0,82
	тяжелая	0,65			0,65–0,85
Пастбище	легкая	0,58	5	28	0,58–0,78
	средняя	0,60			0,60–0,80
	тяжелая	0,63			0,63–0,83
Капуста поздняя	легкая	0,62	5	28	0,62–0,82
	средняя	0,65			0,65–0,85
	тяжелая	0,67			0,67–0,87
Свекла столовая	легкая	0,58	6	29	0,58–0,78
	средняя	0,60			0,60–0,80
	тяжелая	0,63			0,63–0,83
Картофель	легкая	0,55	7	29	0,55–0,75
	средняя	0,58			0,58–0,78
	тяжелая	0,60			0,60–0,80
Зерновые (ячмень, яровая пшеница)	легкая	0,52	8	30	0,52–0,72
	средняя	0,55			0,55–0,75
	тяжелая	0,57			0,57–0,77

Для примера на рис.1 показан график зависимости (5) для пастбища на суглинистых минеральных почвах.

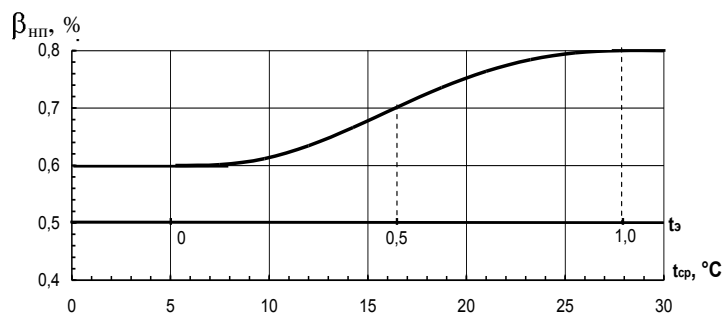


Рис. 1. График зависимости  $\beta_{\text{ин}} = f(t_s)$  для пастбища

В данной работе расчеты оросительных норм по программе RETRO-2 выполнены для следующих условий и вариантов: опорная метеостанция – Горки; расчетный период – 73 года (1945–2017 гг.), орошаемое угодье – многолетние травы (пастбище) на суглинистых почвах; расчет водопотребления – метод ТКП [3]. Приняты следующие варианты расчетов.

*Вариант 1* – верхняя граница регулирования влагозапасов  $W_{\text{вп}} = W_{\text{нв}}$ , т.е.  $K_c = 1$ ; постоянная в течение вегетации нижняя граница регулирования влагозапасов согласно формуле (3),  $K_{\text{min}} = 0,75$ .

*Вариант 2* – верхняя граница регулирования влагозапасов  $W_{\text{вп}} = W_{\text{нв}}$ , т.е.  $K_c = 1$ ; переменная в течение вегетации нижняя граница регулирования влагозапасов согласно формуле (4).

*Вариант 3* – верхняя граница регулирования влагозапасов выше  $W_{\text{нв}}$  за счет учета инерционности стока по формуле (2),  $K_c = 0,95$ ; постоянная в течение вегетации нижняя граница регулирования влагозапасов согласно формуле (3),  $K_{\text{min}} = 0,75$ .

*Вариант 4* – верхняя граница регулирования влагозапасов выше  $W_{\text{нв}}$  за счет учета инерционности стока по формуле (2),  $K_c = 0,95$ ; переменная в течение вегетации нижняя граница регулирования влагозапасов согласно формуле (4).

Для каждого из приведенных выше вариантов рассчитаны многолетние ряды оросительных норм пастбища и статистическая обработка с получением их среднемноголетних и обеспеченных значений. Среднемноголетние оросительные нормы ( $M_{\text{ср}}$ , мм) для вариантов 1, 2, 3 и 4 соответственно составили 104 мм; 95 мм; 92 мм и 91 мм. Значения оросительных норм различной обеспеченности приведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения оросительных норм пастбища различной обеспеченности для расчетных вариантов 1 и 4, мм

Вариант расчета	Расчетная обеспеченность, %			
	5	10	25	50
1	204	169	131	93
4	183	151	118	83
$\Delta M = M_1 - M_4$	21	18	13	10

Несовпадение значений  $M_{\text{ср}}$  и  $M_{50\%}$  вызвано наличием асимметрии кривых распределения норм орошения.

Как видно из данных таблицы, в целом для представленных обеспеченных величин отмечается сокращение проектных норм орошения от 10 до 21 мм. Это можно объяснить более полным учетом внутрисезонных особенностей регулирования водного режима почвы при орошении.

Анализ расчетов показал также, что в отдельные календарные годы многолетнего периода указанное сокращение может выражаться снижением расчетного числа поливов (пример на рис. 2).

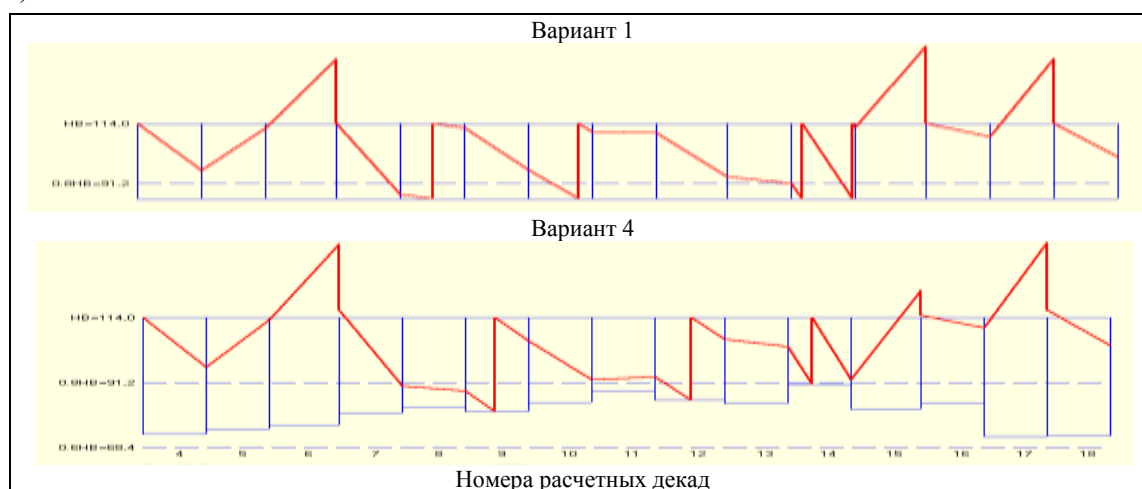


Рис. 2. Графики динамики влагозапасов суглинистой почвы под орошаемым пастбищем, рассчитанные по данным метеостанции Горки за 2008 г. для вариантов 1 и 4

Данный пример на рис. 2 показывает, что учет на варианте 4 некоторого резерва влагозапасов выше наименьшей влагоемкости, а также изменчивости предполивной границы позволили в условиях 2008 г. сократить расчетное число поливов с четырех (контрольный вариант 1) до трех.

### **Заключение**

Проведенными исследованиями установлено, что введение переменных границ регулирования влагозапасов почвы при орошении позволяет более полно учесть закономерности внутрисезонной динамики формирования водного режима растений. Выполненные ретроспективные расчеты показали ресурсосберегающий эффект данной методики водобалансовых расчетов на этапе проектирования оросительных мелиораций.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Голченко, М. Г. Влагообеспеченность и орошение земель в Беларуси / М. Г. Голченко. – Минск: Ураджай, 1976. – 192 с.
2. Лихацевич, А. П. Оценка факторов, формирующих неустойчивую влагообеспеченность сельскохозяйственных культур в гумидной зоне (на примере Беларуси, Центрального и Волго-Вятского регионов Российской Федерации) / А. П. Лихацевич, Е. А. Стельмах. – Минск: ООО «Белпринт», 2002. – 212 с.
3. Оросительные системы. Правила проектирования. ТКП 45-3.04-8-2005 (02250). – Минск, 2010. – 110 с.
4. Вихров, В. И. Комплекс программ по моделированию и обоснованию проектных параметров водного режима почв / В. И. Вихров // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: Сб. науч. тр. Вып 4. – Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ, 2010. – С. 68–77.
5. Вихров, В. И. Моделирование и обоснование проектных параметров водного режима почв / В. И. Вихров // Вестник БГСХА. – 2011. № 2. – С. 80–85.
6. Вихров, В. И. Ресурсосберегающие алгоритмы расчетов проектных норм орошения трав в условиях Беларуси / В. И. Вихров // Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии и техника в орошаемом земледелии: сб. науч. докладов междунар. науч.–практич. конференции. – Коломна, 2003. – Часть 1. – С. 81–84.
7. Лихацевич, А. П. Расчет нижней границы оптимальной влажности торфяной почвы под многолетними травами / А. П. Лихацевич // Мелиорация и гидротехника в БССР. – Горки, 1981. – С. 56–64.
8. Лихацевич, А. П. Дождевание сельскохозяйственных культур: Основы режима при неустойчивой естественной влагообеспеченности / А. П. Лихацевич. – Минск: Бел. наука, 2005. – 278 с.
9. Вихров, В. И. Ретроспективные расчеты водного баланса почв и неблагоприятных водных явлений с применением ПЭВМ. Лекция для студентов специальности 1-74 05 01. Часть 1, 2 / В. И. Вихров. – Горки, 2006. – 56 с.
10. Вихров, В. И. Исследование почвенного стока для оптимизации режимов гидромелиорации в северо-восточной части Беларуси / В. И. Вихров, И. А. Левшунов // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2007. – №2. – С. 110–115.