

УДК 631.6:551.501.81

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ МЕТЕОИНФОРМАЦИИ В РАСЧЕТАХ ВОДНОГО БАЛАНСА ПОЧВЫ

И. А. РОМАНОВ

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

(Поступила в редакцию 20.02.2019)

Водобалансовые расчеты являются наиболее удобным способом контроля за динамикой влагозапасов в почве. Еще одно достоинство водного баланса состоит в том, что он позволяет прогнозировать изменение влагозапасов на значительный период, используя упрощенную методику определения водопотребления культур. В данной статье мы рассмотрим один из таких методов, недавно разработанный и активно входящий в практику вычислений – определение водопотребления с использованием максимальных суточных температур воздуха. Нами дается оценка точности применения ретроспективной информации в водобалансовых расчетах с использованием в расчетах водопотребления максимальной температуры воздуха. Исследования показали, что наличие многолетнего ряда наблюдений позволяет достаточно уверенно предсказывать ежедневные фактические максимальные температуры воздуха. Существует также связь между прогнозными влагозапасами и фактическими при использовании короткого ряда метеоданных. Так, исследования показали, что при обеспеченности в 50 %, отклонения расчетных влагозапасов от контроля составили всего 5,2 мм с использованием многолетних данных по температуре за 37 лет. При использовании многолетних данных по температуре за 5 лет и 1 год, отклонения от контроля составили 6,3 мм и 7,2 мм. На основании водобалансовых расчетов был сделан вывод, что наличие многолетнего ряда наблюдений (37 лет и более) за максимальной температурой воздуха позволяет использовать среднееголетние суточные значения максимальной температуры без существенного снижения точности расчета водного баланса почвы. В случае, когда имеются только однолетние метеоданные по суточной температуре воздуха, их использование возможно для прогнозирования потребности орошения с условием ежедневного обновления фактической метеоинформации текущего года. Таким образом использование ретроспективной информации позволяет без натуральных измерений прогнозировать сроки начала поливов, снизив тем самым затраты на определение водопотребления орошаемых культур.

**Ключевые слова:** водный баланс, орошение, водопотребление, максимальная температура воздуха.

Water balance calculations are the most convenient way to monitor the dynamics of moisture reserves in the soil. Another advantage of the water balance is that it allows you to predict the change in water reserves for a significant period using a simplified method for determining the water consumption of crops. In this article, we will consider one of such methods, recently developed and actively entering into the practice of calculations – determination of water consumption using maximum daily air temperatures. We give an estimate of the accuracy of applying retrospective information in water balance calculations using the maximum air temperature in the water consumption calculations. Studies have shown that the presence of a perennial series of observations allows us to confidently predict daily actual maximum air temperatures. There is also a link between the predicted moisture reserves and the actual ones when using a short series of weather data. So, studies have shown that with a security of 50%, deviations of the calculated moisture reserves from the control amounted to only 5.2 mm using multi-year temperature data for 37 years. When using long-term data on temperature for 5 years and 1 year, deviations from the control were 6.3 mm and 7.2 mm. Based on the water balance calculations, it was concluded that the presence of a long-term series of observations (37 years or more) over the maximum air temperature allows the use of average long-term daily values of the maximum temperature without significantly reducing the accuracy of calculating the water balance of the soil. In the case when there are only one-year weather data on the daily air temperature, their use is possible to predict the irrigation demand with the condition of daily updating of the actual meteorological information of the current year. Thus, the use of retrospective information allows us to predict the timing of the start of irrigation without full-scale measurements, thereby reducing the cost of determining the water consumption of irrigated crops.

**Key words:** water balance, irrigation, water consumption, maximum air temperature.

### Введение

Водный баланс почвы является одним из проявлений важнейшего физического закона сохранения энергии и вещества. Разработанные на его основе алгоритмы водобалансовых расчетов широко применяются как в осушительных мелиорациях, так и при управлении орошением, где служат основой для определения сроков и норм полива [1]. Водный баланс включает ряд элементов, которые условно можно разделить на две группы: приходную и расходную. Основными элементами приходной группы водного баланса почвы служат атмосферные осадки и поливы, к расходной группе относятся водопотребление растений, поверхностный и внутрпочвенный сток [2].

Водопотреблением называют количество воды (на единицу площади), потребляемой растением в течение вегетации для роста и развития [1]. В условиях недостаточного и неравномерного естественного увлажнения часто возникает дефицит водопотребления, который негативно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур, а в отдельных случаях может привести даже к гибели растений [3].

К настоящему времени разработано большое количество методик определения водопотребления, позволяющих с разной степенью точности оценивать потребность и расход воды растениями. Например, за рубежом широко используется метод Пенман-Монтейта, который позволяет с достаточно высокой точностью определять текущее водопотребление культур [4]. Точность метода Пенман-Монтейта основывается на учете большого количества трудноопределимых входных параметров, требуя непосредственного инструментального контроля за их измерениями. Поэтому использование данного метода для прогнозирования водопотребления весьма затруднительно.

Для исключения возникающих сложностей некоторые ученые при прогнозировании водопотребления рекомендуют отдавать предпочтение однопараметрическим методикам расчета [5]. В данной статье мы рассмотрим один из таких методов, недавно разработанный и активно входящий в практику вычислений – определение водопотребления с использованием максимальных суточных температур воздуха.

Применение максимальных суточных температур воздуха для расчета водопотребления относится к однопараметрическим методикам и основано на прямой пропорциональности связи водопотребления культуры с максимальной температурой воздуха (с использованием коэффициента пропорциональности, отражающего особенности роста конкретной культуры и называемого биотермическим коэффициентом) [6].

В простейшем уравнении прогноза водного баланса почвы кроме текущих ее влагозапасов присутствуют две неизвестные переменные – будущие атмосферные осадки и водопотребление растений. Прогнозирование осадков в зоне неустойчивого увлажнения является довольно сложной задачей, так как они имеют большую пространственно-временную изменчивость. Однако в случае применения водобалансовых расчетов для непосредственного управления орошением, прогнозирование количества осадков перестает быть обязательным по причине того, что в засушливые периоды, когда необходимо орошение, количество осадков минимально и единственным прогнозируемым параметром водного баланса почвы остается водопотребление.

В данной работе мы проанализируем использование ретроспективной информации суточных изменений максимальной температуры воздуха в расчетах водного баланса почвы для оценки точности прогнозирования динамики ее влагозапасов при учете фактически выпадающих атмосферных осадков.

### **Основная часть**

Рассмотрим результаты моделирования расчета водного баланса легкосуглинистой почвы под многолетней бобово-злаковой травосмесью при естественном увлажнении (без орошения) за период с 1980 по 2016 г. В первом варианте расчета (А) водного баланса почвы используем фактические суточные значения максимальной температуры воздуха. Во втором варианте расчета (Б) используем осреднённые суточные данные максимальной температуры за 37 лет наблюдений. В третьем варианте расчета (В) используем осреднённые данные максимальной суточной температуры воздуха за период с 2011 по 2016 г. В четвёртом варианте расчета (Г) используем однолетние данные максимальной суточной температуры воздуха за 2016 г. Количество осадков и максимальная температура взяты по данным метеостанции Минск (ВМО 26850).

Расчеты водного баланса выполнялись за период с 21 апреля по 30 сентября, расчетный интервал был принят в одни сутки, наименьшая влагоемкость для расчетного слоя в 0–50 см равнялась 180 мм. Расчет начат с допущением, что влажность почвы 21 апреля равна наименьшей влагоемкости. Расчет водного баланса почвы выполнялся с использованием известного алгоритма [6]:

$$W_K = W_H + (P + m) - (\varphi E_m + C), \quad (1)$$

где  $W_K$  – конечные влагозапасы;  $W_H$  – начальные влагозапасы;  $P$  – атмосферные осадки;  $m$  – поливная норма;  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий увлажненность почвы;  $E_m$  – эвапотранспирация культуры при оптимальной влагообеспеченности;  $C$  – внутрипочвенный сток.

В расчете учитывались фактические атмосферные осадки. Водопотребление многолетних трав рассчитывалось по формуле:

$$E_m = K_{tm} \Sigma t_m, \quad (2)$$

где  $E$  – эвапотранспирация культуры;  $K_{tm}$  – биотермический коэффициент [6];  $\Sigma t_m$  – сумма максимальных суточных температур за расчетные сутки и за 9 суток, предшествующих дате расчета.

Коэффициент, учитывающий увлажненность почвы, рассчитывался по формуле А. П. Лихацевича, рекомендуемой ТКП,

$$\varphi = \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{W_{HB}}{W_H} - 1 \right)^2 \right], \quad (3)$$

где  $W_{HB}$  – наименьшая влагоемкость почвы;  $W_H$  – влагозапасы в расчетном слое почвы на начало суток.

Внутрипочвенный сток определялся по формуле, полученной нами [2]:

$$C = (W_H - E_m - W_{HB}) \left( \frac{t}{T} \right)^a + P \left( \frac{t}{T} \right)^b, \quad (4)$$

где  $C$  – внутрипочвенный сток;  $t$  – продолжительность расчетного интервала (одни сутки);  $T$  – количество суток до полного стекания гравитационной влаги из расчетного слоя (для легкосуглинистой почвы составляет четверо суток);  $a$  и  $b$  – эмпирические коэффициенты, для суглинистых почв равны 0,5 и 2,0 соответственно [2].

Первый вариант расчета водного баланса «А» нами принят за контрольный. Суточные влагозапасы по вариантам расчета «Б», «В» и «Г» сравнивались с вариантом «А» и находились среднеквадратичные отклонения полученных расчетом суточных влагозапасов почвы. По многолетним рядам отклонений суточных влагозапасов почвы от контрольного варианта определилась по стандартной формуле их обеспеченность:

$$S = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} 100\%, \quad (5)$$

где  $m$  – порядковый номер члена убывающего ряда атмосферных осадков, суммарных за вегетацию;  $n$  – число членов ряда.

В таблице приведены средние за вегетацию отклонения суточных влагозапасов второго варианта расчета (Б), третьего варианта расчета (В) и четвертого варианта (Г) по отношению к контрольному (А) за 37-летний период имитационных расчетов.

Средние за вегетацию отклонения суточных влагозапасов почвы от контроля (расчеты за 1980–2016 гг.)

Обеспеченность по средневегетационным отклонениям, %	Вариант расчета Б, мм	Вариант расчета В, мм	Вариант расчета Г, мм
1,9	21,2	30,1	41,8
4,5	13,4	19,1	31,4
7,2	12,6	15,8	18,8
9,9	11,1	15,1	16,2
12,6	10,1	12,1	15,8
15,2	9,6	11,7	15,5
17,9	9,3	11,2	14,1
20,6	8,6	10,5	13,9
23,3	8,3	10,4	12,7
25,9	7,6	8,9	11,9
28,6	7,5	8,9	10,4
31,3	7,4	8,8	10,3
34,0	6,9	8,1	9,4
36,6	6,9	7,6	8,7
39,3	6,7	6,9	8,0
42,0	6,0	6,8	8,0
44,7	5,9	6,6	7,5
47,3	5,5	6,6	7,4
<b>50,0</b>	<b>5,2</b>	<b>6,3</b>	<b>7,2</b>
52,7	5,0	6,0	6,9
55,3	4,9	5,8	6,8
58,0	4,8	5,7	6,7
60,7	4,7	5,2	6,3
63,4	4,1	5,2	6,2
66,0	3,9	4,8	6,0
68,7	3,3	4,7	5,6
71,4	3,3	4,3	5,6
74,1	3,3	4,0	5,3
76,7	3,2	3,8	4,9
79,4	3,2	3,7	4,9

82,1	3,0	3,6	4,7
84,8	2,5	3,5	4,6
87,4	2,4	3,5	4,4
90,1	2,2	3,3	4,3
92,8	2,2	3,2	4,1
95,5	2,2	2,7	2,8
98,1	1,7	2,6	0

Проанализировав таблицу, можно сделать вывод, что наличие многолетнего ряда наблюдений (37 лет и более) за максимальной температурой воздуха позволяет использовать среднемноголетние суточные значения максимальной температуры без существенного снижения точности расчета водного баланса почвы. Так, к примеру, при обеспеченности в 50 % средневегетационные отклонения по варианту расчета «Б» составили всего 5,2 мм. Подчеркнем, что такие результаты получены при использовании в расчете не прогнозируемых, а фактических атмосферных осадков.

Однако обычной является ситуация, когда архивные данные метеонаблюдений за максимальной температурой воздуха в конкретной местности составляют всего несколько лет или вовсе отсутствуют. В этом случае даже наличие однолетних данных (вариант «Г») позволяет использовать однолетние метеоинформации по суточной температуре воздуха прошлого года для прогнозирования потребности орошения с условием ежедневного обновления фактической метеоинформации текущего года. Оценим динамику влагозапасов при обеспеченности 50% для разных вариантов расчета (рисунок).

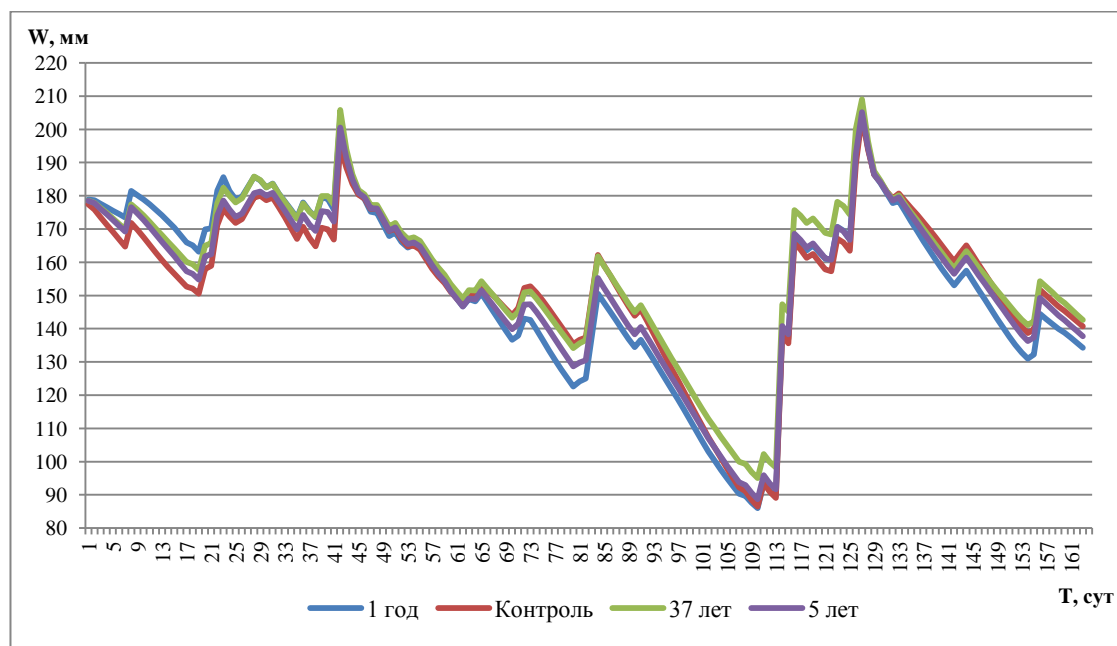


Рис. Динамика влагозапасов с использованием среднегодовой суточной максимальной температурой за 37 лет, 5 лет и 1 год

Как видим из рис. 1, заметные отклонения от контроля наблюдаются в начале и конце вегетации. В отдельные сутки отклонения могут составлять более 10 мм, что вызвано единичными периодами флуктуации фактической максимальной суточной температуры воздуха в сравнении с осредненной суточной температурой. Если проследить дальнейшую динамику влагозапасов мы заметим, что такие отклонения сглаживаются и в целом даже по однолетним данным, динамика влагозапасов становится близка к контрольной.

### Заключение

Прогнозирование динамиками влагозапасов является сложной задачей и служит значительным резервом повышения эффективности орошаемого земледелия. В простейшем уравнении прогноза водного баланса почвы, кроме текущих ее влагозапасов присутствуют две неизвестные переменные – будущие атмосферные осадки и водопотребление растений. Однако в случае применения водобалансовых расчетов для непосредственного управления орошением в засушливые периоды, прогнозом

атмосферных осадков условно можно пренебречь. Прогноз водопотребления в свою очередь проще всего выполнять с помощью однопараметрических зависимостей.

Анализ результатов водобалансовых расчетов с определением водопотребления по методу максимальных температур и использованием среднесезонных данных по суточной максимальной температуре воздуха позволяет нам сделать вывод, что при наличии многолетнего ряда наблюдений при расчете водопотребления можно не измерять фактическую, а пользоваться прогнозной максимальной температурой воздуха. При коротком ряде наблюдений среднесезонные суточные значения максимальной температуры воздуха можно использовать для прогнозирования влагозапасов вплоть до конца вегетации, с уточнением их значений по фактическим метеоданным.

Такие результаты получены при использовании в расчете не прогнозируемых, а фактических атмосферных осадков. Также следует заметить, что помимо полученных отклонений расчетных влагозапасов, вызванных использованием ретроспективной суточной информации по максимальной температуре воздуха, в расчеты водного баланса прибавляется погрешность самого метода расчета водопотребления и остальных элементов водного баланса, которая в данной работе нами не учитывалась.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Kowalczyk, A. An assessment of crop water deficits of the plants growing on the Malopolska Upland (Poland) / A. Kowalczyk, L. Labedzki, A. Kuzniar, M. Kostuch // Journal of Water and Land Development. – 2016. – No. 29 (IV–VI). – p. 11–22.
2. Лихацевич, А. П. Расчет водного баланса почвы при краткосрочном переувлажнении / А. П. Лихацевич, И. А. Романов // Мелиорация. – 2016. – № 4. – С. 6–17.
3. 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
4. Jensen, M. E. Evaporation, Evapotranspiration, and Irrigation Water Requirements / M.E. Jensen, R.G. Allen. – Virginia: American Society of Civil Engineers, 2016. – 733 p.
5. Бородычев, В. В. Алгоритм решения задачи управления водным режимом при орошении сельскохозяйственных культур / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов // Мелиорация и водное хозяйство, 2015. – №1. – С. 8–11.
6. Усовершенствованный алгоритм управления орошением в производственных условиях / А. П. Лихацевич [и др.] // Современные методики, инновации и опыт практического применения: материалы Международной научно-практической конференции (Минск, 19–20 октября 2017 г.) / Национальная академия наук Беларуси, Институт мелиорации; ред.: Н. К. Вахонин [и др.]. – Минск, 2017. – С. 30–40.