

УДК 626.86 : 551.5

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАСЧЕТНОГО ИНТЕРВАЛА НА ТОЧНОСТЬ ВОДОБАЛАНСОВОГО РАСЧЕТА ПРИ НЕУСТОЙЧИВЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

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

РУП «Институт мелиорации»

г. Минск, Беларусь

И.А. Романов, аспирант

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

г. Горки, Беларусь

Аннотация

Сравнительный анализ измеренных в поле и рассчитанных почвенных влагозапасов показал, что при управлении орошением в условиях неустойчивой погоды необходимо вести расчет водного баланса почвы с суточной продолжительностью расчетного интервала. Только при такой продолжительности шага расчета ошибка вычислений не превышает точности измерения почвенных влагозапасов непосредственно в полевых условиях, и приблизительно равна суточному водопотреблению орошаемой культуры. С увеличением продолжительности расчетного интервала ошибка водобалансового расчета экспоненциально возрастает.

Ключевые слова: водный баланс почвы, внутрипочвенный сток, интенсивность инфильтрации, продолжительность расчетного интервала, ошибка опыта

Abstract

A.P. Likhatchevich, I.A. Romanov

HOW ESTIMATED INTERVAL AFFECTS ACCURACY OF WATER BALANCE ACCOUNTING UNDER CHANGEABLE WEATHER CONDITIONS

Comparative analysis of soil moisture reserve measured in the field showed that soil water balance should be accounted for 24 hours to manage irrigation under changeable weather conditions. Only in this way the calculation error does not exceed the measurement accuracy of soil moisture reserves directly in the field and is equal approximately to the daily water consumption of the irrigated crop. If calculated interval is extended, the error in the water balance calculation will increase exponentially.

Keywords: soil water balance, underground runoff, intensive filtration, duration of calculated interval, experimental fault

Введение

Научное обеспечение регулирования водного режима сельскохозяйственных культур базируется на обосновании алгоритма управления водным балансом корнеобитаемого слоя почвы. Именно на основе контроля за элементами водного баланса почвы разрабатываются технологии управления водным режимом растений при орошении [1, 2].

При водобалансовом расчете все составные элементы в уравнении водного баланса суммируются за расчетный интервал, продолжительность которого зависит от цели расчета и может варьировать от суток до года. В мелиоративной практике (например, при расчете оросительных норм, или при прогнозе динамики почвенных влагозапасов с целью управления орошением сельскохозяйственных культур) расчетный интервал обычно принимается продолжительностью до декады. Но конкретных научно обоснованных рекомендаций по установлению продолжи-

тельности расчетного интервала при управлении орошением с использованием информационных технологий до настоящего времени нет.

Процесс водобалансового расчета состоит из последовательных операций, направленных на определение почвенных влагозапасов в конце очередного расчетного интервала, начиная от исходной даты (начало расчета) и завершая концом расчетного периода. При этом возможность детализации динамики влагозапасов в течение расчетного периода, суммирующего все расчетные интервалы, напрямую зависит от продолжительности каждого расчетного интервала. Наиболее точная детализация результатов водобалансового расчета особенно важна при неустойчивой погоде в периоды кратковременных переувлажнений почвы, когда появляется дополнительный элемент водного баланса — внутрипочвенный сток, расчетная величина которого также зависит от продолжительности расчетного интервала [3].

Точное определение содержания почвенной влаги в корнеобитаемом слое необходимо при управлении процессом орошения, когда от полученного результата водобалансового расчета зависят даты начала очередных поливов. Ошибка расчета, превышающая суточное водопотребление орошаемого поля, соответствующим образом сдвигает начало очередного полива, приводя либо к завышению поливной нормы и, как следствие, к потерям ресурсов, расходуемых на орошение, либо к нежелательной переосушке почвы и снижению конечного урожая. Поэтому при водобалансовом расчете важно не допускать неприемлемых ошибок при определении динамики почвенных влагозапасов.

Материалы и методы

Для оценки влияния продолжительности расчетного интервала на точность водобалансового расчета при неустойчивой погоде (при кратковременных переувлажнениях почвы) нами использованы результаты эксперимента, который поставлен на опытном поле «Тушково-1» УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» в период с 14 по 23 июля 2016 года. Переувлажнение почвы в опыте имитировалось путем разовой подачи поливной нормы, рассчитанной из условия максимального насыщения водой корнеобитаемого слоя на поле с орошаемой однолетней кормовой культурой — пайзой (японским просом). Заливка опытных площадок была выполнена 14 июля с 10²⁰ до 14³⁰. Методика проведения исследований подробно изложена в статье [3].

Пробы почвы на влажность на опытных площадках отбирались ежесуточно: в первый день опыта (14 июля) после 17 часов, а в последующие дни примерно в одно и то же время (утром до 11 часов) по слоям 0–10, 10–20, 20–30, 30–40 и 40–50 см с по-

мощью почвенного бура. Влажность почвы определялась термостатно-весовым способом с использованием технических весов ВК-600 для взвешивания почвенных образцов и сушильного шкафа-термостата для их сушки. Из-за интенсивных атмосферных осадков, выпавших в установленное время отбора почвенных образцов, 20 и 21 июля полевых измерений влажности почвы не проводилось.

Максимальная температура воздуха и атмосферные осадки измерялись ежедневно в 19 часов на метеопосту, расположенном непосредственно на границе орошаемого участка. Принятое в опыте разделение сроков отбора образцов почвы на влажность и сроков фиксации метеоданных учитывалось соответствующим образом при проведении водобалансового расчета.

При определении влагозапасов плотность почвы опытного участка в естественном сложении принята по данным аспиранта Яланского Д.В., который определил ее в 2016 г. путем отрывки шурфа и послойного отбора образцов почвы методом режущего кольца.

Продолжительность полного стекания гравитационной влаги из корнеобитаемого слоя (при отсутствии подпора от капиллярной каймы грунтовых вод) была установлена по результатам эксперимента [3] и равнялась 4 суткам, по истечению которых по стандартной методике была определена наименьшая влагоемкость почвы (таблица 1).

Пористость почвы в корнеобитаемом (расчетном) слое (0–50 см) составила около 45,3 %, а полная влагоемкость – 215 мм. Стандартное отклонение измеренных значений влажности в корнеобитаемом слое от среднего из трех повторностей составило 2,4...3,8 мм [3].

Таблица 1. – Расчет влагозапасов почвы при ее насыщении до наименьшей влагоемкости

Слой почвы, см	Влажность почвы при насыщении до наименьшей влагоемкости по повторностям опыта, % от массы сухой почвы				Плотность сложения почвы, г/см ³	W _{нв} , % объема	W _{нв} , мм
	I	II	III	Среднее			
0-10	22,88	21,88	23,45	22,74	1,34	30,47	30,47
10-20	21,91	20,9	21,95	21,59	1,39	30,01	30,01
20-30	22,10	20,59	20,15	20,95	1,40	29,33	29,33
30-40	21,07	20,12	20,73	20,64	1,46	30,13	30,13
40-50	19,06	15,58	18,31	17,65	1,45	25,59	25,59
0-50	21,40	19,81	20,92	20,71	1,41	29,11	145,53

При расчете почвенных влагозапасов использовалась форма водного баланса, учитывающая зависимость интенсивности внутрисочвенного стока от продолжительности расчетного интервала [3]

$$W_K = W_H + P - E_m - [(W_H - E_m - W_{HB}) \left(\frac{t}{T}\right)^{0,5} + P \left(\frac{t}{T}\right)^2], \quad (1)$$

где W_K – запас влаги в корнеобитаемом слое почвы на конец расчетного интервала, мм; W_H – то же на начало расчетного интервала, мм; P , E_m – впитавшиеся в почву атмосферные осадки и максимальная эвапотранспирация (водопотребление орошаемого поля при оптимальной влагообеспеченности), суммируемые за расчетный интервал (продолжительностью t), мм; W_{HB} – наименьшая равновесная влагоемкость расчетного слоя почвы, мм; t – продолжительность расчетного интервала, изменяющаяся в диапазоне времени $0 < t < T$, сут.; T – продолжительность полного стекания гравитационной влаги из корнеобитаемого слоя после заполнения водой всех почвенных пор при отсутствии подпора от капиллярной каймы грунтовых вод, сут.

При превышении установленного для формулы (1) ограничения $0 < t < T$ в соответствии с рекомендациями Технического кодекса установившейся практики [4] при определении потерь воды на сток в водобалансовом расчете учитывалась водоудерживающая способность почв путем введения в водобалансовую формулу соответствующего коэффициента

$$W_K = W_H + P - E_m - K(W_H + P - E_m - W_{HB}), \quad (2)$$

где K – коэффициент, зависящий от типа почвы и равный 0,9 для тяжелых по гранулометрическому составу почв, 0,95 для средних почв и 1,0 для легких по гранулометрическому составу почв [4].

Влагозапасы почвы в начале первого расчетного интервала (14 июля) приняты равными среднему значению из измеренных в поле в трехкратной повторности [3]. Суммарное испарение орошаемой культуры определялось по максимальной температуре воздуха

$$E_m = k_m t_m, \quad (3)$$

где k_m – биотермический коэффициент, зависящий от фазы развития растений, мм/°С; t_m – максимальная температура воздуха, °С.

Водобалансовый расчет велся по вариантам с разными продолжительностями расчетного интерва-

ла, составляющими, соответственно, 1, 2, 3, 4 и 9 суток. В первых трех вариантах расчета использовалась форма водного баланса (1), а в четвертом и пятом вариантах — форма (2).

Результаты и обсуждение

В таблице 2 приведены значения измеренных и рассчитанных влагозапасов, содержащихся в полуметровом слое почвы по датам отбора почвенных образцов (столбцы 2, 3, 7-11). Здесь же представлены количественные результаты сравнения почвенных влагозапасов, вычисленных при разных продолжительностях расчетного интервала, с влагозапасами, измеренными в поле термостатно-весовым способом (столбцы 12-15).

По данным таблицы построены графики динамики измеренных в поле и рассчитанных по формулам (1) и (2) почвенных влагозапасов в слое 0–50 см при разных продолжительностях расчетного интервала (рисунок 1).

Критерием оценки результатов водобалансовых расчетов являлось соотношение среднеквадратичного отклонения почвенных влагозапасов (вычисленных от измеренных) и допустимой ошибки, которая при управлении орошением не должна превышать суточного водопотребления орошаемого поля (таблица 2, столбец 6), которому приблизительно соответствует ошибка измерения почвенных влагозапасов непосредственно в поле. Ранее нами было показано, что это условие выполняется при суточной продолжительности расчетного интервала [3]. Поэтому для увеличения анализируемых рядов отклонений вычисленных значений почвенных влагозапасов от измеренных (столбцы 13, 14) в качестве измеренного 20 июля влагосодержания в корнеобитаемом слое использовались влагозапасы, рассчитанные на эту дату при суточном расчетном интервале.

Среднеквадратичное (стандартное) отклонение вычисленных влагозапасов от измеренных в таблице 2 определялось по известной формуле

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W - W_{изм.})^2}{n-1}}, \quad (4)$$

где δ — стандартное отклонение вычисленных влагозапасов (W) от измеренных ($W_{изм.}$), мм; n — количество значений влагозапасов, участвующих в определении стандартного отклонения.

Полученные данные (таблица 2, рисунок 1) наглядно показывают, что допустимое различие между вычисленными и измеренными в поле влагозапасами наблюдается только при суточном шаге водобалансового расчета. Увеличение его продолжительности приводит к резкому повышению отклонений рассчитанных значений почвенных влагозапасов от измеренных.

На рисунке 2 показано изменение стандартного отклонения вычисленных влагозапасов от измеренных при увеличении продолжительности расчетного интервала. Как видим, с увеличением шага расчета величина стандартного отклонения экспоненциально возрастает.

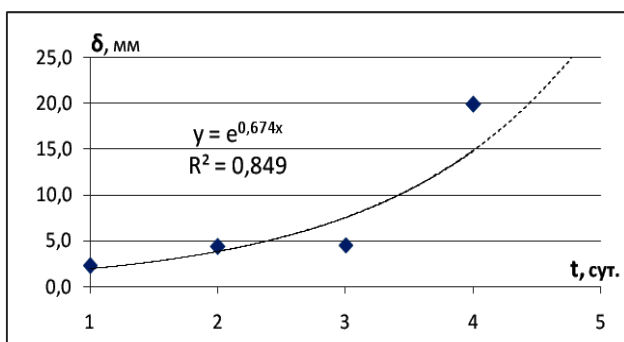


Рисунок 2. – Влияние продолжительности расчетного интервала на отклонение вычисленных влагозапасов от измеренных

Выводы

По результатам проведенного опыта установлено следующее:

- увеличение продолжительности расчетного интервала при расчете водного баланса почвы в неустойчивых погодных условиях (в периоды кратковременных переувлажнений) приводит к росту ошибки в вычислениях. Стандартное отклонение рассчитанных влагозапасов от измеренных при увеличении продолжительности расчетного интервала с одних до двух суток повышается в два раза (с 2,2 до 4,4 мм) и далее растет по экспоненциальной зависимости;

- при увеличении расчетного интервала более одних суток стандартное отклонение рассчитанных влагозапасов от измеренных превышает величину суточного водопотребления орошаемого поля (которая приблизительно соответствует ошибке термостатно-весового способа определения почвенных влагозапасов).

Таким образом, выполненный выше анализ показал, что информационное обеспечение управления орошением в условиях неустойчивой погоды необходимо базировать на расчете водного баланса почвы при суточной продолжительности расчетного интервала. Только при таком шаге расчета ошибка не превысит суточного водопотребления орошаемой культуры, приблизительно равного точности измерения почвенных влагозапасов в полевых условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голченко, М.Г. Способы и устройства для совершенствования оперативного управления эксплуатационными режимами орошения дождеванием / М.Г. Голченко, Д.А. Емельяненко, Д.В. Яланский // Мелиорация. – 2016. – № 1. – С. 21-25.
2. 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.
3. Лихацевич, А.П. Расчет водного баланса почвы при краткосрочном переувлажнении / А.П. Лихацевич, И.А. Романов // Мелиорация. – 2016. – № 4. – С. 6-17.
4. Оросительные системы. Правила проектирования : ТКП 45-3.04-178-2009 (02250). – Введ. 29.12.2009 г. № 441. – Минск : Минстройархитектура. – 2010. – 74 с.

Поступила 19.04.2017