

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

А. П. Лихацевич¹, доктор технических наук

Г. В. Латушкина¹, кандидат технических наук

И. А. Романов², аспирант

¹РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

²УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», г. Горки, Беларусь

Аннотация

Представлена методика водобалансовых расчетов при управлении режимом орошения с использованием усовершенствованного биоклиматического метода определения водопотребления орошаемых сельскохозяйственных культур. При установлении эксплуатационного режима поливов для контроля за водопотреблением растений наиболее удобно использовать в качестве интегральной характеристики теплоэнергетических ресурсов атмосферы максимальную температуру воздуха. Реакция растений в разные фазы своего развития на изменение максимальной температуры воздуха учитывается с помощью биотермического коэффициента. Его величина равна приращению водопотребления орошаемой культуры при изменении максимальной температуры воздуха на один градус. В статье приведены биотермические коэффициенты для основных орошаемых в Беларуси сельскохозяйственных культур по декадам вегетационного периода.

Ключевые слова: сельскохозяйственные культуры, водобалансовый расчет, биоклиматический метод, максимальная температура воздуха, биотермические коэффициенты, эксплуатационный режим орошения.

Abstract

**A. P. Likhatchevich, G. V. Latushkina, I. A. Romanov
MANAGEMENT OF CROP IRRIGATION RE-
GIME IN BELARUS**

The method of water balance calculations for irrigation management with the use of an improved bioclimatic method for determining water consumption of irrigated crops is presented. When establishing the operating mode of irrigation to control the water consumption of plants, it is most convenient to use the maximum air temperature as an integral characteristic of the thermal energy resources of the atmosphere. The reaction of plants to a change in the maximum air temperature at different phases of their development is taken into account with the help of the biothermal coefficient. Its value is equal to the increment of water consumption of the irrigated crop when the maximum air temperature changes by one degree. This article presents the biothermal coefficients for the main agricultural crops irrigated in Belarus by decade of the growing season.

Keywords: agricultural crops, water balance calculation, bioclimatic method, maximum air temperature, biothermal coefficients, operational irrigation regime.

Введение

Республика Беларусь относится к регионам с неустойчивой естественной влагообеспеченностью. Здесь развитие орошаемого земледелия и повышение его экономической эффективности сдерживается отсутствием достаточно точной и в то же время доступной для непрофильных специалистов агропредприятий, имеющих орошаемые земли, методики управления поливами при изменчивой погоде, когда жаркие и засушливые периоды непредсказуемо чередуются с прохладными и дождливыми.

Основным показателем необходимости проведения полива в любом регионе является изменяющееся в процессе вегетации содержание влаги в корнеобитаемом слое почвы, которое в основном определяется текущим водопотреблением орошаемых сельскохозяйственных культур и выпадающими

атмосферными осадками. Контроль за изменением почвенных влагозапасов в течение вегетации осуществляется либо периодическими замерами почвенной влажности непосредственно в поле, либо по результатам расчета водного баланса почвы, в котором водопотребление сельскохозяйственных культур является одной из основных характеристик, определяющих динамику водного баланса почвы и поливной режим сельскохозяйственных культур. От соответствия данных расчета составных элементов водного баланса орошаемого поля фактическим показателям, включая водопотребление, зависит конечная эффективность проведения поливов.

Основная часть

Для определения водопотребления растений при установлении эксплуатационного режима орошения наиболее удобно использовать расчетные

методики и, в частности, разработанный в СССР в 1970-е гг. биоклиматический метод. В его основе лежит установленный теоретически и проверенный экспериментально факт, что расход влаги полем при оптимальной влажности почвы определяется только теплоэнергетическими ресурсами атмосферы, показателями которых являются дефицит влажности и температура воздуха в приземном слое атмосферы. Неоднократно было подтверждено, что с использованием данных показателей при помощи известных расчетных методик можно достаточно точно осуществлять управление водным режимом на орошаемых полях [1, 2].

В то же время, как показала практика орошаемого земледелия в Беларуси, оперативность и качество управления орошением, во-первых, зависит от продолжительности расчетного интервала. Традиционно используемый шаг водобалансового расчета продолжительностью в одну декаду не позволяет гарантировать точность определения дат начала и завершения поливов [3]. Во-вторых, сложности возникают в определении дефицитов влажности и среднесуточных температур воздуха, для чего требуются специально оборудованные метеопосты или метеостанции, причем расположенные достаточно

близко к орошаемым участкам, что не всегда имеет место в полевых условиях.

Ранее нами было установлено, что осредненные за несколько суток (неделю, декаду) дефициты влажности, среднесуточные и максимальные суточные температуры воздуха тесно коррелируют между собой [4]. Этот факт позволил нам разработать методику расчета водопотребления сельскохозяйственных культур с использованием максимальных суточных температур воздуха. Переход от дефицита влажности воздуха, определение которого связано с громоздкими вычислениями и требует соответствующей подготовки наблюдателя-вычислителя, к максимальной суточной температуре не снижает точность водобалансового расчета, существенно упрощает и удешевляет его сопровождение. Согласно наставлениям гидрометеослужбы максимальные за сутки температуры воздуха измеряются только один раз в сутки. Это позволяет осуществлять процесс измерения не на метеостанциях и метеопостах, которых в Беларуси ограниченное количество, а непосредственно в любых хозяйствах, с использованием простейшего оборудования, установленного рядом с орошаемыми объектами.

Результаты и их обсуждение

Усовершенствованная методика расчета динамики почвенных влагозапасов с использованием в качестве показателя теплоэнергетических ресурсов атмосферы максимальных температур воздуха разработана и реализована нами на базе электронных таблиц Excel. Причем управление орошением ведется по результатам посуточного водобалансового расчета, алгоритм которого изложен ниже.

Для территорий с отсутствием влияния грунтовых вод на увлажнение расчетного слоя почвы уравнение водного баланса имеет вид:

$$W_{ki} = W_{ni} + P_i + m_i - E_i - C_{\Pi i} - C_{Bi}, \quad (1)$$

где i – порядковый номер текущих суток, начиная от даты начала расчета;

W_{ki} – влагозапасы расчетного (корнеобитаемого) слоя почвы на конец i -х суток, мм;

W_{ni} – влагозапасы расчетного слоя почвы на начало i -х суток, мм;

P_i – осадки за i -е сутки, мм;

m_i – поливная норма (нетто), вводится в расчет в i -е сутки, в которые начат полив орошаемой площади, мм;

E_i – водопотребление орошаемой культуры (суммарное испарение) за i -е расчетные сутки, мм;

$C_{\Pi i}$ – величина поверхностного стока в i -е сутки (появляется в период выпадения обильных атмосферных осадков), мм;

C_{Bi} – величина внутрипочвенного стока гравитационной влаги атмосферных осадков за пределы расчетного слоя в i -е сутки (появляется в периоды переувлажнения почвы), мм.

Для упрощения контроля за водным режимом на орошаемых полях начало и конец расчетного интервала в зависимости от времени замера атмосферных осадков и максимальной температуры воздуха можно сдвигать на удобное для оператора время, например, с 09:00 текущих суток до 09:00 следующих суток, или аналогичным образом на другие часы (например, с 21:00 текущих суток до 21:00 следующих суток и т. п.).

При водобалансовых расчетах возможно использование нескольких вариантов, различающихся способами определения начальных (исходных) почвенных влагозапасов и датами начала расчетного периода.

Влагозапасы на начало расчетного периода (11 апреля в южном и 21 апреля в северном регионе Беларуси) в расчетном слое почвы на позиции начала полива площади, обслуживаемой одним комплектом

ирригационного оборудования (одной дождевальной машиной) можно определять как сумму влагозапасов, измеренных непосредственно в поле послойно на глубинах 0–10, 10–20, 20–30, 30–40 см и т. д. по всей мощности расчетного слоя почвы не менее чем в трехкратной повторности (на каждой глубине) с использованием термостатно-весового способа определения почвенной влажности. Для послойного определения влажности почвы можно использовать протестированный и поверенный в установленном порядке почвенный влагомер. В качестве исходной принимают среднюю влажность из трех измеренных.

Для сельскохозяйственных культур, посев (посадка) которых производится в более поздние сроки, допускается устанавливать начало расчетного периода в любую дату от начала расчетного периода вплоть до посева (посадки) орошаемой культуры. Измеренные влагозапасы используют в качестве начальных для дальнейшего расчета по (1). Водобалансовый расчет в этом случае начинается с даты замера почвенных влагозапасов. Несмотря на более позднее начало водобалансового расчета метеорологические показатели (атмосферные осадки и максимальные суточные температуры воздуха) вносят в базу данных компьютера начиная с 11 апреля в южном регионе и с 21 апреля в северном регионе Беларуси.

Управление поливом ведется на основании данных расчета водного баланса в расчетном слое почвы на позиции, с которой начинается орошение площади. Результатом ежедневного водобалансового расчета, по которому определяют дату начала полива площади, являются почвенные влагозапасы в расчетном слое на конец текущих суток. При анализе полученного численного значения этих влагозапасов ориентируются на основное требование к технологии орошения: на позиции начала полива влагозапасы в расчетном слое почвы должны поддерживаться в течение вегетации орошаемой культуры в пределах:

$$W_{пп} \leq W_i \leq W_{нв}, \quad (2)$$

где $W_{пп}$ – предполивные влагозапасы почвы на начало полива обслуживаемой площади, мм;

W_i – текущие (на i -ю дату) влагозапасы в расчетном слое почвы, мм;

$W_{нв}$ – влагозапасы почвы в расчетном слое почвы при его насыщении влагой до уровня наименьшей влагоемкости (предельно-полевой влагоемкости), мм.

Предполивные влагозапасы в расчетном (корнеобитаемом) слое почвы определяется разностью:

$$W_{пп} = W_{нв} - m. \quad (3)$$

Наименьшую влагоемкость для каждой почвенной разновидности замеряют в полевых условиях методом залива площадок. Для этого можно использовать справочную литературу.

В Беларуси могут наблюдаться весенние засухи, когда в период от даты начала превышения максимальных суточных температур воздуха границы в 10 °С и заканчивая датой 30 апреля в южном регионе и 10 мая в северном регионе нет осадков, в сумме превышающих по величине установленную поливную норму. В этом случае первый полив орошаемых культур проводят в сроки с 1 по 10 мая в южном регионе и с 10 по 20 мая в северном регионе Беларуси. Для овощных культур в этом случае первый полив обслуживаемой площади необходимо начать не позднее, чем через 1–2 дня после посадки (посева) культуры и провести максимально быстрыми темпами. После полива начальной позиции почвенные влагозапасы, которые используются для дальнейшего расчета, в обязательном порядке определяют экспериментально в полевых условиях. В этом случае водобалансовый расчет также начинается с даты замера почвенных влагозапасов.

Атмосферные осадки измеряются в непосредственной близости от орошаемой площади (на оборудованной метеоплощадке) с использованием специального оборудования, рекомендуемого гидрометеослужбой.

Поливная норма (m) в уравнении водного баланса появляется, когда почва пересыхает и влагозапасы на конец расчетного периода ($W_{кп}$) опускаются ниже заданного предполивного порога ($W_{пп}$), и в связи с этим начинается полив площади. Причем поливную норму нетто в уравнение водного баланса (1) включают только в день начала орошения площади, обслуживаемой комплектом ирригационного оборудования (одной дождевальной машиной) в течение сезона.

При назначении поливов в условиях Беларуси можно ориентироваться на представленные в табл. 1 поливные нормы в зависимости от типа и окультуренности почв [5]. Их величина зависит от водоудерживающей способности орошаемой почвы.

Фактически выдаваемые в поле поливные нормы (брутто) определяют с учетом потерь поливной воды на испарение в процессе полива и на снос ветром за пределы позиции полива, для чего их увеличивают по сравнению с вышеуказанными (нетто) в среднем на 15 %.

Таблица 1 – Максимальные поливные нормы с учетом типа и окультуренности почв, м³/га

Почвы	Поливные нормы (нетто) при степени окультуренности почв, мм		
	высокая	средняя	слабая
Песчаные	20	15	10
Супесчаные	30	25	20
Суглинистые	35	30	25
Осушенные торфяные	40	35	30

Максимальное суточное водопотребление орошаемой культуры, которое имеет место при биологически оптимальных влагозапасах почвы, рассчитывается по формуле:

$$E_{mi} = 0,1k_{mi} \sum_{i-9}^i t_{mi}, \quad (4)$$

где k_{mi} – биотермический коэффициент орошаемой культуры в i -е расчетные сутки, мм/град.;

$\sum_{i-9}^i t_{mi}$ – сумма максимальных суточных температур воздуха за 10 суток, включая текущую дату, за которую определяется водопотребление, и предыдущие 9 суток, град.

Заметим, что через включение в формулу (4) отношения $0,1 \sum_{i-9}^i t_{mi}$ учитывается фактор «памяти

растений», т. е. влияние на максимальное водопотребление орошаемой культуры предыдущих условий вегетации (температурного режима в предыдущие 10 суток).

Биотермические коэффициенты, отражающие биологические особенности культур и фазы их развития, соответствуют приращению водопотребления орошаемой культуры при повышении температуры воздуха на один градус. Для условий Беларуси на основании результатов расчетов с использованием данных многолетних метеорологических наблюдений по метеостанциям республики нами получены значения биотермических коэффициентов для основных орошаемых овощных культур и многолетних трав трехукосного использования (табл. 2).

Как видно из табл. 2, биотермические коэффициенты овощных культур за период вегетации изменяются в пределах 0,07–0,27, многолетних трав – 0,10–0,16.

Проанализируем изменения биотермических коэффициентов по фазам развития культур.

Таблица 2 – Биотермические коэффициенты k_{mi} по декадам от возобновления вегетации

Декады	Биотермические коэффициенты					
	Капуста средне-поздних сортов	Морковь	Свекла столовая	Лук	Картофель	Многолетние травы трехукосного использования
0	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,12
1	0,12	0,08	0,08	0,07	0,07	0,13
2	0,14	0,09	0,09	0,08	0,08	0,14
3	0,15	0,10	0,11	0,11	0,11	0,16
4	0,16	0,12	0,13	0,15	0,15	0,14
5	0,17	0,14	0,15	0,19	0,19	0,11
6	0,18	0,17	0,16	0,24	0,24	0,12
7	0,18	0,18	0,17	0,26	0,27	0,13
8	0,15	0,18	0,16	0,22	0,22	0,15
9	0,13	0,17	0,14	0,17	0,17	0,14
10	0,11	0,13	0,13	0,11	0,11	0,10
11	0,09	0,10	0,10	0,07	0,07	0,12
12	0,08	0,08	–	–	–	0,13

Примечания.

1. Отсчет декад с соответствующими биотермическими коэффициентами ведется: для капусты – от декады высадки рассады; для моркови, свеклы столовой, лука и картофеля – от всходов растений; для многолетних трав – с декады начала активной вегетации трав (третья декада апреля или первая декада мая).

2. Биотермические коэффициенты нулевой декады для овощных культур, равные 0,06, а для многолетних трав – 0,12, применяются в пошаговых водобалансовых расчетах до тех пор, пока не наступят условия, указанные в п. 1.

Капуста среднепоздних сортов

В связи с повышенной требовательностью капусты к почвенной влаге, биотермические коэффициенты этой культуры с первых декад вегетации значительно превышают значения биотермических коэффициентов для других овощных культур (0,12 против 0,07–0,08). Особенности имеет изменение биотермических коэффициентов и по фазам вегетации капусты. В первой фазе вегетации (посадка – начало завязывания кочана) биоклиматические коэффициенты постепенно возрастают от 0,12 до 0,17. В следующие фазы развития культуры идет интенсивный рост вегетативной массы капусты, и с этим связан значительный расход влаги. Например, во вторую фазу (начало завязывания кочана – начало технической спелости) происходит развитие репродуктивных органов капусты, начинает формироваться урожай, в связи с чем растения имеют повышенную потребность во влаге – биотермические коэффициенты в этот период достигают наибольшего своего значения – 0,18. В третью фазу происходит созревание кочана капусты, в этот период биотермические коэффициенты снижаются с 0,15 до 0,08.

Столовые корнеплоды

Свекла столовая и морковь отзывчивы на умеренно повышенную влажность почвы. В первую фазу вегетации (всходы – рост зеленой массы) значения биоклиматических коэффициентов изменяются в пределах от 0,07 до 0,13. В период максимального прироста корнеплодов биотермические коэффициенты возрастают до 0,18. В фазу созревания значения биотермических коэффициентов этих культур постепенно снижаются до 0,08.

Лук

Эта культура обладает высокой отзывчивостью на влажность почвы. Малая поверхность листьев очень слабо защищает почву от испарения. Наименьшие значения биотермические коэффициенты лука имеют место в первую фазу (посев – всходы). В последующем (всходы – формирование луковицы) они постепенно возрастают с 0,08 до 0,15. В период наибольшего водопотребления (формирование луковицы – техническая спелость) биотермические коэффициенты увеличиваются до 0,26, а в период созревания – постепенно снижаются до 0,07.

Картофель

Картофель предъявляет повышенные требования к увлажнению почвы в периоды бутонизации, цветения и особенно в период нарастания клубней. В период «посадка – всходы» биотермические коэффициенты изменяются от 0,07 до 0,11. В период «бутонизация – цветение» они возрастают до 0,24.

Набольшее значение они имеют в период нарастания клубней. При увядании ботвы биотермические коэффициенты постепенно снижаются до 0,07.

Многолетние травы

Биотермические коэффициенты для многолетних трав трехукосного использования изменяются согласно циклам укосов, как представлено в табл. 2.

Следует отметить, что рассчитанное по зависимости (4) максимальное водопотребление (E_{mi}) имеет место только при достаточном увлажнении почвы. Для того чтобы учесть уровень недостатка фактических влагозапасов почвы до оптимального уровня, при водобалансовых расчетах вводится коэффициент φ_i , который учитывает зависимость водопотребления в i -е сутки от степени увлажненности почвы и определяется по формуле [4, 5]:

$$\varphi_i = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{W_{HB}}{W_{Hi}} - 1 \right)^2 \right], \quad (5)$$

где W_{HB} – влагозапасы расчетного слоя почвы при насыщении до наименьшей влагоемкости, мм;

W_{Hi} – фактические влагозапасы в i -е сутки, мм.

Фактическое водопотребление в расчетные i -е сутки равно:

$$E_i = \varphi_i E_{mi}. \quad (6)$$

Таким образом, определение суточного водопотребления производится поэтапно. Сначала находится максимальное водопотребление в i -е сутки при достаточном увлажнении почвы (при содержании влаги в расчетном слое почвы на уровне наименьшей влагоемкости), а затем определяется фактическое водопотребление, учитывающее уровень фактического увлажнения почвы в конкретные сутки.

Следует помнить, что в расчетном уравнении водного баланса при наличии поливной нормы (m) отсутствует сток ($C_{г}$, $C_{в}$). И наоборот, при появлении стока должен отсутствовать полив, т. е. при $C_{г} + C_{в} > 0$ $m = 0$. Поверхностный ($C_{п}$) и внутрипочвенный ($C_{в}$) сток появляются в водобалансовом расчете только тогда, когда в течение расчетного интервала выпадают обильные атмосферные осадки (P), перенасыщающие почву. Дождевая вода не может вместиться и удерживаться в почве, поэтому ее часть стекает по поверхности и теряется, а часть просачивается ниже границы корнеобитаемого слоя и не участвует в водопотреблении растений.

Верхний предел удержания влаги в почве зависит от инфильтрационной способности почв и продолжительности расчетного интервала: он может изменяться от полной влагоемкости (сразу же после обильного дождя) до наименьшей (после полного

стекания гравитационной воды из корнеобитаемого слоя).

Если конечные влагозапасы почвы в данные расчетные сутки (W_K) при выпадении обильных осадков превышают $W_{ПВ}$, тогда в данные сутки будет иметь место поверхностный сток (C_n), равный:

$$C_n = W_K - W_{ПВ} \quad (7)$$

Ориентировочные значения полной влагоемкости (ПВ) представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Ориентировочные значения ПВ, мм

Название почвы	Полная влагоемкость в слое почвы, мм		
	0–30 см	0–40 см	0–50 см
Песчаная	140	185	235
Супесчаная	150	200	250
Суглинистая	155	205	255
Глинистая	160	210	260
Торфяная осушенная	260	320	425

Примечание. Полная влагоемкость почвы определена по результатам исследований РУП «Институт мелиорации» с использованием данных справочного пособия «Агроклиматические ресурсы Белорусской ССР, Материалы гидрометеорологических наблюдений» (Минск, БелУКГС, 1985).

Внутрипочвенный сток воды (C_B) появляется только тогда, когда конечные влагозапасы (W_K) превышают водоудерживающую способность (наименьшую влагоемкость) почвы в расчетном (корнеобитаемом) слое. При продолжительности расчетного интервала в пределах $1 \leq t \leq T$ величина потерь воды на внутрипочвенный сток (C_B) устанавливается по начальным влагозапасам, атмосферным осадкам и максимальному водопотреблению культуры за расчетный интервал по зависимости [6]:

$$C_B = (W_H - E_m - W_{HB}) \left(\frac{t}{T} \right)^a + P \left(\frac{t}{T} \right)^b, \quad (8)$$

где t – продолжительность расчетного интервала, изменяющаяся в диапазоне времени $1 < t < T$, сут.;

T – продолжительность полного стекания гравитационной влаги из корнеобитаемого слоя почвы при отсутствии подпора от капиллярной каймы грунтовых вод, сут. При посуточном расчете t равно 1 сут.;

a, b – эмпирические коэффициенты (для суглинистых почв $a = 0,5, b = 2$; для супесчаных почв $a = 0,25, b = 1$; для песчаных почв $a = 0,11, b = 0,45$).

Продолжительность стекания гравитационной влаги из расчетного слоя почвы (T) зависит от типа почвы и плотности ее сложения и может изменяться в диапазоне: 1–2 сут. – для легких почв рыхлого сложения, 2–3 сут. – для легких почв средней плотности, 3–4 сут. – для средних по гранулометрическому составу почв рыхлого сложения, 4–5 сут. – для средних по гранулометрическому составу почв средней плотности, 5–6 сут. – для средних уплотненных почв, 6–7 сут. и более – для тяжелых почв.

Если по зависимости (8) получаем отрицательную величину, тогда внутрипочвенный сток (C_B) равен нулю.

Полученное значение конечных влагозапасов в расчетные (текущие) сутки (W_{Ki}) сравнивается с известными опорными величинами, в качестве которых служат верхний предел насыщения расчетного (корнеобитаемого) слоя почвы влагой ($W_{ПВ}$), а также верхний и нижний пределы регулирования почвенных влагозапасов (W_{HB} и $W_{ПП}$). Задача орошения состоит в том, чтобы всегда поддерживать почвенные влагозапасы в диапазоне (2). Причем почвенные влагозапасы в расчетном слое на конец текущих суток являются начальными влагозапасами на начало следующих суток, т. е.

$$W_{Ki} = W_{H(i+1)}. \quad (9)$$

Измерение атмосферных осадков необходимо проводить на специально оборудованной метеоплощадке, расположенной в непосредственной близости от орошаемой площади (лучше всего на ее границе). Вместе с тем, значения суточных максимальных температур воздуха в связи с относительной их стабильностью и небольшими колебаниями по территории можно принимать по данным ближайшей к орошаемому полю метеостанции [7].

Фрагмент водобалансового расчета при управлении дождеванием капусты среднепоздних сортов приведен в табл. 4.

Таблица 4 – Фрагмент водобалансового расчета при управлении дождеванием (Капуста среднепоздних сортов, выращивается на супесчаных почвах.

$W_{НВ} = 135 \text{ мм}; W_{ПВ} = 250 \text{ мм}; W_{ПП} = 115 \text{ мм}; t = 20 \text{ мм}$

№ п/п	Месяц	Дата	P	m	K_m	t_m	Σt_m	$\Sigma t_m/n$	E_{mi}	φ	E_i	$C_{\Pi i}$	$C_{\Pi i}$	$W_{\Pi i}$
51	Май	31	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	99,5
52	Июнь	1	33,0		0,16	25,8	221,5	22,2	3,5	0,999	3,5	0,0	0,0	129,0
53		2	0		0,16	27,5	229,3	22,9	3,7	0,989	3,6	0,0	9,9	158,4
54		3	0		0,16	27,8	237,1	23,7	3,8	0,998	3,8	0,0	3,1	144,9
55		4	0		0,16	19,1	232,2	23,2	3,7	1,000	3,7	0,0	0,0	138,1
56		5	0		0,16	20,6	224,8	22,5	3,6	1,000	3,6	0,0	0,0	134,3
57		6	0		0,16	24,9	229,2	22,9	3,7	0,999	3,7	0,0	0,0	130,7
58		7	0		0,16	27,4	239,1	23,9	3,8	0,998	3,8	0,0	0,0	127,1
59		8	0		0,16	21,6	240,4	24,0	3,8	0,995	3,8	0,0	0,0	123,3
60		9	0		0,16	21,4	239,9	24,0	3,8	0,992	3,8	0,0	0,0	119,4
61		10	0		0,16	22,5	238,6	24,0	3,8	0,986	3,8	0,0	0,0	115,6
62		11	0		0,17	20,8	233,6	23,4	4,0	0,979	3,9	0,0	0,0	111,9
63		12	0		0,17	24,9	231,0	23,1	3,9	0,969	3,8	0,0	0,0	108,0
64		13	10,0		0,17	28,2	231,4	23,1	3,9	0,957	3,8	0,0	0,0	104,2
65		14	0	20	0,17	30,5	242,8	24,3	4,1	0,975	4,0	0,0	0,0	110,4
66		15	0		0,17	24,0	246,2	24,6	4,2	0,998	4,2	0,0	0,0	126,4
67		16	0		0,17	21,0	242,3	24,2	4,1	0,995	4,1	0,0	0,0	122,2
68		17	0		0,17	20,0	234,9	23,5	4,0	0,990	4,0	0,0	0,0	118,1
69		18	0		0,17	22,0	235,3	23,5	4,0	0,983	3,9	0,0	0,0	114,2
70		19	0,2	20	0,17	19,8	233,7	23,4	4,0	0,975	3,9	0,0	0,0	110,2
71		20	0,3		0,17	18,7	229,9	23,0	3,9	0,998	3,9	0,0	0,0	126,5
72		21	0,2		0,18	22,5	231,6	23,2	4,2	0,995	4,1	0,0	0,0	122,9
73		22	0		0,18	20,5	227,2	22,7	4,1	0,991	4,1	0,0	0,0	119,0
74		23	0		0,18	23,0	222,0	22,2	4,0	0,985	3,9	0,0	0,0	114,9
75		24	0		0,18	20,5	212,0	21,2	3,8	0,977	3,7	0,0	0,0	111,0
76		25	0	20	0,18	22,0	210,0	21,0	3,8	0,967	3,7	0,0	0,0	107,3
77		26	0		0,18	22,3	211,3	21,1	3,8	0,996	3,8	0,0	0,0	123,6
78		27	0		0,18	21,6	212,9	21,3	3,8	0,992	3,8	0,0	0,0	119,8
79		28	0		0,18	22,0	212,9	21,3	3,8	0,987	3,8	0,0	0,0	116,0
80		29	0		0,18	24,0	217,1	21,7	3,9	0,980	3,8	0,0	0,0	112,3

Заключение

Управление поливами на основе изложенного выше расчетного метода контроля динамики влагозапасов почвы с использованием усовершенствованного биоклиматического метода определения водопотребления орошаемых культур, связывающего суточное водопотребление орошаемого поля с максимальной суточной температурой воздуха, позволяет значительно снизить трудоемкость получения необходимых данных для установления сро-

ков поливов и повысить оперативность и качество управления орошением. Значения суточных максимальных температур воздуха в связи с относительной их стабильностью и небольшими колебаниями по территории можно принимать по данным ближайшей к орошаемому полю метеостанции. Биологические особенности культур и фазы их развития учитываются через установленные нами биотермические коэффициенты.

Библиографический список

1. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справочник. – М.: ФГБНУ «Росинформротех». – 2015. – С. 42-58.
2. 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.

3. Лихацевич, А. П. Оценка влияния продолжительности расчетного интервала на точность водобалансового расчета при неустойчивых погодных условиях / А. П. Лихацевич, И. А. Романов // Мелиорация. – 2017. – № 2. – С. 5-9.

4. Лихацевич, А. П. Дождевание сельскохозяйственных культур: основы режима при неустойчивой естественной влагообеспеченности / А. П. Лихацевич. – Минск: Белорусская наука, 2005. – 278 с.

5. Оросительные системы. Правила проектирования: ТКП/ПР 45-3.04.2009 (02250). – Введ. 29.12.2009. – Минск, 2010. – 74 с.

6. Лихацевич, А. П. Расчет водного баланса почвы при краткосрочном переувлажнении / А. П. Лихацевич, И. А. Романов // Мелиорация. – 2016. – № 4. – С. 6-17.

7. Романов, И. А. Влияние точности измерения метеоданных на погрешность расчета водного баланса почвы / И. А. Романов // Актуальные научно-технические и экологические проблемы мелиорации земель : материалы междунар. науч.-практ. конф., Горки, 14–15 марта 2019 г. / УО БГСХА ; ред.: В. И. Желязко [и др.]. – Горки, 2019. – С. – 125-129.

Поступила 23.05.2019