

## **АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ КЛЮКВЫ КРУПНОПЛОДНОЙ ПО МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА И УРАВНЕНИЮ ВОДНОГО БАЛАНСА ПОЧВЫ**

**Н. М. Авраменко**, кандидат технических наук

РУП «Полесская опытная станция мелиоративного земледелия и луговодства»

Лунинецкий р-н, Беларусь

### **Аннотация**

Приведено сравнение величин суммарного испарения с клюквенной плантации, рассчитанных по разработанной нами формуле с применением максимальной температуры воздуха и уравнению водного баланса. Предложена также формула для определения подпитывания расчетного слоя почвы (0–50 см) грунтовыми водами на клюквенной плантации при проведении водобалансовых расчетов.

**Ключевые слова:** дождевание, метеопост, максимальная температура воздуха, атмосферные осадки, поливная норма, клюква крупноплодная, суммарное испарение (водопотребление), биофизические коэффициенты, испарители, лизиметры, уровни грунтовых вод, влагозапасы, водный баланс, подпитывание, уравнение связи, коэффициент корреляции, среднеквадратическое отклонение

### **Abstract**

**N.M. Avramenko**

### **STUDY OF ALGORITHM OF ACCOUNTING OF CRANBERRY WATER CONSUMPTION ACCORDING MAXIMUM AIR TEMPERATURE AND EQUATION OF THE SOIL WATER BALANCE**

Values of total evaporation of cranberry plantation calculated using our formula of maximum air temperature and equation of water balance are compared. Also formula for additional humidification of explored soil layer (0–50 cm) by ground water on cranberry plantation for water balance accounting are presented.

**Keywords:** sprinkling, weather post, maximum air temperature, precipitation, irrigation norm, cranberry, total evaporation (water consumption), bio physical coefficients, evaporators, lysimeters, levels of ground water, moisture reserves, water balance, additional humidification, coupling equation, correlation coefficient, mean square deviation

### **Введение**

В последнее время и в Беларуси начала выделяться новая отрасль сельского хозяйства – клюквоводство. Самая крупная клюквенная плантация в Беларуси – у ОАО «Полесские журавины», которое находится в Пинском районе. Клюквой богаты также хозяйства Березовского района Брестской области и Лельчицкого района Гомельской области.

Благоприятный водный режим для роста и развития клюквы на кислых торфяных почвах создается при поддержании влажности почвы в пределах 60–80 % от полной влагоемкости (ПВ) или 0,7–1,0 НВ (наименьшей влагоемкости) в течение вегетационного периода (май–сентябрь) путем подпитывания от уровней грунтовых вод (УГВ) и орошения дождеванием [1].

При определении эксплуатационного режима увлажнения клюквы возникает необходимость применения водобалансовых расчетов динамики влагозапасов почвы в течение вегетационного периода. Одним из элементов водного баланса расчетного слоя почвы – суммарное испарение (водопотребление), от точности определения кото-

рого в значительной степени зависит принятая величина изменения стояния УГВ и назначение сроков и норм полива.

Апробируемые алгоритмы расчета водопотребления клюквы основаны на применении легкоопределяемых метеопараметров – максимальной температуры воздуха и осадков, а также данных по измерению УГВ, норм полива и влагозапасов почвы на клюквенном участке.

### **Объект и методика проведения апробации алгоритмов расчета**

Опытный участок по апробации алгоритмов расчета водопотребления клюквы крупноплодной открыт в 2016 году в ОАО «Полесские журавины» на двух чеках (№ 1 и № 3) с сортом клюквы «Стивенс» различного года жизни (2014 и 1990 годы). Клюквенная плантация расположена у деревни Селище Пинского района на площади почти 85 га и является самой крупной в Европе плантацией ягод клюквы. Для производства ягод клюквы используются кислые торфяные почвы, непригодные для возделывания сельскохозяйственных культур. Здесь выращиваются также ягоды голубики и цидонии (рисунок 1).

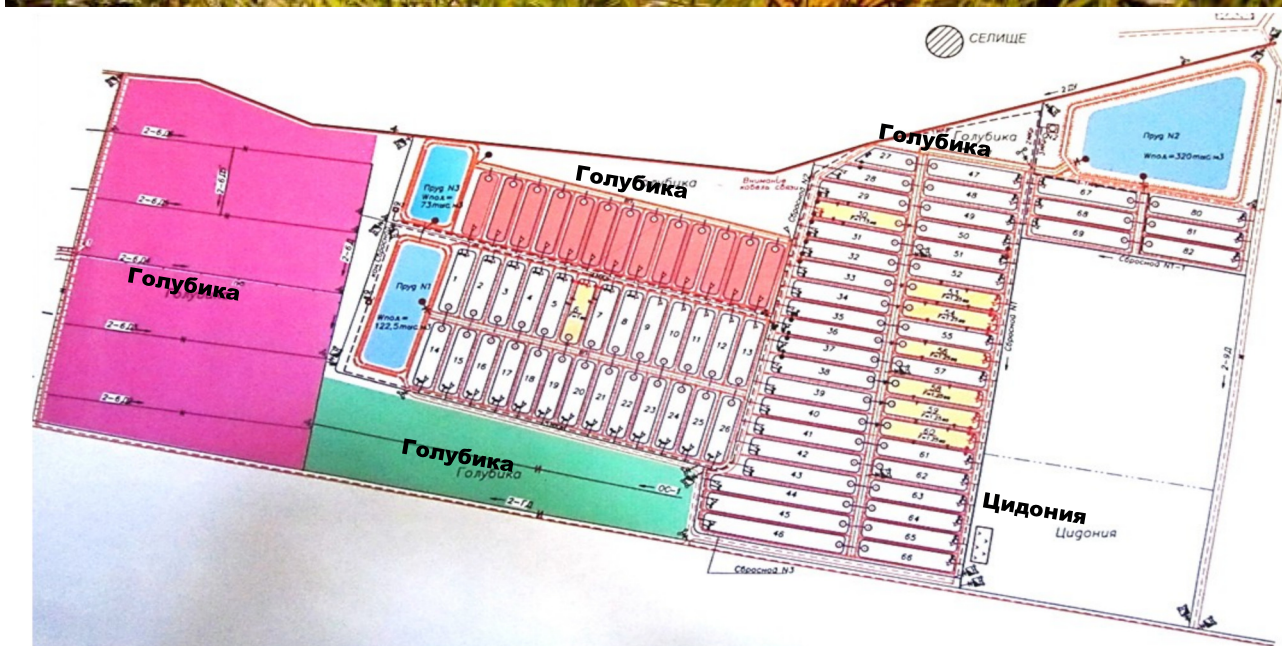


Рисунок 1. – Схема клюквенной плантации в ОАО «Полесские журавины»

Клюквенная плантация разбита на 72 чека площадью около 1,2 га каждый. Для обслуживания плантации имеются две мощные насосные станции, два пруда. На каждом чеке плантации имеется своя система орошения с дождевальными аппаратами типа «Фрегат №1», «Perrot ZB 22» и «Perrot ZS 30». Поддержание оптимальных влагозапасов на клюквенных чеках осуществляется путем подпочвенного увлажнения и орошения дождеванием. В условиях высоких дневных температур воздуха и дефицита осадков освежительно-увлажнительные поливы проводятся в вечернее время небольшими нормами. Орошение дождеванием применяется также в периоды ночных заморозков. На плантации держат пасеку, чтобы пчелы во время цветения опыляли кусты растений клюквы крупноплодной.

Для фиксации изменений погодных условий в период проведения исследований в 2016 году вблизи плантации нами организован метеорологический пост, состоящий из жалюзийной метеорологической будки БС-1 в которой на высоте 2,0 м располагаются недельный термограф, максимальный и срочный термометры. Для измерения атмосферных осадков на метеопосту установлен почвенный дождемер ГГИ-500. Для измерения величин УГВ на чеке №3 установлен наблюдательный колодец. Сумма осадков и объемов поливной воды непосредственно на опытном участке определялась также с помощью почвенного дождемера ГГИ-500, установленного на чеке

№1. Содержание влаги в почве и водно-физические свойства почвы определялись термостатно-весовым способом. Величина наименьшей влагоемкости (НВ) принята по данным величин влагозапасов ранней весной при УГВ ниже 100 см. В точках отбора почвенных проб на чеке №1 величина влагозапасов в слое 0–50 см, соответствующая НВ,  $W_{НВ0-50}$  составляла 294 мм, а на чеке №3 – 270 мм.

Расчетные величины суммарного испарения определялись по следующей, разработанной нами формуле для расчета суммарного испарения с клюквенных плантаций на мелкозалежных торфяниках в условиях их достаточного увлажнения, с использованием максимальной температуры воздуха [2], уточненной в 2016 году:

$$E_p = n \cdot K_{t_{mc}} \cdot t_{mc}, \quad (1)$$

где  $E_p$  – расчетное суммарное испарение за декаду или несколько суток, мм;  $t_{mc}$  – усредненная за этот период максимальная температура воздуха, °С/сут;  $n$  – число суток в рассматриваемом периоде;  $K_{t_{mc}} = E_{uc}/t_{mc}$  – биотермические коэффициенты уравнения (1), отражающие биологический ритм развития клюквы, мм/°С, где  $E_{uc}$  – измеренное среднесуточное суммарное испарение, мм/сут.

Формула (1) разработана с использованием многолетних (1987–1991г.) экспериментальных данных по суммарному испарению с клюквенной планта-

ции «ПОМС», полученных с помощью почвенных испарителей – лизиметров Попова ГГИ-500-50. По мнению В.Ф. Шебеко, подтвержденному экспериментальными данными [3], использование испарителей Попова на торфяных почвах, где расход влаги на испарение происходит в основном за счет потерь почвенной влаги в слое 0–50 см, позволяет рассчитать испарение с приемлемой точностью.

Испарительная площадка на клюквенной плантации «ПОМС» располагалась в центре чека площадью 2 га. На ней было установлено четыре испарителя ГГИ 500-50, оборудованные для работы в положении испарителя и в положении лизиметра, взвешивание которых производили через 5 суток. После каждого взвешивания испарители устанавливались для работы в положении лизиметра с целью обеспечения подпитывания почвенного монолита грунтовыми водами, а лизиметры – для работы в положении испарителя. Монолиты почвы в испарители были набраны весной 1987 года. В каждый испаритель были пересажены с плантации по 5 однолетних растений клюквы сорта «Стивенс». После пересадки растений было произведено дополнительное пескование поверхности почвенных монолитов. Растения быстро прижились и хорошо развивались на протяжении всех лет исследований. Фазы развития клюквы в испарителях-лизиметрах и на плантации полностью совпадали. Атмосферные осадки и фактические поливные нормы на испарительной площадке измерялись почвенным дождемером ГГИ-500, а уровни грунтовых вод – по наблюдательному колодцу.

Для расчета биотермических коэффициентов использовались среднеголетние (1987–1991 гг.) данные по измеренному суммарному испарению с клюквенной плантации «ПОМС» и данные БС «Полесская» за этот период по максимальной температуре воздуха. Метеорологическая станция располагалась на расстоянии 2,5 км от плантации. Декадные биотермические коэффициенты приведены в таблице 1. Расчеты показывают, что они достаточно точно отражают биологический ритм развития клюквы.

Формула (1) применима при  $t_{mc} > 13$  °С. При меньших значениях  $t_{mc}$  клюква практически не вегетирует (начало роста и конец вегетации) и суммарное испарение равно его физической величине (примерно 0,3...0,7 мм/сут.).

Фактическое суммарное испарение  $E_{\phi}$  (мм) на участке апробации в ОАО «Полесские журавины» рассчитывалось по следующему уравнению, полученному из уравнения водного баланса расчетного слоя почвы (0-50 см):

$$E_{\phi} = (W_H - W_K) + (O + m) + П - С, \quad (2)$$

где  $W_H$  и  $W_K$  – измеренные в расчетном слое влагозапасы соответственно на начало и конец рассматриваемого промежутка времени, мм;  $O$  – измеренные по метеопосту, расположенному вблизи опытного участка, атмосферные осадки за рассматриваемый период, мм;  $m$  – фактическая величина поливной нормы в случае проведения полива, определяемая по разности показаний почвенных дождемеров на клюквенном чеке и метеопосту, мм. Фактически величина суммы  $(O + m)$  за рассматриваемый промежуток времени равна показанию почвенного дождемера, расположенного на клюквенном чеке.  $П$  – подпитывание расчетного слоя почвы от уровня грунтовых вод (УГВ) за рассматриваемое время, мм;  $С$  – сброс части влагозапасов на поверхностный сток и инфильтрацию к грунтовым водам, мм.

Для разработки формулы для определения подпитывания расчетного слоя почвы ( $П$ ) от уровня грунтовых вод ( $H$ ) также использованы экспериментальные данные 1987–1991 гг., полученные на клюквенном чеке мелиоративной системы «ПОМС».

Величина подпитывания полуметрового расчетного слоя почвы от грунтовых вод в данном случае, как отмечалось выше, определялась путем взвешивания испарителей – лизиметров ГГИ 500-50. При этом следует отметить, что при присутствии подпитки ее величина не превышала разности  $E - (O + m)$ . В данном случае измеренная величина подпитывания близка к максимальной ( $П_{max}$ ) или равна ей.

Таблица 1. – Значения декадных биотермических коэффициентов к формуле (1), мм/С

Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$K_{tmc}$														
0,11	0,13	0,14	0,14	0,15	0,18	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17	0,13	0,10	0,10

Расчет подпитывания по данным взвешивания испарителей – лизиметров на клюквенной плантации «ПОМС» проводился по формуле:

$$\Pi_{\max} = \frac{10}{S} (\Delta A_u - \Delta A_l), \quad (3)$$

где  $\Delta A_u$  – разность веса почвенного монолита в испарителе за рассматриваемый промежуток времени, г;  $\Delta A_l$  – разность веса почвенного монолита в лизиметре за тот же промежуток времени, г;  $S$  – площадь испарителя-лизиметра с растениями клюквы (500 см<sup>2</sup>).

Интенсивность максимального суточного подпитывания (мм/сут) за промежуток времени между взвешиваниями ( $n$ , сут.) определялась как:

$$i_{\max} = \frac{\Pi_{\max}}{n}, \quad (4)$$

Используя полученные за короткие промежутки времени (декада или несколько суток) данные по интенсивности максимального подпитывания и средней величине глубины грунтовых вод, получаем

$$H_{cp} = \frac{H_H + H_K}{2}, \quad (5)$$

где  $H_H$  и  $H_K$  – соответственно глубины уровней грунтовых вод на начало и конец рассматриваемого интервала времени, (см). Получены следующие зависимости для расчета величин  $i_{\max}$ :

– до первого сентября,  $R^2= 0,9426$

$$i_{\max} = 0,0019H_{cp}^2 - 0,4139H_{cp} + 23,8110 \quad (6)$$

– после первого сентября,  $R^2= 0,9272$

$$i_{\max} = 0,0001H_{cp}^2 - 0,0287H_{cp} + 1,8643 \quad (7)$$

Графическая интерпретация зависимостей (6) и (7) показана на рисунках 2 и 3.

Применение для расчета  $i_{\max}$  в осенний период отдельной зависимости (7) вызвано тем, что в этот период на клюквенном участке происходит прикрытие сплошным ковром листьев растений клюквы созревающих и созревших ягод, что практически исключает физическое испарение. В этот период затухает и эвапотранспирация растениями клюквы, о чем сви-

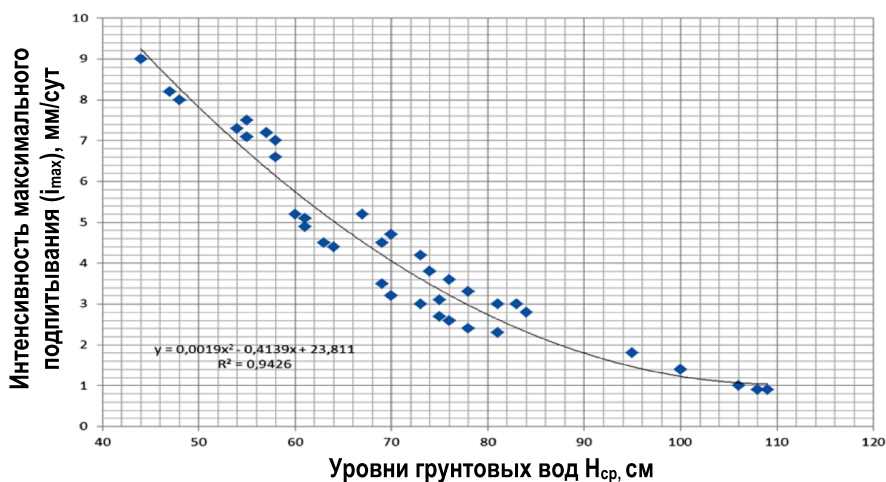


Рисунок 2. – Интенсивность суточного максимального подпитывания ( $i_{\max}$ ) расчетного слоя почвы (0–50 см) от уровня грунтовых вод ( $H_{cp}$ ) на клюквенной плантации (до 1 сентября)

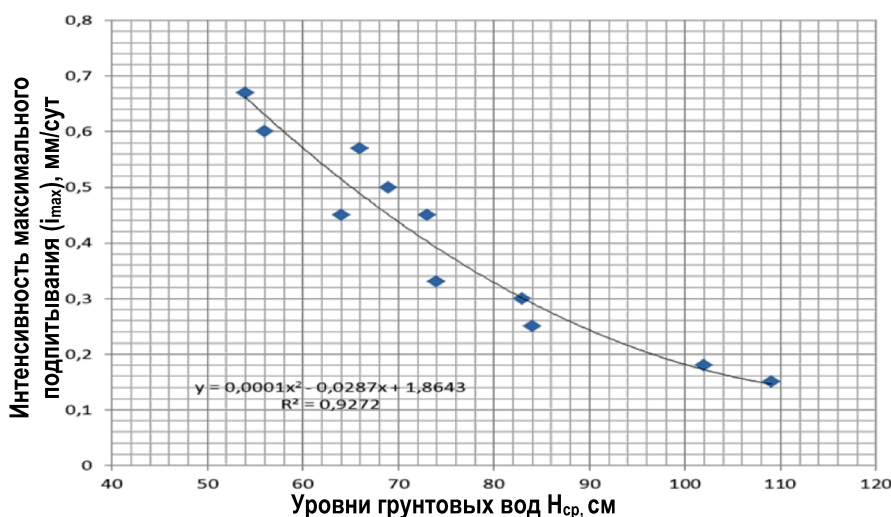


Рисунок 3. – Интенсивность суточного максимального подпитывания ( $i_{\max}$ ) расчетного слоя почвы (0–50 см) от уровня грунтовых вод ( $H_{cp}$ ) на клюквенной плантации (после 1 сентября).

детельствует приобретение растениями сначала багровой, а затем и серой окраски.

Из данных исследований [4] так же следует, что при  $E - (O+m) < 0$  фактическое подпитывание в корнеобитаемый слой в основном отсутствует, а его величина при  $E - (O+m) > 0$  не превышает разности  $E - (O+m)$ . Практически можно считать, что верхний предел максимального подпитывания в данных почвенных условиях при оптимальных (высоких) влагозапасах почвы равен этой разности. Исходя из вышесказанного, представим формулу для определения подпитывания в расчетной слой с ограничением  $\Pi \leq E - (O+m)$  в виде:

$$\Pi = [E_p - (O + m)] \operatorname{th} \frac{ni_{\max}}{E_p - (O + m)}, \quad (8)$$

где  $E_p$  – величина расчетного испарения, определяемая по формуле (1), для предварительной проверки вышеуказанных требований к величине под-

питывания  $\Pi$  в водобалансовых расчетах  $E_{\phi}$  по зависимости (2), мм;  $n$  – число суток в рассматриваемом промежутке времени;  $i_{\max}$  – максимально возможная для данных почвенных условий и УГВ величина интенсивности подпитывания расчетного слоя почвы, определяемая в зависимости от фаз развития клюквы по соответствующим формулам (6) или (7) или же по их графической интерпретации, приведенной на рисунках 1 и 2, мм/сут;  $\operatorname{th}$  – символ гиперболического тангенса.

В формуле (8) введено ограничение величины подпитывания в виде тангенса гиперболического, значения которого не превышает единицу и определяется по таблице 2 [4], где

$$x = \frac{ni_{\max}}{E_p - (O + m)}.$$

Зависимость (8) применима при  $E_p \geq (O+m)$ , если  $E_p < (O+m)$ , то следует принимать  $\Pi=0$  (нулю).

Таблица 2. – Значения  $\operatorname{th} x$

x	th x	x	th x	x	th x	x	th x	x	th x	x	th x	x	th x	x	th x
0,00	0,0000	0,20	0,1974	0,40	0,3799	0,60	0,5370	0,80	0,6640	1,00	0,7616	1,20	0,8337	1,40	0,8854
0,01	0,0100	0,21	0,2070	0,41	0,3885	0,61	0,5441	0,81	0,6696	1,01	0,7658	1,21	0,8367	1,41	0,8875
0,02	0,0200	0,22	0,2165	0,42	0,3969	0,62	0,5511	0,82	0,6751	1,02	0,7699	1,22	0,8397	1,42	0,8896
0,03	0,0300	0,23	0,2260	0,43	0,4053	0,63	0,5581	0,83	0,6805	1,03	0,7739	1,23	0,8426	1,43	0,8917
0,04	0,0400	0,24	0,2355	0,44	0,4136	0,64	0,5649	0,84	0,6858	1,04	0,7779	1,24	0,8455	1,44	0,8937
0,05	0,0500	0,25	0,2449	0,45	0,4219	0,65	0,5717	0,85	0,6911	1,05	0,7818	1,25	0,8483	1,45	0,8957
0,06	0,0599	0,26	0,2543	0,46	0,4301	0,66	0,5784	0,86	0,6963	1,06	0,7857	1,26	0,8511	1,46	0,8977
0,07	0,0699	0,27	0,2636	0,47	0,4382	0,67	0,5850	0,87	0,7014	1,07	0,7895	1,27	0,8538	1,47	0,8996
0,08	0,0798	0,28	0,2729	0,48	0,4462	0,68	0,5915	0,88	0,7064	1,08	0,7932	1,28	0,8565	1,48	0,9015
0,09	0,0898	0,29	0,2821	0,49	0,4542	0,69	0,5980	0,89	0,7114	1,09	0,7969	1,29	0,8591	1,49	0,9033
0,10	0,0997	0,30	0,2913	0,50	0,4621	0,70	0,6044	0,90	0,7163	1,10	0,8005	1,30	0,8617	1,50	0,9051
0,11	0,1096	0,31	0,3004	0,51	0,4699	0,71	0,6107	0,91	0,7211	1,11	0,8041	1,31	0,8643	1,51	0,9069
0,12	0,1194	0,32	0,3095	0,52	0,4777	0,72	0,6169	0,92	0,7259	1,12	0,8076	1,32	0,8668	1,52	0,9087
0,13	0,1293	0,33	0,3185	0,53	0,4854	0,73	0,6231	0,93	0,7306	1,13	0,8110	1,33	0,8692	1,53	0,9104
0,14	0,1391	0,34	0,3275	0,54	0,4930	0,74	0,6291	0,94	0,7352	1,14	0,8144	1,34	0,8717	1,54	0,9121
0,15	0,1489	0,35	0,3364	0,55	0,5005	0,75	0,6351	0,95	0,7398	1,15	0,8178	1,35	0,8741	1,55	0,9138
0,16	0,1586	0,36	0,3452	0,56	0,5080	0,76	0,6411	0,96	0,7443	1,16	0,8210	1,36	0,8764	1,56	0,9154
0,17	0,1684	0,37	0,3540	0,57	0,5154	0,77	0,6469	0,97	0,7487	1,17	0,8243	1,37	0,8787	1,57	0,9170
0,18	0,1781	0,38	0,3627	0,58	0,5227	0,78	0,6527	0,98	0,7531	1,18	0,8275	1,38	0,8810	1,58	0,9186
0,19	0,1877	0,39	0,3714	0,59	0,5299	0,79	0,6584	0,99	0,7574	1,19	0,8306	1,39	0,8832	1,59	0,9201
														1,60	0,9217

Аналогично величина П принимается равной нулю при получении отрицательных значений  $i_{max}$  по формулам (6) и (7).

Величина С определяется из уравнения

$$C = W_k - W_p, \quad (9)$$

где  $W_p$  – величина равновесного влагосодержания (максимальная водоудерживающая способность расчетного слоя почвы при определенных глубинах грунтовых вод), мм.

При  $W_k \leq W_p$  значение  $C = 0$  (нулю).

Значение  $W_p$  определяется по зависимости [3]:

$$W_p = \alpha W_{HB}, \quad (10)$$

где  $W_{HB}$  – влагозапасы в расчетном слое почвы, соответствующие наименьшей влагоемкости, мм;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий влагоудерживающую способность почвы, в долях от  $HB$ .

Величины коэффициента  $\alpha$ , полученные по данным наблюдений за влажностью почвы и глубинами грунтовых вод  $H$  приведены в таблице 3 [4].

При глубоком залегании грунтовых вод  $\alpha = 1$  и  $W_p = W_{HB}$ .

#### Результаты апробации и их обсуждение

В 2017 году в условиях прохладной весны начало вегетации клюквы наступило с большим опозданием – в конце мая – начале июня (обычно это происходит в 1-ой декаде мая). Вегетационный период развития клюквы в этот год (конец мая-начало июня – сентябрь) был теплым и влажным. По данным ближайшей на торфяных почвах метеостанции БС «Полесская» за период июнь-сентябрь среднесуточная температура воздуха превышала на 1,1 °С ее среднемноголетнюю величину за этот период, а сумма осадков на 19 % была выше нормы.

Во влажных и теплых условиях развитие клюквы происходило быстрее, чем обычно. Бутонизация – начало цветения происходили во второй декаде июня. Завершение цветения – начало плодообразования зафиксировано в середине первой декады июля. Плодообразование продолжалось до конца второй декады июля, после чего наступила фаза созревания, которая завершилась в конце сентября.

Обеспечение потребности растений клюквы в питании осуществлялось путем внесения весной комплексных минеральных удобрений разбрасывателем в дозе  $N_{16}P_{16}K_{16}$  действующего вещества на 1 га и микроудобрений кристалон или розасоль опрыскивателем в дозе 2,4 кг/га по фазам развития.

По данным наших измерений на клюквенной плантации ОАО «Полесские журавины» за период вегетации клюквы выпало 489,6 мм осадков, что на 167,9 и 177,1 мм превышает их сумму за соответствующий период на ближайших метеостанциях БС «Полесская» и «МЦГМ» (Пинск). Объем поливной воды за сезон на опытных чеках клюквенной плантации, установленный по разности показаний почвенных дождемеров на опытном чеке и метеопосту, составил в среднем 52,4 мм.

Исследования водопотребления клюквы в предыдущие годы на мелиоративной системе «ПОМС» показывают, что за период вегетации его величина составляет в среднем 510 мм. В отдельные годы оно может достигать до 540 мм. В многолетнем разрезе водопотребление клюквы (май-сентябрь) по фазам ее развития распределяется в процентном отношении следующим образом: начало вегетации (1-я декада мая) – 4,1 %; бутонизация (2-3-я декады мая) – 11,2 %; цветение и плодообразование (1-я декада июня – 1-я декада июля) – 30,3 %; созревание плодов (2-я декада июля – 3-я декада сентября) – 54,4 %.

Из приведенных данных многолетних исследований следует, что на фазу созревания плодов приходится более 50 % расходов влаги клюквы крупноплодной.

Уровни грунтовых вод на опытных чеках ОАО «Полесские журавины» в период вегетации клюквы колебались в пределах 60–90 см от поверхности земли и принимали активное участие в подпитывании расчетного слоя почвы 0–50 см в рассматриваемые промежутки времени при  $E-(O+m) \geq 0$  (таблицы 4, 5).

Определение величин фактического суммарного испарения ( $E_f$ ) на опытных чеках клюквенной плантации ОАО «Полесские журавины» с использованием составляющих уравнения водного баланса расчетного слоя почвы 0-50 см показало, что за пери-

Таблица 3. – Коэффициенты  $\alpha$  для слоя почвы 0–50 см на мелкозалежных торфяниках

H, см	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$\alpha$	1,16	1,12	1,10	1,08	1,06	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

Таблица 4. – Расчет величин фактического суммарного испарения  $E_{\phi}$  на чеке №1 клюквенной плантации ОАО «Полесские журавиньы» с использованием составяющих уравнения водного баланса расчетного слоя почвы 0-50 см, 2017 год  $W_{HB,50} = 294,MM$

ПЕРИОДЫ	$n_i$ сут	$W_{H_0}$ мм	$W_{K_0}$ мм	$O+m$ мм	$H_{H_0}$ см	$H_{K_0}$ см	$H_{ep}$ см	$i_{max}$ мм/сут	$E_p$ мм	$E_p-(0+m)$ мм	$\Pi$ мм	$\alpha$	$W_p=\alpha$ $W_{HB}$	$W_{K_0}-W_{p_0}$ мм	$C$ мм	$E_{\phi}$	$W_{HB,50}$ мм
31.05-11.06	12	307,4	304,5	20,6	90,0	85,0	87,5	2,15	39,0	+18,4	16,3	1,035	304,3	+0,2	0,2	39,6	304,3
11.06-19.06	8	304,5	295,1	6,6	85,0	84,0	84,5	2,4	28,1	+21,5	15,3	1,036	304,6	-9,5	0	31,3	295,1
19.06-04.07	15	295,1	309,3	76,8	84,0	74,0	79,0	2,97	65,3	-11,5	0	1,052	309,3	0	0	62,6	309,3
04.07-12.07	8	309,3	305,2	7,1	74,0	85,0	79,5	2,91	34,3	+27,2	18,9	1,035	304,3	+0,9	0,9	28,2	304,3
12.07-19.07	7	304,3	299,6	8,3	85,0	89,0	87,0	2,20	29,8	+21,5	13,3	1,031	303,1	-3,5	0	26,3	299,6
19.07-29.07	10	299,6	319,2	75,6	89,0	76,0	82,5	2,60	45,5	-30,1	0	1,048	308,1	+11,1	11,1	44,9	308,1
29.07-09.08	11	308,1	300,6	18,1	76,0	84,0	80,0	2,86	55,3	+37,2	25,7	1,036	304,6	-4,0	0	51,3	300,6
09.08-21.08	12	300,6	356,8	157,1	84,0	60,0	72,0	3,86	61,6	-95,5	0	1,080	317,5	+39,3	39,3	61,6	317,5
21.08-29.08	8	317,5	357,5	111,5	60,0	60,0	60,0	5,82	29,9	-81,6	0	1,080	317,5	+40,0	40,0	31,5	317,5
29.08-10.09	12	317,5	309,3	24,3	60,0	75,0	67,5	0,38	31,3	+7,0	3,8	1,050	308,7	+0,6	0,6	35,7	308,7
10.09-18.09	8	308,7	309,2	14,5	75,0	73,0	74,0	0,29	16,3	+1,8	1,5	1,054	309,9	-0,7	0	15,5	309,2
18.09-28.09	10	309,2	311,0	21,5	73,0	74,0	73,5	0,30	18,0	-3,5	0	1,052	309,3	+1,7	1,7	18,0	309,3
Всего:				542,0					454,4		94,8				93,8	445,6	

Таблица 5. – Расчет величин фактического суммарного испарения  $E_{\phi}$  на чеке №3 клюквенной плантации ОАО «Полесские журавиньы» с использованием составяющих уравнения водного баланса расчетного слоя почвы 0-50 см, 2017 год  $W_{HB,50} = 270,MM$

ПЕРИОДЫ	$n_i$ сут	$W_{H_0}$ мм	$W_{K_0}$ мм	$O+m$ мм	$H_{H_0}$ см	$H_{K_0}$ см	$H_{ep}$ см	$i_{max}$ мм/сут	$E_p$ мм	$E_p-(0+m)$ мм	$\Pi$ мм	$\alpha$	$W_p=\alpha$ $W_{HB}$	$W_{K_0}-W_{p_0}$ мм	$C$ мм	$E_{\phi}$	$W_{HB,50}$ мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
31.05-11.06	12	286,0	281,4	20,6	90,0	85,0	87,5	2,15	39,0	+18,4	16,3	1,035	279,4	+2,0	2,0	39,5	279,4
11.06-19.06	8	279,4	270,0	6,6	85,0	84,0	84,5	2,4	28,1	+21,5	16,4	1,036	279,7	-9,7	0	31,3	270,0
19.06-04.07	15	270,0	284,2	76,8	84,0	74,0	79,0	2,97	65,3	-11,5	0	1,052	284,0	+0,2	0,2	62,4	284,0
04.07-12.07	8	284,0	280,2	7,1	74,0	85,0	79,5	2,91	34,3	+27,2	18,9	1,035	279,4	+0,8	0,8	29,0	279,4
12.07-19.07	7	279,4	277,6	8,3	85,0	89,0	87,0	2,20	29,8	+21,5	13,3	1,031	278,4	-3,6	0	26,2	274,8
19.07-29.07	10	274,8	294,2	75,6	89,0	76,0	82,5	2,60	45,5	-30,1	0	1,048	283,0	+11,2	11,2	45,0	283,0





од с 31.05 по 28.09 2017 года его величина на чеке №1 составила 445,6 мм, а на чеке №3 – 450,6мм. Количество влаги, расходуемой за период созревания ягод клюквы, составило 58,0 % на обоих опытных чеках (таблицы 4, 5).

Из сравнения величин суточного суммарного испарения (водопотребления), рассчитанных по разработанной нами формуле 1 и уравнению водного баланса полуметрового слоя почвы с применением для определения величины подпитывания в нем предложенной нами зависимости (8), следует, что величина среднеквадратичного отклонения ( $\sigma$ ) между ними составляет 0,29–70,35 мм/сут (таблица 6). Это обстоятельство указывает на высокую точность разработанной формулы для расчета суммарного испарения с оптимально увлажненной клюквенной плантации с использованием максимальной температуры воздуха. Отсюда следует, что приведенные формулы (1), (2), (8), (10) и (11) можно рекомендовать к применению при расчетах эксплуатационного режима увлажнения клюквы крупноплодной на мелкозалежных торфяниках Полесья водобалансовым методом.

Анализ осредненных за декады вегетационного периода клюквы (май-сентябрь) величин макси-

мальной температуры воздуха, замеренных на БС «Полесская» над торфяными и на МЦГМ «Пинск» над минеральными почвами за период 2001–2017 гг. показал, что среднеквадратическое отклонение между ними составляет всего 0,68°C. Из этого следует, что величина максимальной температуры воздуха имеет достаточно обширную географию для ее применения в расчетах водопотребления клюквы крупноплодной, независимо измерялась она над торфяными почвами или минеральными.

#### **Заключение**

Сравнение величин суточного суммарного испарения (водопотребления), рассчитанных по разработанной нами формуле и уравнению водного баланса полуметрового слоя почвы с применением для определения величины подпитывания в нем предложенной нами зависимости, показало, что величина среднеквадратичного отклонения между ними составляет 0,29–0,35 мм/сут. Это обстоятельство подтверждает высокую точность разработанной формулы для расчета суммарного испарения с оптимально увлажненной клюквенной плантации с использованием максимальной температуры воздуха.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Клюква крупноплодная в Белоруссии / Е.А. Сидорович [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1987. – 238 с.
2. Авраменко, Н.М. Расчет испарения с плантаций клюквы крупноплодной / Н.М. Авраменко // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. трудов. – Минск : Бел НИИМ и Л, 1997. – Том 34. – С.256-260.
3. Шебеко, В.Ф. Изменение микроклимата под влиянием мелиорации болот / В.Ф. Шебеко. – Минск : Наука и техника, 1977. – 285 с.
4. Авраменко, Н.М. Орошение культурных пастбищ подземными водами на торфянисто-глеевых почвах Полесья : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.М. Авраменко. – Минск : Бел НИИМ и Л, 1992. – 24 с.
5. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, П.А. Семендяев. – М. : Наука, 1981. – С. 48-50.

*Поступила 28.08.2018*