

УДК 631.6(633.1;635-15)

## ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ И ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОДНОГО И ТЕПЛООВОГО РЕЖИМОВ

Поддубский А.А., Шуравилин А.В.

*Российский университет дружбы народов, Москва,  
e-mail: a.poddubsky@mail.ru, stanislavpiven@mail.ru*

Изложены результаты исследований по обоснованию продуктивности сельскохозяйственных культур в Московской области биоклиматическим методом с использованием математической модели В.В. Шабанова. Относительная продуктивность определялась в зависимости от лимитирующих факторов – продуктивных запасов влаги в активном слое почвы и температуры воздуха. Было установлено, что для получения высокой относительной продуктивности яровой пшеницы оптимальный диапазон продуктивных влагозапасов в слое почвы 0,5 м должен находиться в пределах 53–89 мм, а температура воздуха – 16,5–21,6 °С. Для столовой свеклы эти показатели соответственно составляли 69–103 мм и 16,5–23,2 °С. При возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах вероятность проведения осушения низкая, а орошения – средняя. При выращивании яровой пшеницы вероятность проведения орошения составляет 19% и осушения 10%, а столовой свеклы соответственно 22 и 8%.

**Ключевые слова:** яровая пшеница, столовая свекла, Московская область, продуктивные влагозапасы, температура воздуха, относительная продуктивность, вероятность

## THE PRODUCTIVITY OF CEREALS AND VEGETABLES IN THE MOSCOW REGION DEPENDING ON WATER AND HEAT REGIMES

Poddubskiy A.A., Shuravilin A.V.

*People's Friendship University of Russia, Moscow,  
e-mail: a.poddubsky@mail.ru, stanislavpiven@mail.ru*

The results of researches on substantiation of crop productivity in the Moscow region bioclimatic method using the mathematical model V.V. Shabanova. Relative productivity was determined based on limiting factors-productive stocks in the active layer of moisture and soil temperature. It was found that for high relative spring wheat productivity productive was optimal range in the soil layer of 0,5 meters should be in the range 53–89 mm and the temperature air- 16,5–21,6 °C. To these figures were, respectively, beet 69–103 mm and 16,5–23,2 °C. The cultivation of crops on sod-podzolic soils low likelihood of drainage and irrigation average. When growing the likelihood of the spring wheat of 19% irrigation and drainage of 10%, and red beets, respectively 22 and 8%.

**Keywords:** spring wheat, beetroot, Moscow region, productive moisture reserves, air temperature, relative productivity, the probability

В Московской области основной культурой среди зерновых является яровая пшеница, а среди овощных культур видное место занимает столовая свекла. По этим культурам нами определялась относительная продуктивность в зависимости от продуктивных влагозапасов с использованием методики В.В. Шабанова [9].

Вегетационный период яровой пшеницы по средним многолетним данным продолжается с 1 мая по 20 августа или 112 дней, столовой свеклы с 11 мая по 10 сентября, что составляет 123 дня.

Основные показатели, характеризующие агроклиматические ресурсы вегетационного яровой пшеницы (табл. 1), проводились и по продуктивным влагозапасам и температуре воздуха.

Атмосферные осадки, температура воздуха и дефицит влажности воздуха для яровой пшеницы и столовой свеклы принимались в среднем по декадам вегетационного периода с 1966 по 2012 гг. (47 лет) по метео-

станции ВДНХ. Водопотребление этих культур определяли по сумме дефицитов влажности воздуха по формуле А.М. Алпатьева:

$$E = K \cdot \sum D,$$

где  $E$  – водопотребление яровой пшеницы по декадам вегетации, мм;  $K$  – биоклиматический коэффициент в среднем за вегетационный период яровой пшеницы, принятый равным 0,45 [2, 3];  $\sum D$  – сумма дефицитов влажности воздуха за каждую декаду, мб (средняя за 1966–2012 гг.).

Продуктивные влагозапасы в слое почвы 0–50 см на начало вегетации яровой пшеницы устанавливали с учетом высоты снежного покрова, продолжительности его таяния, а также продолжительности периода от завершения снеготаяния до начала посева, коэффициента насыщения почвой влагой перед посевом и справочных материалов [1, 4, 5, 7]. Эта величина по средне-многолетним данным составила 107 мм ( $W_n = 107$  мм). Продуктивные влагозапасы

Таблица 1

Агроклиматические показатели вегетационного периода яровой пшеницы

Показатели	Май			Июнь			Июль			Август		Среднее или сумма
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
Атмосферные осадки, мм	13,04	16,90	21,40	23,80	26,31	24,46	29,73	28,69	28,63	21,51	28,06	262,51
Температура воздуха, °С	12,03	13,00	14,77	16,00	17,25	18,00	18,53	19,27	19,06	18,47	17,00	16,67
Дефицит влажности воздуха, мб	62,64	62,12	72,18	68,26	66,28	71,78	67,90	71,70	77,31	66,33	53,55	740,06
Водопотребление, мм	28,19	27,95	32,48	30,72	29,83	32,30	30,55	32,27	34,79	29,85	24,10	333,03
Продуктивные влагозапасы, мм	99,85	88,79	77,71	70,79	67,28	59,44	58,61	55,03	48,87	40,53	44,49	64,67

в слое почвы 0–50 см за каждую декаду вегетации определялись по уравнению водного баланса:

$$W_k = W_n + Oc - E, \quad (1)$$

где  $W_k$  – продуктивные запасы влаги на конец декады, мм;  $W_n$  – продуктивные запасы влаги на начало декады, мм;  $Oc$  – атмосферные осадки, выпавшие за декаду, мм;  $E$  – водопотребление яровой пшеницы за декаду, мм.

В расчетах поступление влаги в почву от грунтовых вод при глубоком их залегании принималось равным нулю. Требования растений яровой пшеницы устанавливались по водно-термическим условиям – почвенным влагозапасам и температуре воздуха. Необходимость регулирования почвенных влагозапасов описывается моделью В.В. Шабанова:

$$S_w = \left( \frac{W^*}{W_{opt}^*} \right)^{\gamma_w \cdot W_{opt}^*} \cdot \left( \frac{1 - W^*}{1 - W_{opt}^*} \right)^{\gamma_w \cdot (1 - W_{opt}^*)};$$

$$S_w = \frac{U}{U_{max}}, \quad (2)$$

где  $S_w$  – относительная продуктивность растений;  $U, U_{max}$  – соответственно фактическая и максимально возможная в конкретных условиях урожайность, ц/га;

$$W^* = \frac{W - W_{B3}}{W_{ПВ} - W_{B3}}, \Rightarrow W = W^* \cdot (W_{ПВ} - W_{B3}) + W_{B3}; \quad (3)$$

здесь  $W^*$  – относительные продуктивные влагозапасы почвы;  $W$  – фактические влагозапасы почвы, мм;  $W_{ПВ}, W_{B3}$  – соответственно полная влагоемкость и влагоемкость, соответствующая влажности завядания растений, мм.

$$0 \leq W^* \leq 1;$$

$W_{opt}^*$  – оптимальное значение относительных продуктивных влагозапасов почвы, при которых достигается максимальная урожайность;  $\gamma_w$  – параметр, учитывающий саморегуляцию растений к водному режиму почв.

Относительная продуктивность яровой пшеницы определялась в зависимости от почвенных влагозапасов в целом за вегетационный период. В расчетах использовались значения параметров  $W_{opt}^* = 0,54 \cdot ПВ$ ;  $\gamma_w = 5,6$  [8, 10];

$$W_{opt}^* = 0,54 \cdot ПВ = 0,54 \cdot 130 = 70,2 \text{ мм},$$

где ПВ – продуктивные запасы влаги при полной влагоемкости в слое почвы 0–50 см – 130 мм (для среднесуглинистых дерново-подзолистых почв).

По полученным расчетным путем данным устанавливаем зависимость относительной продуктивности яровой пшеницы от продуктивных влагозапасов в слое почвы 0–50 см. Требования яровой пшеницы к водному режиму приведены на рис. 1.

Функция продуктивности яровой пшеницы от продуктивных влагозапасов в слое почвы 0–50 см описывается куполообразной кривой. При уровне плановой продуктивности  $S_{пл} = 0,8$  определяем пределы оптимального диапазона регулирования продуктивных влагозапасов, которые изменяются от 53 до 89 мм при оптимальном значении 70,2 мм. В критические периоды развитие яровой пшеницы (кущение, трубкование-колошение) продуктивные запасы влаги в почве в основном обеспечивали требования растений к водному режиму, за исключением фазы налива зерна, когда их содержание в третью декаду июля опустилось до 48,9 мм.

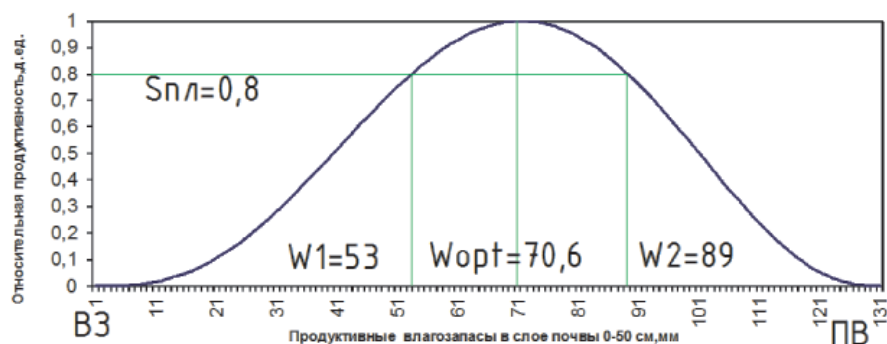


Рис. 1. Требования яровой пшеницы к водному режиму почвы в среднем за вегетационный период (слой почвы 0–50 см)

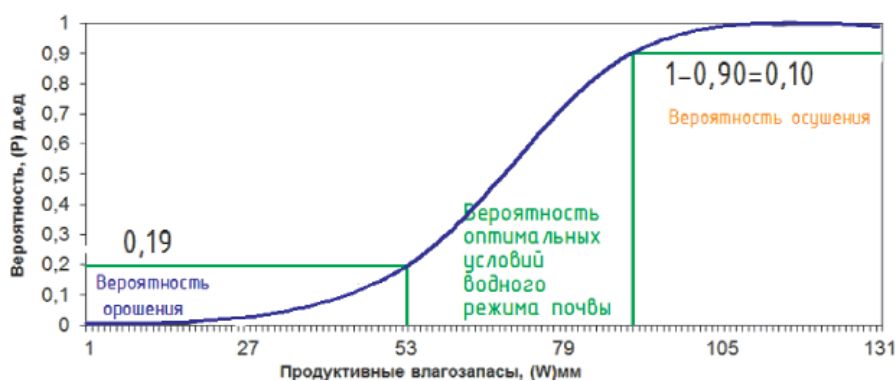


Рис. 2. Интегральная кривая изменения вероятности необходимости водной мелиорации в условиях Московской области при возделывании яровой пшеницы

Для установления вероятности необходимости проведения водных мелиораций строится интегральная кривая (рис. 2), представляющая собой функцию нормального распределения, по которой выделяются зоны орошения и осушения. При минимальном уровне оптимальных продуктивных влагозапасов для возделывания яровой пшеницы вероятность орошения составляет 0,19, а при максимальных значениях оптимального диапазона более 89 мм вероятность осушительных мелиораций дерново-подзолистых почв составляет 0,10 или 10%.

Наряду с водным режимом температурный режим является одним из основных факторов, влияющих на развитие растений. Поэтому нами проводится оценка требований растений к температурному режиму. Функция продуктивности растений картофеля от температуры воздуха имеет форму куполообразной кривой и может быть представлена уравнением вида

$$S_t = \left( \frac{\theta}{\theta_{opt}} \right)^{\gamma_i \cdot \theta_{opt}} \cdot \left( \frac{1 - \theta}{1 - \theta_{opt}} \right)^{\gamma_i \cdot (1 - \theta_{opt})};$$

$$S_t = \frac{U}{U_{max}}, \quad (4)$$

где  $S_t$  – относительная продуктивность;  $\theta$  – относительная фактическая температура;  $\gamma_i$  – коэффициент саморегуляции растений к температурным условиям;  $t_{opt}$  – оптимальное значение относительной температуры, °C;  $\theta$  – относительная температура

$$\theta = \frac{t - t_{min}}{t_{max} - t_{min}}, \Rightarrow t = \theta \times (t_{max} - t_{min}) + t_{min};$$

$$0 \leq \theta \leq 1;$$

$$t_{min} \leq t \leq t_{max};$$

$$\theta_{opt} = \frac{t_{opt} - t_{min}}{t_{max} - t_{min}}. \quad (5)$$

Функция относительной продуктивности ( $S_t$ ) показывает, что при некоторых экстремальных температурных условиях ( $t_{min}$ ,  $t_{max}$ ) продуктивность растений равно нулю, так как становится слишком холодно, и биохимические процессы в растениях практически приостанавливаются, или слишком жарко, и, например, происходит разрыв сплошности потока воды в почве,

притекающей к растению, из-за увеличивающейся скорости транспирации, при ограниченной скорости передвижения влаги в почве. В диапазоне от минимальной температуры до ее оптимального значения продуктивность растений лимитируется недостатком тепла. В диапазоне температур от оптимального значения до максимального развитие растений ограничивается необходимостью траты большого количества энергии на охлаждение, при этом меньше энергии идет на увеличение продуктивности. При оптимальных температурах растение затрачивает минимум энергии на борьбу с неблагоприятными температурными условиями, что сопровождается достижением максимального урожая. Для построения зависимости средней продуктивности растений от температуры воздуха для яровой пшеницы принимались следующие значения параметров  $t_{\min} = 9^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\max} = 28^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{opt}} = 19,2^{\circ}\text{C}$ ;  $\gamma_t = 0,40$ . Функция продуктивности яровой пшеницы от температуры

воздуха описывается куполообразной кривой (рис. 3). Согласно этой зависимости диапазон оптимальной температуры воздуха при плановой продуктивности яровой пшеницы  $S_{\text{пл}} = 0,8$  находится в пределах  $16,5\text{--}21,6^{\circ}\text{C}$  при оптимальном значении температуры  $19,2^{\circ}\text{C}$ . Полученные данные температурного режима следует учитывать при обосновании относительной продуктивности яровой пшеницы в среднем за вегетационный период.

В качестве овощной культуры использована столовая свекла. Она наиболее требовательна к водному, питательному режимам и к почвам. Корневая система столовой свеклы в основном сосредоточена в пахотном и частично в подпахотном слоях почвы, проникая вглубь и в стороны.

Оценка агроклиматических условий вегетационного периода столовой свеклы (табл. 2) осуществлялась по продуктивным запасам влаги в слое почвы 0,5 м и температуре воздуха.

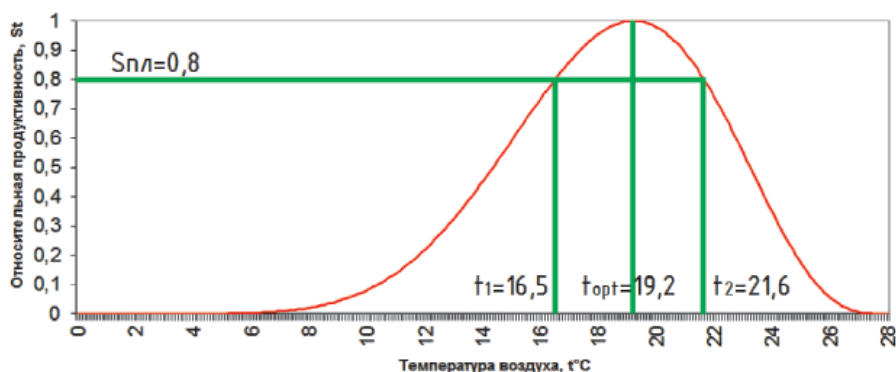


Рис. 3. Требования яровой пшеницы к температуре воздуха за вегетационный период

Таблица 2

Основные агроклиматические ресурсы вегетационного периода столовой свеклы

Показатели	Май		Июнь			Июль			Август			Сентябрь
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
Атмосферные осадки, мм	16,90	21,40	23,80	26,31	24,46	29,73	28,69	28,63	21,51	28,06	29,53	24,36
Температура воздуха, °C	13,00	14,77	16,00	17,25	18,00	18,53	19,27	19,06	18,47	17,00	15,31	13,32
Дефицит влажности воздуха, мб	62,12	72,18	68,26	66,28	71,78	67,90	71,70	77,31	66,33	53,55	49,59	37,69
Водопотребление, мм	27,95	32,48	30,72	29,83	32,30	30,55	32,27	34,79	29,85	24,10	22,32	16,96
Продуктивные влагозапасы, мм	103,94	92,86	85,95	82,43	74,59	73,76	70,18	64,03	55,68	59,64	66,86	74,26

Продуктивные влагозапасы в слое почвы 0–50 см на начало вегетации столовой свеклы по среднемноголетним данным равнялись 115 мм,  $W_n = 115$  [4, 5, 9]. За каждую декаду вегетации они определялись по уравнению водного баланса, как и для яровой пшеницы. Относительная продуктивность столовой свеклы по декадам вегетации определялась по модели В.В. Шабанова (формулы (2), (3)). В расчетах использовались параметры:  $W_{opt}^* = 0,67 \cdot ПВ$ ;  $\gamma_w = 5,3$ , где  $W_{opt}^*$  – оптимальное значение относительных продуктивных влагозапасов почвы, при которых достигается максимальная урожайность;  $\gamma_w$  – параметр, учитывающий саморегуляцию растений к водному режиму почв.

$$W_{opt}^* = 0,67 \cdot ПВ = 0,67 \cdot 130 = 87,1 \text{ мм},$$

где ПВ – продуктивные запасы влаги при полной влагоемкости в слое почвы 0–50 см – 130 мм. По полученным расчетным данным определена зависимость относительной продуктивности столовой свеклы от продуктивных влагозапасов в слое

почвы 0–50 см (рис. 4). При уровне плановой продуктивности  $S_{пл} = 0,8$  были определены пределы оптимального диапазона регулирования продуктивных влагозапасов, которые изменяются от 69 до 103 мм при оптимальном значении 87,1 мм. Требования столовой свеклы к водному режиму заметно изменяются по фазам развития.

Так, для прорастания семян требуется 70 % влаги от ее массы. В повышенной влажности почвы столовая свекла нуждается после появления всходов. Наиболее требовательна к водному режиму столовая свекла со второй декады июня (фаза третий лист) и до пучковой спелости до первой декады августа. При этом критическим периодом столовой свеклы к влажности почвы являются утолщение корня и пучковая спелость. Естественное увлажнение в этот период недостаточно, и дополнительное увлажнение требуется с третьей декады июля до конца августа. Вероятность необходимости водных мелиораций наглядно просматривается по интегральной кривой (рис. 5), которая

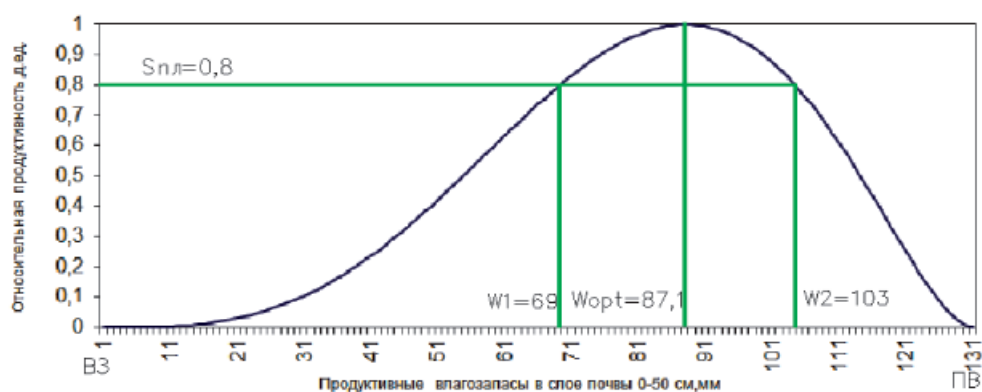


Рис. 4. Требования столовой свеклы к водному режиму почвы в среднем за вегетационный период (слой почвы 0–50 см)

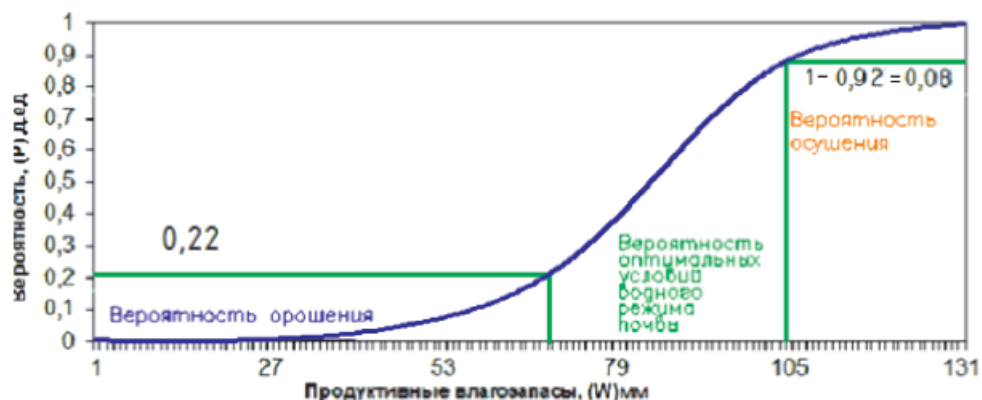


Рис. 5. Интегральная кривая изменения вероятности необходимости водной мелиорации в условиях Московской области при выращивании столовой свеклы

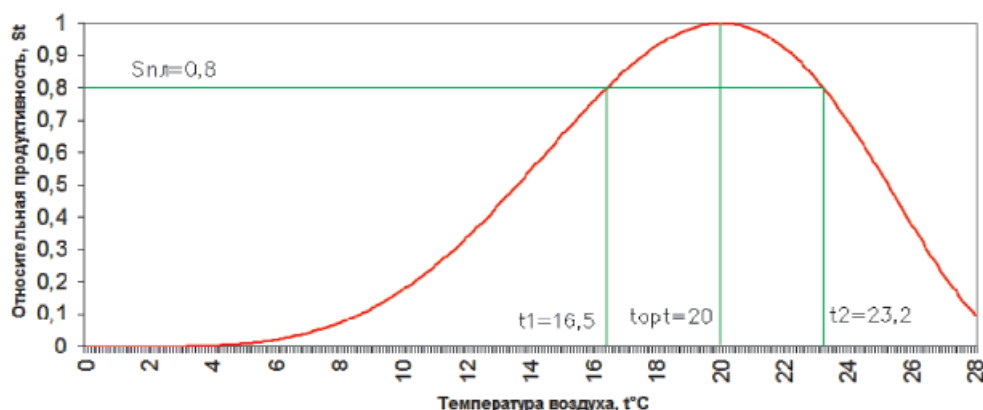


Рис. 6. Требования столовой свеклы к температуре воздуха за вегетационный период

представляет собой функцию нормального распределения. При минимальном уровне оптимальных продуктивных влагозапасов для возделывания столовой свеклы (69 мм) и плановой продуктивности 0,8 вероятность орошения составляет 0,22, а при максимальных значениях оптимального диапазона более 103 мм вероятность осушительных мелиораций дерново-подзолистых почв составляет 0,08 или 8%.

Требования растений столовой свеклы к температурному режиму определялись аналогично яровой пшенице. Для установления требований зависимости средней продуктивности растений от температуры воздуха для столовой свеклы принимались следующие значения параметров  $t_{\min} = 16,5^\circ\text{C}$ ;  $t_{\max} = 20^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{opt}} = 23,2^\circ\text{C}$ ;  $\gamma_t = 0,25$  [10]. Относительная продуктивность столовой свеклы определялась по формуле (4), а значения относительных температур воздуха переводили в абсолютные величины по формуле (5).

Функция продуктивности столовой свеклы от температуры воздуха описывается кривой (рис. 6). При плановой относительной продуктивности столовой свеклы  $S_{\text{пл}} = 0,8$  диапазон оптимальной температуры воздуха лежит в пределах от 16,5 до 23,2°C. Выявленный температурный режим столовой свеклы необходимо предусматривать при планировании относительной продуктивности столовой свеклы в течение вегетационного периода.

Таким образом, для получения высокой относительной продуктивности яровой пшеницы оптимальный диапазон продуктивных влагозапасов в слое почвы 0,5 м должен составлять от 53 до 89 мм. Вероятность потребности в орошении яровой пшеницы составляет 19%, а осушении – 10. Температурный режим воздуха в среднем за

вегетационный период следует поддерживать в пределах 16,5–21,6°C.

Для получения относительной продуктивности столовой свеклы на уровне не ниже 0,8 от максимальной оптимальный диапазон продуктивных влагозапасов должен находиться в пределах от 69 до 103 мм. При этом вероятность потребности в орошении столовой свеклы составляет 22%, а в осушении 8%. В целях получения высокой продуктивности температура воздуха в вегетационный период столовой свеклы должна находиться в пределах 16,5–23,2°C.

#### Список литературы

1. Агроклиматический справочник по Московской области. – Л.: Гидрометеиздат, 1964.
2. Алпатов А.М. Влагооборот культурных растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1954.
3. Алпатов А.М. Влагообороты в природе и их преобразование. Тираж 2350 экз. – Л.: Гидрометеиздат 1969. – 324 с.
4. Варчева С.Е. Метод расчета динамики влагозапасов почвы для системы круглогодичного агрометеорологического мониторинга // Известия Самарского научного центра РАН. – 2009. – Т. 11. – № 1 (7). – С. 1642–1648.
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып. 08. Москва и Московская область. – Л.: Гидрометеиздат. 1990. – 256 с.
6. Поддубский А.А. Оценка природной влагообеспеченности Московской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2015. – № 2. – С. 45–50.
7. Поддубский А.А., Шуравилин А.В. Прогноз урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от природной влагообеспеченности в условиях Московской области. – Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2015. – № 2 (23). – С. 15–17.
8. Поддубский А.А., Шуравилин А.В. Оценка естественной влагообеспеченности Московской области и ее учет при землеустройстве мелиоративно неблагоприятных земель // Науки о земле. – 2015. – № 2. – С. 100–113.
9. Шабанов В.В. Биоклиматическое обоснование мелиораций. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 292 с.
10. Шабанов В.В., Орлов И.С., Оценка природно-хозяйственного риска в условиях изменения климата (на примере сельскохозяйственной деятельности): учебное пособие. – М., 2003.