

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ СОИ БИОКЛИМАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

**В. И. ЖЕЛЯЗКО, Е. А. ВЧЕРАШНИЙ**

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407,*

*(Поступила в редакцию 25.07.2023)*

*Климат всегда оказывал существенное влияние на такие важные отрасли экономики, как сельское, лесное и водное хозяйство. С 1989 по 2015 г. на территории Республики Беларусь величина среднегодовой температуры воздуха на 1,3 °С превысила климатическую норму, принятую Всемирной метеорологической организацией. Территория Республики Беларусь относится к зоне с достаточным увлажнением. Однако анализ природно-климатических изменений за последние 30 лет показывает рост количества засушливых периодов и неравномерность распределения атмосферных осадков внутри вегетационного сезона. Отсутствие атмосферных осадков приводит к снижению почвенных влагозапасов ниже оптимальных значений, что в свою очередь оказывает негативное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. В среднем, недостаток увлажнения минеральных почв за летний период в сухой год повторяемостью один раз в 5 лет составляет от 80–150 мм в северной до 190–240 мм в южной частях Беларуси. В сложившихся условиях применение оросительных мелиораций может стать средством получения стабильных и высоких урожаев. При составлении проектного режима орошения основным фактором является величина декадного и суммарного водопотребления. От точности определения водопотребления зависит величина поливной и оросительной нормы, которые в свою очередь формируют величину производственных затрат на проведение орошения.*

*Точность определения величины водопотребления сои в водобалансовых расчетах зависит от точности определения биоклиматических коэффициентов. Величина изменчивости биоклиматических коэффициентов вносит погрешность в расчет водопотребления даже в условиях одной и той же почвенно-климатической зоны. В статье представлены результаты исследований по определению значений декадных биоклиматических коэффициентов водопотребления сои в зависимости от метеорологических условий. Выполнено сравнение различных расчетных зависимостей по определению водопотребления в основу которых положен дефицит влажности воздуха. Выполнена оценка изменчивости биоклиматических коэффициентов по годам исследований в зависимости от тепловлагообеспеченности.*

*В результате оценки величины изменчивости биоклиматических коэффициентов водопотребления сои установлено, что для расчета водопотребления сои рекомендуется выполнять по формуле А. И. Михальцевича, так как величина изменчивости биоклиматических коэффициентов значительно ниже, чем по формулам, предложенным ТКП 45-3.04-178-2009 (02250). Оросительные системы. Правила проектирования и А. М. и С. М. Алпатьевых.*

**Ключевые слова:** *соя, водопотребление, биоклиматический метод, биоклиматические коэффициенты.*

*The climate has always had a significant impact on such important sectors of the economy as agriculture, forestry and water management. From 1989 to 2015, on the territory of the Republic of Belarus, the average annual air temperature exceeded the climate norm adopted by the World Meteorological Organization by 1.3 °C. The territory of the Republic of Belarus belongs to the zone with sufficient moisture. However, an analysis of natural and climatic changes over the past 30 years shows an increase in the number of dry periods and uneven distribution of precipitation within the growing season. The absence of atmospheric precipitation leads to a decrease in soil moisture reserves below optimal values, which in turn has a negative impact on crop yields. On average, the lack of moisture in mineral soils during the summer period in a dry year with a frequency of one cut in 5 years ranges from 80–150 mm in the northern to 190–240 mm in the southern parts of Belarus. Under the current conditions, the use of irrigation reclamation can become a means of obtaining stable and high yields. When compiling the design irrigation regime, the main factor is the ten-day and total water consumption.*

*The accuracy of determining water consumption determines the value of irrigation and irrigation norms, which in turn form the value of production costs for irrigation. The accuracy of determining the amount of soybean water consumption in water balance calculations depends on the accuracy of determining the bioclimatic coefficients. The magnitude of the variability of bioclimatic coefficients introduces an error in the calculation of water consumption even in the same soil-climatic zone. The article presents the results of studies to determine the values of ten-day bioclimatic coefficients of soybean water consumption depending on meteorological conditions. A comparison of various calculated dependences for determining water consumption, which is based on the deficit of air humidity, is made. An assessment of the variability of bioclimatic coefficients over the years of research, depending on the heat and moisture supply, was made.*

*As a result of assessing the magnitude of the variability of the bioclimatic coefficients of water consumption of soybeans, it was found that to calculate the water consumption of soybeans, it is recommended to carry out according to the formula of A.I. Mikhaltsevich, since the magnitude of the variability of bioclimatic coefficients is much lower than according to the formulas proposed by ТКП 45-3.04-178-2009 (02250). Irrigation systems. Design rules and A. M. and S. M. Alpatiev.*

**Key words:** *soybean, water consumption, bioclimatic method, bioclimatic coefficients.*

### **Введение**

Анализ условий естественной влагообеспеченности минеральных почв Беларуси свидетельствует о крайней неравномерности распределения осадков как по годам, так и в отдельные периоды вегетации. В результате чего не обеспечивается оптимальный водный режим почв для возделывания сель-

скохозйственных культур. Недостаток увлажнения минеральных почв за летний период в сухой год повторяемостью один раз в 5 лет составляет от 80–150 мм в северной до 190–240 мм в южной частях Беларуси [1]. Компенсировать недостаток почвенной влаги возможно путем применения оросительных мелиораций. Наиболее распространенный способ орошения на территории Республики Беларусь – дождевание.

Водопотребление сельскохозяйственных культур является важной составляющей уравнения водного баланса почвы орошаемого поля. От точности определения водопотребления зависит величина оросительной нормы и продолжительность минимального межполивного интервала.

Существует много методов определения водопотребления сельскохозяйственных культур. Наиболее точные результаты дают экспериментальные исследования, позволяющие установить величину эвапотранспирации как в целом за вегетацию, так и за отдельные ее периоды. Однако эти эксперименты довольно трудоемки и требуют многолетних наблюдений. Поэтому все больший интерес вызывают расчетные методы определения суммарного испарения [2, с. 66].

Расчетные методы основаны на определении корреляционной зависимости между водопотреблением и одним или группой показателей.

Исследования В. Ф. Шебеко [3, с. 134] показывают, что для условий Беларуси наиболее тесная зависимость водопотребления установлена с радиационным балансом, дефицитом влажности воздуха и с температурой воздуха.

На территории СССР при расчетах водопотребления широкое распространение получил биоклиматический метод, теоретически обоснованный А. М. Алпатьевым [4] и внедренный на практике С. М. Алпатьевым [5]. По данному методу водопотребление сельскохозяйственных культур можно определить, как за отдельные промежутки вегетационного периода (декада, месяц), так и за вегетационный период в целом. Водопотребление определяется по формуле

$$E_i = K_i \Sigma d_i \quad (1)$$

где  $K_i$  – биоклиматический коэффициент водопотребления, изменяющийся в вегетационном периоде (по  $i$ -м периодам), мм/мб;  $\Sigma d_i$  – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за рассматриваемый период, мб.

Формула (1) применима при достаточном уровне увлажнения и при высокой урожайности сельскохозяйственных культур, когда водопотребление ограничивается теплоэнергетическими ресурсами и дальнейший рост урожайности не сопровождается ростом потребности в воде. недостатком данного метода является изменчивость биоклиматических коэффициентов не только по регионам, но и по годам в зависимости от метеорологических условий.

В свою очередь А. И. Михальцевич [6] предложил для климатических условий Республики Беларусь следующую формулу для расчета водопотребления

$$E_i = 1,74 n K_i d_i^{0,4} \quad (2)$$

где 1,74 – эмпирический коэффициент;  $n$  – число суток в расчетном периоде;  $K_i$  – биоклиматический коэффициент, вычисленный по дефицитам влажности воздуха, мм/мб;  $d_i$  – среднесуточный дефицит влажности воздуха за расчетный период, мб.

Также для расчета величины водопотребления в Беларуси применяется формула приведенная в ТКП-45.304-178-2009 (02250) [7] которая имеет следующий вид

$$E_i = 1,35 n K_i d_i^{0,5} \quad (3)$$

где  $n$  – число суток в декаде;  $K_i$  – биоклиматический коэффициент при оптимальной влажности почвы, мм/мб;  $d_i$  – среднесуточное значение дефицита влажности воздуха, мб/сут.

Биоклиматические коэффициенты водопотребления сои в природно-климатических условиях Республики Беларусь ранее не определялись, что делает данное исследование актуальным. В процессе проведения исследований определены биоклиматические и биотермические коэффициенты водопотребления сои.

#### Основная часть

Для определения значений биоклиматических коэффициентов водопотребления сои в 2014–2018 гг. были проведены полевые опыты по орошению сои на учебно-опытном оросительном комплексе «Гушково-1», расположенном на опытном поле УО БГСХА Могилевской области.

На дерново-подзолистых суглинистых почвах выполнен посев сои сорта Ясельда.

Схема опыта включала в себя следующие варианты:

- 1 – контроль (без орошения);
- 2 – орошение при снижении предполивной влажности до 60 % НВ;
- 3 – орошение при снижении предполивной влажности до 70 % НВ;
- 4 – орошение при снижении предполивной влажности до 80 % НВ.

На основании данных, полученных в ходе проведения исследований, используя формулы (1) – (3) обратным счетом были получены декадные значения биоклиматических коэффициентов по вариантам полевого опыта. Для определения величины изменения биоклиматических коэффициентов в годы проведения исследований построены графики отклонения декадных биоклиматических коэффициентов за конкретный год исследований от соответствующих им осредненных значений за 2014–2018 годы.

Биоклиматические коэффициенты водопотребления сои, рассчитанные по формуле А. М. и С. М. Алпатьевых, подвержены большой изменчивости как по годам, так и по декадам внутри лет (рис. 1), что объясняется различной тепловлагообеспеченностью, характером развития растений и урожайностью. Анализ полученных биоклиматических коэффициентов показывает, что они возрастают к середине вегетационного периода, достигая наибольших значений в период формирования и налива бобов. Наибольшее отклонение биоклиматических коэффициентов наблюдается в период с 3-й декады июня по 2-ю декаду августа. Отклонения биоклиматических коэффициентов в данный период может составлять от 32 до 65 % от средних значений в зависимости от варианта опыта. Полученные нами коэффициенты детерминации показывают, что отклонение биоклиматических коэффициентов зависит от влагообеспеченности сои. Наибольшая величина коэффициента детерминации ( $R^2=0,43$ ) соответствует варианту с нижним пределом регулирования влагозапасов на уровне 80 % от наименьшей влагоемкости.

Расчет биоклиматических коэффициентов по формуле Михальцевича показал, что в среднем за годы исследований они изменяются от 0,4 до 0,89 мм/мб. Отклонения декадных коэффициентов водопотребления в годы проведения исследований от средних значений приведено на рис. 2. По сравнению с данными полученными по формуле А. М. и С. М. Алпатьевых биоклиматические коэффициенты, определенные по формуле Михальцевича имеют меньшие отклонения от средних значений, что подтверждается величиной коэффициента детерминации, который равен 0,63 на варианте без орошения и 0,69 на варианте с нижним пределом регулирования влагозапасов 80 % от наименьшей влагоемкости.

Аналогичный вывод можно сделать и для биоклиматических коэффициентов, рассчитанных по формуле (3). В среднем за вегетационный период биоклиматические коэффициенты изменялись от 0,4 до 0,95 мм/мб. Оценка изменчивости биоклиматических коэффициентов по годам исследований приведена на рис 3. Величина коэффициента детерминации по вариантам опыта составляет от 0,58 до 0,64, что ниже значений, полученных по формуле (2).

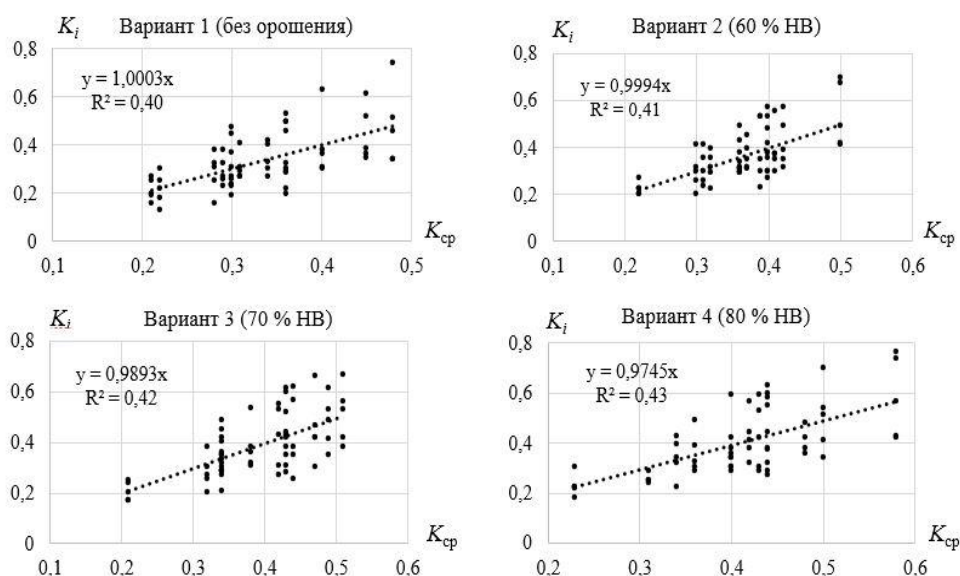


Рис. 1. Отклонение декадных биоклиматических ( $K_i$ ) коэффициентов водопотребления сои от средних за 2014–2018 гг. коэффициентов ( $K_{cp}$ ) рассчитанных по формуле А. М. и С. М. Алпатьевых

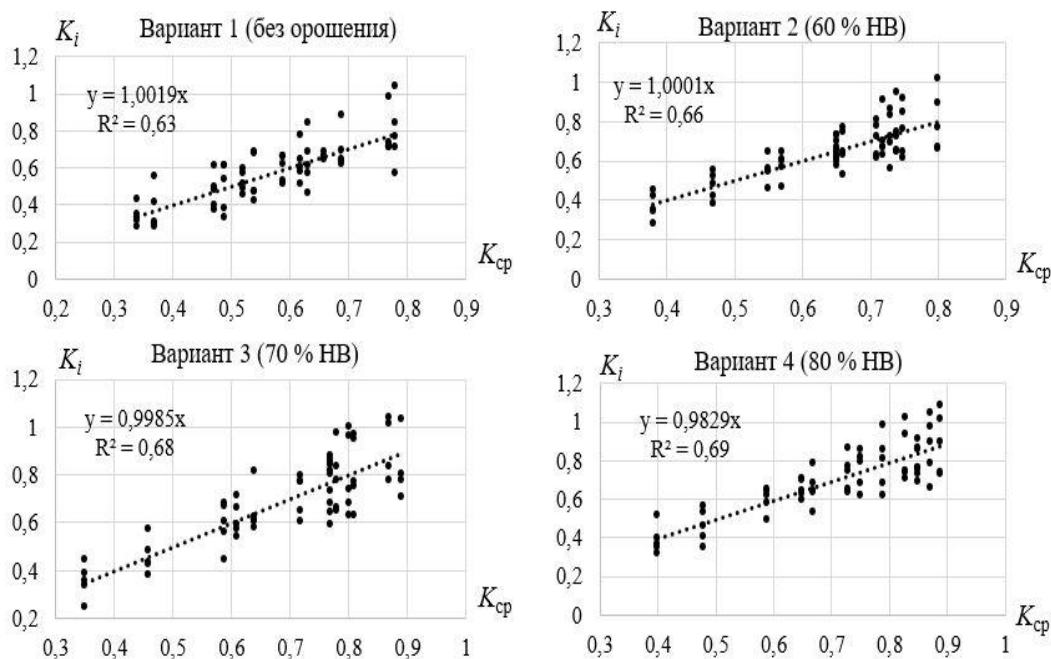


Рис. 2. Отклонение декадных биоклиматических ( $K_i$ ) коэффициентов водопотребления сои от средних за 2014–2018 гг. коэффициентов ( $K_{cp}$ ) рассчитанных по формуле А. М. Михальцевича

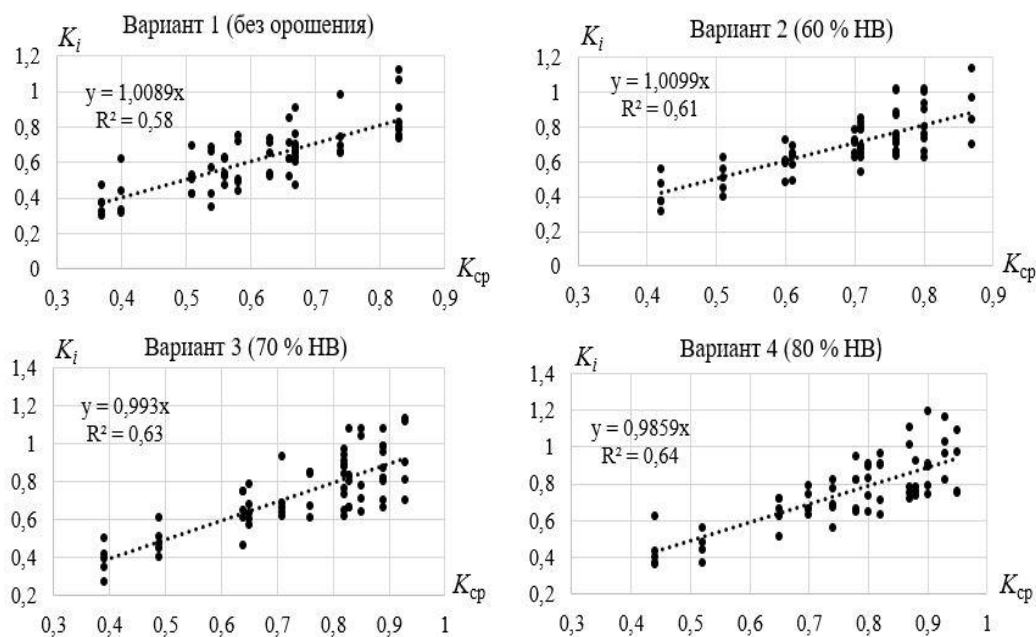


Рис. 3. Отклонение декадных биоклиматических ( $K_i$ ) коэффициентов водопотребления сои от средних за 2014–2018 гг. коэффициентов ( $K_{cp}$ ) рассчитанных по формуле ТКП 45-3.04-178-2009 (02250)

Таким образом установлено, что для расчета водопотребления сои рекомендуется выполнять по формуле А. И. Михальцевича, так как величина изменчивости биоклиматических коэффициентов значительно ниже, чем по формулам предложенным ТКП 45-3.04-178-2009 (02250). Оросительные системы. Правила проектирования и А. М. и С. М. Алпатьевых.

Полученные нами данные хорошо согласуются с исследованиями С. В. Набздорова [8] который отмечал, что осреднение численных значений декадных биоклиматических коэффициентов сахарной свеклы, полученных с использованием формулы А. И. Михальцевича, не приводит к большим ошибкам при расчете водопотребления.

#### Заключение

Точность определения величины водопотребления сои в водобалансовых расчетах зависит от точности определения биоклиматических коэффициентов. Величина изменчивости биоклиматических

коэффициентов вносит погрешность в расчет водопотребления даже в условиях одной и той же почвенно-климатической зоне. В результате проведенных исследований установлено, что биоклиматические коэффициенты, рассчитанные по формуле А. И. Михальцевица, характеризуются наименьшей изменчивостью в годы проведения исследований, что подтверждается коэффициентами детерминации в пределах от 0,63 до 0,69. Применение данных коэффициентов при расчете режима орошения позволит получить минимальную погрешность при определении водопотребления.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Желязко, В. И. Опыт дождевания японского проса (*Echinochloa frumentacea* link) в условиях Республики Беларусь / В. И. Желязко // Вестник БГСХА. – 2017. – №3 – С. 111–116.
2. Лихацевич, А. П. Дождевание сельскохозяйственных культур: Основы режима при неустойчивой естественной влагообеспеченности / А. П. Лихацевич. – Минск: Бел. наука, 2005. – 278 с.
3. Шебеко В. Ф. Гидрологические расчеты при проектировании осушительных и осушительно-увлажнительных систем / В. Ф. Шебеко, П. И. Закржевский, Э. А. Брагилевская. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. – 312 с.
4. Алпатьев, А. М. Влагооборот культурных растений / А. М. Алпатьев. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 248 с.
5. Алпатьев, С. М. Поливной режим сельскохозяйственных культур в южной части Украины: докл.-реф. дис. ... д-ра с.-х. наук / С. М. Алпатьев. – Киев, 1965. – 88 с.
6. Михальцевич, А. И. О совершенствовании биоклиматического метода расчета испарения с орошаемых полей / А. И. Михальцевич // Мелиорация переувлажненных земель: сб. науч. тр. / Белорус. НИИ мелиорации и вод. хозяйства. – Минск: Ураджай, 1979. – Т. XXVII. – С. 42–46.
7. Оросительные системы. Правила проектирования: ТКП 45-3.04-178-2009 (02250). – Введ. 29.12.2009 г. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 72 с.
8. Набздоров, С. В. Оценка точности расчета водопотребления сахарной свеклы с использованием биоклиматического метода / С. В. Набздоров, А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина // Мелиорация. – 2022. – № 1 (99). – С. 22–28.