

МЕЛИОРАЦИЯ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО

УДК 631.67:633.34

БИОКЛИМАТИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ СОИ И ИХ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Е. А. ВЧЕРАШНИЙ, В. И. ЖЕЛЯЗКО

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

(Поступила в редакцию 13.11.2023)

Республика Беларусь, как страна с интенсивно развивающимся животноводством, нуждается в укреплении собственной кормовой базы. Повышение эффективности животноводства достигается множеством факторов, главным из которых является полноценное и сбалансированное кормление сельскохозяйственных животных. На территории Республики Беларусь наблюдается рост среднегодовой температуры воздуха и сельское хозяйство уже сталкивается с проблемой недостаточной влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, пересыханием пахотного слоя и другими проявлениями засух.

Оросительные мелиорации в сложившейся ситуации являются гарантом получения высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур. При разработке 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. При расчете водопотребления широко применяется биоклиматический метод. Основным недостатком данного метода является изменчивость биоклиматических коэффициентов не только по регионам, но и в пределах одной климатической зоны по годам в зависимости от погодных условий. В результате проведения исследований установлены декадные биоклиматические коэффициенты водопотребления сои по годам проведения исследований. Средние за период вегетации биоклиматические коэффициенты сои для сухого (2015 г.) и влажного (2017 г.) составляли 0,81 и 0,61 соответственно. Изменчивость биоклиматических коэффициентов существенна и может приводить к погрешностям при расчете режима орошения. Для корректировки биоклиматических коэффициентов водопотребления сои для конкретного года получена расчетная зависимость с коэффициентом детерминации 0,81. Расчеты водопотребления с применением полученной зависимости показывают, что отклонения от фактически полученного водопотребления, в результате проведения опыта, в среднем не превышают 4,45 %.

Ключевые слова: орошение, биоклиматические коэффициенты, соя, режим орошения, суммарное водопотребление.

The Republic of Belarus, as a country with intensively developing livestock farming, needs to strengthen its own feed base. Increasing the efficiency of livestock farming is achieved by many factors, the main one of which is complete and balanced feeding of farm animals. On the territory of the Republic of Belarus, there is an increase in the average annual air temperature and agriculture is already faced with the problem of insufficient moisture supply for crops, drying out of the arable layer and other manifestations of droughts.

Irrigation reclamation in the current situation is a guarantee of obtaining high and stable crop yields. When developing a design irrigation regime, the main factor is the amount of 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. When calculating water consumption, the bioclimatic method is widely used. The main disadvantage of this method is the variability of bioclimatic coefficients not only across regions, but also within one climatic zone over the years depending on weather conditions. As a result of the research, ten-day bioclimatic coefficients of soybean water consumption were established by year of research. The average soybean bioclimatic coefficients for the growing season for dry (2015) and wet (2017) were 0.81 and 0.61, respectively. The variability of bioclimatic coefficients is significant and can lead to errors in calculating the irrigation regime. To adjust the bioclimatic coefficients of soybean water consumption for a specific year, a calculated relationship with a coefficient of determination of 0.81 was obtained. Calculations of water consumption using the obtained dependence show that deviations from the actual water consumption obtained as a result of the experiment do not exceed 4.45 % on average.

Key words: irrigation, bioclimatic coefficients, soybeans, irrigation regime, total water consumption.

Введение

Климат всегда оказывал существенное влияние на человеческую деятельность. Особенно подвержены воздействию климата такие погодозависимые отрасли экономики, как сельское, лесное и водное хозяйство. С 1989 года в Беларуси начался самый продолжительный период потепления за все

время инструментальных наблюдений за температурой воздуха на протяжении последних почти 130 лет. За период с 1989 по 2015 г. среднегодовая температура воздуха в Беларуси на 1,3 °С превысила климатическую норму, принятую Всемирной метеорологической организацией (ВМО). Изменение климата вызывает как отрицательные, так и положительные последствия с точки зрения результатов сельскохозяйственного производства. При этом, поскольку происходят изменения сложившегося уклада, то адаптироваться надо к обоим видам последствий. Рост теплообеспеченности в определенных пределах способствует расширению и улучшению структуры растениеводства, но при значительном росте среднегодовой температуры сельское хозяйство в южных и восточных районах Республики Беларусь уже сталкивается с проблемой недостаточной влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, пересыханием пахотного слоя и другими проявлениями засух [1, с. 4].

Повышение температуры воздуха в северо-восточной части Беларуси создает благоприятные условия для возделывания такой ценной белковой культуры как соя. Зерно сои содержит от 40 до 45 % белка, 20–23 % масла, до 30 % углеводов, а также богатый комплекс витаминов и минеральных веществ. Наличие в соевом белке полного набора необходимых для животных незаменимых аминокислот обуславливает особый статус этой культуры в мировом земледелии.

Соя влаголюбивая культура, за вегетационный период соя расходует значительно большее количество воды, чем зерновые колосовые культуры. Общий расход воды за период вегетации в зависимости от места и условий выращивания составляет от 3 до 5,5 тыс. м³. При этом максимальное водопотребление наблюдается на фазу цветения и налива бобов. Недостаток почвенной влаги в данный период наиболее негативно влияет урожайность сои [2, с. 147].

Учитывая вышеперечисленные факты, можно сделать вывод, что получение высоких и стабильных урожаев сои возможно при возделывании ее в условиях орошения. 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.

Разработка проектного режима орошения основана на выполнении водобалансовых расчетов.

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 оросительного периода. От точности водобалансового расчета зависит точность определения даты начала очередного полива [3, с. 6].

При выполнении водобалансовых расчетов наиболее сложно определить водопотребление. Расчетные методы определения водопотребления основаны на определении корреляционной зависимости между водопотреблением и одним или группой метеорологических показателей.

В настоящее время широко применяется биоклиматический метод определения водопотребления, теоретически обоснованный А. М. Алпатьевым [4] и внедренный на практике С. М. Алпатьевым [5]. Для условий Республики Беларусь этот метод был доведен до практического применения М. Г. Голченко [6], А. И. Михальцевичем [10]. В качестве метеорологического фактора используется дефицит влажности воздуха как комплексный показатель условий испарения. Основным недостатком данного метода является изменчивость биоклиматических коэффициентов не только по регионам, но и в пределах одной климатической зоны по годам в зависимости от погодных условий.

Данная особенность может внести погрешность в расчеты водопотребления и снизить их качество.

Устранение данного недостатка возможно путем корректировки биоклиматических коэффициентов посредством установления связей их значений с местными метеорологическими показателями.

На территории Республики Беларусь корректировку биоклиматических коэффициентов можно выполнить по формуле, предложенной М. Г. Голченко [6, с. 17]. Формула имеет вид:

$$K_i = \left(-0,46 + 1,46 \frac{\sum d_i}{\sum d_{cp}} \right) K_{cp}, \quad (1)$$

где K_{cp} – среднееголетнее значение биоклиматического коэффициента характерное для конкретной культуры и расчетного периода при среднееголетних климатических условиях, мм/мб;

$\sum d_{cp}$ – среднееголетняя сумма дефицитов влажности воздуха, мб; $\sum d_i$ – сумма дефицитов влажности воздуха для конкретного года, мб.

Формула (1) применима при отношении $\sum d_i / \sum d_{cp} = 0,5 \dots 1,5$. При этом обязательным условием является то, что $\sum d_{cp}$ принимается за тот же расчетный период и осредняется за те же годы, что и K_{cp} .

В свою очередь сезонный ход K_{cp} и $\sum d_{cp}$ отражающий динамику фаз биологического развития культур, вычисляется через сумму среднесуточных температур воздуха, накопленную от начала вегетации к середине расчетного периода используя зависимости:

$$K_{cp} = a_0 + a_1 \sum t_{np} + a_2 \sum t_{np}^2; \quad (2)$$

$$\sum d_{cp} = b_0 + b_1 \sum t_{np} + b_2 \sum t_{np}^2, \quad (3)$$

где $\sum t_{np}$ – сумма среднесуточных температур воздуха, накопленная от посадки (посева) к середине расчетного интервала, уменьшенная в 1000 раз, °С; $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – эмпирические коэффициенты, зависящие от вида сельскохозяйственных культур.

Оценка изменчивости биоклиматических коэффициентов для сои при возделывании в северо-восточной части Республики Беларусь в условиях орошения ранее не проводилась, что говорит о актуальности проведения данных исследований.

Основная часть

В 2014–2018 гг. на полях опытно-производственного комплекса «Тушково-1» Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, расположенного в Горечком районе Могилевской области, проводились исследования по определению оптимального водного режима при орошении сои. Почвы опытного участка дерново-палево-подзолистые легкосуглинистые, подстилаемые моренным суглинком с глубины 1 м. На опытном участке высевалась соя сорт «Ясельда», включенный в Государственный реестр в 1998 г. [7, с. 37]. Регулирование водного режима осуществлялось в слое почвы 0–40 см. Мощность расчетного слоя выбрана исходя из гранулометрического состава почвы [8, с. 5] и расположения основной корней. Для сои характерна стержневая корневая система с активно развивающимися многочисленными боковыми корнями, стержневой корень может проникать на глубину до 60 см [2, с. 42]. Технология возделывания сои соответствовала действующим рекомендациям производству [9].

Схема опыта была следующей: вариант 1 – контроль (без орошения); вариант 2 – орошение при снижении предполивной влажности до 60 % НВ; вариант 3 – орошение при снижении предполивной влажности до 70 % НВ; вариант 4 – орошение при снижении предполивной влажности до 80 % НВ. Каждый вариант имеет четырехкратную повторность.

Метеоусловия вегетационного периода фиксировались на метеоплощадке, расположенной в 150 метрах от опытного участка. Контроль за выдаваемой поливной нормой осуществлялся посредством установки дождемеров.

Водопотребление сои по вариантам опыта определялось методом водного баланса. Декадное водопотребление определялось по интегральным кривым, построенным на основании данных полученных методом водного баланса. Биоклиматические коэффициенты определялись расчетным путем по формуле расчета водопотребления, предложенной А. И. Михальцевичем [10], для климатических условий Республики Беларусь:

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

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.

Декадные значения биоклиматических коэффициентов для оптимальных условий увлажнения по годам проведения исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1. Декадные значения биоклиматических коэффициентов водопотребления сои

Год	Декада от начала вегетации													Среднее за вегетацию
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
2014	0,35	0,61	0,7	0,86	0,97	0,86	0,89	0,86	0,83	0,97	0,82	0,68	0,35	0,75
2015	0,37	0,65	0,64	0,77	0,85	0,85	1,08	1,02	0,91	0,97	0,85	0,88	0,66	0,81
2016	0,55	0,64	0,71	0,86	0,98	1,07	1,01	0,94	1,07	1,05	0,79	0,64	0,53	0,84
2017	0,39	0,49	0,62	0,65	0,61	0,76	0,73	0,71	0,76	0,66	0,61	0,53	0,46	0,61
2018	0,34	0,58	0,6	0,63	0,68	0,75	0,72	0,74	0,78	0,9	0,78	0,63	0,40	0,66
Среднее за 2014–2018 гг.	0,4	0,59	0,65	0,75	0,82	0,86	0,89	0,85	0,88	0,91	0,77	0,67	0,48	0,73

Анализ полученных биоклиматических коэффициентов показывает, что они возрастают к середине вегетационного периода, достигая наибольших значений в период формирования и налива бобов сои.

В данный период растения сои достигают наибольшей площади листовой поверхности и наиболее требовательны к влаге. Также можно отметить тот факт, что декадные значения биоклиматических коэффициентов водопотребления обладают значительной изменчивостью. Колебания биоклиматических коэффициентов по декадам обусловлены различной тепловлагообеспеченностью, а также характером развития растений и урожайностью. Например, в сухом 2015 г. значения биоклиматических коэффициентов водопотребления сои к середине вегетационного периода достигали 1,02–1,08 мм/мб, а в влажном 2017 г. они не превышали 0,73 – 0,76 мм/мб.

Полученные нами данные хорошо согласуются с исследованиями, проводимыми О. А. Шавлинским при орошении моркови и столовой свеклы [11].

Осредненные за годы исследований биоклиматические коэффициенты могут внести погрешность в расчеты водопотребления сои ввиду значительных их колебаний в зависимости от тепло и влагообеспеченности в условиях одной климатической зоны. В условиях северо-восточной части Республики Беларусь средние за вегетацию биоклиматические коэффициенты водопотребления сои для сухого (2015 г.) и влажного (2017 г.) составляли 0,81 и 0,61 соответственно.

Для определения возможности применения формулы, предложенной М. Г. Голченко для корректировки биоклиматических коэффициентов водопотребления, нами рассчитаны значения параметров B (K_i/K_{cp}) и A (di/d_{cp}). Анализ полученных данных показал, что в отдельные периоды отношение годовых сумм дефицитов влажности воздуха к средним в годы проведения исследований (di/d_{cp}) превышают пределы применимости формулы. По рассчитанным значениям A и B построен график зависимости (рис. 1). Для определения тесноты связи данных показателей использовались: линейная, логарифмическая, степенная и обратная функции.

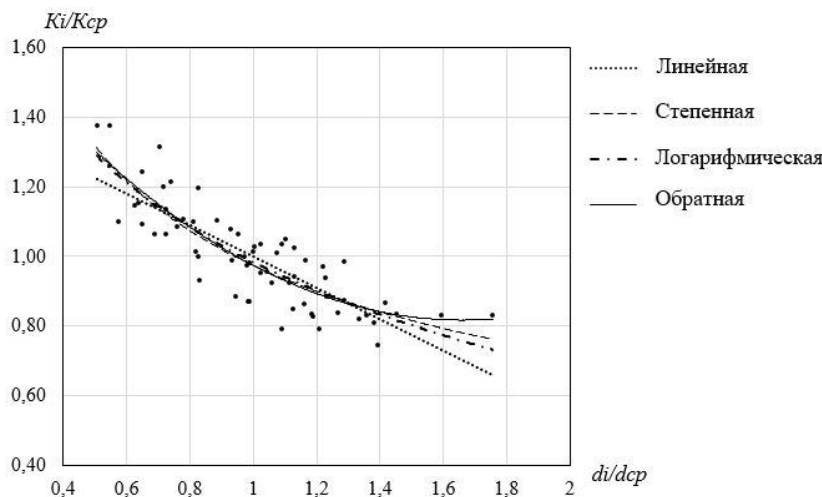


Рис. 1. Изменчивость биоклиматических коэффициентов водопотребления сои

В результате обработки данных методом пошаговой множественной регрессии получены уравнения связи между рассматриваемыми параметрами, позволившие получить расчетные зависимости для расчета значений биоклиматических коэффициентов для конкретного года. Расчетные зависимости и их статистическая оценка полученных зависимостей приведена в табл. 2.

Таблица 2. Зависимости для расчета биоклиматических коэффициентов и их статистическая оценка

Функция	Уравнение связи между параметрами A и B	Расчетная зависимость	Коэффициент корреляции (R)	Коэффициент детерминации (R^2)
Линейная	$B = -0,45A + 1,45$	$K_i = \left(-0,45 + 1,45 \frac{\sum d_i}{\sum d_{cp}} \right) K_{cp}$	0,83	0,69
Степенная	$B = 0,974A^{-0,427}$	$K_i = K_{cp} \left(0,974 \frac{\sum d_i}{\sum d_{cp}} \right)^{-0,436}$	0,85	0,73
Логарифмическая	$B = 0,98 - 0,44 \ln A$	$K_i = \left(0,98 - 0,44 \ln \frac{\sum d_i}{\sum d_{cp}} \right) K_{cp}$	0,86	0,74
Обратная	$B = \left(0,59 + \frac{0,41}{A} \right)$	$K_i = \left(0,59 + 0,41 \frac{\sum d_{cp}}{\sum d_i} \right) K_{cp}$	0,90	0,81

Из табл. 2 видно, что для расчета биоклиматических коэффициентов водопотребления сои следует использовать уравнение полученное по обратной зависимости.

Для определения среднесуточных значений биоклиматических коэффициентов и среднесуточных значений дефицита влажности воздуха на основании экспериментальных данных за годы проведения исследований были получены эмпирические коэффициенты для зависимостей (2) и (3). В результате расчетов для сои полученные уравнения для определения K_{cp} и Σd_{cp} имеют вид:

$$K_{cp} = 0,36 + 0,89\Sigma t_{пр} + 0,36\Sigma t_{пр}^2, \quad (5)$$

$$\Sigma d_{cp} = 53,8 + 45,21\Sigma t_{пр} + 19,52\Sigma t_{пр}^2. \quad (6)$$

Используя полученную обратную зависимость и уравнения (5) и (6), были выполнены расчеты водопотребления, используя формулу (1). После чего было выполнено сравнение расчетного водопотребления с данными полученными в годы проведения исследований методом водного баланса (табл. 3).

Таблица 3. Фактическое и расчетное водопотребление сои

Параметр	Год проведения исследований				
	2014	2015	2016	2017	2018
Расчетное водопотребление (по формуле А. И. Михальцевича), мм	374	374	387	353	360
Фактическое водопотребление (метод водного баланса), мм	357	389	365	341	346

В результате сравнения установлено, что отклонение расчетных значений от полученных методом водного баланса в среднем составляет 4,45 %.

Заключение

В результате проведения исследований установлены декадные биоклиматические коэффициенты водопотребления сои по годам проведения исследований. Анализ полученных биоклиматических коэффициентов показывают, что они возрастают к середине вегетационного периода, достигая наибольших значений в период формирования и налива бобов.

Биоклиматические коэффициенты зависят не только от биологических свойств сои, но и от погодных условий вегетационного периода. Установлено, что для расчета биоклиматических коэффициентов водопотребления сои для конкретного года следует использовать обратную зависимость, при этом величина коэффициента детерминации составляет 0,81.

Расчеты показали, что отклонение величины суммарного водопотребления сои полученного расчетным путем в среднем составляет 4,45 % относительно фактически полученных значений в результате проведения опыта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата / В. Мельник [и др.]. – Минск, 2017. – 84 с.
2. Зернобобовые культуры / Д. Шпаар [и др.]. – Минск: ФУАинформ, 2000. – 262 с.
3. Романов, И. А. Влияние способа определения биотермических коэффициентов водопотребления растений на точность расчета водного баланса почвы / И. А. Романов, А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина // Мелиорация. – 2021. – № 1(95). – С. 5–18.
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 л.
6. Голченко, М. Г. Научно-практические основы орошения сельскохозяйственных угодий на минеральных почвах Республики Беларусь: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / М. Г. Голченко. – Минск, 2005. – 49 с.
7. Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Государственное учреждение «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений». – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – 283 с.
8. 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.
9. Основные приемы возделывания сои в Республике Беларусь: (рекомендации производству) / В. Н. Халецкий [и др.]; рец.: Г. В. Пироговская, Л. А. Булавин; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, РУП «Брестская областная сельскохозяйственная опытная станция Национальной академии наук Беларуси». – Минск, 2012. – 23 с.
10. 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.
11. Шавлинский О. А. Нормирование орошения моркови и столовой свеклы на дерново-подзолистых почвах Беларуси: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / О. А. Шавлинский. – Горки, 1985. – 185 с.