

УДК 626.810

Канд. техн. наук Г.Е. Жидекулова *

**МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОКЛИМАТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В РАЗЛИЧНЫХ
АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ КАЗАХСТАНА***ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ, РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ, УРАВНЕНИЕ, ИСПАРЯЕМОСТЬ*

На основе систематизации материалов по изучению режима орошения сельскохозяйственных культур в различных агроклиматических зонах Казахстана построена модель для создания информационного, методологического и программного обеспечения нормирования водопотребности сельскохозяйственных угодий.

Введение. Основной целью мелиорации сельскохозяйственных земель является создания благоприятных условий не только для растений и почвы, а также для жизнедеятельности человека и соблюдения экологического равновесия агроландшафтных систем с наименьшими отрицательными последствиями для природной среды за счет управления биологическими и геологическими круговоротами воды и химических веществ. При этом инструментами регулирования и управления биологическими и геологическими круговоротами воды и химических веществ на орошаемых землях являются нормы водопотребности сельскохозяйственных угодий, которые определяются на основе законов сохранения энергии. Как известно, для обоснования нормы водопотребности сельскохозяйственных культур положен процесс влагообмена между деятельной поверхностью участка и воздухом, где их биологические особенности учитываются с помощью биологического коэффициента, изменяющегося в соответствии с фазами развития растений. Большая изменчивость биоклиматического (биологического и микроклиматического) коэффициента в пространстве и времени требует необходимости аппроксимации их для разработки программного обеспечения расчета режима орошения сельскохозяйственных культур.

* Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати

Цель работы – разработать модель построения биологических коэффициентов сельскохозяйственных культур для создания информационного, методологического и программного обеспечения нормирования водопотребности сельскохозяйственных угодий.

Методы исследований и материал. В настоящее время широкое распространение получили эмпирические методы расчета водопотребления по метеорологическим параметрам с применением поправок на изменяющиеся условия среды биоценоза в виде различных коэффициентов. Данные методы основаны на использовании уравнений, характеризующих динамику тепло- и влагообмена в системе «почва – растение» [3].

Теоретической основой расчетных методов при наличии оптимального водоснабжения растений является существование тесной связи между испарением влаги орошаемого поля и энергетическими ресурсами атмосферы, которые оцениваются биоклиматическими коэффициентами водопотребления [1].

Практически для определения суммарного водопотребления можно использовать любое эмпирическое уравнение, характеризующее испаряемость, если известны, или представляется возможным установить биологические (K_{σ}) и микроклиматические (K_0) коэффициенты, нивелирующие количественные расхождения между фактическим водопотреблением (E_v) оптимально орошаемой культуры и испаряемостью (E_0), т.е. $E_v = K_{\sigma} \cdot K_0 \cdot E_0$ [1].

В методике и расчетных моделях нормирования орошения на основе биоклиматического метода в качестве расчетной зависимости для определения испаряемости используется модифицированная формула Н.Н. Иванова, которая имеет следующий вид [2]:

$$E_0 = K_t \cdot d \cdot f(v),$$

где K_t – энергетический фактор испарения, мм/мб; d – дефицит влажности воздуха, мб; $f(v)$ – функция, учитывающая влияние скорости ветра на испарение.

При этом, d и $f(v)$ характеризует аэродинамическую составляющую испарения, а K_t – энергетическую.

Энергетический (температурный) фактор испарения K_t учитывает нелинейность связи между E_0 и d . В зависимости от температуры воздуха он может быть рассчитан по формуле: $K_t = 0,0061(25+t)^2 / e_a$, где t –

температура воздуха за расчетный период, °С; e_a – упругость насыщенного пара, соответствующая этой температуре (табличное число), мб.

Дефицит влажности воздуха (дефицит упругости насыщения) принимается по данным метеорологических наблюдений или рассчитывается через относительную влажность воздуха по формуле: $d = e_a(91 - 0,01a)$, где a – относительная влажность воздуха за расчетный период, %.

Ветровую функцию можно определить по предлагаемой зависимости: $f(v) = 0,64(1 + 0,19v)$, где v – скорость ветра на высоте 2 м от поверхности земли, м/с.

Для построения модели биологических коэффициентов сельскохозяйственных культур использованы материалы Казахского научно-исследовательского института водного хозяйства. Рассчитаны биологические коэффициенты сельскохозяйственных культур, которые привязаны к сумме накопленных температур воздуха выше 10 °С с момента посева с интервалом 200 °С, на основе систематизации данных научных исследований по изучению режима орошения сельскохозяйственных культур в различных агроклиматических зонах Казахстана [6].

Результаты и интерпретация. Биологические коэффициенты сельскохозяйственных культур, кроме их биологических особенностей, изменчивы во времени и пространстве. В связи с этим, при использовании биологических коэффициентов в районах с различным климатом, а также согласовании вегетационных периодов по фазам развития растений данный показатель привязывают к сумме температур за вегетационный период, а для календарной привязки коэффициентов используется температурная кривая $\bar{T}_i = \sum t / 1000$ [4, 5] (рис. 1 и 2).

При изучении зависимости между двумя признаками ($K_c = f(\bar{T})$) графический метод подбора вида уравнения регрессии достаточно нагляден, т.е. он основан на поле корреляции. На основании приведенной на рис. 1 кривой $K_c = f(\bar{T})$ можно сделать вывод, что биоклиматические коэффициенты сельскохозяйственных культур, кроме люцерны достигают максимальных значений в критические по отношению к влаге периоды вегетации растений и дальнейшее изменение этих показателей зависит от биологических особенностей культур, т.е. они убывают к концу вегетации. При этом, как видно на рис. 1, зависимость биологического коэффициента

кукурузы от температурной кривой хорошо описывается уравнением параболы третьей степени $y = -0,196x^3 + 0,501x^2 + 0,034x + 0,468$, с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,99$.

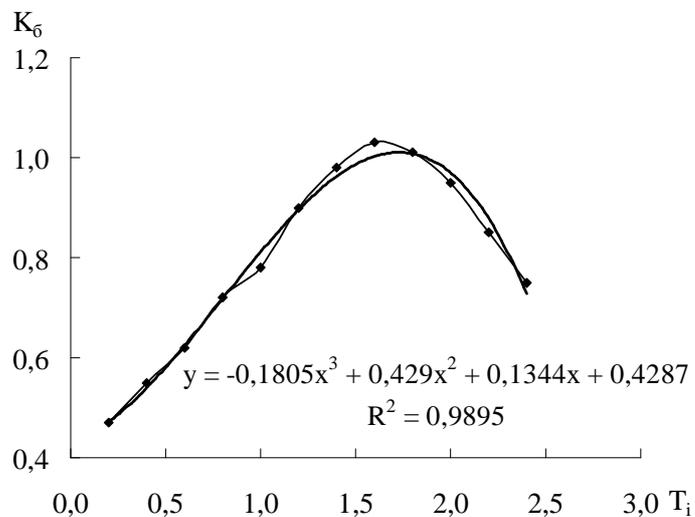


Рис. 1. Зависимость биологического коэффициента кукурузы (K_6) от температурной кривой ($\bar{T}_i = \sum t/1000$) в пустынной зоне Казахстана.

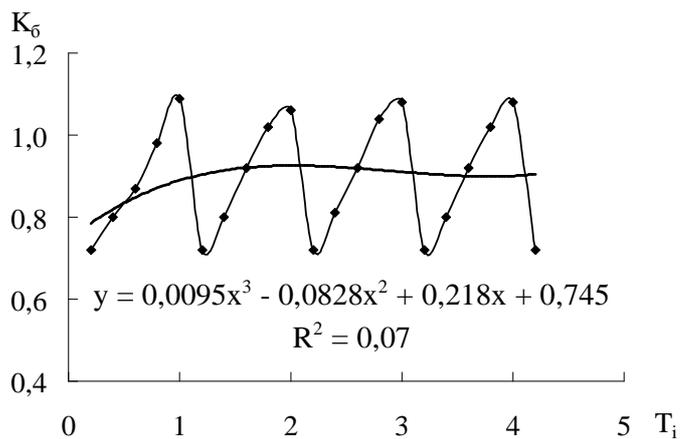


Рис. 2. Зависимость биологического коэффициента люцерны (K_6) от температурной кривой ($\bar{T}_i = \sum t/1000$) в пустынной зоне Казахстана.

Характер изменения биоклиматических коэффициентов покосных культур (люцерны) (рис. 2) резко отличается, т.е. у многолетних трав после

каждого укоса наблюдается снижение водопотребления и уменьшение биоклиматических коэффициентов, их значения после каждого укоса до следующего укоса увеличиваются, что связано с их биологической особенностью. В зависимости от биологических особенностей люцерны (многолетняя трава), этот процесс повторяется через одинаковые промежутки времени после каждого укоса, т.е. такие процессы называют колебательными. Полученное уравнение имеет вид параболы третьей степени $y = 0,042x^3 + 0,241x^2 + 0,406x + 0,302$, коэффициент корреляции очень низкий ($R^2 = 0,11$).

С другой стороны, если колебание биологического коэффициента люцерны в течение вегетационного периода считать гармоническим колебанием, т.е. колебания, при которых координата (смещение) тела изменяется со временем по закону косинуса или синуса, то оно описывается уравнениями:

$$X = X_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) \text{ или } X = X_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_0),$$

где X – координата тела (*смещение* тела из положения равновесия) в момент времени t ; X_m – амплитуда, максимальное смещение тела из положения равновесия (амплитуда колебания зависит только от начального отклонения, начальной энергии, сообщенной колебательной системе); ω – циклическая (или круговая) частота, число полных колебаний за промежуток времени Δt , равный 2π секунд; φ_0 – начальная фаза, определяет положение тела в начальный момент времени.

Следует отметить, что использование уравнения гармонического колебания, для аппроксимации биологического коэффициента сельскохозяйственных культур в некоторой степени усложняется введением в их структуры большого количества неизвестных параметров.

Для обеспечения простоты и надежности определения биологического коэффициента люцерны (многолетних трав), автором рассмотрено простейшее уравнение параболы третьей степени, путем построения биологических кривых по сумме накопленных температур воздуха между укосами (рис. 3), которые обеспечивают достаточно высокий коэффициент корреляции ($R^2 = 0,95$).

При этом следует учитывать, что для созревания люцерны требуется сумма температур не менее 800°C , тогда определение биологического коэффициента люцерны находится в пределах $0^\circ\text{C} < K_\phi < 800^\circ\text{C}$.

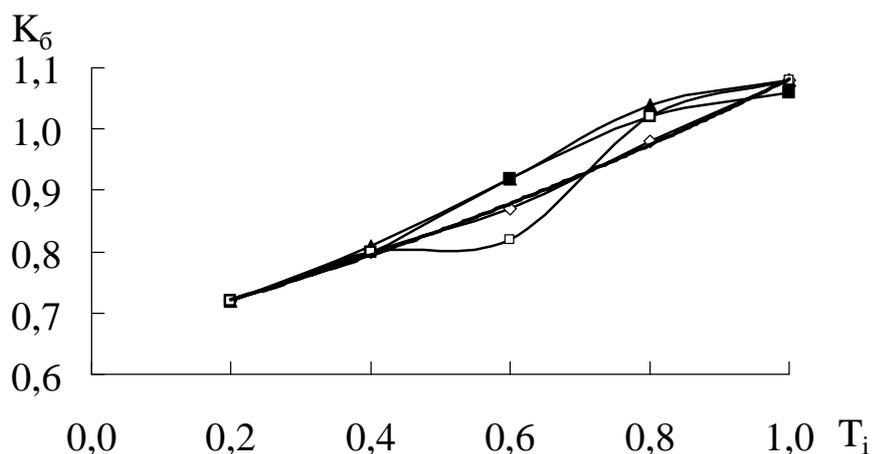


Рис. 3. Зависимость биологического коэффициента (K_6) от температурной кривой ($\bar{T}_i = \sum t/1000$) между укосами люцерны в лесостепной зоне Казахстана.

Эмпирическое изучение функциональной зависимости биологического коэффициента (K_6) сельскохозяйственных культур от температурной кривой ($\bar{T}_i = \sum t/1000$) представлено в виде функции регрессии:

$$K_6 = A \cdot \bar{T}^3 + B \cdot \bar{T}^2 + C \cdot \bar{T} + D,$$

где K_6 – условная средняя величина биологического коэффициента; $\bar{T}_i = \sum t/1000$ – безразмерная температурная кривая, характеризующая сумму температуры воздуха за вегетационный период в нарастающем итоге; A, B, C, D – параметры функции регрессии.

Аналитическая зависимость, полученная на основе теоретически обоснованных уравнений с использованием эмпирических параметров, позволяет учесть влияние изменчивости метеорологических условий, влагообеспеченности посевов на суммарное испарение в конкретные фазы развития сельскохозяйственных культур в различных агроклиматических зонах Казахстана.

На основе экспериментальных данных накопленных при изучении режима орошения сельскохозяйственных культур по физико-географическим зонам Казахстана получены параметры функции регрессии, характеризующей зависимость биологического коэффициента сельскохозяйственных культур от температурной кривой (табл.) [2].

Значения параметров биоклиматического коэффициента
сельскохозяйственных культур для орошаемых зон Казахстана

| Природная зона | Культура | Параметр уравнения | | | |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------|----------|----------|
| | | <i>A</i> | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> |
| Лесостепная | Кукуруза | -0,444 | 1,197 | -0,551 | 0,674 |
| | Пшеница яровая | -1,649 | 2,589 | -0,407 | 0,594 |
| | Озимые колосовые | -3,252 | 5,646 | -2,347 | 1,036 |
| | Многолетние травы | -0,016 | 0,251 | 0,661 | 0,787 |
| Степная | Кукуруза | -0,942 | 2,402 | -1,315 | 0,756 |
| | Пшеница яровая | -1,671 | 2,687 | -0,505 | 0,584 |
| | Картофель | 0,092 | -0,996 | 1,639 | 0,370 |
| | Капуста | -0,403 | 0,736 | 0,310 | 0,467 |
| | Бахчевые | 0,077 | -0,689 | 1,098 | 0,321 |
| | Томаты | -0,480 | 0,938 | 0,046 | 0,540 |
| | Озимые колосовые | +3,263 | 5,684 | -2,361 | 1,020 |
| | Многолетние травы | -0,584 | 0,935 | 0,055 | 0,735 |
| Полупустынная | Кукуруза | -0,378 | 0,923 | -0,219 | 0,523 |
| | Пшеница яровая | -1,590 | 2,455 | -0,324 | 0,535 |
| | Озимые колосовые | -3,101 | 5,353 | -2,155 | 0,973 |
| | Многолетние травы | 0,218 | -0,341 | 0,406 | 0,637 |
| Пустынная | Кукуруза | -0,196 | 0,501 | 0,034 | 0,468 |
| | Сахарная свекла | -0,126 | 0,419 | -0,065 | 0,529 |
| | Пшеница яровая | -1,456 | 2,128 | -0,080 | 0,469 |
| | Картофель | 0,228 | -1,282 | 1,868 | 0,249 |
| | Капуста | -0,121 | 0,139 | 0,563 | 0,403 |
| | Бахчевые | -0,021 | -0,105 | 0,461 | 0,419 |
| | Томаты | 0,197 | -1,085 | 1,573 | 0,348 |
| | Озимые колосовые | -2,581 | 4,308 | -1,577 | 0,873 |
| | Многолетние травы | 0,918 | -1,198 | 0,858 | 0,589 |
| Пустынно-степная | Кукуруза | -0,160 | 0,368 | 0,142 | 0,495 |
| | Сахарная свекла | -0,117 | 0,447 | -0,179 | 0,632 |
| | Пшеница яровая | -1,241 | 2,170 | -0,482 | 0,678 |
| | Озимые колосовые | -1,145 | 1,886 | 0,512 | 0,877 |
| | Многолетние травы | 0,553 | -0,696 | 0,566 | 0,719 |
| Предгорно-степная | Кукуруза | -0,201 | 0,570 | -0,144 | 0,613 |
| | Сахарная свекла | -0,042 | 0,206 | 0,017 | 0,632 |
| | Пшеница яровая | -1,220 | 2,210 | 0,017 | 0,632 |
| | Картофель | 0,155 | -1,027 | -0,607 | 0,743 |
| | Капуста | -0,136 | 0,203 | 0,492 | 0,445 |
| | Бахчевые | -0,026 | -0,085 | 0,446 | 0,436 |
| | Томаты | 0,261 | -1,296 | 1,735 | 0,384 |
| | Озимые колосовые | -1,284 | 2,211 | -0,717 | 0,925 |
| | Многолетние травы | 0,601 | -0,613 | 0,367 | 0,805 |

На основе приведенной системы уравнений биологических коэффициентов сельскохозяйственных культур можно создать информационное, методологическое и программное обеспечение, позволяющее решение задач прогнозирования режима орошения и норм водопотребности сельскохозяйственных угодий с применением геоинформационных систем (ГИС), для технологической поддержки принятия решений. При этом, база системы уравнений биологических коэффициентов сельскохозяйственных культур может стать ядром информационной модели при планировании мероприятий водопользования водохозяйственных систем на основе ГИС-технологий.

Таким образом, располагая количественными параметрами биоклиматических коэффициентов водопотребления сельскохозяйственных культур (табл.); данными наблюдений за осадками, температурой и влажностью воздуха; водно-физическими константами расчётного слоя почвы; агротехническими особенностями возделывания сельскохозяйственных культур; данными о сроках начала и окончания вегетации – возможно прогнозирование режимов орошения сельскохозяйственных культур для различных водохозяйственных зон Казахстана.

Заключение. Использование биологических кривых для нормирования водопотребности сельскохозяйственных культур – наиболее обоснованный и универсальный метод, который можно широко использовать при мелиорации сельскохозяйственных земель в Казахстане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данильченко Н.В. Биоклиматическое обоснование суммарного водопотребления и оросительных норм // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – №4. – С. 25-29.
2. Жидекулова Г. Информационно-программное обеспечение управления орошением в Казахстане. – Тараз: 2015. – 259 с.
3. Константинов А.Р., Струнников Э.А. Нормирование орошения: методы и оценка, пути уточнения // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 1 – С. 20-28. – № 2 – С. 33-42.
4. Мустафаев Ж.С. Почвенно-экологическое обоснование мелиорации сельскохозяйственных земель в Казахстане. – Алматы: Гылым, 1997. – 358 с.
5. Мустафаев Ж.С., Гололобов В.И. Расчет режима орошения сельскохозяйственных культур на ЭВМ-СМ4-20 // Вестник сельскохозяйственных наук Казахстана. – 1988. – №6. – С. 82-86.

6. Оросительные нормы сельскохозяйственных культур в Казахстане. – Джамбул: 1981. – 78 с.

Поступила 17.08.2015

Техн. ғылымд. канд. Г.Е. Жидеқұлова

**ҚАЗАҚСТАННЫҢ ӘРТҮРЛІ АГРОКЛИМАТТЫҚ ЖАҒДАЙЫНДА
АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ БИОКЛИМАТТЫҚ
КОЭФФИЦИЕНТІН ҮЛГІЛЕУ**

Қазақстанның әртүрлі агроклиматтық жағдайында ауылшаруашылық дақылдарының суғару тәртібін зерттеуге арналған мәліметтерді жүйелік зерттеудің негізінде, ауылшаруашылық жерлердің суды тұтыну мөлшерін анықтауды ақпараттық, әдістемелік және жобалық түрде қамтамасыз етуге арналған ауылшаруашылық дақылдарының биоклиматтық коэффициентінің үлгісі құрылған.