

УДК 631.671

**Г. Т. Балакай, Н. И. Балакай**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА И КОРРЕКТИРОВКИ СРОКОВ ПОЛИВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Цель – разработать методику расчета и корректировки сроков полива сельскохозяйственных культур для различных агроклиматических условий с использованием разработанного программного обеспечения, позволяющего автоматизировать и ускорять процессы расчетов и корректировки режимов орошения. В задачи исследований входило: обобщить и проанализировать особенности водопотребления сельскохозяйственных культур в различных агроклиматических условиях; создать алгоритмы расчета и корректировки режима орошения; рассчитать биоклиматические коэффициенты водопотребления и другие коэффициенты для различных условий тепловлагообеспеченности и разработать программное обеспечение с их использованием для расчета сроков полива. Новизна исследований состоит в разработке программного обеспечения, позволяющего автоматизировать и ускорить процессы расчетов и корректировки режимов орошения. Приведен обзор наиболее распространенных расчетных методов определения сроков полива и водопотребления: А. М. и С. М. Алпатьевых, Г. К. Льгова, Н. Н. Иванова, Н. В. Данильченко, Х. Л. Пенмана, Л. Тюрка и Х. Ф. Блейни – В. Д. Криддла, которые позволяют рассчитать суточное испарение для различных культур. Предлагается наиболее точный метод определения испаряемости по формуле Н. Н. Иванова в модификации Н. В. Данильченко на основе исходных запасов влаги в почве и ежесуточных метеорологических показателей (осадки, относительная влажность воздуха, температура, скорость ветра, радиация и пр.) с применением биоклиматических коэффициентов водопотребления, уточненных для Ростовской, Волгоградской и Рязанской областей. Приводятся алгоритмы расчетов и корректировки сроков полива и программное обеспечение расчета сроков полива, которое позволит вести оперативную корректировку сроков и норм полива с экономией оросительной воды.

Ключевые слова: орошение, мелиорация, биоклиматические коэффициенты водопотребления, алгоритм, программа расчета, сроки полива, режим орошения.

**G. T. Balakay, N. I. Balakay**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

## **CALCULATION AND CORRECTION METHODOLOGIES OF CROP IRRIGATION SCHEDULE**

The aim of the work is to develop the methodology for calculating and correcting the agricultural crops irrigation schedule for different agro-climatic conditions with the developed software, allowing computerizing and increasing the processes of calculations and the irrigation regimes correction. The research objectives were: to summarize and analyze the peculiarities of crops water consumption under different agro-climatic conditions; to create algorithms for calculating and adjusting irrigation regime; to calculate bioclimatic coefficients of water consumption and other factors for different conditions of heat and moisture provision and to develop software using them to calculate the irrigation schedule. The novelty of the research

is to develop software that helps to computerize and accelerate the calculating and correcting processes of irrigation schedules. An overview of the most common calculation methods for determining the terms of irrigation and water use Alpatiev A. M. and S. M., Lgov G. K., Ivanov N. N., Danilchenko N. V., Penman Ks. L., Turk L. and Blaney Kh. F. – Kriddl V. D. that allow to calculate daily evaporation for different cultures is given. The most accurate method of determining evaporation by Ivanov N. N.'s formula in Danilchenko N. V. modification on the basis of the initial moisture reserves in soil and daily meteorological data (rainfall, relative air humidity, temperature, wind speed, radiation, etc.) with the use of bioclimatic coefficients of water consumption, specified for Rostov, Volgograd and Ryazan regions is offered. The calculation and correcting algorithms of irrigation schedule and software to calculate the terms of irrigation, which will allow to conduct an operational adjustment of irrigation scheduling and norms with irrigation water savings are suggested.

Keywords: irrigation, land reclamation, bioclimatic factors of water consumption, algorithm, calculation program, irrigation schedule, irrigation mode.

**Введение.** В засушливых регионах России орошение является одним из основных факторов получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Вместе с тем площади орошаемых земель уменьшились с 11,5 до 9,1 млн га по сравнению с 1990 г. Основные орошаемые массивы сохранились там, где были построены крупные инженерные оросительные системы, такие как Донской магистральный канал, Большой Ставропольский канал, Терско-Кумский канал и др. Вода в эти оросительные системы поступает из крупных рек: Дона, Кубани, Терека.

В настоящее время начался ежегодный прирост орошаемых земель. Это связано с распоряжением Президента РФ о субсидировании сельхозтоваропроизводителям части затрат (до 50 %) на строительство, реконструкцию и техническое перевооружение внутрихозяйственных оросительных сетей и принятием федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 гг.» [1, 2].

Важнейшими условиями увеличения орошаемых площадей и успешного ведения орошаемого земледелия являются разработка стратегии инновационного развития мелиоративного комплекса [3, 4], рациональное использование водных ресурсов в связи с их дефицитом, а также увеличение урожайности сельскохозяйственных культур на орошаемых землях до 9–10 т к. е. с 1 га на основе реализации научно-технического прогресса в мелиорации земель [4–7]. Для этого необходимо разработать и внедрить

севообороты и структуру посевных площадей на орошаемых землях, отвечающие требованиям современного рынка, увеличить долю кормовых культур, и особенно многолетних трав, способствующих сохранению плодородия почвы. Перспективно в этом направлении применение усовершенствованных технологий возделывания зерновых культур, дающих при орошении до 14–16 т/га зерна (или около 20 т к. е. с 1 га) [8].

В связи с необходимостью рационального использования водных ресурсов все острее встает вопрос разработки ресурсосберегающих режимов орошения и способов полива сельскохозяйственных культур. Одним из вариантов целесообразного водопотребления является освоение новых способов полива, например, струйного внутрпочвенного полива семян при посеве [9], обоснование рационального соотношения орошаемых и богарных земель, расширение орошаемых площадей системами капельного орошения, внедрение дифференцированных режимов орошения, позволяющих уменьшать оросительную норму на 15–20 % [10].

Однако исполнительные органы при выдаче разрешения на водопользование в целях орошения сельскохозяйственных культур используют в своей работе оросительные нормы, приведенные в ВНТП-Н-97 «Нормы расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения» [11], в перечне которых отсутствуют показатели по кормовым культурам, а из зерновых культур приведены лишь данные по кукурузе на зерно. По овощным культурам приведен один усредненный показатель оросительной нормы. Этот документ требует переработки и распространения не только на приусадебные участки и подворья, на которые он рассчитан, но и на крупные поля сельхозпредприятий с множеством культур, выращиваемых при орошении различными способами. РосНИИПМ (ЮжНИИГиМ) и другими научными учреждениями накоплено большое количество данных многолетних исследований и разработаны рекомендации по режимам орошения и нормам водопотребности [10–15].

Применение накопленных наукой знаний позволяет рационализировать методы орошения, получать достоверные показатели оросительных норм и экологически безопасных режимов орошения сельскохозяйственных культур, что в сочетании с усовершенствованными технологиями возделывания будет способствовать повышению эффективности орошаемого земледелия. Только в этом случае мелиорация земель станет привлекательной для вложения инвестиций на восстановление мелиоративных систем и расширение площадей орошаемых земель.

Цель исследований – разработать методику расчета и корректировки сроков полива сельскохозяйственных культур для различных агроклиматических условий с использованием полученных биоклиматических коэффициентов и разработанного программного обеспечения, позволяющего автоматизировать и ускорять процессы расчетов и корректировки режимов орошения. В статье приведены полученные авторами биоклиматические коэффициенты для большинства сельскохозяйственных культур, выращиваемых на орошаемых землях для двух агроклиматических зон с коэффициентами природной увлажненности ( $K_y$ ), равными 0,3–0,4 и 0,7–0,8.

Одним из самых низкочастотных способов рационального использования водных ресурсов является грамотное управление технологией орошения, включающей в первую очередь научно обоснованные режимы орошения и нормы водопотребности.

Для определения срока начала полива сельскохозяйственной культуры существует более десяти различных методов: термостатно-весовой, по концентрации клеточного сока, с применением тензиометров (изменение осмотического давления), по фазам развития, по визуальному состоянию растений и почвы, расчетные методы по метеопараметрам и т. п.

Наиболее точный метод – это термостатно-весовой, но он трудоемкий, используется в основном в научных исследованиях. В последние годы начали широко применять различные датчики влажности почвы, заклады-

ваемые на расчетную глубину почвы (тензиометры), однако они размещаются в отдельных точках поля и не могут давать характеристику влажности почвы по всему полю.

Широкое распространение получили также расчетные методы определения сроков полива по испаряемости на основе исходных запасов влаги в почве и ежесуточных метеорологических показателей (осадки, относительная влажность воздуха, температура, скорость ветра, радиация и пр.). По этим показателям можно рассчитать суточное испарение для различных культур с использованием биоклиматических коэффициентов, вычисляемых по методам А. М. и С. М. Алпатьевых, Г. К. Льгова, Н. Н. Иванова, Н. В. Данильченко, Х. Л. Пенмана, Л. Тюрка, Х. Ф. Блейни – В. Д. Криддла и др. [3, 6, 7, 12, 13].

Эти методы позволяют достаточно точно рассчитывать и корректировать режимы орошения в период вегетации культур, а также устанавливать оросительные нормы (нормы водопотребности) для различных лет тепловлагообеспеченности. Но для расчетов необходимы биоклиматические коэффициенты для каждой сельскохозяйственной культуры, полученные на основе многолетних кропотливых исследований в определенных климатических условиях.

**Материалы и методы.** Материалами для расчетов биоклиматических коэффициентов водопотребления растений послужили архивные данные многочисленных исследований сотрудников РосНИИПМ (ЮжНИИГиМ), ВолжНИИГиМ, ВНИИОЗ, ВНИИ «Радуга» и других институтов. На их основе институтами ВНИИ «Радуга» и РосНИИПМ разработан нормативный документ – Свод правил «Укрупненные нормы водопотребности для орошения сельскохозяйственных культур Центрального, Приволжского, Уральского, Сибирского, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов», рассмотренный и одобренный на секции мелиорации НТС Минсельхоза России (протокол № 5 от 11 июля 2012 г.) [16]. Однако в Своде

правил приведены показатели водопотребления в форме таблиц, которые невозможно применять для разработки программ автоматизированного расчета испарения и сроков полива, поэтому авторами были систематизированы имеющиеся данные, аппроксимированы с использованием возможностей Microsoft Office Excel и получены математические зависимости биоклиматических коэффициентов водопотребления в связи с суммой температур нарастающим итогом от всходов (или начала вегетации).

Алгоритмы расчетов сроков полива с использованием полученных биоклиматических коэффициентов были разработаны и реализованы в программной среде Delphi и Microsoft Office Excel, позволяющие автоматизировать расчеты эвапотранспирации по метеопараметрам и сроков полива сельскохозяйственных культур.

**Результаты и обсуждение.** Теоретической основой расчетных методов служит то, что при оптимальном водоснабжении растений существует тесная связь между испарением влаги сельскохозяйственными и энергетическими ресурсами атмосферы, которые оцениваются таким комплексным показателем, как испарение с поля  $ET_o$  (может использоваться термин суммарное водопотребление или эвапотранспирация).

В РосНИИПМ в последние годы проводились исследования, и разработаны математические модели расчета продуктивных влагозапасов в почве и корректировки режимов орошения по метеопараметрам с учетом агроклиматических условий конкретного орошаемого участка [17].

Активные влагозапасы в расчетном слое почвы  $W_a$  предлагается определять по формуле:

$$W_a = W_{HB} - (W_{нач.} - \beta_o \cdot W_{HB}), \quad (1)$$

где  $W_a$  – активные влагозапасы в расчетном слое почвы, мм;

$W_{HB}$  – наименьшая влагоемкость, мм;

$W_{нач.}$  – начальные влагозапасы, мм;

$\beta_0$  – влажность почвы, соответствующая допустимому порогу влажности, в долях от наименьшей влагоемкости  $W_{\text{НВ}}$ , например, для зерновых – 0,7 НВ, для овощных культур – 0,8 НВ.

Для корректировки режима орошения культур необходимо иметь показатели начальных влагозапасов в почве при посеве, а в дальнейшем производить их расчеты посуточно (или за пять суток или одну декаду) и осуществлять корректировку влагозапасов путем проведения очередных поливов. Динамику изменения влагозапасов в почве и дефицит водопотребления предлагаем определять по уравнению баланса влаги в почве по формуле:

$$W_d = W_{\text{нач.}} + P + G - I_{\text{инф.}} - W_{\text{сум.}} \quad (2)$$

где  $W_d$  – влагозапасы в расчетном слое почвы, мм;

$W_{\text{нач.}}$  – почвенные влагозапасы на начало расчетного периода, мм;

$P$  – сумма атмосферных осадков за период, мм;

$G$  – капиллярное подпитывание из грунтовых вод при близком их залегании, мм;

$I_{\text{инф.}}$  – потери на инфильтрацию, мм;

$W_{\text{сум.}}$  – эвапотранспирация (испарение с поля) сельскохозяйственной культуры, мм.

В России наибольшее практическое применение получили два метода расчета суммарного испарения ( $ET_0$ ) орошаемого поля по метеопараметрам.

Первый – это метод А. М. и С. М. Алпатьевых, основанный на использовании упрощенной формулы Н. Н. Иванова [3, 6, 7]:

$$ET_0 = k_{pr} \sum d_{\phi} \quad (3)$$

где  $ET_0$  – суммарное испарение орошаемого поля, мм;

$k_{pr}$  – коэффициент пропорциональности между испаряемостью и дефицитом влажности воздуха, равный 0,61;

$\sum d_{\phi}$  – сумма дефицитов влажности воздуха за расчетный период, мм.

Второй метод предложен ФГБНУ «ВНИИ «Радуга», в нем испаряемость поля определяется по модифицированной формуле Н. Н. Иванова [12, 13]:

$$ET_o = k_r \cdot k_{\phi} \cdot f_{(v)}, \quad (4)$$

где  $k_r$  – энергетический фактор испарения, мм/мбар;

$k_{\phi}$  – дефицит влажности воздуха, мбар;

$f_{(v)}$  – функция, учитывающая влияние скорости ветра на высоте 2 м от уровня почвы.

Произведение  $k_r \cdot k_{\phi}$  для упрощения расчетов предлагаем преобразовать в следующее выражение:

$$k_r \cdot k_{\phi} = 0,00061 \cdot (25+t)^2 \cdot (1-0,01 \cdot \phi), \quad (5)$$

где  $t$  – среднесуточная температура воздуха, °С;

$\phi$  – среднесуточная относительная влажность воздуха за этот же период, %.

Авторами были аппроксимированы в Microsoft Office Excel и получены уравнения взаимосвязи ветровой функции и скорости ветра; уравнения для расчета понижающего коэффициента на изменение скорости ветра с любой высоты к высоте 2 м; микроклиматические и биоклиматические (биологические) коэффициенты водопотребления; уравнения подпитывания грунтовых вод и инфильтрации, на основании которых разработаны алгоритмы и программное обеспечение для расчета влагозапасов в почве и корректировки режима орошения.

Кривая взаимосвязи ветровой функции и скорости ветра, приведенная на рисунке 1, описывается уравнением:

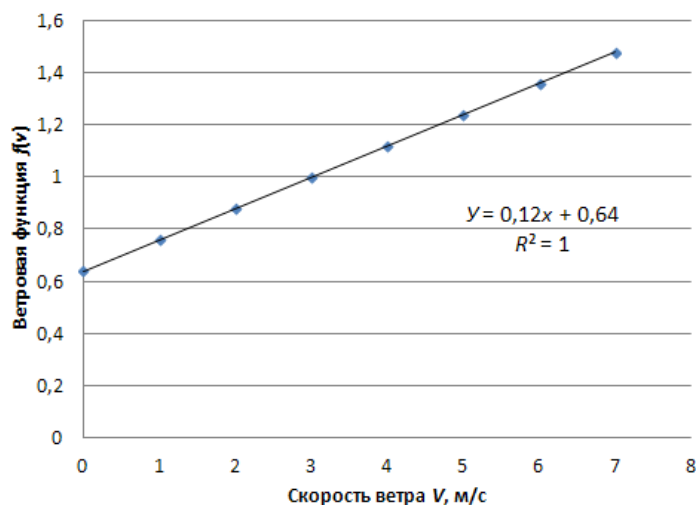
$$U = 0,12 \cdot x + 0,64. \quad (6)$$

Показатели понижающего коэффициента ( $H_{\phi}$ ) для приведения ско-

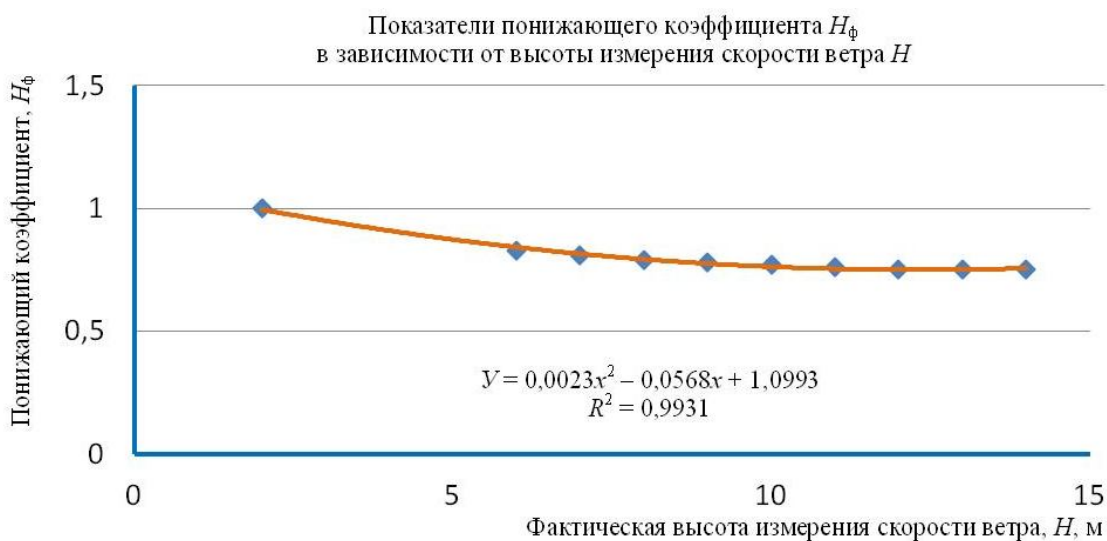


рости ветра с любой высоты ( $x$ ) к расчетной высоте 2 м над уровнем почвы представлены на рисунке 2, они описываются уравнением:

$$Y = 0,0023 \cdot x^2 - 0,0568 \cdot x + 1,0993. \quad (7)$$



**Рисунок 1 – Взаимосвязь ветровой функции и скорости ветра**



**Рисунок 2 – Зависимость для перевода скорости ветра к расчетной высоте 2 м над уровнем поверхности почвы**

Для определения суммарного испарения конкретного поля ( $ET_j$ ) с конкретной « $j$ » культурой необходимо иметь показатели биологического ( $K_\phi$ ) и микроклиматического ( $K_o$ ) коэффициентов этой культуры в динамике от всходов до созревания по уравнению:

$$ET_j = ET_o \cdot K_\phi \cdot K_o, \quad (8)$$

где  $ET_j$  – суммарное испарение (водопотребление) поля, мм;

$ET_0$  – испаряемость с поля, мм;

$K_6$  – биоклиматический коэффициент;

$K_0$  – микроклиматический коэффициент.

Микроклиматический коэффициент ( $K_0$ ) учитывает изменение микроклимата сельскохозяйственного поля под влиянием орошения. Он зависит от условий природной увлажненности  $K_y$  конкретной территории и размера орошаемого массива  $S_{op}$ .

Авторами получены уравнения, позволяющие рассчитывать этот коэффициент по коэффициенту увлажнения  $K_y(x)$ , например, для гумидной зоны России:

$$U_{гум.} = -0,0511 \cdot x^2 + 0,1729 \cdot x + 0,8761. \quad (9)$$

Для аридной зоны:

$$U_{арид.} = -0,1894 \cdot x^2 + 0,3671 \cdot x + 0,814. \quad (10)$$

Биоклиматический коэффициент ( $K_6$ ) водопотребления « $j$ » культуры характеризует роль растений в эвапотранспирации. Каждой сельскохозяйственной культуре свойственны свои коэффициенты, которые изменяются в динамике от всходов до созревания и зависят от многих внешних факторов и особенностей растений, поэтому они рассчитываются для каждой отдельной культуры и конкретных агроклиматических условий.

Обобщение и математический анализ многолетних исследований позволяют рассчитать коэффициенты и распространить их на районированные по условиям тепловлагообеспеченности зоны России. Авторами получены биоклиматические коэффициенты водопотребления сельскохозяйственных культур для агроклиматических зон с различными коэффициентами природной увлажненности. В таблице 1 приводятся биоклиматические коэффициенты для аридной зоны (восточной части Ростовской и Волгоградской областей) с  $K_y = 0,3–0,4$  и в таблице 2 – для гумидной зоны (Рязанской области) с  $K_y = 0,7–0,8$ .

**Таблица 1 – Биоклиматические коэффициенты водопотребления сельскохозяйственных культур для восточной части Ростовской и Волгоградской областей с  $K_y = 0,3–0,4$**

Культура	Уравнение	Достоверность аппроксимации
Кукуруза на зерно	$y = -5E-10x^3 + 1E-06x^2 - 0,0002x + 0,5302$	$R^2 = 0,99$
Кукуруза на силос	$y = -2E-07x^2 + 0,0008x + 0,3708$	$R^2 = 0,94$
Кукуруза пожнивная	$y = -5E-10x^3 + 1E-06x^2 - 0,0003x + 0,5239$	$R^2 = 0,98$
Свекла кормовая	$y = -3E-07x^2 + 0,0009x + 0,3808$	$R^2 = 0,83$
Картофель поздний	$y = 4E-13x^4 - 2E-09x^3 + 3E-06x^2 - 0,0008x + 0,5942$	$R^2 = 0,96$
Томаты	$y = -4E-07x^2 + 0,0009x + 0,5921$	$R^2 = 0,93$
Огурец	$y = -4E-07x^2 + 0,0009x + 0,5721$	$R^2 = 0,93$
Лук, морковь, зелень и пр.	$y = -3E-07x^2 + 0,0008x + 0,5568$	$R^2 = 0,94$
Капуста поздняя	$y = -3E-07x^2 + 0,0008x + 0,6023$	$R^2 = 0,94$
Свекла столовая	$y = -2E-10x^3 + 1E-07x^2 + 0,0005x + 0,5287$	$R^2 = 0,92$
Люцерна прошлых лет, сумма температур нарастающим итогом от возобновления вегетации до 1-го укоса составляет 0–800 °С	$y = 0,0006x + 0,6695$	$R^2 = 0,98$
Люцерна прошлых лет, 2-й укос, 900–1600 °С	$y = 0,0007x + 0,0495$	$R^2 = 0,98$
Люцерна прошлых лет, 3-й укос 1700–2300 °С	$y = -419,13x^2 + 2137,9x - 384,03$	$R^2 = 0,98$
Люцерна прошлых лет, 4-й укос, 2400–2900 °С	$y = 0,0007x - 1,1208$	$R^2 = 0,95$
Люцерна подпокровная, 1-й укос, от 0 до 1100 °С	$y = 0,0008x + 0,3605$	$R^2 = 0,94$
Люцерна подпокровная, 2-й укос, 1100–1800 °С	$y = 0,0007x - 0,0565$	$R^2 = 0,97$
Люцерна подпокровная, 3-й укос 1900–2400 °С	$y = 0,0006x - 0,4892$	$R^2 = 0,97$

**Таблица 2 – Биоклиматические коэффициенты водопотребления сельскохозяйственных культур для Рязанской области с  $K_y = 0,7–0,8$**

Культура	Уравнение	Достоверность аппроксимации
1	2	3
Колосовые яровые	$y = 2E-10x^3 - 1E-06x^2 + 0,0012x + 0,6609$	$R^2 = 0,8691$
Озимая пшеница	$y = -4E-07x^2 + 0,0006x + 0,828$	$R^2 = 0,8815$
Кукуруза на силос	$y = -2E-07x^2 + 0,0005x + 0,7$	$R^2 = 0,8246$
Морковь	$y = -2E-07x^2 + 0,0004x + 0,7779$	$R^2 = 0,8184$
Картофель поздний	$y = 7E-11x^3 - 6E-07x^2 + 0,0009x + 0,6299$	$R^2 = 0,8614$
Капуста поздняя	$y = -1E-07x^2 + 0,0003x + 0,8324$	$R^2 = 0,9356$

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Многолетние травы, 1-й укос, 0–900 °С	$y = 2E-08x^2 + 0,0002x + 0,8935$	$R^2 = 0,9918$
Многолетние травы, 2-й укос, 901–1899 °С	$y = 3E-07x^2 - 0,0005x + 0,9834$	$R^2 = 0,9886$
Многолетние травы, 3-й укос, 1900–2599 °С	$y = 3E-07x^2 - 0,001x + 1,5514$	$R^2 = 0,9886$
Многолетние травы, 4-й укос, 2600–3100 °С	$y = 3E-20x^2 + 0,0005x - 0,55$	$R^2 = 0,9910$

Уравнения, представленные в таблицах 1 и 2, выражающие в динамике биоклиматические коэффициенты водопотребления культур, приведены во взаимосвязи с суммой температур нарастающим итогом от даты посева или начала отрастания растений, т. е. « $x$ » в уравнениях – это сумма температуры от всходов на дату определения коэффициента. Уравнения использованы при разработке программного обеспечения расчетов влагозапасов в почве и сроков полива в соответствии с алгоритмом, приведенным на рисунке 3.

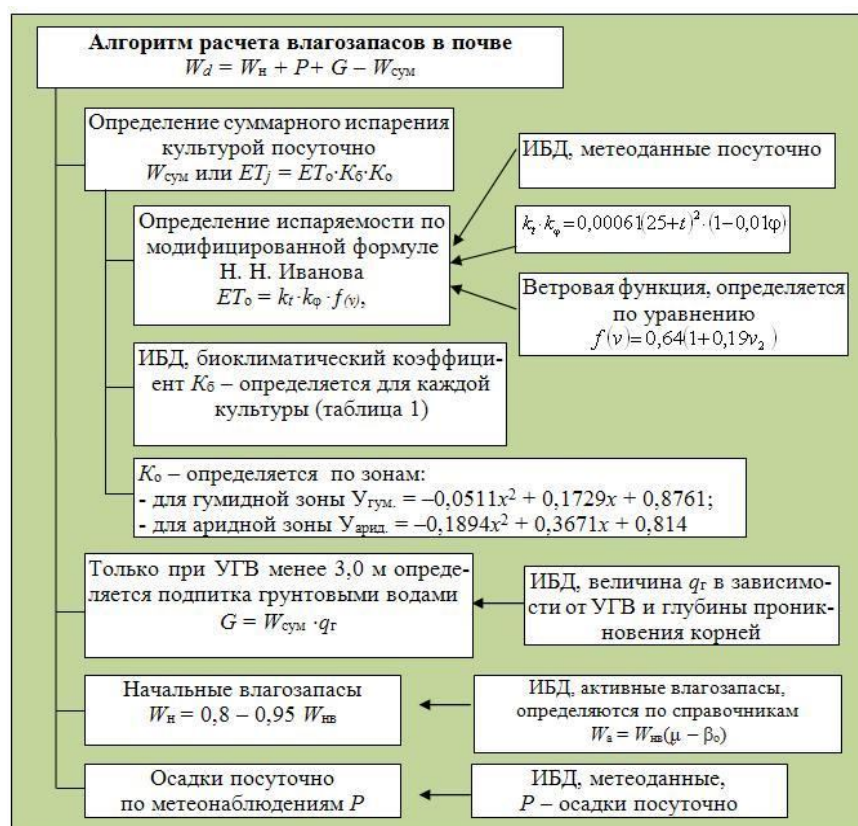


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма расчета водного баланса орошаемого поля (участка)

При назначении экологически безопасных поливных норм инфильтрации оросительной воды практически не наблюдается, поэтому в блок-схеме на рисунке 3 она не учитывается.

На основании алгоритмов, приведенных на рисунках 3 и 4, авторами было разработано программное обеспечение, которое позволяет рассчитывать влагозапасы в почве и корректировать режим орошения большинства сельскохозяйственных культур, возделываемых на орошаемых землях, а также моделировать различные варианты метеоусловий и определять расчетные сроки полива для различных культур в зависимости от тепло-влажностности.

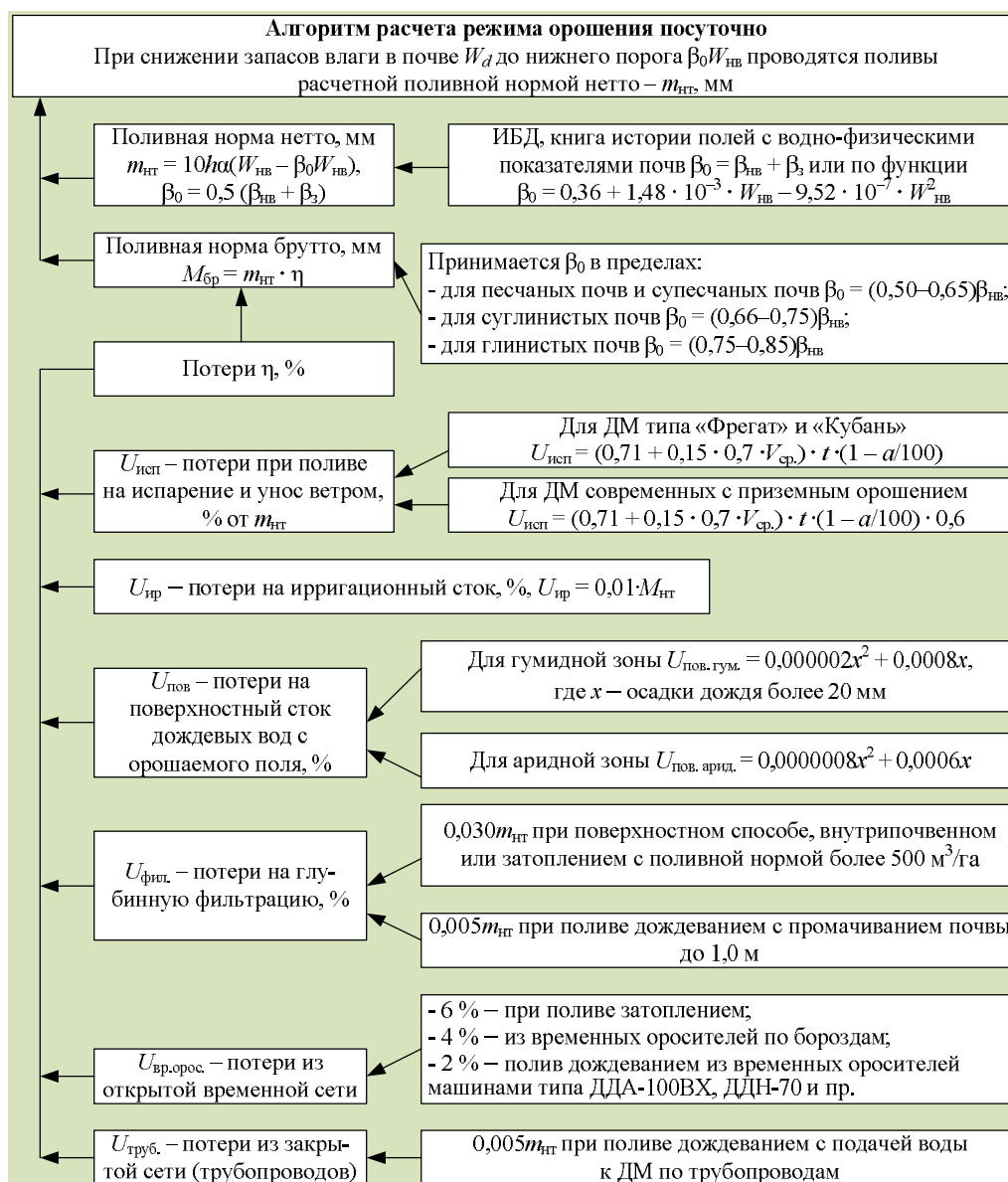


Рисунок 4 – Блок-схема расчета режима орошения (нетто и брутто)

Окно программы для расчетов сроков полива в среде Microsoft Office Excel представлено на рисунке 5.

Севооборот 1												
Номер аполей (ДМ), сроки и нормы полива												
пример 1,1												
1,1												
1,2												
1,3												
1,4												
1,5												
1,6												
год и дата, с 01.03. по 30.09.	водный баланс поля, посуточно, мм	среднесуточная температура воздуха, °C	относительная влажность воздуха, среднесуточная, %%	осадки, мм	Скорость ветра, м/с	поливная норма (в мм) при порогое 0,8 НВ, ставится фактическая поливная норма в ячейку даты полива	карто-фель	карто-фель	кукуруза	карто-фель	карто-фель	кукуруза
срока расчета	2012	20	30	0		77	водный баланс, мм	дата и норма полива, мм	водный баланс, мм	норма полива, мм		
01.03.2012	93,06	-1,9	99	0,08	4	0,0	93,1					
02.03.2012	0,00	-3,1	96	0,4	6	0,0	0,0					
03.03.2012	0,00	-4,7	95	4,8	6	0,0	0,0					
04.03.2012	0,00	-5,9	94	2	5	0,0	0,0					
05.03.2012	0,00	-6,4	94	0,56	4	0,0	0,0					
06.03.2012	0,00	-6,3	92	0,96	6	0,0	0,0					
07.03.2012	0,00	-6,3	92	2,64	7	0,0	0,0					

**Рисунок 5 – Окно расчета водного баланса поля и сроков полива**

Для расчета сроков полива необходимо определить начальные влагозапасы в почве и вести посуточно расчет эвапотранспирации для каждого орошаемого поля с фактически высеянной культурой при использовании биоклиматических коэффициентов и показателей метеопараметров.

**Выводы.** На основании обобщения и анализа многолетних исследований, проведенных учеными РосНИИПМ и других институтов, получены биоклиматические коэффициенты водопотребления сельскохозяйственных культур, разработана и апробирована методика расчета влагозапасов в почве и определения сроков полива сельскохозяйственных культур по метеопараметрам для различных условий тепловлагообеспеченности конкретных территорий с коэффициентами природной увлажненности  $K_y = 0,3-0,4$  и  $K_y = 0,7-0,8$ . Предложенные алгоритмы расчетов влагозапасов почвы и сроки полива реализованы в разработанном программном обеспечении в среде Microsoft Office Excel и Delphi, которые позволяют проводить различные сценарные исследования режимов орошения и водо-

потребления сельскохозяйственных культур при изменении климатических условий.

### Список использованных источников

1 Щедрин, В. Н. Стратегия инновационного развития мелиоративного комплекса России на период 2012–2020 гг. / В. Н. Щедрин [и др.]; РосНИИПМ. – М., 2011. – 48 с. – Деп. в ВИНТИ РАН 19.07.2011, № 348-B2011.

2 Балакай, Г. Т. Развитие мелиорации – основа стабилизации производства сельскохозяйственной продукции в России / Г. Т. Балакай // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2011. – № 2(02). – 9 с. – Режим доступа: [http://rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec22-field6.pdf](http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec22-field6.pdf).

3 Стратегия инновационного развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pandia.ru/text/78/227/27573.php>.

4 О Концепции федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы»: распоряжение Правительства РФ от 22 января 2013 г. № 37-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://garant.ru/products/ipo/prime/doc/70204250/#ixzz4Mwhv3zfi>.

5 Стратегия развития сельского хозяйства в условиях присоединения России к ВТО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mcx-consult.ru/strategii--razvitiya--selskogo--hoz>.

6 ФЦП «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы»: постановление Правительства РФ от 12 октября 2013 г. № 922 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/70478356/>.

7 О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства: указ Президента РФ от 21 июля 2016 г. № 350 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rulaws.ru/president/Ukaz-Prezidenta-RF-ot-21.07.2016-N-350/>.

8 Балакай, С. Г. Эффективность режимов орошения сорго зернового на черноземах / С. Г. Балакай // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2013. – № 08(092). – С. 652–670. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/05.pdf>.

9 Балакай, С. Г. Влияние струйного внутрипочвенного полива семян при посеве на рост и урожайность баклажанов / С. Г. Балакай // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 1(61). – С. 28–32.

10 Щедрин, В. Н. Изменчивость природного увлажнения территории Северного Кавказа / В. Н. Щедрин, И. Н. Ильинская // Мелиорация и водное хозяйство. – 2002. – № 5. – С. 23–24.

11 Нормы расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения: ВНТП-Н-97: утв. Минсельхозпродом РФ от 14.02.95: введ. в действие с 01.04.97 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://gostrf.com/norma\\_data/10/10093/index.htm](http://gostrf.com/norma_data/10/10093/index.htm).

12 Данильченко, Н. В. Природная тепло-, влагообеспеченность Центрально-Черноземных областей России и ее влияние на параметры орошения и урожайность / Н. В. Данильченко [и др.]. – М., 2000. – 170 с.

13 Ильинская, И. Н. Расчет экологически безопасных норм водопотребности для орошения сельскохозяйственных культур / И. Н. Ильинская, В. М. Игнатьев // Вестник РАСХН. – 2003. – № 5. – С. 26–28.

14 Константинов, А. Р. Нормирование орошения: методы, их оценка, пути уточ-

нения / А. Р. Константинов, Э. А. Струнников // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 1. – С. 19–27.

15 Ильинская, И. Н. Нормирование водопотребления для орошения сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе: монография / И. Н. Ильинская; РосНИИПМ. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2001. – 164 с.

16 Укрупненные нормы водопотребности для орошения сельскохозяйственных культур Центрального, Приволжского, Уральского, Сибирского, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов: Свод правил [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://raduga-poliv.ru/activity/2010\\_2.php](http://raduga-poliv.ru/activity/2010_2.php).

17 Гидравлические и оптимизационные расчеты магистрального и распределительных каналов различного порядка оросительной системы («RasChet.canal»): свидетельство ФИПС на гос. регистрацию программы для ЭВМ / В. Н. Щедрин [и др.]. – № 2014619417 от 16.09.14; заявл. 31.07.14, № 2014617618. – 9 с.

## References

1 Shchedrin V.N., 2011. *Strategiya innovatsionnogo razvitiya meliorativnogo kompleksa Rossii na period 2012–2020* [Innovative Development Strategy of Land Reclamation Complex in Russia for the period of 2012–2020]. RosNIIPM, Moscow, 48 p., deposited in All-Union Institute of Scientific and Technical Information, Russian Academy of Sciences on 19.07.2011, № 348-V2011. (In Russian).

2 Balakay G.T., 2011. *Razvitie melioratsii – osnova stabilizatsii proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii v Rossii* [Development of land reclamation is the basis for stabilization of agricultural production in Russia]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 2(02), 9 p., available: [http://rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec22-field6.pdf](http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec22-field6.pdf). (In Russian).

3 *Strategiya innovatsionnogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii na period do 2020* [Innovative Development Strategy of the Russian Federation agribusiness sector to 2020], available: <http://pandia.ru/text/78/227/27573.php>. (In Russian).

4 *O kontseptsii federalnoy tselevoy programmy: razvitie melioratsii zemel sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Rossii na 2014–2020* [On the Concept of the Federal Target Program “Development of Reclamation of Lands for Agricultural Purposes in Russia for 2014–2020”]. Decree of the RF Government of January 22, 2013, no. 37-p, available: <http://garant.ru/products/ipo/prime/doc/70204250/#ixzz4Mwhv3zfi>. (In Russian).

5 *Strategiya razvitiya sel'skogo khozyaystva v usloviyakh prisoedineniya Rossii k VTO* [Strategy for the Development of Agriculture under the Conditions of Russia's Accession to the WTO], available: <http://mcx-consult.ru/strategii--razvitiya--sel'skogo--hoz>. (In Russian).

6 *FTSP: Razvitie melioratsii zemel sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Rossii na 2014–2010* [Federal Target Program “Development of Reclamation of Lands for Agricultural Purposes in Russia for 2014–2020”]. Resolution of the RF Government on October 12, 2013, no. 922, available: <http://base.garant.ru/70478356/>. (In Russian).

7 *O merakh po realizatsii gosudarstvennoy nauchno-tekhnicheskoy politiki v interesakh razvitiya sel'skogo khozyaystva* [On measures on realization of the state scientific-technical policy for the benefit of the development of agriculture]. Presidential Decree of July 21, 2016, no. 350, available: <http://rulings.ru/president/ukaz-prezidenta-rf-ot-21.07.2016-n-350/>. (In Russian).

8 Balakay S.G., 2013. *Effektivnost rezhimov orosheniya sorgo zernovogo na chernozemakh* [Efficiency of irrigation regimes for grain sorghum on chernozems]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal KubGAU* [Scientific journal of KubSAU (Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University)], no. 08 (092),



pp. 652-670, available: <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/05.pdf>. (In Russian).

9 Balakay S.G., 2016. *Vliyanie struynogo vnutripochvenno poliva semyan pri poseve na rost i urozhaynost baklazhanov* [Effect of jet subsurface irrigation by planting seeds on growth and yield of eggplants]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture]. Novocherkassk: "RosNIIPM", no 1(61), pp. 28-32. (In Russian).

10 Shchedrin V.N., Iiinskaya I.N., 2002. *Izmenchivost prirodnoy uvlazhneniya territorii Severnogo Kavkaza* [Variability of natural moisture in the North Caucasus]. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 5, pp. 23-24. (In Russian).

11 *Normy raskhodov vody potrebiteley sistem selskokhozyaystvennogo vodosnabzheniya* [Standards of water costs of agricultural water-supply systems consumers: VNTP-H-97: Ministry of Agriculture of the Russian Federation on 14.02.95], available: [http://gostrf.com/norma\\_data/10/10093/index.htm](http://gostrf.com/norma_data/10/10093/index.htm). (In Russian).

12 Danilchenko N., 2000. *Prirodnaya teplo-vлагообеспеченность Тsentralno-Chernozemnykh oblastey Rossii i ee vliyanie na parametry orosheniya i urozhaynost* [Natural heat and moisture content of the Central Black Earth region of Russia and its impact on the irrigation parameters and yield]. Moscow, 170 p. (In Russian).

13 Iiinskaya I.N., Ignatyev V.M., 2003. *Raschet ekologicheskikh bezopasnykh norm vodopotrebnosti dlya orosheniya selskokhozyaystvennykh kultur* [Calculation of water requirements for agricultural crops]. *Vestnik RASKHN* [Bull. of Russian Academy of Agricultural Sciences], no. 5, pp. 26-28. (In Russian).

14 Konstantinov A.R., Strunnikov E.A., 1986. *Normirovaniye orosheniya: metody, ikh otsenka, puti utochneniy* [Irrigation rationing: methods, their assessment and ways of precision]. *Gidrotekhnika i melioratsiya* [Hydraulic Engineering and Reclamation], no. 1, pp. 19-27. (In Russian)

15 Iiinskaya I. N., 2001. *Normirovaniye vodopotrebleniya dlya orosheniya selskokhozyaystvennykh kultur na Severnom Kavkaze: monografiya* [Rationing of water consumption for the irrigation of crops in the North Caucasus: monograph]. RosNIIPM, Novocherkassk, SRSTU, 164 p. (In Russian).

16 *Ukruplennyye normy vodopotrebnosti dlya orosheniya selskokhozyaystvennykh kultur Tsentralnogo, Privolzhskogo, Uralskogo, Sibirskogo, Yuzhnogo i Severokavkazskogo federalnykh okrugov* [Enlarged norms of water demand for crop irrigation of the Central, Volga, Urals, Siberian, Southern and North Caucasus Federal Districts: Set of Rules], available: [http://raduga-poliv.ru/activity/2010\\_2.php](http://raduga-poliv.ru/activity/2010_2.php). (In Russian).

17 Shchedrin V.N. *Gidravlicheskie i optimizatsionnye raschety magistralnogo i raspredelitelnykh kanalov razlichnogo poryadka orositelnoy sistemy* [Hydraulic and optimizational calculations of main and distributed channels of different orders of the irrigation system («RasChet.canal»)]. certificate FIPS for computer program state registration], no. 2014619417, from 16.09.14; appl. 31.07.14, no. 2014617618, 9 p. (In Russian).

---

### **Балакай Георгий Трифонович**

Ученая степень: доктор сельскохозяйственных наук

Ученое звание: профессор

Должность: зам. директора по науке

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научный институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: [rosniipm@yandex.ru](mailto:rosniipm@yandex.ru)

**Balabay Georgy Trifonovich**

Degree: Doctor of Agricultural Sciences

Title: Professor

Position: Deputy Director of Science

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: [rosniipm@yandex.ru](mailto:rosniipm@yandex.ru)

**Балакай Наталья Ивановна**

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научный институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: [rosniipm@yandex.ru](mailto:rosniipm@yandex.ru)

**Balabay Natalya Ivanovna**

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Senior Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: [rosniipm@yandex.ru](mailto:rosniipm@yandex.ru)