

УДК:631.4:53

ПОЛУЭКТОВ Р.А., НАГИЕВ А. Т., ШУКУРОВ М.Ш., МИРЗОЕВ Ф.А.

РАСЧЕТ ТРАНСПИРАЦИИ И ИСПАРЕНИЯ В ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АГРОЭКОСИСТЕМЫ

Введение. Появление современных высокоскоростных компьютеров с большой памятью и принципиально новых измерительных средств позволило коренным образом изменить ситуацию в области информационной поддержки принимаемых решений в земледелии.

Динамическая модель описывает продукционный процесс озимой пшеницы от момента сева до полного созревания. Она имеет блочную структуру (рис. 1) и включает в себя описание процессов, имеющих место в системе “почва – растительный покров – приземный слой воздуха”.

В работе рассмотрен новый метод для оценки реальных значений транспирации и физического испарения.

Нам известно [1], что блок, реализующий метод количественного описания процессов транспирации и физического испарения, в той или иной трактовке обязательно присутствует во всех динамических моделях. Подходы к реализации описания этих процессов, разумеется, менялись на протяжении всей истории моделирования. Теоретический подход, основанный на совместном решении уравнений тепло- и влагопереноса в приземном слое воздуха, был реализован еще в базовой модели продукционного процесса [1]. Многими авторами предлагались различные полуэмпирические методы. В конце концов основное место в моделях заняла идея вычисления первоначально потенциальной эвапотранспирации, затем разделения ее на две составляющие в зависимости от величины листового индекса и последующего учета водного стресса, приводящего к расчету реальных значений транспирации и испарения из почвы. Именно этот метод нашел применение в типичной для европейских стран модели WOFOST [2] или американской модели EPIC [3]. Что же касается самого расчета потенциальной эвапотранспирации, то для него чаще всего использовался метод Пенмана-Монтейса или Тюрка-Вендлинга [5].

Нами предложен новый метод, предназначенный для непосредственной оценки реальных значений транспирации и физического испарения. Исходным соотношением для развития этого метода послужило уравнение для расчета потенциальной эвапотранспирации, первоначально предложенное Пенманом [7] и усовершенствованное Монтейсом [6]. Детализация и развитие этого метода позволили перейти к расчету реальных значений транспирации растений и физического испарения непосредственно, минуя промежуточные стадии. Поскольку идея метода опубликована [3, 4], приведем лишь конечные соотношения.

Для суточной суммы транспирации в [3] получено следующее соотношение:

$$E_p = k_w \frac{R_n}{\chi} + (1 - k_w) E_p^0, \quad (1)$$

где χ - теплота парообразования, R_n - поглощенная посевам за сутки коротковолновая радиация, E_p^0 - величина, с размерностью транспирации, мм/сут,

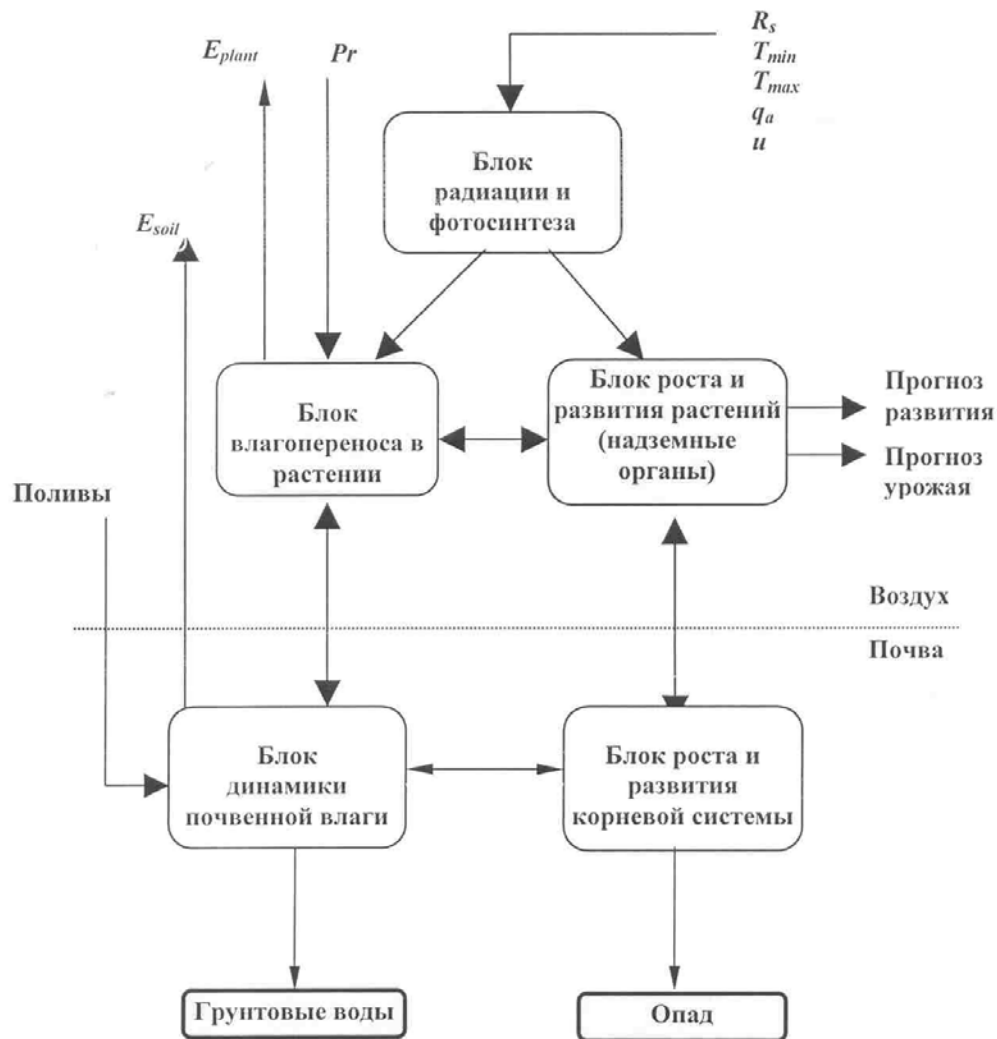


Рис. 1. Блок-схема модели.

$$E_p^0 = 86400 \rho_a \frac{q_{sat}(T_a) - q_a}{r_{\Sigma}^q}, \quad (2)$$

где 86400 - число секунд в сутках. Коэффициент k_w имеет вид:

$$k_w = \frac{1}{1 + (c_p / b\chi) \cdot (r_{\Sigma}^q / r_{\Sigma}^T)}, \quad (3)$$

а все остальные величины, входящие в (1)-(3), имеют следующие значения:

ρ_a - плотность воздуха, c_p - теплоемкость воздуха при постоянном давлении, q_a и $q_{sat}(T_a)$ - удельная влажность воздуха и удельная влажность насыщения при температуре воздуха, b - коэффициент линеаризации в формуле Магнуса, r_{Σ}^T и r_{Σ}^q - зависящие от скорости ветра (u) сопротивления переносу тепла и водяного пара.

В соответствии с формулой (1) суточная сумма транспирации зависит от погодных условий текущего дня и неизвестной пока величины устьичного сопротивления r_{st} , поскольку последняя величина входит в качестве слагаемого в выражение для r_{Σ}^q :

$$r_{\Sigma}^q = r_{\Sigma}^T + r_{st}.$$

Величина устьичного сопротивления зависит от водного потенциала листа, P_L :

$$r_{st} = r_{st}(P_L). \quad (4)$$

Таким образом, в соответствии с (1)-(4) величина транспирации посева может быть вычислена как функция погодных условий и P_L : $E_p = f(R_n, T_a, q_a, u, P_L)$.

Представленная выше система уравнений позволяет вычислить поток транспирации, если известны все входящие в правую часть аргументы. К ним, кроме погодных условий, относится величина водного потенциала листа. Для исключения этой переменной поступим следующим образом. Запишем уравнение для суммарного за сутки поглощения воды корневой системой растений E_r :

$$E_r = \sum_{i=1}^{NR} \xi \omega_i (p_{si} - P_R),$$

где NR - число выделенных слоев почвы, ω_i - удельная поверхность корней, ξ - проводимость корневой системы, p_{si} и P_R - значения водного потенциала i -го слоя почвы и корня. Полагая, что значения водного потенциала почвы известны (в модели эти величины берутся с предыдущего временного шага), исключим неизвестные величины P_L и P_R , пользуясь балансовым соотношением: $E_p \approx E_r$ и принимая, что значения водного потенциала корня и почвы также приблизительно равны: $P_L \approx P_R$.

В [4] для решения полученной системы нелинейных уравнений предложен простой итерационный способ, который поясняется графиком на рис. 2.

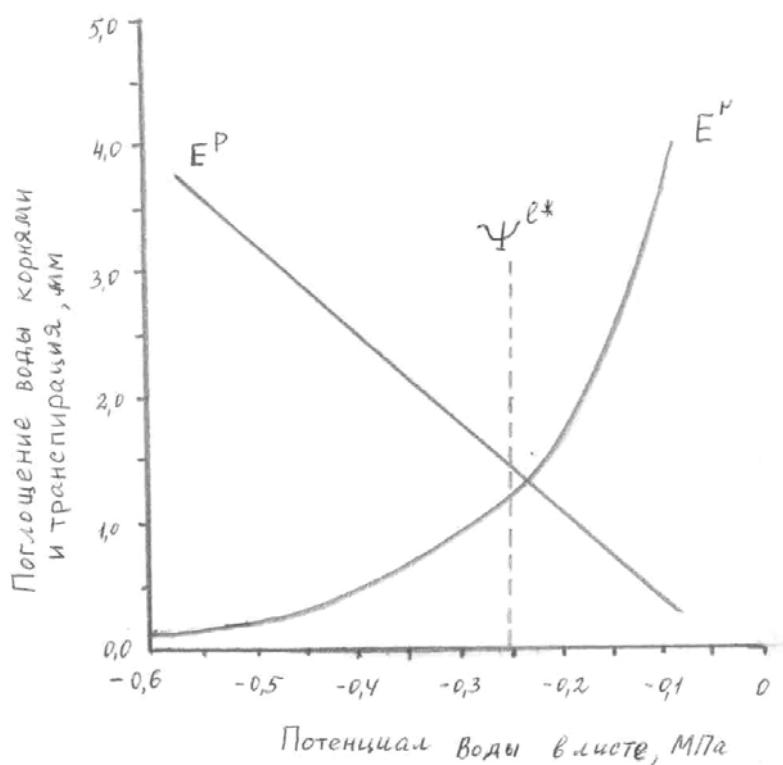


Рис. 2. Зависимости транспирации и поглощения воды корнями от потенциала воды в листе (Ψ^{e*} - равновесное значение потенциала).

Аналогичная схема предложена и для моделирования физического испарения из почвы [3]. Идея метода сводится к тому, чтобы, по аналогии с предыдущим, использовать

уравнения теплового баланса на поверхности почвы и линеаризованную формулу Магнуса. К этим соотношениям добавляется изотерма сорбции верхнего слоя почвы и т.н. “метод присоединенной стенки” [1]. Все преобразования подробно описаны в [3]. Поэтому приведем здесь лишь окончательные формулы. Соотношение для расчета испарения с поверхности почвы под растительным покровом имеет вид:

$$E_s = \frac{g(w_0)}{1 + g(w_0)} \frac{R_s}{\chi} + \frac{I}{1 + g(w_0)} E_s^0,$$

где E_s - физическое испарение, мм/сут, R_s - радиационный баланс на поверхности почвы, величина E_s^0 и функция $g(w_0)$ имеют вид:

$$E_s^0 = \rho_a D_s^q (q_{sat}(T_a) f(w_0) - q_a), \quad g(w_0) = \frac{b \chi f(w_0) D_s^q}{c_p D_s^T},$$

при этом: D_s^T и D_s^q - значения проводимости приземного слоя воздуха по теплу и влаге, функция $f(w_0)$ отражает снижение влажности приземного воздуха при уменьшении влажности верхнего слоя почвы w_0 . Она аппроксимирована выражением:

$$f = \frac{\ln p_{s0}}{\ln p_{s0} + \exp(a - b \ln p_{s0})},$$

где p_{s0} - водный потенциал верхнего слоя почвы.

Отметим, что все входящие в данный блок модели параметры имеют ясный физический или биологический смысл. По-видимому, эти углубленные описания отдельных процессов должны реализовываться в тесной связи с биологическим экспериментом. В дальнейшем моделирование должна быть связана, в первую очередь, с углублением теоретических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абашина Е.В., Сиротенко О.Д., Прикладная динамическая модель формирования урожая для имитационных систем агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства // Тр. ВНИИСХМ / Математическое моделирование в агрометеорологии. -Л.Г. 1986, вып. 21, с.13-23.
2. Алешин В.Д., Брежнев А.И. Прикладная модель продуктивности посевов. Исследование и моделирование продукционного процесса агроэкосистем. Науч.-тех. бюл. по агрофизике. – Л; АФИ, 1980, N 42, с. 45-50.
3. Алешин В.Д., Брежнев А.И., Полуэктов Р.А. и др. Послойно–балансовые динамические модели водного и теплового обмена в почвогрунтах//Докл.ВАСХНИЛ, 1981, №12, с.38-39.
4. Алешин В.Д., Брежнев А.И. Прикладная динамическая модель влаго- и теплообмена на сельскохозяйственном поле // Метеорология и гидрология, 1984, №8, с. 97-104.
5. Алиев П.Г. Моделирование влияние влажности почвы на рост и развитие корневой системы растений. Науч.-тех. бюл. по агрофизике. – Л; АФИ, 1989, №76, с. 14-19.
6. Monteith J.L. Evaporation and surface temperature, Quart. J.Met. Soc, 1981, vol. 107, pp. 1-27.
7. Penman, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. A 193, London, 1978, pp.120-146.