

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КЛИМАТА В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Теплоэнергетические ресурсы климата формируются, преимущественно за счет коротковолнового излучения Солнца. При решении задач рационального природопользования требуется оценить поступление и преобразование солнечного тепла в другие виды энергии, определить его затраты на нагревание почвы, суммарное испарение (водопотребление) и фотосинтез растений. Теплоэнергетические ресурсы закономерно распределяются в пространстве и во времени, степень обеспеченности ими сельскохозяйственных земель учитывается при районировании сельскохозяйственных культур. Прямые актинометрические измерения на территории Беларуси ведутся лишь в нескольких точках, экстраполяция радиационных характеристик климата в этом случае с требуемой для практики точностью невозможна, поэтому прикладные теплоэнергетические расчеты для конкретных сельскохозяйственных полей повсеместно актуальны и необходимы. Нами предлагается методика косвенного расчета составляющих уравнения теплоэнергетического баланса по массовым данным Беларуси. На первом этапе определяется суточная инсоляция ( $I_i$ ) при отсутствии земной атмосферы [1]

$$I_i = \frac{2I_0}{(r_i/r_0)^2} \left[ t_{0i} \sin \varphi \sin \delta_i + \frac{n}{2\pi} \cos \varphi \cos \delta_i \sin \left( \frac{2\pi}{n} t_{0i} \right) \right], \quad (1)$$

где  $I_0 = 1,37$  кВт/м<sup>2</sup> – солнечная постоянная;  $r_0 = 149597870$  км – среднегодовое расстояние между Землей и Солнцем;  $r_i$  – расстояние между Землей и Солнцем в  $i$ -сутки, км;  $t_{0i}$  – момент восхода (захода) Солнца в  $i$ -сутки, час;  $P = 24$  часа – продолжительность солнечных суток;  $\varphi$  – географическая широта местности, °;  $\delta_i$  – геоцентрическое склонение Солнца в  $i$ -сутки, °.

Решение уравнения (1), как видно, связано с нахождением параметров  $r_i$ ,  $t_{0i}$  и  $\delta_i$ , входящих в него и непостоянных во времени. Расчеты соответствующих расстояний между Землей и Солнцем ( $r_i$ ) выполняются согласно законам Кеплера по уравнениям эллиптической орбиты Земли. Момент восхода (захода) Солнца нами приурочен к местному полдню и определен из соотношения:  $\pm t_{0i} = D/2$ , где  $D$  – долгота дня, рассчитанная как разность истинного солнечного времени между заходом (З) и восходом (В) Солнца. При расчете геоцентрического склонения Солнца ( $\delta_i$ ) как наиболее значимой величины в уравнении (1) используются значения годового угла движения Солнца и уравнение времени. Результаты расчетов суточной инсоляции ( $I_i$ ) для Минска приведены в таблице 1.

Суточная инсоляция по календарным датам в пункте Минск без учета влияния атмосферы, МЖж/м<sup>2</sup>

13.I	14.II	21.III	13.IV	29.V	22.VI	15.VII	31.VIII	23.IX	16.X	30.XI	22.XII
5,5	10,4	19,5	26,4	37,0	38,6	37,4	26,3	19,5	13,2	5,5	4,6

Предлагаемые значения инсоляции ( $I_i$ ) несколько ниже аналогичных значений, используемых другими авторами, т.к. в расчетах используется фактическая долгота дня, зависящая от местных факторов. На втором этапе устанавливается связь ( $I_i$ ) с суммарной коротковолновой радиацией ( $I_s$ ). Для Минска она имеет вид

$$I_i = a + bI_s, \text{ при } r = 0,997 \pm 0,001, \quad (2)$$

где  $a = -1,542$ ,  $b = 0,575$  – коэффициенты уравнения регрессии – по сути комплексные параметры, отражающие в реальных условиях пропускную способность атмосферы.

Данные коэффициенты имеют небольшую пространственно – временную изменчивость в пределах территории Беларуси. Отмечается тенденция к некоторому уменьшению коэффициента ( $a$ ) в сторону низких широт. Уравнение (2) рекомендуется к использованию при оценке среднесуточного количества суммарной коротковолновой радиации ( $I_s$ ) в любом расчетном пункте Беларуси.

В ходе исследований установлены также зависимости величины ( $I_s$ ) от продолжительности солнечного сияния ( $T_{\text{солн}}$ ) и облачности ( $O_p$ ).

Суточное значение скомпенсированного радиационного баланса ( $R_t$ ), как результирующей суммарной коротковолновой радиации ( $I_s$ ), отраженной радиации ( $R_{\text{отр}}$ ) и эффективного излучения ( $E_{\text{эф}}$ ) определяется по уравнению

$$R_t = I_s - R_{\text{отр}} - E_{\text{эф}}. \quad (3)$$

Отраженная радиация ( $R_{\text{отр}}$ ) функционально связана с альбедо ( $A_p$ ) – отражательной способностью подстилающей поверхности, и определяется как

$$R_{\text{отр}} = A_p I_s. \quad (4)$$

При отсутствии материалов наблюдений за величиной ( $A_p$ ), необходимо пользоваться данными, полученными эмпирическим путем и характеризующими сезонное изменение альбедо испаряющих поверхностей, с характерным растительным покровом.

Недостаточность опытных данных по излучению земной поверхности ( $E_{\text{з}}$ ) и противоизлучению атмосферы ( $E_{\text{а}}$ ) не позволяет непосредственно определять величину ( $E_{\text{эф}}$ ). Здесь уместно использование косвенных методов, базирующихся на связях эффективного излучения с массовыми метеорологическими характеристиками. Анализ экспериментальных данных позволил установить наиболее тесные связи среднесуточных величин эффективного излучения ( $E_{\text{эф}}$ ) со среднесуточными температурами поверхности почвы ( $t_{\text{почв}}$ ) и воздуха ( $t_{\text{возд}}$ ). Для метеопункта Минск эти зависимости имеют вид:

$$E_{\text{эф}} = \exp(0,766 + 0,048t_{\text{почв}}), \quad (5)$$

$$E_{\text{эф}} = \exp(0,781 + 0,056t_{\text{возд}}). \quad (6)$$

Для уравнений (5) и (6) характерны высокие коэффициенты корреляции, соответственно,  $r=0,97\pm 0,01$  и  $r=0,95\pm 0,01$ .

Распределение радиационного баланса по территории Беларуси подчиняется закону широтной зональности. Наибольшие значения ( $R$ ) отмечаются на юге и юго-западе, наименьшие – на севере исследуемой территории. Количественная оценка приходящей на земную поверхность солнечной энергии, которая с определенной закономерностью распределяется по сельскохозяйственным угодьям, активно участвует в процессах тепловлагомассообмена и в конечном счете в формировании суммарного водопотребления сельхозкультур, неразрывно связана с прогнозом их урожайности, качества продукции, эффективности труда в земледелии.

Суточные значения максимально возможного испарения ( $Z_{mi}$ ) – как водного эквивалента теплоэнергетических ресурсов климата – можно определить балансовым методом. Однако сложность описания суточного и внутрисуточного хода турбулентного теплопотока приземной атмосферы ( $P$ ) и теплообмена в почве ( $B$ ) ограничивает возможности использования подобных методик. Получение среднесуточных значений турбулентного потока приземной атмосферы и теплообмена в почве, скажем, из декадных или месячных норм, а затем использование восстановленных величин в балансовом уравнении даст нормы ( $Z_{mi}$ ), существенно отличающиеся от «истинных», причем ошибки часто знакопеременны. Балансовое уравнение пригодно для оценки максимально возможного испарения ( $Z_{mi}$ ) в реальные годы с реальными данными ( $P$  и  $B$ ). Постановка вопроса о суточных нормах турбулентного теплообмена приземной атмосферы и теплообмена в почве преждевременна вследствие невозможности получения репрезентативного периода, когда искомое среднесуточное значение исследуемой характеристики становится устойчиво постоянным. Это связано с большими амплитудами колебаний суточных значений ( $P$ ) и ( $B$ ), которые в одни и те же годовые периоды могут иметь различные знаки.

В связи с изложенным для определения ( $Z_{mi}$ ) нами используются косвенные зависимости. Например, для Минска их вид:

$$Z_{mi} = -0,202 + 0,108 I_p, \text{ при } r = 0,99 \pm 0,001; \quad (7)$$

$$Z_{mi} = 0,106 + 0,186 I_p, \text{ при } r = 0,98 \pm 0,002; \quad (8)$$

$$Z_{mi} = 0,763 + 0,291 R_p, \text{ при } r = 0,99 \pm 0,001. \quad (9)$$

Однако, при массовых расчетах среднесуточных значений максимально возможного испарения ( $Z_{mi}$ ), уравнение (9) используется как базовое и для любого расчетного пункта имеет вид

$$Z_{mi} = a + bR_p, \quad (10)$$

где  $a$ ,  $b$  – эмпирические коэффициенты, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов ( $a$ ) и ( $b$ ) уравнения (10) дифференцированно по территории Беларуси

коэффициент	северная часть	центральная часть	южная часть
$a$	0,50...0,65	0,65...0,84	0,84...0,99
$b$	0,26...0,28	0,28...0,31	0,31...0,33

Полученные в результате косвенных расчетов величины ( $Z_{\text{м}}$ ) хорошо согласуются с аналогичными величинами испаряемости климата ( $E_0$ ), представленными в работе [2]. Считается, что для теоретических исследований и практических расчетов, связанных с оценкой влагообеспеченности и суммарного водопотребления сельхозкультур, физическое наиболее обосновано использование величин водного эквивалента теплоэнергетических ресурсов – максимально возможного испарения. При наличии величин ( $Z_{\text{м}}$ ) можно рассчитать величину и внутрисуточный ход суммарного водопотребления в зависимости от планируемой урожайности сельхозкультур. Более того, базируясь на величинах максимально возможного испарения, полученных за короткие интервалы времени (сутки), можно давать оперативный прогноз динамики суммарного водопотребления сельхозкультур в реально складывающейся метеорологической ситуации, водного режима почв мелиоративными приемами с учетом фактической теплообеспеченности сельскохозяйственных угодий. При определении специализации хозяйств – землепользователей, разработке структур севооборотов, прогнозе водопотребления и урожая сельскохозяйственных культур в реально складывающейся метеорологической ситуации на сельхозугодьях, материалы тепловоднобалансовых исследований должны использоваться как один из элементов научной основы принимаемых решений.

#### *Список литературы*

1. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. –Л.: Гидрометеиздат, 1991.
2. Давитая Ф.Ф., Мельник Ю.С. Проблема прогноза испаряемости и оросительных норм. –Л.: Гидрометеиздат, 1970.

УДК 665.6:620.4.004.183

**Г.Н. Абаев, В.П. Чернявский, А.В. Кордюков, А.В. Спиридонов,  
В.В. Урванцев, Е.А. Белоусов, С.С. Ракитский, О.С. Ярмолик**

Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк

### **МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ С ЦЕЛЮ РЕСУРСОЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ХИМИЧЕСКОЙ И СМЕЖНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Мы переживаем период технической революции в обществе, связанный с широким распространением и внедрением в нашу жизнь современного компьютера и новых систем связи.

К сожалению, использование компьютера для эффективного управления технологическими процессами с целью ресурсосбережения и энергосбережения пока еще недостаточно. У нас преимущественно распространены традиционные системы управления технологическими процессами, когда