

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗА РАДИАЦИОННЫХ ЗАМОРОЗКОВ

Болотов Андрей Геннадьевич, профессор кафедры Метеорологии и климатологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Кожунов Андрей Викторович, магистрант кафедры Метеорологии и климатологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация. Разработан метод прогноза температуры поверхности почвы, являющийся модификацией метода Михалевского, признанного в агрометеорологии при прогнозировании радиационных заморозков. Значения абсолютной погрешности расчета значений смоченного термометра по предложенным формулам не больше 1°C в диапазоне температур $0-16^{\circ}\text{C}$.

Ключевые слова: заморозки, температура почвы, прогноз температуры, психрометр, метод Михалевского.

Прогноз снижения температуры до критического значения важен для применения активных методов защиты от гибели растений. Исследователи в одних и тех же общих климатических и топографических условиях часто находят необъяснимые различия в повреждении растений заморозками. Возможные объяснения они включают различия в типе почвы, почвенном покрове, содержании воды в почве и концентрации центров кристаллизации. Разнообразие воднофизических свойств почв, тепловлагопереноса в зоне аэрации и их влияние на влагосодержание в почве показано в работах (Болотов, 2012, 2017; Шейн со соавт., 2018). Современные системы предупреждения о заморозках разработаны на основе прогнозов численных моделей (Prabha and Hoogenboom, 2008). В работе представлен метод прогноза минимальной температуры поверхности на следующие сутки по температуре воздуха на высоте 2 метра для его применения в автоматических системах измерения метеорологических параметров. Предлагаемый метод является модификацией метода Михалевского, получившего признание в агрометеорологии при прогнозировании радиационных заморозков. Ожидаемая минимальная температура воздуха:

$$t_g = t' - (t - t') \cdot C, \quad (1)$$

а минимальная температура на поверхности почвы:

$$t_n = t' - (t - t') \cdot 2C, \quad (2)$$

где t – температура воздуха по сухому термометру, $^{\circ}\text{C}$; t' – температура воздуха по смоченному термометру, $^{\circ}\text{C}$; C – коэффициент, зависящий от относительной влажности воздуха (f), является табличной величиной.

Для применения данного метода в автоматизированных системах доступны только данные температуры сухого термометра, относительная

влажность воздуха. Поэтому нами были получены формулы для расчета t' . Формулы для расчета давления насыщенного водяного пара и парциального давления известны:

$$E = E_0 \exp \left[\frac{\alpha t}{\beta + t} \right] \quad (3)$$

где $E_0 = 6.1121$ гПа;

$\alpha = 17.5043$ и $\beta = 241.2$ °С – постоянные для воды;

$$e = \frac{fE}{100\%} \quad (4)$$

$$e = E_w - AP(t - t') \quad (5)$$

Решая уравнения (1-3) относительно t' получим:

$$t' = \frac{e}{AP} - 13.755W(x) + t \quad (6)$$

где

$$A = 0,0007947 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1},$$

$W(x)$ двойная функция Лабмерта (W -функция Лабмерта), имеющая приближенная решение (Ringwald and Schrempp, 2012):

$$W(x) \approx \begin{cases} 0.665(1 + 0.0195 \ln(x + 1) + 0.04): 0 < x \leq 500 \\ \ln(x - 4) - \left(1 - \frac{1}{\ln x}\right) \ln \ln x: x > 500 \end{cases}$$

где

$$x = \frac{552.5 \exp \left[0.0727 \left(\frac{e}{AP} + t \right) \right]}{P}$$

Также нами получена зависимость коэффициента C в зависимости от относительной влажности воздуха f в 13 ч:

$$C = 6,1576 * f^3 - 3,612 * f^2 + 2,5811 * f + 0,00667$$

Отдельным исследованием была проверка упрощенной формулы Магнуса для расчета давления насыщенного пара над водой E_w в диапазоне температур 0-60°С вместо более громоздкой формулы рекомендованной Всемирной метеорологической организацией (ВМО) (рис.1.).

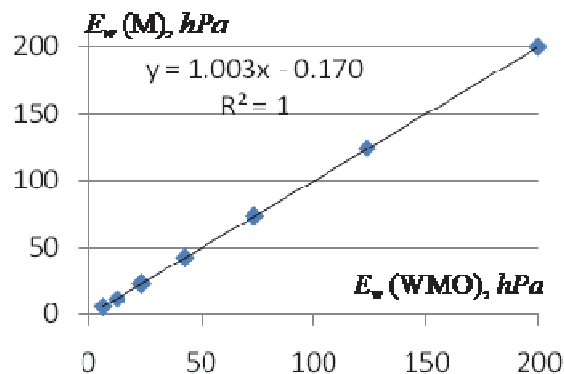


Рис. 1. Корреляционное поле между давлением насыщенного пара, рассчитанным по формуле ВМО: $E_w(\text{WMO})$ и такой же величиной, рассчитанной по упрощенной формуле Магнуса: $E_w(\text{M})$

На рисунке 1 показано полное соответствие величины E_w , рассчитанное разными методами в диапазоне 0-60°C, а величина относительной погрешности в данном температурном диапазоне не превышает 0,3% (табл.1).

Таблица 1

Зависимость относительной погрешности E расчета E_w по формуле Магнуса от температуры t

$t, ^\circ\text{C}$	$E, \%$	$t, ^\circ\text{C}$	$E, \%$	$t, ^\circ\text{C}$	$E, \%$	$t, ^\circ\text{C}$	$E, \%$	$t, ^\circ\text{C}$	$E, \%$	$t, ^\circ\text{C}$	$E, \%$
0	0.21	10	0.28	20	0.31	30	0.28	40	0.17	50	0.03
1	0.22	11	0.28	21	0.31	31	0.27	41	0.15	51	0.05
2	0.23	12	0.29	22	0.31	32	0.26	42	0.14	52	0.08
3	0.23	13	0.29	23	0.30	33	0.25	43	0.12	53	0.11
4	0.24	14	0.29	24	0.30	34	0.24	44	0.10	54	0.13
5	0.25	15	0.30	25	0.30	35	0.23	45	0.08	55	0.16
6	0.25	16	0.30	26	0.30	36	0.22	46	0.06	56	0.19
7	0.26	17	0.30	27	0.29	37	0.21	47	0.04	57	0.22
8	0.26	18	0.30	28	0.29	38	0.20	48	0.02	58	0.25
9	0.27	19	0.31	29	0.28	39	0.18	49	0.01	59	0.29

С помощью полученного уравнения (4) было рассчитано значение t' для первой декады мая 2020. Измерение температуры и влажности воздуха производилось автоматической станцией каждый час, а значение t' было получено из психрометрических таблиц. При этом значения абсолютной погрешности расчета значений смоченного термометра по предложенной формуле составили не больше 1°C в диапазоне температур 0-16°C.

Применение данного метода в автоматических метеостанциях позволит прогнозировать радиационные заморозки, которые существенно зависят от микроклимата, что будет дополнением к синоптическому прогнозу по адвективным заморозкам.

Библиографический список

1. Болотов А.Г. Гидрофизическое состояние почв юго-востока Западной Сибири: дис. на соискание ученой степени доктора биологических наук / Болотов А. Г. – Москва: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2017. – 351 с.
2. Болотов А.Г. Определение теплофизических свойств почв с использованием систем измерения ZETLAB // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 9 (107). – С. 48-50.
3. Шеин Е.В., Болотов А.Г., Мазиров М.А., Мартынов А.И. Определение профильного распределения температуры почвы на основании температуры ее поверхности // Земледелие. – 2018. – № 7. – С. 26-29.
4. Prabha, T. and Hoogenboom, G. Evaluation of the Weather Research and Forecasting model for two frost events. Computers and Electronics in Agriculture, 2008. – 64, 234–247.
5. Ringwald A and Schrempp F. Double precision function LAMBERTW(X) in software package QCDINS <https://www.desy.de/~t00fri/qcdins/texhtml/lambertw>.