

ZWIĄZEK MIĘDZY WSKAŹNIKAMI OPADU I WILGOTNOŚCIĄ GLEBY DLA EKOSYSTEMU STEP STREFY UMIARKOWANEJ

THE RELATIONSHIP BETWEEN PRECIPITATION INDEXES AND SOIL MOISTURE IN THE TEMPERATE GRASSLAND ECOSYSTEM

Tomasz Rozbicki

Katedra Rekultywacji Środowiska Przyrodniczego SGGW
Zakład Meteorologii i Klimatologii

Wstęp

Ciągła potrzeba korzystania z danych wilgotnościowych zmusza badaczy (przy braku wystarczającej liczby punktów pomiarowych wilgotności gleby i nieregularności pomiarów w punktach istniejących) do szukania wskaźników najlepiej odzwierciedlających stan uwilgotnienia terenu. Przydatność takich wskaźników, opracowanych na podstawie danych meteorologicznych dla różnych warunków środowiskowych została zaprezentowana w pracach m. in. Jaworskiego (1968), Wąsek (1980) i Rozbickiego (1997 [4], [5]). W niniejszej pracy podjęto próbę sprawdzenia przydatności wskaźnika stosowanego przez amerykańską służbę hydrologiczną (Wąsek 1980) i wskaźnika Lambora (Lambor 1962) w warunkach ekosystemu stepu strefy umiarkowanej poprzez określenie najlepszej zależności między wilgotnością gleby a czynnikami charakteryzującymi opad atmosferyczny. Pozwoli to na porównanie przydatności wymienionych wskaźników do oceny wilgotności gleby w różnych warunkach klimatyczno glebowych.

Materiały i metoda

Step północnoamerykański rozciąga się na północy od Saskatchewanu w Kanadzie do Meksyku na południu i na zachodzie od Gór Skalistych do rzeki Mississippi na wschodzie. Można go podzielić na prerię wysokotrawiastą, mieszaną i niskotrawiastą (Clements, Shelford 1939 za Kim, Verma 1990). Preria

wysokotrawiasta zajmuje część wschodnią, o bardziej wilgotnym środowisku a preria niskotrawiasta część zachodnią - bardziej suchą (Bazzaz, Parrish 1982 za Kim, Verma 1990).

W opracowaniu wykorzystano dane o wilgotności gleby i opadzie atmosferycznym zebrane w 1987 roku na polach doświadczalnych w Konza Praire Research Natural Area o współrzędnych 39 ° 03 ' N, 96 ° 32 ' W, 445 m n.p.m. (Kim, Verma 1990). Stanowisko pomiarowe położone było na glinie ilastej o średniej gęstości wierzchniej 30 cm warstwy gleby wynoszącej 1,15 Mg · m⁻³. Roślinność na badanym obszarze składa się w głównej mierze z traw, z których trzy główne gatunki to: *Andropogon gerardi*, *Sorghastrum nutans* i *Panicum virgatum*. Step jest corocznie wypalany wczesną wiosną; w latach 1986 i 87 nie był spaszany.

Do obliczeń wykorzystano wartości wilgotności gleby scharakteryzowane jako zawartość wody w glebie w procentach objętościowych θ_v oraz dobowe sumy opadu atmosferycznego, na podstawie których obliczono sześć wskaźników opadu. Zawartość wody w powierzchniowej warstwie gleby (0.0 - 0.1 m) była monitorowana grawimetrycznie a zawartość wody w warstwie od 0.1 m do 1.4 m była mierzona za pomocą sondy neutronowej. Kumulatywny okresowy wskaźnik opadu P_0 został obliczony jako suma opadu od początku okresu wegetacyjnego do dnia, dla którego oblicza się wskaźnik i podzielona przez długość tego okresu. Spośród kilku metod obliczania wskaźnika opadów uprzednich w niniejszej pracy zastosowano dwie. Wskaźnik stosowany przez amerykańską służbę hydrologiczną I_a oblicza się ze wzoru:

$$I_a = \sum_{i=1}^{i=30} k^i \cdot P_i \quad (1)$$

gdzie:

I_a - wskaźnik opadów uprzednich obliczony metodą „amerykańską”,

k - stały współczynnik (przyjmowany zwykle $k = 0,84$),

P_i - wysokość opadu atmosferycznego w i -tym dniu,

i - kolejny dzień poprzedzający dzień, dla którego oblicza się wskaźnik.

Wskaźnik uwilgotnienia terenu obliczony metodą Lambora I_L określony jest wzorem:

$$I_L = \left(\frac{1}{120} \cdot \sum_{i=1}^{i=15} a_i \cdot \sqrt{P_i} \right)^2 \quad (2)$$

gdzie:

I_L - wskaźnik uwilgotnienia terenu obliczony metodą Lambora,

a_i - współczynnik wagowy przyjmowany w ten sposób, że dla opadu z dnia bezpośrednio poprzedzającego dzień, w którym obliczamy wskaźnik $a_1 = 15$, dla drugiego dnia $a_2 = 14$ itd. aż do dnia piętnastego $a_{15} = 1$,

P_i - jak we wzorze (1).

Wskaźniki dekadowy P_{10} i pentadowe P_5 i P_{05} zostały obliczone jako sumy dobowych wartości opadu z okresów odpowiednio 10 i 5 dni i podzielone przez długości tych okresów. Wskaźnik P_{10} określa opad atmosferyczny z okresu 10 dni bezpośrednio przed dniem, dla którego oblicza się wskaźnik; wskaźnik P_5 określa opad z okresu 5 dni bezpośrednio przed rozpatrywanym dniem a wskaźnik P_{05} określa opad z pięciodniowego okresu między 10-tym a 5-tym dniem przed dniem, dla którego oblicza się wskaźnik. Obok wymienionych wskaźników (P_0 , P_{10} , P_5 i P_{05}) jako zmienne do obliczeń wprowadzono także ich kwadraty (P_{10}^2 , P_5^2 i P_{05}^2).

W pierwszym etapie analizy określone zostały równania regresji prostej między wilgotnością gleby a każdą z rozpatrywanych zmiennych osobno. W drugim etapie, na drodze analizy regresji wielokrotnej krokowej, znaleziono równania określające związek wilgotności gleby ze wskaźnikami opadu. W obu etapach jako zmienną zależną przyjęto wilgotność gleby a jako zmienne niezależne wskaźniki opadów.

Wyniki

W tabeli 1 prezentowane są równania regresji prostej pomiędzy zawartością wody w glebie a wskaźnikami opadu oraz charakterystyki statystyczne tych związków. Najwyższe współczynniki korelacji uzyskano dla P_{10} ($r = 0,662$) i P_5 ($r = 0,604$) a więc wskaźników charakteryzujących opad z krótkiego okresu bezpośrednio poprzedzającego rozpatrywany dzień (odpowiednio 10 i 5 dni). Nieco niższe wartości uzyskano dla kwadratów tych wskaźników P_{10}^2 ($r = 0,560$) i P_5^2 ($r = 0,451$) oraz dla wskaźników opadów uprzednich I_a ($r = 0,525$) i I_L ($r = 0,493$). W tabeli 2 przedstawione zostały równania regresji wielokrotnej zawierające dwie, trzy i cztery zmienne niezależne. Zasadniczym kryterium wprowadzenia do równania kolejnej zmiennej jest założenie, że jeżeli współczynnik determinacji równania regresji wielokrotnej R^2 wzrasta przy jednym stopniu swobody o więcej niż iloraz:

$$\frac{1 - R^2}{n - m} \quad (3)$$

gdzie:

n - liczebność szeregu,

m - liczba zmiennych w równaniu;

to znaczy, że wzrasta on istotnie (obok innych charakterystyk statystycznych taki iloraz również został przedstawiony w tabeli 2). Po wprowadzeniu do równania z dwiema zmiennymi (P_5 i P_{05}) nowej zmiennej (P_{10}^2) współczynnik determinacji wzrósł od 61,3 do 65,5, a po wprowadzeniu kolejnej, czwartej zmiennej (P_0) wzrósł do 71,7. To właśnie równanie (z czterema zmiennymi) przyjęto jako model najlepiej odzwierciedlający związek wskaźników opadu z uwilgotnieniem gruntu. Wszystkie uzyskane równania regresji wielu zmiennych (dwóch, trzech i czterech) są istotne na poziomie $\alpha = 1\%$.

W równaniach regresji wielokrotnej, na każdym etapie analizy wprowadzane były do równania zmienne - wskaźniki sumy opadów. Żaden ze wskaźników opadów uprzednich (zarówno „amerykański” jak i Lambora) nie został wprowadzony do równania. Oznacza to, że sumy opadów (w przypadku niniejszej pracy wskaźniki sum opadów) lepiej obrazują uwilgotnienie gleby niż wskaźniki opadów uprzednich. Dla gleb ciężkich w warunkach klimatu Polskich uzyskano podobne wyniki (Rozbicki 1997 [5]) natomiast w przypadku gleb lekkich (dla Polski) zmiany wilgotności gleby lepiej są obrazowane przez wskaźniki opadów uprzednich i związki takie są silniejsze niż dla gleb ciężkich (Rozbicki 1997 [5]). W pracy Wąsek (1980) zbadano związki wskaźników opadów uprzednich obliczanymi różnymi metodami z wilgotnością gleby, na glebie lekkiej. Najlepszą korelację spośród badanych wskaźników osiągnęły wskaźnik Lambora i wskaźnik „amerykański”.

Wnioski

1. W warunkach ekosystemu stepu północnoamerykańskiego strefy umiarkowanej, w przypadku gleb ciężkich uwilgotnienie gleby lepiej jest obrazowane przez sumy (wskaźniki) opadów atmosferycznych niż przez wskaźniki opadów uprzednich.
2. Najwyższą korelację z uzyskanymi równaniami regresji wielokrotnej ma to, które zawiera cztery wskaźniki charakteryzujące opad atmosferyczny z różnych przedziałów czasowych: od początku okresu wegetacyjnego, z okresu dekadowego i z okresów pięciodniowych.
3. Obliczenia zostały wykonane dla gleby ciężkiej (głina ilasta). Należałoby sprawdzić relacje wskaźników opadu z rzeczywistym uwilgotnieniem gleby dla tego ekosystemu w przypadku gleb lżejszych.

Literatura

- [1] JAWORSKI J., 1968: *Próba określania zmian uwilgotnienia gleby przy pomocy elementów meteorologicznych - studium metodyczne*. Materiały PIHM nr 325, 27ss. Warszawa 1968.

- [2] KIM J., VERMA S. B., 1990: *Carbon dioxide exchange in a temperate grassland ecosystem*. Boundary-Layer Meteorology 52, 135-149. Kluwer Academic Publishers. Amsterdam 1990.
- [3] LAMBOR J., 1962: *Metody prognoz hydrologicznych*. 326ss. Warszawa 1962.
- [4] ROZBICKI T., 1997 : *Wpływ warunków meteorologicznych na rozwój i plonowanie wybranych roślin uprawnych w różnych warunkach glebowych*. Rozprawa doktorska, 124ss. SGGW Warszawa 1997.
- [5] ROZBICKI T., 1997 : *Związek między wskaźnikami opadów uprzednich i wilgotnością gruntu na wybranych typach gleb lekkich i ciężkich*. Roczniki AR w Poznaniu - CCXCI. Melioracje i Inżynieria Środowiska 17: 105 - 116. Wydawnictwo AR im A. Cieszkowskiego. Poznań 1997.
- [6] WĄSEK A., 1980: *Zasoby wodne w górnej warstwie strefy aeracji a wskaźnik wilgotności gruntu*. Przegląd Geofizyczny 25(33), z 1, 71-78. PWN. Warszawa-Łódź 1980.

Summary

The relationship between precipitation indexes and soil moisture in the temperate grassland ecosystem. The paper presents the relations between soil water content and factors characterizing the rainfall distribution as sum of precipitation indexes for various periods and anterior precipitation indexes - the API. Soil moisture and precipitation data from research station situated on heavy soil in Kansas, USA have been used to the analysis. Linear regression equations between soil water content and each considered factor separately have been found in the first step of the analysis. In the second step the multiple regression equations (using stepwise variable selection) has been found. The equation including four independent variables - sum of precipitation indexes has achieved correlation best of all. The API indexes have not been included to this equation. In term of heavy soil, in the temperate grassland ecosystem soil moisture is represented better by sums of precipitation than by anterior precipitation indexes.

Tomasz Rozbicki
 Zakład Meteorologii i Klimatologii SGGW
 ul. Nowoursynowska 166
 02-787 Warszawa

Tabela 1

Table 1

Równania regresji prostej między wilgotnością gleby a wskaźnikami opadu.

Linear regression equations between soil moisture and precipitation ratios.

| Równanie: Equation: | r | r ² ·100% | F | SEE |
|--|-------|----------------------|----------|-------|
| $\theta_v = 0,210 + 0,0128 \cdot P_0$ | 0,137 | 1,88 | 0,326(-) | 0,054 |
| $\theta_v = 0,220 + 0,00276 \cdot P_0^2$ | 0,199 | 3,96 | 0,700(-) | 0,053 |
| $\theta_v = 0,231 + 0,00204 \cdot I_a$ | 0,525 | 27,6 | 6,47(*) | 0,046 |
| $\theta_v = 0,235 + 0,0250 \cdot I_L$ | 0,493 | 24,3 | 5,47(*) | 0,047 |
| $\theta_v = 0,218 + 0,00930 \cdot P_{10}$ | 0,662 | 43,8 | 13,3(**) | 0,041 |
| $\theta_v = 0,231 + 0,000830 \cdot P_{10}^2$ | 0,560 | 31,3 | 7,75(*) | 0,045 |
| $\theta_v = 0,231 + 0,00612 \cdot P_5$ | 0,604 | 36,5 | 9,76(**) | 0,043 |
| $\theta_v = 0,242 + 0,000315 \cdot P_5^2$ | 0,450 | 20,3 | 4,33(*) | 0,048 |
| $\theta_v = 0,239 + 0,00406 \cdot P_{05}$ | 0,375 | 14,1 | 2,79(-) | 0,050 |
| $\theta_v = 0,247 + 0,000209 \cdot P_{05}^2$ | 0,272 | 7,38 | 1,35(-) | 0,052 |

 θ_v - zawartość wody w glebie / volumetric water content / [m³ · m⁻³], P_0 - wskaźnik opadu z całego okresu od początku wegetacji / precipitation ratio calculated for the whole vegetation period / [mm/d], I_a - wskaźnik opadów uprzednich obliczony metodą amerykańskiej służby hydrologicznej / anterior precipitation index calculated by American hydrological service method, I_L - wskaźnik uwilgotnienia terenu obliczony metodą Lambora / anterior precipitation index calculated by Lambor's formula, P_{10} - wskaźnik opadu z dekady bezpośrednio poprzedzającej rozpatrywany dzień / precipitation ratio calculated for ten-days period before considered day / [mm/d], P_5 - wskaźnik opadu z okresu pięciu dni bezpośrednio poprzedzającego rozpatrywany dzień / precipitation ratio calculated for five-days period before considered day / [mm/d], P_{05} - wskaźnik opadu z okresu od 10-tego do 5-tego dnia przed rozpatrywanym dniem / precipitation ratio calculated for five-days period since 10th to 5th day before considered day / [mm/d],

r - współczynnik korelacji prostej / correlation coefficient,

F - empiryczna wartość testu F Fishera - Snedecora, w nawiasach podano poziom istotności równania: (**) dla $\alpha = 1\%$, (*) dla $\alpha = 5\%$ i (-) dla $\alpha > 5\%$ / F test ratio with significant level: (**) for $\alpha = 1\%$, (*) for $\alpha = 5\%$ and (-) for $\alpha > 5\%$,

SEE - standardowy błąd oceny / standard error of estimation.

Tabela 2

Table 2

Równania regresji wielokrotnej między wilgotnością gleby a wskaźnikami opadu.

Multiple regression equations between soil moisture and precipitation ratios.

| LZ NoV | Równanie: Equation: | R | R ² ·100% | F | SEE | MSE | $\frac{1 - R^2}{n - m}$ |
|-----------|--|-------|----------------------|--------------|--------|--------|-------------------------|
| 2 (16) | $\theta_v = 0,208 +$ $+ 0,0239 \cdot P_5 +$ $+ 0,0216 \cdot P_{05}$ | 0,783 | 61,3 | 15,3 (**) | 0,0033 | 0,0011 | 2,2 |
| 3 (15) | $\theta_v = 0,202 +$ $+ 0,000603 \cdot P_{10}^2 +$ $+ 0,0221 \cdot P_5 +$ $+ 0,00235 \cdot P_{05}$ | 0,809 | 65,5 | 12,4 (**) | 0,0031 | 0,0010 | 2,2 |
| 4 (14) | $\theta_v = 0,314 +$ $- 0,0348 \cdot P_0 +$ $+ 0,00106 \cdot P_{10}^2 +$ $+ 0,0205 \cdot P_5 +$ $+ 0,00223 \cdot P_{05}$ | 0,847 | 71,7 | 12,4 (**) | 0,0028 | 0,0008 | 1,9 |

LZ - liczba zmiennych oraz liczba stopni swobody / NoV - number of variables with degrees of freedom,

R - współczynnik (adjustowany) korelacji wielokrotnej / correlation coefficient (adjusted),

MSE - średni błąd kwadratowy / mean square error,

pozostałe oznaczenia jak w tabeli 1 / other symbols as in the table 1.