

WYMIANA ENERGII NA POWIERZCHNI CZYNNEJ
JAKO PODSTAWA KLASYFIKACJI TOPOKLIMATYCZNEJ

Janusz Paszyński

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa
e-mail: j.pasz@twarda.pan.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono zasady klasyfikacji topoklimatów, opartej o główne cechy wymiany energii na powierzchni granicznej między atmosferą a podłożem, a następnie – zastosowanie tej klasyfikacji do kartowania topoklimatycznego. Biorąc pod uwagę różne typy wymiany energii wydzielone osobno dla pory dziennej i dla pory nocnej, opracowano klasyfikację topoklimatów, w której wyróżniono 16 ich typów, odpowiadających względnym wartościom głównych składników bilansu cieplnego.

Słowa kluczowe: wymiana energii, bilans cieplny, bilans promieniowania, topoklimatologia, kartowanie topoklimatyczne.

WSTĘP

Dla właściwego kształtowania środowiska wiejskiego – a przez to i dla planowania wielofunkcyjnego rozwoju terenów wiejskich – istotne znaczenie ma szczegółowe rozpoznanie lokalnych warunków klimatycznych (topoklimatów), występujących na danym obszarze [2,7]. Zróżnicowanie terenu pod względem topoklimatycznym jest następstwem niejednakowego przebiegu procesów wymiany energii pomiędzy atmosferą a jej podłożem, a więc na tzw. powierzchni czynnej [8]. Dlatego też sposób tej wymiany przyjęto za podstawę klasyfikacji topoklimatycznej, mającej na celu wydzielenie rozmaitych typów topoklimatu, przy czym przez topoklimat należy rozumieć klimat lokalny lub miejscowy [9].

METODA

Wymianę energii na powierzchni czynnej przedstawić można w następującej postaci równania bilansu cieplnego tej powierzchni, w którym to równaniu posz-

czególne składniki odpowiadają głównym sposobom przenoszenia energii – przez promieniowanie, unoszenie i przewodzenie:

$$Q^* + H + E + G = 0, \quad (1)$$

gdzie: Q^* oznacza saldo promieniowania,
 H – turbulencyjny strumień ciepła jawnego,
 E – turbulencyjny strumień ciepła utajonego,
 G – strumień ciepła w podłożu.

Każdy z tych strumieni przyjmować może wartość dodatnią lub ujemną. Umownie zakładamy, że strumień jest dodatni wówczas, gdy jest on skierowany ku powierzchni granicznej – od góry lub od dołu, ujemny zaś wówczas, gdy jest skierowany od tej powierzchni.

Na saldo promieniowania Q^* składają się strumienie promieniowania krótkofalowego pochodzenia słonecznego (K) i promieniowania długofalowego pochodzenia ziemskiego (L), zgodnie z równaniem bilansu radiacyjnego:

$$Q^* = K^* + L^* = K\downarrow - K\uparrow + L\downarrow - L\uparrow, \quad (2)$$

gdzie: K^* oznacza saldo promieniowania krótkofalowego,
 L^* – saldo promieniowania długofalowego,
 $K\downarrow$ – całkowite promieniowanie słoneczne,
 $K\uparrow$ – promieniowanie słoneczne odbite od powierzchni czynnej,
 $L\downarrow$ – promieniowanie zwrotne atmosfery,
 $L\uparrow$ – promieniowanie powierzchni czynnej.

Biorąc pod uwagę te dwa równania: bilansu cieplnego i bilansu promieniowania, sporządzono klasyfikację typów wymiany energii na powierzchni czynnej. Klasyfikacja ta odnosi się zasadniczo do sezonu wegetacyjnego i do pogody “wyżowej” (“radiacyjnej”), a więc – pogody bezchmurnej lub z niewielkim tylko zachmurzeniem i bezwietrznej lub ze słabym wiatrem. Typologię tę sporządzono osobno dla dnia i osobno dla nocy, ponieważ w różnych porach doby czynniki lokalne, wynikające z fizycznych właściwości podłoża atmosfery, oddziałują na proces wymiany energii w niejednakowy sposób [3].

Z tego względu za podstawowe kryteria klasyfikacji przyjęto dla pory dziennej względne wartości pochłoniętego promieniowania słonecznego K^* , zaś dla pory nocnej – względne wartości strumienia H . Określenie „wartości względne” oznacza tu odchylenia danego strumienia od jego wartości „standardowych”, przy czym wartości standardowe odnoszą się w tym wypadku do terenów płaskich, o niezasłoniętym horyzoncie i pokrytych niską roślinnością trawiastą, a więc reprezentujących warunki wymagane od bezpośredniego otoczenia stacji meteorologicznych.

W ten sposób wydzielono po trzy główne typy wymiany energii dla pory dziennej i dla pory nocnej, odpowiadające zwiększonym, przeciętnym i zmniejszonym wartościom bądź to K^* , bądź też $-H$. W obrębie tych głównych typów wydzielono szereg podtypów, charakteryzujących strukturę strony rozchodowej lub przychodowej bilansu cieplnego. Jako kryteria podziału na jednostki typologiczne niższego rzędu (podtypy) wzięto pod uwagę dla pory dziennej wzajemne stosunki między strumieniami turbulencyjnymi ciepła jawnego H i ciepła utajonego E , określone stosunkiem Bowena $\beta = H/E$; natomiast dla pory nocnej przyjęto za kryterium względny udział strumieni H i G , przynoszących ciepło do powierzchni czynnej bądź to od atmosfery, bądź od podłoża podczas pogodnych nocy. Sporządzając wspomnianą typologię wymiany energii, w niektórych wypadkach określono także rodzaj czynnika powodującego występowanie odchyłeń od wartości „standardowych”. Wzięto również pod uwagę ewentualne występowanie strumienia ciepła pochodzenia sztucznego (składnik A = strumień ciepła antropogenicznego), będącego wynikiem spalania węgla, ropy naftowej czy gazu ziemnego dla celów przemysłowych lub komunalnych.

Poniższe dwa zestawienia obejmują wyróżnione w ten sposób typy i podtypy wymiany energii:

TYPY WYMIANY ENERGII W PORZE DZIENNEJ:

Types of energy exchange during the day-time:

Typ 1a. – $K^* > K^*_s$, wskutek wystawy (orientacji i nachylenia terenu),

Podtyp 1a.1. – $H < E$,

Podtyp 1a.2. – $H > E$,

Podtyp 1a.3. – $G > E$ oraz $G > H$,

Typ 1b. – $K^* > K^*_s$, wskutek małych wartości α (albedo),

Podtyp 1b.1. – $H < E$,

Podtyp 1b.2. – $H > E$,

Podtyp 1b.3. – $G > E$ oraz $G > H$,

Typ 2. – $K^* \cong K^*_s$,

Podtyp 2.1. – $H < E$,

Podtyp 2.2. – $H > E$,

Podtyp 2.3. – $G > E$ oraz $G > H$,

Typ 3a. – $K^* < K^*_s$, wskutek wystawy,

Podtyp 3a.1. – $H < E$,

Podtyp 3a.2. – $H > E$,

Podtyp 3a.3. – $G > E$ oraz $G > H$,

Typ 3b. – $K^* < K^*_s$, wskutek zasłonięcia horyzontu,

Podtyp 3b.1. – $H < E$,

- Podtyp 3b.2. – $H > E$,
 Podtyp 3b.3. – $G > E$ oraz $G > H$,
 Typ 3c. – $K^* < K^*_s$, wskutek wysokich wartości α ,
 Podtyp 3c.1. – $H < E$,
 Podtyp 3c.2. – $H > E$,
 Podtyp 3c.3. – $G > E$ oraz $G > H$,
 Typ 3d. – $K^* < K^*_s$, wskutek zmętnienia atmosfery,
 Podtyp 3d.1. – $H < E$,
 Podtyp 3d.2. – $H > E$,
 Podtyp 3d.3. – $G > E$ oraz $G > H$,
 Typ 4. – zmienne wartości składnika G ,
 Typ 5. – występowanie znacznych wartości składnika A .

Uwaga: Symbol K^*_s oznacza wartości „standardowe” strumienia K^* .

Note: K^*_s denotes „standard” values of flux K^* .

TYPY WYMIANY ENERGII W PORZE NOCNEJ:
 Types of energy exchange during the night-time:

- Typ 1. – $H > H_s$,
 Podtyp 1.1. – $H > G$,
 Podtyp 1.2. – $G > H$,
 Typ 2. – $H \cong H_s$,
 Podtyp 2.1. – $H > G$,
 Podtyp 2.2. – $G > H$,
 Typ 3. – $H < H_s$,
 Podtyp 3.1. – $H > G$,
 Podtyp 3.2. – $G > H$,
 Typ 4. – $E < 0$,
 Typ 5. – $E \gg 0$,
 Typ 6. – występowanie znacznych wartości składnika A .

Uwaga: Symbol H_s oznacza wartości „standardowe” strumienia H .

Note: H_s denotes „standard” values of flux H .

WYNIKI

Ostateczna klasyfikacja topoklimatów zawiera 16 typów, wyróżnionych na podstawie przedstawionych powyżej dwóch typologii wymiany energii na powierzchni czynnej: w porze dziennej i w porze nocnej, przy czym typy topoklimatu odpowiadają zasadniczo względnym wartościom głównych składników bilansu

ciepłnego powierzchni czynnej. Z tego względu w poniższym zestawieniu scharakteryzowano je przy pomocy bądź to wzajemnych relacji między wziętymi pod uwagę strumieniami energii, bądź też - stosunku niektórych strumieni do ich wartości „standardowych”.

Typy topoklimatów – Types of topoclinates:

1. $Q^* > Q_s^*$ (d) , $H > H_s$ (n) , $H > E$ (d) ;
2. $Q^* > Q_s^*$ (d) , $H > H_s$ (n) , $E > H$ (d) ;
3. $Q^* > Q_s^*$ (d) , $H < H_s$ (n) , $H > E$ (d) ;
4. $Q^* > Q_s^*$ (d) , $H < H_s$ (n) , $E > H$ (d) ;
5. $Q^* \cong Q_s^*$ (d) , $H > H_s$ (n) , $H > E$ (d) ;
6. $Q^* \cong Q_s^*$ (d) , $H > H_s$ (n) , $E > H$ (d) ;
7. $Q^* \cong Q_s^*$ (d) , $H \cong H_s$ (n) , $H > E$ (d) ;
8. $Q^* \cong Q_s^*$ (d) , $H \cong H_s$ (n) , $E > H$ (d) ;
9. $Q^* \cong Q_s^*$ (d) , $H < H_s$ (n) , $H > G$ (n) ;
10. $Q^* \cong Q_s^*$ (d) , $H < H_s$ (n) , $G > H$ (n) ;
11. $Q^* < Q_s^*$ (d) , $H > H_s$ (n) , $H > E$ (d) ;
12. $Q^* < Q_s^*$ (d) , $H > H_s$ (n) , $E > H$ (d) ;
13. $Q^* < Q_s^*$ (d) , $H < H_s$ (n) ;
14. $H > 0$ (d) , $H < 0$ (n) ;
15. $E > 0$ (n) ;
16. $A > 0$;

Uwaga: (d) oznacza wartości strumieni w porze dziennej, zaś (n) – w porze nocnej; symbole Q_s^* i H_s oznaczają wartości „standardowe” strumieni Q^* i H .

Note: (d) denotes values of fluxes during day-time, (n) denotes values of fluxes during night-time; Q_s^* and H_s denote „standard” values of fluxes Q^* and H .

Wyznaczenie przestrzennych zasięgów poszczególnych topoklimatów na badanym obszarze wymaga przede wszystkim uwzględnienia fizycznych właściwości powierzchni czynnej i przylegających do niej warstw atmosfery i podłoża. Chodzi tu głównie o właściwości radiacyjne (albedo, zdolność emisyjna, zmętnienie atmosfery), termiczne (przewodnictwo ciepłe, pojemność ciepła),

higryczne (współczynnik uwilgotnienia powierzchni), aerodynamiczne (współczynnik szorstkości, przesunięcie płaszczyzny zerowej) [4,8]. Te właściwości fizyczne stanowić powinny zasadniczy przedmiot kartowania topoklimatycznego. Kartowanie takie polegać może bądź to na wyznaczeniu zasięgów poszczególnych topoklimatów bezpośrednio w terenie, bądź też – na przypisaniu odpowiedniego typu topoklimatu pewnym, z góry wyróżnionym jednostkom przestrzennym, jak na przykład mikroregionom fizycznogeograficznym, czy też geometrycznym polom podstawowym (na przykład podstawowym powierzchniom siatki systemu informacji geograficznej).

Doświadczenie uczy, że skala najwłaściwsza dla kartowania topoklimatycznego powinna być zawarta w przybliżeniu w przedziale od 1:25.000 do 1:200.000. Skala większa niż 1:25.000 daje złudne wyobrażenie dużej dokładności, pamiętać trzeba jednak o tym, że granice pomiędzy jednostkami klimatycznymi prawie nigdy nie mają zbyt wyraźnego przebiegu – są to raczej swego rodzaju strefy przejściowe, nie zaś – ostro zarysowane granice, jak to ma miejsce w odniesieniu na przykład do jednostek geomorfologicznych, glebowych czy geobotanicznych. Natomiast skala mniejsza od 1:200.000 staje się już mało przydatną do przedstawienia panujących lokalnych warunków klimatycznych ze względu na zbyt małą dokładność i konieczność stosowania daleko idącej generalizacji [12].

WNIOSKI

1. Jak wynika z przeprowadzonych badań topoklimat danego miejsca zależy głównie od dwóch rodzajów czynników. Pierwszy z nich jest następstwem promieniowania słonecznego, pochłoniętego w ciągu dnia przez podłoże atmosfery [1,3,6]. Drugi rodzaj czynników związany jest z lokalną adwekcją, tzn. wpływem i zaleganiem zimnego powietrza w godzinach nocnych.

2. Badania dotyczące znaczenia wymiany energii dla kształtowania się lokalnych warunków klimatycznych wymagają w dalszym ciągu pogłębienia i dodatkowych niezbędnych danych, szczególnie w odniesieniu do zjawisk spływu i zalegania powietrza, mających istotne znaczenie w tworzeniu się nocnych inwersji temperatury w tak zwanych "zastoiskach" zimnego powietrza (kotlinach chłodu) [10,11]. Rolą geografa jest więc w tym wypadku zebranie i określenie szczegółowych danych fizycznych, odnoszących się do procesów przenoszenia, wymiany i przekształcania energii, zachodzących na powierzchni granicznej między atmosferą a jej podłożem. Jednakże uzyskane wyniki badań pozwalają już teraz ustanowić pewną hierarchię czynników mających istotny wpływ na rozkład temperatury a także innych ważnych elementów meteorologicznych, a przez to – także na rozmieszczenie różnego typu topoklimatów.

3. Wykonana zgodnie z przedstawionymi tu założeniami mapa topoklimatyczna może być uważana za swego rodzaju mapę „podstawową” o charakterze syntetycznym. Daje ona bowiem możliwość określenia nie tylko panujących w danym miejscu lokalnych warunków klimatycznych, lecz także – podstawowych czynników decydujących o kształtowaniu się odrębnych topoklimatów. Taka mapa „podstawowa” służyć może z kolei do sporządzania szeregu map pochodnych, przedstawiających przydatność panujących lokalnych warunków klimatycznych dla różnych celów praktycznych, jak na przykład dla rolnictwa, sadownictwa i warzywnictwa, turystyki i wypoczynku, komunikacji i transportu itd. Chodzi tu więc o swego rodzaju bonitację topoklimatyczną w postaci różnych map „stosowanych”, mogących stanowić przydatne i ważne narzędzie w planowaniu zagospodarowania przestrzennego terenów wiejskich [5]. Mapa „podstawowa” stanowić może również punkt wyjścia dla sporządzenia różnego rodzaju map prognostycznych, pokazujących możliwość przekształcenia i polepszenia istniejących warunków topoklimatycznych poprzez świadome zmiany niektórych właściwości fizycznych podłoża atmosfery, prowadzące do określonych modyfikacji wymiany energii – a przez to także struktury bilansu cieplnego powierzchni granicznej między atmosferą a jej podłożem.

PIŚMIENNICTWO

1. **Camuffo D., Bernardi A.:** An observational study of heat fluxes and their relationship with net radiation. *Boundary Layer Meteorology*, 23, 359-368, 1982.
2. **Enders G.:** Theoretische Topoklimatologie. Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsberichte, 1, 4, 1979-1982.
3. **Fritschen L.J., Simpson J.R.:** Surface energy and radiation balance systems: general description and improvements. *Journal of Applied Meteorology*, 28, 680-689, 1989.
4. **Jaworski J.:** Opór dyfuzyjny szaty roślinnej na tle składników bilansu wodnego i cieplnego. *Wiadomości Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej*, 4, 1986.
5. **Jeanneret F., Vautier Ph.:** Kartierung der Klimaeignung für die Landwirtschaft in der Schweiz. Geographisches Institut der Universität Bern, *Geographica Bernensia*, G 6, 1977.
6. **Kunz S.:** Anwendungsorientierte Kartierung der Besonnung in regionalem Masstab. Geographisches Institut der Universität Bern, *Geographica Bernensia*, G 19, 1983.
7. **Mattsson J.O., Lindquist S.:** Topoclimatic maps for different planning levels: some Swedish examples. *The Journal of CIB Batiment International Building Research and Practice*, 17, 299-304, 1989.
8. **Oke T.R.:** *Boundary layer climates*. Methuen, London – New York, 1987.
9. **Paszyński J., Miara K., Skoczek J.:** Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego. *IGiPZ PAN, Dokumentacja Geograficzna*, 14, 1999.
10. **Person P.:** Differential nocturnal cooling in the landscape detected by mobile measurements. *Theoretical and Applied Meteorology*, 56, 215-224, 1997.

11. **Toritani H.:** A local climatological study on the mechanics of nocturnal cooling in plains and basins. The University of Tsukuba, Environmental Research Center Papers, 13, 1990.
12. **Wanner H.:** Methods in applied topoclimatology. Zürchner Geographische Schriften, 14, 5-17, 1984.

CLASSIFICATION OF TOPOCLIMATES BASED ON THE ENERGY EXCHANGE AT THE INTERFACE EARTH-ATMOSPHERE

Janusz Paszyński

Institute of Geography and Spatial Organisation, Polish Academy of Sciences
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa
e-mail: j.pasz@twarda.pan.pl

Abstract. The main purpose of this study is to present the methodology of topoclimatic classification based on specific patterns of energy exchange at the interface earth-atmosphere, and in turn, its suitability for topoclimatological mapping. Using the typologies of energy exchange for both: day-time and night-time, the final classification of topoclimates has been elaborated. Sixteen types of topoclimates have been distinguished, according to the relative values of main components of heat balance. Some „basic” topoclimatological maps have been drawn up, thus enabling the elaboration of various „applied” maps.

Keywords: energy exchange, Heat balance, Radiation balance, Topoclimatology, Topoclimatological mapping.