

JOZEF KRCHO¹**GEOMETRICKÉ FORMY GEORELIÉFU A ICH HIERARCHICKÉ ÚROVNE**

Jozef Krcho: Geometric Forms of the Georelief and Their Hierarchic Levels. Geogr. Čas., 38, 1986, 2-3; 11 figs, 14 refs.

Definition of elements of a set of morphometric parameters of the georelief in its arbitrary point $A'_i(x_i, y_i, z_i)$. Exact mathematic characteristics of georelief forms on the basis of the work [4]. Defining these forms on the basis of curvatures ω , K_r , K_H , where ω — curvature of normal, K_r — horizontal curvature and $K_H = K_r \sin \gamma_N$ principal curvature of georelief, when γ_N — angle of relief inclination in direction of gradient curves. Mathematically formalized expression of morphotopes as the smallest relatively homogeneous spatial units of the georelief. Mathematically formalized expression of hierarchic levels of georelief forms and their mutual relationships. Influence of the georelief on the spatial differentiation of geoecological processes.

NÁČRT PROBLÉMU

Je všeobecne známe, že georeliéf je dôležitý diferenciačný faktor geokologických procesov v krajine. Na priestorovú diferenciaciu týchto procesov vplyva prostredníctvom množiny morfometrických parametrov v každom svojom ľubovoľnom bode $A'_i(x_i, y_i, z_i)$ $i = 1, 2, \dots$, vrátane jeho geometrických foriem. Georeliéf je integrálnou súčasťou krajiny, ale má v nej zároveň zvláštne postavenie. V zmysle prác [5, 6, 7] chápeme krajinu ako priestorovo organizovaný systém S_G , v ktorom môžeme vyčleniť dva autonómne priestorovo organizované subsystémy S_{AG} — socioekonomickú geografickú sféru a S_{FG} — fyzickogeografickú sféru, ktoré sú v interakcii. Sú charakterizované tokom látok a energie a informácie. Sú to látkovo energetické a informačné materiálne subsystémy. Georeliéf je zvláštnym subsystémom S_{RF} systému S_{FG} . Ako plocha je nehmotný, hmotný je len nositeľ tejto plochy [5, 7]. V práci na základe charakterizovanej množiny morfometrických parametrov reliéfu načrtneme jeho formy, morfotopy, hierarchické úrovne foriem a členitosť georeliéfu.

¹ Doc. RNDr. J. Krcho, CSc., Prírodovedecká fakulta UK, Katedra fyzickej geografie a kartografie, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava.

V zmysle prác [3, 5, 7, 10] môžeme georeliéf uvažovať ako plochu, ktorá tvorí na zvolenej rozlišovacej úrovni pevné, ale dynamické rozhranie medzi litosférou — a_3 , resp. pedosférou — a_4 na jednej strane a atmosférou — a_1 , resp. hydrosférou — a_2 na druhej strane. Podrobná definícia je v [10]. Táto plocha je pri vylúčení časového parametra T určená v súradnicovej sústave $\langle O, x, y, z \rangle$ rovnicou vo všeobecnom tvare

$$z = f(x, y), \quad (1)$$

ktorá je súčasne rovnicou skalárneho poľa. Jeho skalárnou bázou je rovina $\langle x, y \rangle$ súradnicovej sústavy $\langle O, x, y \rangle$. Plocha (1) tvorí v mierke 1:M tzv. topografickú plochu georeliéfu. Označme parciálne derivácie funkcie (1) v tvare

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f'_x; \quad \frac{\partial f}{\partial y} = f'_y; \quad \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f''_{xx}; \quad \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f''_{yy}; \quad \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} = f''_{xy}.$$

Potom gradientové pole skalárneho poľa výšok (1) je určené vzťahom

$$\text{grad } z = f'_x(x, y) \vec{i} + f'_y(x, y) \vec{j}, \quad (2)$$

kde i, j sú jednotkové, navzájom na seba kolmé vektory vektorovej bázy i, j, k kartézskej súradnicovej sústavy $\langle O, x, y, z \rangle$. Absolútne hodnoty gradienta z (2) tvoria v rovine $\langle x, y \rangle$ skalárne pole

$$|\text{grad } z| = \text{tg } \gamma_N = \sqrt{[f'_x(x, y)]^2 + [f'_y(x, y)]^2}, \quad (3)$$

kde γ_N je hodnota sklonu georeliéfu v smere spádovej krivky v jeho ľubovoľnom bode $A' (x, y, z)$. Smer vektora $\text{grad } z$ určenej veličinou A_N tvorí v skalárnej báze $\langle x, y \rangle$ skalárne pole smerov A_N , kde

$$\text{tg } A_N = \frac{f'_y(x, y)}{f'_x(x, y)}, \quad \cos A_N = \frac{f'_x}{\sqrt{f'^2_x + f'^2_y}}, \quad \sin A_N = \frac{f'_y}{\sqrt{f'^2_x + f'^2_y}}. \quad (4)$$

Sklon georeliéfu γ_N v smere spádových kriviek a orientácia georeliéfu A_N voči svetovým stranám tvoria základné morfometrické parametre georeliéfu. Ďalšími morfometrickými parametrami v zmysle práce [4] sú normálová krivosť georeliéfu ω , t. j. krivosť georeliéfu v smere spádových kriviek a horizontálna krivosť K_r , t. j. krivosť georeliéfu v smere vrstevníc. Tieto tvoria v skalárnej báze $\langle x, y \rangle$ skalárne polia určené v zmysle práce [4] rovnicami

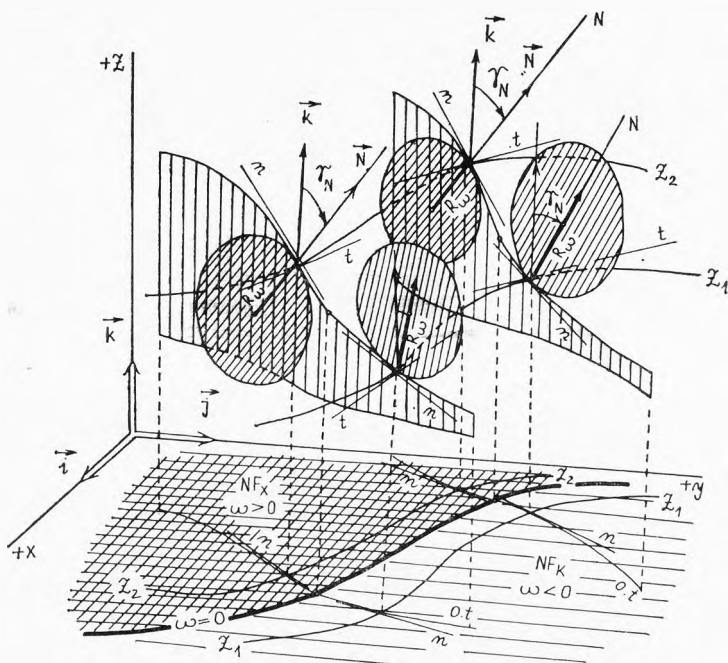
$$\omega = \frac{f'^2_x f''_{xx} + 2f''_{xy} f'_x f'_y + f'^2_y f''_{yy}}{(f'^2_x + f'^2_y) \sqrt{(1 + f'^2_x + f'^2_y)^3}} \quad (5)$$

$$K_r = \frac{f'_y f''_{xx} + 2f''_{xy} f'_x f'_y + f'_x f''_{yy}}{\sqrt{(f'^2_x + f'^2_y)^3}}.$$

Ich podrobné odvodnenie je uvedené v práci [4]. Poznamenajme, že pre normálovú krivosť ω zároveň platí, že

$$\omega \cdot R_\omega = 1 \Rightarrow \omega = \frac{1}{R_\omega}; R_\omega = \frac{1}{\omega}, \quad (6)$$

kde R_ω je polomer krivosti georeliéfu v smere spádovej krivky, ktorým je v danom bode $A'_i(x_i, y_i, z_i)$ na topografickej ploche georeliéfu opísaná kružnica normálovej krivosti so stredom ležiacim na normále N k topografickej ploche



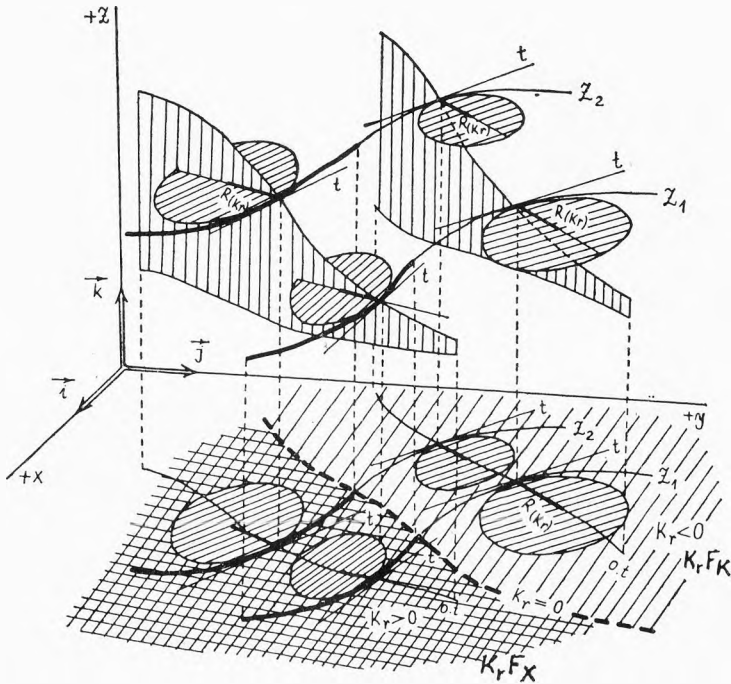
Obr. 1. Normálová krivosť georeliéfu ω a kružnica zakrivenia normálovej krivosti ω s polomerom zakrivenia $R_\omega = 1/\omega$. V konvexných normálových formách NF_X ($\omega > 0$) leží kružnica zakrivenia na vnútornej strane georeliéfu, v konkávných normálových formách NF_K ($\omega < 0$) leží kružnica zakrivenia na vonkajšej strane georeliéfu.

georeliéfu (obr. 1). Kružnica krivosti leží v rovine σ_N určenej dotyčnicou $-n$ k spádovej krivke a normálou N k topografickej poloche v bode $A'_i(x_i, y_i, z_i)$, obr. 1. V konvexných normálových formách NF_X spádových kriviek na topografickej ploche georeliéfu je $\omega > 0$, pričom kružnica zakrivenia sa nachádza na vnútornej strane plochy (obr. 1). V konkávných normálových formách NF_K je $\omega < 0$ a kružnica zakrivenia sa nachádza na vonkajšej strane spádových kriviek topografickej plochy georeliéfu.

Pre horizontálnu krivosť K_r platí, že

$$K_r \cdot R_{(K_r)} = 1 \Rightarrow K_r = \frac{1}{R_{(K_r)}}; \quad R_{(K_r)} = \frac{1}{K_r} \quad (7)$$

kde $R_{(K_r)}$ je polomer krivosti topografickej plochy georeliéfu v smere vrstevníc v danom bode $A'_i(x_i, y_i, z_i)$. Ním je opísaná kružnica krivosti vrstevnice ležiacej v rovine σ_V , ktorá je paralelná s rovinou (x, y) a ktorej stred leží na norme k vrstevnici v rovine σ_V (obr. 2).



Obr. 2. Horizontálna krivosť georeliéfu K_r a kružnice zakrivenia horizontálnej krivosti K_r s polomerom zakrivenia $R_{K_r} = 1/K_r$. V konvexných horizontálnych formách $K_r F_X$ [$K_r > 0$] leží kružnica zakrivenia na vnútornej strane georeliéfu, v konkávných horizontálnych formách $K_r F_K$ [$K_r < 0$] leží kružnica zakrivenia na vonkajšej strane georeliéfu.

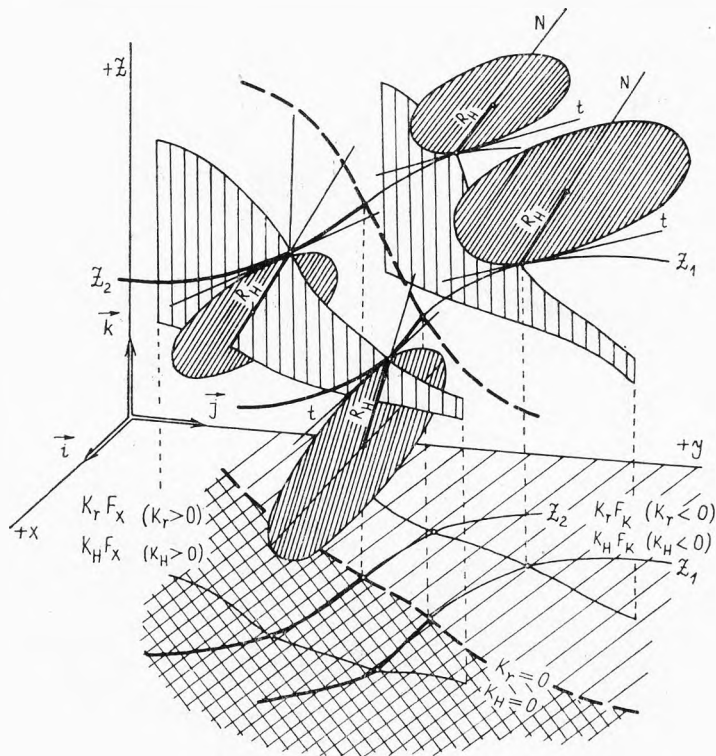
V konvexných horizontálnych formách georeliéfu $K_r F_X$ je $K_r > 0$, pričom sa kružnica zakrivenia nachádza na vnútornej strane plochy (1), (obr. 2). V konkávných horizontálnych formách $K_r F_K$ je $K_r < 0$ a kružnica zakrivenia sa nachádza na vonkajšej strane plochy (1) (obr. 2).

K horizontálnej krivosti K_r existuje ešte tzv. hlavná krivosť $K_H = K_r \cdot \sin \gamma_N$, kde

$$\sin \gamma_N = \frac{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}}{\sqrt{1 + f_x'^2 + f_y'^2}};$$

(8)

$$K_H = \frac{-f_{xx}'' f_y'^2 + 2f_{xy}'' f_x' f_y' - f_{yy}'' f_x'^2}{\sqrt{1 + f_x'^2 + f_y'^2}}.$$



Obr. 3. Kružnice zakrivenia hlavnej krivosti $K_H = K_R \sin \gamma_N$ a ich poloha na georeliéfe.

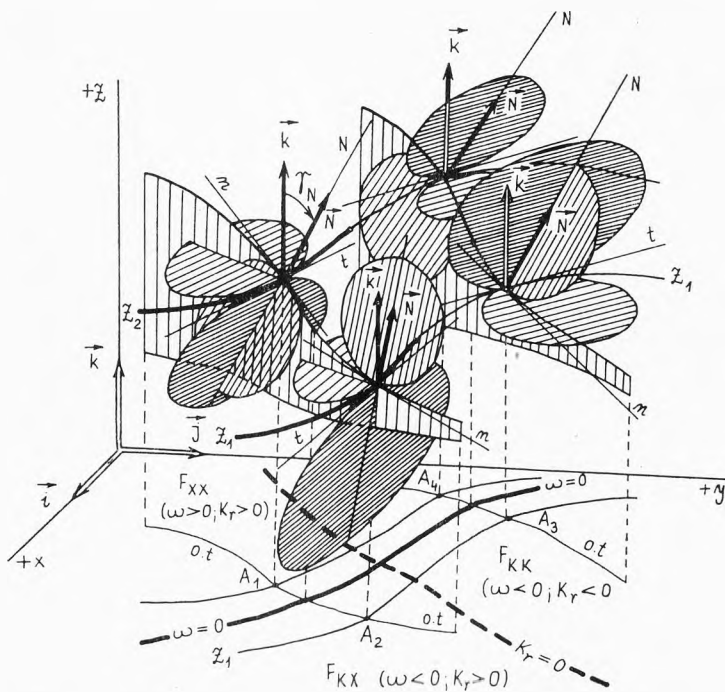
Pre hlavnú krivosť K_H zároveň platí, že

$$K_H \cdot R_H = 1 \Rightarrow K_H = \frac{1}{R_H}; R_H = \frac{1}{K_H},$$

(9)

kde R_H je polomer hlavnej krivosti K_H . Ním je opísaná kružnica hlavnej krivosti topografickej plochy georeliéfu v danom bode $A'_i(x_i, y_i, z_i)$, ktorá leží v rovine σ_H určenej normálou N_i k topografickej ploche [1] a dotyčnicou k vrstevnici na ploche [1] v bode $A'_i(x_i, y_i, z_i)$ (obr. 3). Stred kružnice hlavnej krivosti leží na normále N_i k topografickej ploche.

Z [8] plynie, že pre $K_r > 0$ je aj $K_H > 0$, pričom kružnica hlavnej krivosti leží na vnútornej strane plochy (1) a pre $K_r < 0$ je aj $K_H < 0$, pričom kružnica leží na vonkajšej strane plochy (1) (obr. 3). Vzájomný vzťah normálovej krivosti ω , horizontálnej krivosti K_r a hlavnej krivosti K_H a kružníc ich zakrivenia v danom bode $A'_i(x_i, y_i, z_i)$ je vyjadrený na obr. 4.



Obr. 4. Vzájomný vzťah a poloha kružníc zakrivenia normálovej krivosti ω , horizontálnej krivosti K_r a hlavnej krivosti $K_H = K_r \sin \gamma_N$.

V zmysle citovanej práce [4] na základe krivostí ω , K_r , resp. K_H a ich znamienok (\pm) v danom bode $A'_i(x_i, y_i, z_i)$ topografickej plochy georeliéfu je možné stanoviť jeho geometrické formy. Definovaný je preto pre každý bod $A'_i(x_i, y_i, z_i)$ ($i = 1, 2, \dots$) topografickej plochy georeliéfu jeho tzv. fázový priestor $\langle 0, \omega, K_r \rangle$, resp. $\langle 0, \omega, K_H \rangle$, kde počiatok $0 \equiv A'_i$, $\pm \omega$ je vodorovná os a $\pm K_r$, resp. $\pm K_H$ os na ňu kolmá. Pomocou tohto priestoru sú určené základné geometrické formy georeliéfu

- F_{XX} — konvex-konvexné (vypuklo-vypuklé) formy ($\omega > 0, K_r > 0$), resp. ($\omega > 0, K_H > 0$),
- F_{KX} — konkáv-konvexné (duto-vypuklé) formy ($\omega < 0, K_r > 0$), resp. ($\omega < 0, K_H > 0$),
- F_{KK} — konkáv-konkávne (duto-duté) formy ($\omega < 0, K_r < 0$), resp. ($\omega < 0, K_H < 0$),

F_{KX} — konvex-konkávne (vypuklo-duté) formy ($\omega > 0, K_r < 0$), resp. ($\omega > 0, K_H < 0$),

ktoré tvoria množinu foriem

$$F_1 = (F_{XX}, F_{KX}, F_{KK}, F_{XK}). \quad (10)$$

Fázovým priestorom $\langle 0, \omega, K_r \rangle$, resp. $\langle 0, \omega, K_H \rangle$ sú v zmysle prác [4, 10] jednoznačne určené aj formy georeliéfu s lineárnymi zložkami ω, K_r , resp. K_H , pre ktoré je $\omega = 0$, alebo $K_r = 0$, resp. $K_H = 0$.

Sú to formy

F_{XL} — konvex-lineárne (vypuklo-priame) ($\omega > 0, K_r = 0$), resp. ($\omega > 0, K_H = 0$),

F_{LK} — lineár-konvexné (priamo-vypuklé), ($\omega = 0, K_r > 0$), resp. ($\omega = 0, K_H > 0$),

F_{KL} — konkáv-lineárne (duto-priame), ($\omega < 0, K_r = 0$), resp. ($\omega < 0, K_H = 0$),

F_{LK} — lineár-konkávne (priamo-duté), ($\omega = 0, K_r < 0$), resp. ($\omega = 0, K_H < 0$),

F_{LL} — lineár-lineárne (priamo-priame), ($\omega = 0, K_r = 0$), resp. ($\omega = 0, K_H = 0$), ktoré tvoria množinu

$$F_2 = (F_{XL}, F_{LX}, F_{KL}, F_{LK}, F_{LL}). \quad (11)$$

Za formy (11) môžeme v zmysle práce [9, 10] vo zvolenej mierke 1:M považovať aj také formy z (10), v ktorých absolútna hodnota ω, K_r , resp. K_H je menšia ako určitá zvolená hraničná (limitná) absolútna hodnota $\omega_L, (K_r)_L$, resp. $(K_H)_L$. To znamená, že tie z foriem (10), pre ktoré je

$$|\omega| < |\omega_L|; |K_r| < |(K_r)_L|; |K_H| < |(K_H)_L|,$$

môžeme považovať za formy (11). Formy (10), (11) tvoria spolu množinu

$$F = \{F_1, F_2\} = \{F_{XX}, F_{KX}, F_{KK}, F_{XK}, F_{XL}, F_{LX}, F_{KL}, F_{LK}, F_{LL}\} \quad (12)$$

1 2 3 4 5 6 7 8 9

kde čísla 1, 2, 3, ..., 9 sú poradové čísla týchto foriem v množine (12).

Georeliéf a jeho topografická plocha (1) je teda v každom svojom bode $A'_i(x_i, y_i, z_i)$ charakterizovaný množinou morfometrických parametrov

$$G_{RF} = \{\Delta z, \gamma_N, A_N, \omega, K_r, F, \dots\},$$

medzi ktorými existujú vzájomné funkčné vzťahy. Tieto tvoria množinu R_{RF} (podrobnejšie pozri práce [5, 9, 10]. Priestorovú diferenciáciu geoeologických procesov ovplyvňuje georeliéf práve prostredníctvom jednotlivých prvkov z množiny G_{RF} . Miera vplyvu každého prvku z G_{RF} na geoeologické procesy závisí jednak od veľkosti každého prvku z G_{RF} a jednak od vzájomných relácií medzi nimi [5, 9, 10]. Tým je určená úloha georeliéfu ako subsystemu $S_{RF} = \{G_{RF}, R_{RF}\}$ pri priestorovej diferenciácii zložiek krajiny a geoeologických procesov v krajine.

V nadväznosti na prácu [9] vychádzame z definície morfotopov podľa práce [12]. V zmysle práce [9] morfotopy možno z hľadiska stanoveného cieľa charakterizovať ako relatívne homogénne priestorové jednotky georeliéfu určené usporiadanou množinou

$$MFT = (z_{str}, \Delta z, \{\Delta z_{sp}\}_{ij}, \{\Delta \gamma_N\}_{ij}, \{\Delta A_N\}_{ij}, F), \quad (13)$$

kte z_{str} — stredná nadmorská výška morfotopu MFT , Δz — výškový interval medzi maximálnou a minimálnou výškou MFT , Δz_{sp} — stredná hodnota výškového rozpätia MFT v smere spádových kriviek, $\{\Delta \gamma_N\}_{ij}$ — interval $\langle \{\gamma_N\}_i, \{\gamma_N\}_j \rangle$ sklonu v smere spádovej krivky vo zvolenej škále, $\{\Delta A_N\}_{ij}$ — interval $\langle \{A_N\}_i, \{A_N\}_j \rangle$ orientácie georeliéfu voči svetovým stranám vo zvolenej škále, F — formy reliéfu [12]. Usporiadaná množina (13) predstavuje formalizovaný zápis akéhokoľvek ľubovoľného morfotopu.

Z hľadiska kritérií vlastného vyčlenenia všetkých teoreticky možných morfotopov MFT (13) budú však podstatné $\{\Delta \gamma_N\}_{ij}$, $\{\Delta A_N\}_{ij}$, F vo zvolených škálach. Zvoľme v zmysle práce [9] pre $\{\Delta \gamma_N\}_{ij}$, $\{\Delta A_N\}_{ij}$ škály s nasledovným intervalovým odstupňovaním:

$$\begin{array}{cccccccccccc} \langle \Delta \gamma_N \rangle_{ij}: & \langle 0^\circ, 1^\circ \rangle, & \langle 1^\circ, 3^\circ \rangle, & \langle 3^\circ, 5^\circ \rangle, & \langle 5^\circ, 7^\circ \rangle, & \langle 7^\circ, 10^\circ \rangle, & \langle 10^\circ, 15^\circ \rangle, & \langle 15^\circ, 20^\circ \rangle, & \langle 20^\circ, & & & & \\ & \quad 1 & \quad 2 & \quad 3 & \quad 4 & \quad 5 & \quad 6 & \quad 7 & & & & & \\ & & \langle 25^\circ, 30^\circ \rangle, & \langle 30^\circ, 40^\circ \rangle, & \langle 40^\circ, 90^\circ \rangle & & & & & & & & \\ & 8 & 9 & 10 & 11 & & & & & & & & \end{array} \quad (14)$$

$$\begin{array}{cccccccccccc} \langle \Delta A_N \rangle_{ij}: & \langle 0^\circ, 30^\circ \rangle, & \langle 30^\circ, 60^\circ \rangle, & \langle 60^\circ, 90^\circ \rangle, & \langle 90^\circ, 120^\circ \rangle, & \langle 120^\circ, 150^\circ \rangle, & \langle 150^\circ, 180^\circ \rangle, & & & & & & \\ & \quad 1 & \quad 2 & \quad 3 & \quad 4 & \quad 5 & \quad 6 & & & & & & \\ & & \langle 180^\circ, 210^\circ \rangle, & \langle 210^\circ, 240^\circ \rangle, & \langle 240^\circ, 270^\circ \rangle, & \langle 270^\circ, 300^\circ \rangle, & \langle 300^\circ, 330^\circ \rangle, & \langle 330^\circ, 360^\circ \rangle & & & & & \\ & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & & & & & & \end{array} \quad (14')$$

kte čísla 1, 2, 3, 4, ... pod jednotlivými intervalmi v (14), (14') sú poradové čísla týchto intervalov v príslušnej škále.

Potom množinu všetkých teoreticky možných morfotopov je v zmysle práce [9] možné vyjadriť v tvare kubickej maticovej schémy graficky znázornenej na obr. 4 citovanej práce. V zmysle tejto práce [9] prvkami matice morfotopov $\{\mathbf{MFT}\}$ sú jednotlivé teoreticky možné morfotopy MFT_{iii} , pričom číslo iii sú poradové čísla z [12], [14], [14'], a to podľa poradia $\{\Delta \gamma_N\}_{ij}$, $\{\Delta A_N\}_{ij}$, F tak ako nasledujú za sebou v (13) [pozri obr. 4 práce [9]]. Pri stanovenom počte intervalov v [14], [14'] je pre každú jednu formu F z [12] teoreticky možné vyčleniť $11 \cdot 12 = 132$ morfotopov MFT tvoriacich prvky jednej submatice $\{\mathbf{MFT}\}_k = \{MFT\}_i^j$ pre každé jedno $k = 1, 2, \dots, 9$, t. j.

$$\{\mathbf{MFT}\}_k = \{[MFT]_i^j\}_k = \begin{bmatrix} MFT_{11k}, & MFT_{12k}, & \dots, & MFT_{1jk} \\ MFT_{21k}, & MFT_{22k}, & \dots, & MFT_{2jk} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ MFT_{i1k}, & MFT_{i2k}, & \dots, & MFT_{ijk} \end{bmatrix} \quad (15)$$

kte $i = 1, 2, \dots, 11$; $j = 1, 2, \dots, 12$; $k = 1, 2, \dots, 9$.

Kubicкую maticovou schému \mathbf{MFT} tvorí teda deväť submatic \mathbf{MFT}_k [15], t. j.

$$\mathbf{MFT} = [\mathbf{MFT}]_k^1 = \begin{bmatrix} \{\mathbf{MFT}\}_1 \\ \{\mathbf{MFT}\}_2 \\ \dots \\ \{\mathbf{MFT}\}_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{[\mathbf{MFT}]_i^j\}_1 \\ \{[\mathbf{MFT}]_i^j\}_2 \\ \dots \\ \{[\mathbf{MFT}]_i^j\}_k \end{bmatrix} \quad (15')$$

To znamená, že napr. \mathbf{MFT}_{483} je prvkom matice $(\mathbf{MFT})_3 = \{[\mathbf{MFT}]_i^j\}_3$ pre $i = 4$, $j = 8$ a je charakterizovaný nasledovnými hodnotami z_0 (14) a (14')

$$\mathbf{MFT}_{483} = \{z_{str}, \Delta z, \Delta z_{sp}, \langle 5^\circ, 7^\circ \rangle, \langle 210^\circ, 240^\circ \rangle, F_{KK} (\omega < 0, K_r < 0)\}. \quad (16)$$

Obsiahnutie normálovej a horizontálnej krivosti ω , K_r vo formalizovanom opise morfotopu (13) je veľmi dôležité, lebo z odlišných foriem F (12) pri tom istom sklone a tej istej orientácii vyplýva pri tých istých geologických podmienkach jeho iný hydrotermický režim.

Ukážme to na príklade dvoch morfotopov s tými istými hodnotami všetkých prvkov v (13), pričom však hodnoty ω , K_r sa budú líšiť znamienkami. Majme teda jeden morfotop

$$\mathbf{MFT}_{631} = \{(450 \text{ m})_{str}, 64 \text{ m}, (11 \text{ m})_{sp}, \langle 10^\circ, 15^\circ \rangle, \langle 60^\circ, 90^\circ \rangle, F_{XX} (+0,0017; +0,0163)\} \quad (17)$$

na konvex-konvexnej (vypuklo-vypuklej) forme F_{XX} ($\omega > 0$, $K_r > 0$) a druhý morfotop

$$\mathbf{MFT}_{633} = \{(450 \text{ m})_{str}, 64 \text{ m}, (11 \text{ m})_{sp}, \langle 10^\circ, 15^\circ \rangle, \langle 60^\circ, 90^\circ \rangle, F_{KK} (-0,0017; -0,0163)\} \quad (18)$$

na konkáv-konkávnej (duto-dutej) forme F_{KK} ($\omega < 0$, $K_r < 0$). Morfotop (17) na F_{XX} bude mať iný hydrotermický režim ako morfotop (18) na F_{KK} .

Z hodnôt jednotlivých prvkov usporiadaných množín (17), (18) vyplýva teda aj informačný význam formalizovaného vyjadrenia morfotopov. Zmena jednej zložky morfotopu (13) pri nezmenených hodnotách jeho ostatných zložiek má za následok zmenu stanovištných podmienok. Táto zmena bude však závisieť aj od úlohy tejto zložky vo väzbách medzi jednotlivými prvkami množiny G_{RF} subsystému S_{RF} , a teda aj od jej úlohy vo väzbách medzi jednotlivými prvkami v systéme S_{FC} .

Ukážme to na príklade zmeny orientácie georeliéfu voči svetovým stranám, pričom vyjdeme z morfotopu (18). Priradíme preto k morfotopu (18) morfotop

$$\mathbf{MFT}_{639} = \{(450 \text{ m})_{str}, 64 \text{ m}, (11 \text{ m})_{sp}, \langle 10^\circ, 15^\circ \rangle, \langle 240^\circ, 270^\circ \rangle, F_{KK} (-0,0017; -0,0163)\}, \quad (19)$$

ktorý má všetky prvky spoločné s (18), líši sa iba v orientácii A_N voči svetovým stranám. Je zřejmé, že morfotop (19) bude mať pri zachovaní všetkých ostatných podmienok s morfotopom (18), oproti nemu úplne odlišný hydrotermický režim.

Avšak ako sme už uviedli pri množine G_{RF} , vplyv jednotlivých morfometrických parametrov georeliéfu na stanovištné podmienky i na geoeologické pro-

cesy vôbec, závisí nielen od samotnej absolútnej hodnoty (veľkosti) toho ktorého parametra, ale závisí zároveň aj od hodnôt ostatných morfometrických parametrov, t. j. závisí od ich vzájomného zastúpenia. Ukážme to na príklade orientácie georeliéfu A_N voči svetovým stranám a sklonu reliéfu γ_N v smere spádových kriviek. Ako príklad vezmeme dvojicu morfotopov (18), (19), ku ktorej zároveň priradíme dvojicu morfotopov

$$MFT_{333} = ((450 \text{ m})_{str}, 24 \text{ m}, (1,35 \text{ m})_{sp}, \langle 3^\circ, 5^\circ \rangle, \langle 60^\circ, 90^\circ \rangle, F_{KK} \{-0,0017; -0,0163\}) \quad (20)$$

$$MFT_{393} = ((450 \text{ m})_{str}, 24 \text{ m}, (1,35 \text{ m})_{sp}, \langle 3^\circ, 5^\circ \rangle \langle 240^\circ, 270^\circ \rangle, F_{KK} \{-0,0017; -0,0163\}) \quad (21)$$

Je zrejmé, že pri sklone georeliéfu v intervale $\langle 3^\circ, 5^\circ \rangle$ v smere spádových kriviek nebude vplyv orientácie A_N pri zachovaní všetkých ostatných podmienok tak veľký, ako pri sklone v intervale $\langle 10^\circ, 15^\circ \rangle$. Preto aj rozdiel vo vzájomnom hydrotermickom režime morfotopov (20), (21) bude o mnoho menší ako rozdiel pri dvojici morfotopov (18), (19). Úlohu vplyvu orientácie georeliéfu A_N voči svetovým stranám v závislosti od hodnoty sklonu γ_N ukážeme na príklade priebehu hodnôt uhla dopadu slnečného lúča δ_{exp} na georeliéf pre zvolený časový moment T . Veľkosť δ_{exp} je v zmysle prác daná vzťahom

$$\mathbf{N} \cdot \mathbf{L} = N_x L_x + N_y L_y + N_z L_z = \sin \delta_{exp} \quad (22)$$

kde $\mathbf{N} \{N_x, N_y, N_z\}$ je vektor normály k topografickej ploche georeliéfu v jeho ľubovoľnom bode $A'_i (x_i, y_i, z_i)$, pričom

$$N_x = \sin \gamma_N \cos A_N; N_y = \sin \gamma_N \sin A_N; N_z = \cos \gamma_N \quad (23)$$

sú jeho zložky a vektor $\mathbf{L} \{L_x, L_y, L_z\}$ je nositeľom slnečného lúča (určuje polohu Slnka na oblohe), pričom

$$\begin{aligned} L_x &= \cos h_\odot \cos A_\odot = C_{11} \cos T + C_{13} \\ L_y &= \cos h_\odot \sin A_\odot = C_{22} \sin T \\ L_z &= \sin h_\odot = C_{31} \cos T + C_{33} \end{aligned} \quad (24)$$

sú jeho zložky určené výškou h_\odot Slnka nad horizontom a azimutom A_\odot Slnka, ktoré sú závislé od časového parametra T . Veličiny $C_{11}, C_{13}, C_{22}, C_{31}, C_{33}$, kde

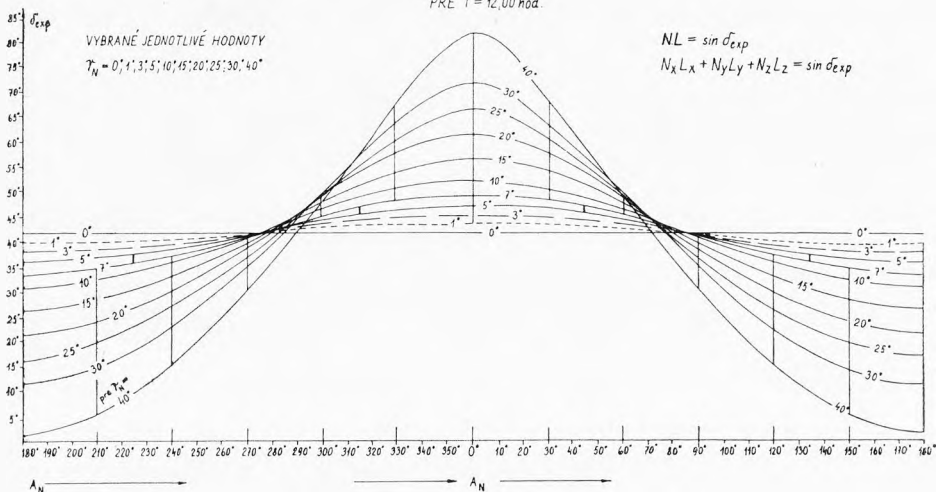
$$\begin{aligned} C_{11} &= \sin \varphi \cos \delta_\odot, C_{13} = -\cos \varphi \sin \delta_\odot, C_{22} = \cos \delta_\odot \\ C_{31} &= \cos \varphi \cos \delta_\odot, C_{33} = \sin \varphi \sin \delta_\odot \end{aligned} \quad (24')$$

sú premenné veličiny, závislé od zemepisnej šírky φ a deklinácie Slnka δ_\odot . Podrobnejšie pozri práce [1, 2, 3].

Vplyv zmeny hodnoty γ_N je pre jednotlivé vybrané $\gamma_N = 0^\circ, 1^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 7^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ a zvolený $T = 12,00$ hod. pre deklináciu Slnka $\delta_\odot = 0^\circ 00'$ vyjadrený na obr. 5. Z obr. 5 vidieť, že pre malé hodnoty γ_N je zmena veľkosti δ_{exp} v závislosti od zmeny orientácie A_N georeliéfu voči svetovým stranám malá a teda pre malé hodnoty γ_N aj veľká zmena A_N nie je významná. Na obr. 5 je

však priebeh hodnôt δ_{exp} vyjadrený iba pre jeden časový moment $T = 12,00$ hod. Tento priebeh sa okrem zmeny A_N však mení aj so zmenou T . Synteticky to pre jeden celý deň vyjadruje obr. 6, na ktorom je vyjadrený príkon $(Q_C)_D$ priameho snečného žiarenia v Jouloch na jednotku plochy georeliéfu a jeho priebeh pre jednotlivé uvedené zvolené hodnoty sklonov γ_N georeliéfu v smere

PRIEBEH HODNÔT UHLA DOPADU (EXPOZÍCIE) SNEČNÉHO LÚČA δ_{exp} PRE JEDNOTLIVÉ VYBRANÉ HODNOTY SKLONOV GEORELIÉFU γ_N V SMERE SPÁDNIC, V ZÁVISLOSTI OD ORIENTÁCIE VOČI SVETOVÝM STRANÁM A_N , PRE DEKLINÁCIU $\delta_\odot = 0^\circ 00'$
PRE $T = 12,00$ hod.



Obr. 5. Priebeh hodnôt uhla dopadu (expozície) snečného lúča δ_{exp} pre jednotlivé vybrané hodnoty sklonu georeliéfu γ_N v smere spádových kriviek v závislosti od orientácie (expozície) A_N georeliéfu voči svetovým stranám pre deklináciu $\delta_\odot = 0^\circ 00'$ a $T = 12,00$ hod.

spádových kriviek, v závislosti od orientácie georeliéfu A_N voči svetovým stranám a to pre zvolenú deklináciu Slnka $\delta_\odot = 0^\circ 00'$. Celkový príkon $(Q_C)_d$ za jeden deň so zvolenou hodnotou δ_\odot je určený vzťahom

$$(Q_C)_d = I_0 \int_{T_v}^{T_z} p^m (K \cos T + L \sin T + M) dT \quad (25)$$

kde p — je koeficient priepustnosti atmosféry, pričom $0 \leq p \leq 1$,

$$m = -R_m (C_{31} \cos T + C_{33}) + \sqrt{R_m^2 (C_{31} \cos T + C_{33})^2 + 2R_m + 1} \quad (26')$$

pričom $R_m = 637,1$ a

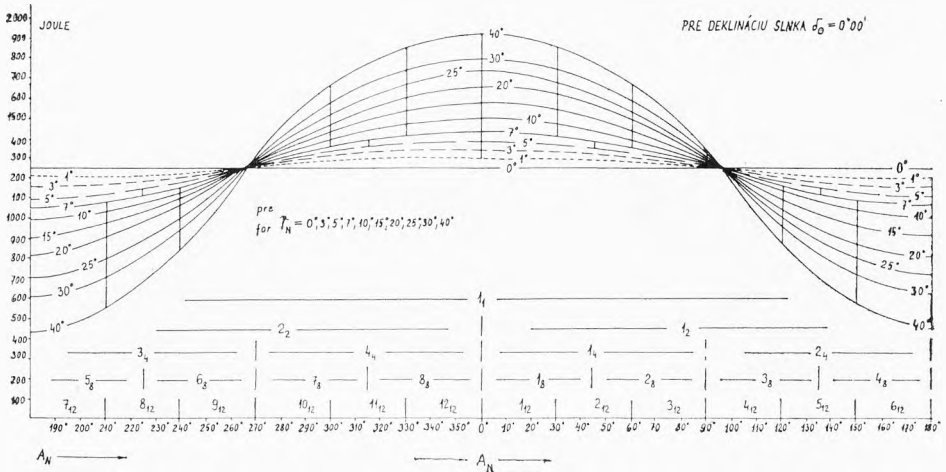
$$K = N_x C_{11} + N_z C_{31}, L = N_y C_{22}, M = N_x C_{13} + C_{33}. \quad (26'')$$

Veľičina m sa pohybuje v intervale

$$1 \leq m \leq 35,709 \text{ pre } 90^\circ \geq h_0 \geq 0^\circ$$

pričom pre $h_0 = 90^\circ$ $m = 1$ a pre $h_0 = 0^\circ$ $m = 35,709$.

PRIEBEH MNOŽSTVA SLNEČNÉHO ŽIARENIA V JOULCH PRE JEDNOTLIVÉ HODNOTY SKLONOV GEORELIEFU γ_N V SMERE SPÁDNIC, V ZÁVISLOSTI OD ORIENTÁCIE VOČI SVETOVÝM STRANÁM



Obr. 6. Priebeh množstva slnečného žiarenia v Jouloch pre jednotlivé hodnoty sklonov georeliéfu γ_N v smere spádových kriviek v závislosti od orientácie (expozície) georeliéfu A_N voči svetovým stranám.

V dôsledku toho pre malé hodnoty sklonu γ_N v smere spádových kriviek nemá význam uvažovať o zmene hodnôt A_N . To znamená, že v stredných zemepisných šírkach φ ani u morfotopov nebude intervalové odstupňovanie ΔA_N (14') konštantné pre všetky intervaly $\{\Delta \gamma_N\}_{ij}$ v (14) ako tomu bolo v matici morfotopov (15), (15'), ale sa bude meniť v závislosti od veľkosti sklonu γ_N v intervaloch (14).

Celý problém je značne široký, preto ho podrobnejšie uvedieme v samostatnej práci. Teraz iba poznamenajme, že vplyv orientácie georeliéfu A_N voči svetovým stranám na zmenu veľkosti δ_{exp} , alebo $\{Q_C\}_d$ v závislosti od hodnoty γ_N závisí aj od veľkosti zemepisnej šírky φ . Vplyv zemepisnej šírky a jej zmeny sa prejavuje cez veľičiny (24'). Totiž zo vzťahov (22), (24) plynie, že pre malé hodnoty φ v intervale

$$-23,5^\circ \leq \varphi \leq +23,5^\circ$$

je vplyv orientácie georeliéfu A_N voči svetovým stranám na veľkosť zmeny δ_{exp} a hlavne na $\{Q_C\}_d$ tak malý, že ho možno zanedbať. Preto pri vyhraničovaní morfotopov nemá význam zavádzať intervalové odstupňovanie orientácie A_N do jednotlivých intervalov $\{\Delta A_N\}_{ij}$ ani pre väčšie hodnoty sklonu γ_N . Pre hod-

noty $\varphi > 23,5^\circ$ vplyv orientácie georeliéfu A_N postupne narastá, pričom maxima dosahuje v stredných zemepisných šírkach. Preto pri vyhraničovaní morfotopov v týchto šírkach nadobúda intervalové odstupňovanie orientácie georeliéfu A_N do intervalov ΔA_N zásadný význam. So zväčšujúcou sa zemepisnou šírkou φ sa opäť vplyv orientácie georeliéfu A_N na veľkosť zmeny δ_{exp} a $(Q_C)_d$ opäť znižuje a pre $\varphi > 63,5^\circ$ sa opäť stráca. Tento problém však uvedieme v samostatnej práci. Teraz sme sa ho stručne dotkli iba z hľadiska jeho podstaty.

Zároveň ešte raz poznamenajme, že aj zvolenie intervalov (14) v škále sklonov georeliéfu v smere spádových kriviek závisí pri vyhraničovaní morfotopov od zvolených kritérií {geomorfologické kritéria z hľadiska svahovej modelácie, komplexne fyzickogeografické kritéria, atď.}. To znamená, že pri zmene kritérií sa zmení aj škála (14) a tým aj morfotopy. Z hľadiska kritérií komplexnej fyzickej geografie sa volí škála γ_N s takými intervalmi $(\Delta\gamma_N)_{ij}$, ktoré sú relevantné pre geoeologické procesy a ich zmeny. Tento spôsob nám teda umožňuje vyčlenenie priestorových jednotiek georeliéfu z hľadiska sledovaného cieľa. My teraz vyjdeme z uvedenej škály s intervalmi (14).

V zmysle už uvedeného teda pre malé hodnoty sklonu γ_N v prvom intervale $\langle 0^\circ, 1^\circ \rangle$ v (14) nerozlišíme orientáciu A_N podľa (14'), ale uvažujeme iba jeden nerozlišený interval $\langle 0^\circ, 360^\circ \rangle$, čo vyjadríme poradovým číslom 1 s indexom 1, t. j. 1_1 , kde index 1 vyjadruje počet rozlišených intervalov.

Pre sklony γ_N v intervale 2, t. j. $\langle 1^\circ, 3^\circ \rangle$ rozlíšime orientáciu A_N v dvoch intervaloch

$$\begin{array}{cc} \langle 0^\circ, 180^\circ \rangle, & \langle 180^\circ, 360^\circ \rangle \\ 1_2 & 2_2 \end{array}$$

s poradovými číslami 1, 2 a indexom 2, kde index 2 vyjadruje počet rozlišených intervalov ΔA_N .

Pre sklony γ_N v intervale 3, t. j. $\langle 3^\circ, 5^\circ \rangle$ rozlíšime orientáciu A_N v štyroch intervaloch

$$\begin{array}{cccc} \langle 0^\circ, 90^\circ \rangle, & \langle 90^\circ, 180^\circ \rangle, & \langle 180^\circ, 270^\circ \rangle, & \langle 270^\circ, 360^\circ \rangle \\ 1_4 & 2_4 & 3_4 & 4_4 \end{array}$$

s poradovými číslami 1, 2, 3, 4 s priradeným indexom 4, ktorý vyjadruje celkový počet rozlišených intervalov ΔA_N .

Pre sklony γ_N v intervale 4, t. j. $\langle 5^\circ, 7^\circ \rangle$ rozlíšime orientáciu georeliéfu A_N voči svetovým stranám v ôsmich intervaloch

$$\begin{array}{ccccc} \langle 0^\circ, 45^\circ \rangle, & \langle 45^\circ, 90^\circ \rangle, & \langle 90^\circ, 135^\circ \rangle, & \dots, & \langle 270^\circ, 315^\circ \rangle, & \langle 315^\circ, 360^\circ \rangle \\ 1_8 & 2_8 & 3_8 & & 7_8 & 8_8 \end{array}$$

s poradovými číslami 1, 2, 3, ..., 8 a s priradeným indexom 8 ku každému poradovému číslu, ktorý vyjadruje celkový počet rozlišených intervalov, ΔA_N .

Pre sklony γ_N v ostatných intervaloch (14), t. j. v intervaloch s poradovými číslami 5, 6, 7, ..., 11 rozlíšime už orientáciu A_N podľa (14'). Pritom možno na ich jednoznačné rozlíšenie použiť buď pôvodné značenie pomocou poradových čísel 1, 2, 3, ..., 12, alebo vyššie zavedené značenie $1_{12}, 2_{12}, 3_{12}, \dots, 11_{12}, 12_{12}$, kde index 12 vyjadruje celkový počet rozlišených intervalov ΔA_N .

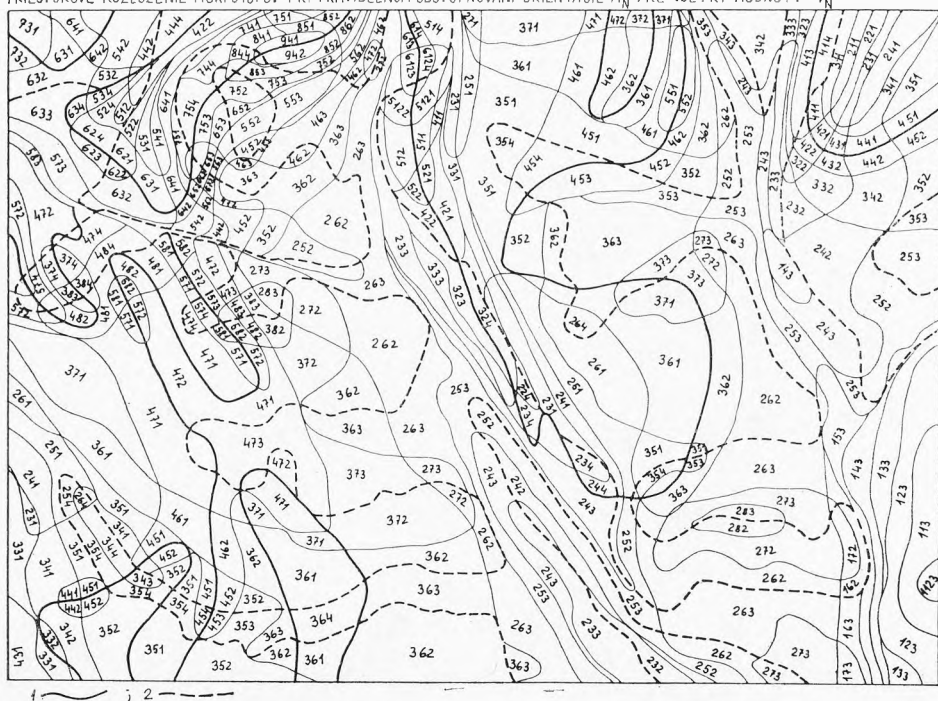
kde číslo $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ je poradové číslo foriem F v (12). Schéma (27) je graficky vyjadrená na obr. 7. V zmysle schémy (27) je teda napríklad morfotop MFT_{45g3} vyjadrený v tvare

$$MFT_{45g3} = \{(450 \text{ m})_{str}, 36 \text{ m}, (2,15 \text{ m})_{sp}, \langle 5^\circ, 7^\circ \rangle, \langle 180^\circ, 225^\circ \rangle, F \{-0,0017, -0,0163\}\}.$$

Aby bolo možné navzájom vidieť dôsledky oboch rozdielnych rozlíšení morfotopov, ukážeme na príklade dvoch obrázkov priestorové rozloženie morfotopov z tej istej oblasti podľa matice (15) a podľa schémy (27). Priestorové rozloženie morfotopov pri rovnomernom rozlíšení orientácií A_N pre všetky hodnoty γ_N v zmysle maticovej schémy (15), (15') je vyjadrené na obr. 8. Maticová schéma (15), (15') je graficky vyjadrená v práci [9] na obr. 4. Priestorové rozloženie morfotopov z tej istej oblasti ako na obr. 8 avšak vymedzených podľa schémy (27) je vyjadrené na obr. 9.

Z obr. 9 vidieť, že pri nepravidelnom odstupňovaní orientácie georeliéfu A_N v zmysle schémy (27) v závislosti od veľkosti sklonu γ_N v smere spádových kriviek, majú morfotopy pre malé hodnoty γ_N (prvé štyri intervaly v (14)) menšiu priestorovú diferenciáciu, ako morfotopy na obr. 8, s pravidelným odstupňovaním intervalov $(\Delta A_N)_{ij}$ podľa (14'), rovnakých pre všetky hodnoty

PRIESTOROVÉ ROZLOŽENIE MORFOTOPOV PRI PRAVIDELNOM ODSUPŇOVANÍ ORIENTÁCIE A_N PRE VŠETKY HODNOTY γ_N



Obr. 8. Priestorové rozloženie morfotopov pri pravidelnom odstupňovaní orientácie (expozície) georeliéfu A_N voči svetovým stranám pre všetky hodnoty γ_N .

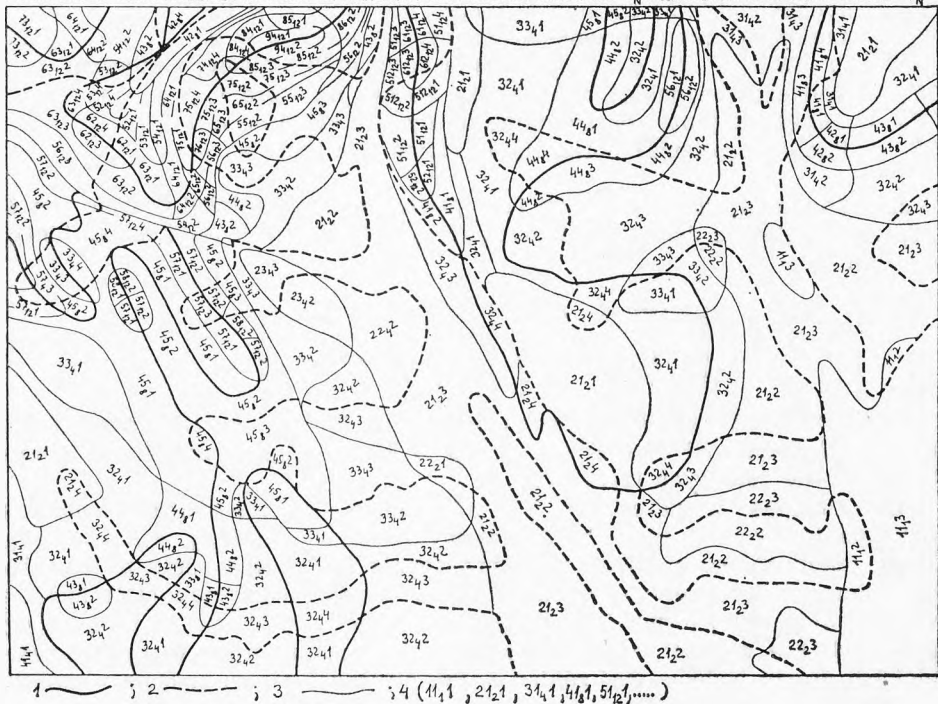
γ_N . Je to preto, že pre malé sklonu γ_N nie sú orientácie A_N z hľadiska miery ich vplyvu rozlíšené buď vôbec, alebo menej podrobne, v závislosti od veľkosti γ_N . Tento fakt nám potom napríklad umožní vyjadriť mieru zmeny priestorovej diferenciacie georeliéfu v závislosti od veľkosti jeho disekcie. Georeliéf s väčšou disekciou a teda aj s väčšími sklonmi v smere spádnic bude vzhľadom na orientácie A_N voči svetovým stranám rozlíšený do viacerých morfotopov, ako reliéf s malými sklonmi a teda aj s malou disekciou.

HIERARCHICKÉ ÚROVNE GEOMETRICKÝCH FORIEM GEORELIÉFU

Formy georeliéfu, ktoré tvoria množinu F [12], možno vyjadriť na rôznych úrovniach vzájomného hierarchického rozlíšenia, odstupňovaných navzájom voči sebe v určitom rade

$$F^{(n)} = \{F^{(n)}_{(XK)}, F^{(n)}_{(KK)}, F^{(n)}_{(KX)}, F^{(n)}_{(XX)}, \dots\}, \quad [28]$$

PRIESTOROVÉ ROZLOŽENIE MORFOTOPOV PRI PREMENNOM ODSTUPŇOVANÍ ORIENTÁCIE A_N V ZÁVISLOSTI OD VEĽKOSTI SKLONU γ_N



Obr. 9. Priestorové rozloženie morfotopov pri premennom odstupňovaní orientácie (expozície) georeliéfu A_N v závislosti od jeho sklonu γ_N .

1 — izočiaru nulovej normálovej krivosti ($\omega = 0$) ako hranice morfotopov (MFT), 2 — izočiaru nulovej horizontálnej krivosti ($K_r = 0$) ako hranice morfotopov (MFT), 3 — hranice morfotopov (MFT) s určitým sklonom γ_N a orientáciou (expozíciou) A_N georeliéfu voči svetovým stranám, 4 — identifikačné číselné trojice typov morfotopov v zmysle schémy [27].

kde $n = 1, 2, 3, \dots$ je konečné číslo, ktoré vyjadruje stupeň vzájomnej hierarchickej úrovne. Z celoplanetárneho hľadiska môžu formy $F^{(1)}$ na prvej hierarchickej úrovni ($n = 1$) vyjadrovať základné formy orografických celkov, na druhej hierarchickej úrovni ($n = 2$) môžu formy $F^{(2)}$ vyjadrovať formy jednotlivých častí orografických celkov, na tretej hierarchickej úrovni ($n = 3$) môžu formy $F^{(3)}$ vyjadrovať formy svahov, na štvrtej hierarchickej úrovni ($n = 4$) môžu formy $F^{(4)}$ vyjadrovať podrobné formy svahov v rámci základných foriem, atď. To znamená, že v každej z foriem (12) jednej hierarchickej úrovne môžeme rozlíšiť všetky formy z (12) druhej hierarchickej úrovne atď., čo uvedieme ďalej.

Keďže však celkové formy (12) sú vo fázovom priestore $\langle 0, \omega, K_r \rangle$ respektíve v $\langle 0, \omega, K_H \rangle$ definované na základe normálovej krivosti ω a horizontálnej krivosti K_r , respektíve hlavnej krivosti K_H , každá z týchto celkových foriem pozostáva z dvoch parciálnych foriem $N_F, K_r F$, respektíve $K_H F$, kde NF (NF_X, NF_K, NF_L) sú už spomenuté normálové formy georeliéfu, v ktorých sú

NF_X — konvexné (vypuklé) normálové formy, pre ktoré $\omega > 0$,
 NF_K — konkávne (duté) normálové formy, pre ktoré $\omega < 0$,
 NF_L — lineárne (priame) normálové formy, pre ktoré $\omega = 0$,
 a $K_r F$ ($K_r F_X, K_r F_K, K_r F_L$) sú už spomenuté horizontálne formy, v ktorých
 $K_r F_X$ — konvexné (vypuklé) horizontálne formy, pre ktoré $K_r > 0$,
 $K_r F_K$ — konkávne (duté) horizontálne formy, pre ktoré $K_r < 0$,
 $K_r F_L$ — lineárne (priame) horizontálne formy, pre ktoré $K_r = 0$.

To znamená, že aj každá z foriem (28) príslušnej hierarchickej úrovne $n = 1, 2, 3, \dots$ pozostáva z dvoch parciálnych foriem $NF^{(n)}, K_r F^{(n)}$ teže hierarchickej úrovne, t. j.

$$\begin{aligned} F_{XX}^{(1)} (NF_X^{(1)}, K_r F_X^{(1)}), F_{KK}^{(1)} (NF_K^{(1)}, K_r F_K^{(1)}), \\ F_{KK}^{(1)} (NF_K^{(1)}, K_r F_K^{(1)}), F_{XX}^{(1)} (NF_X^{(1)}, K_r F_X^{(1)}) \end{aligned} \quad (29)$$

Preto v stručnosti najprv načrtneme stanovenie hierarchických úrovní týchto parciálnych foriem $NF^{(n)}, K_r F^{(n)}, K_H F^{(n)}$ a až na ich základe načrtneme hierarchické úrovne celkových foriem (28).

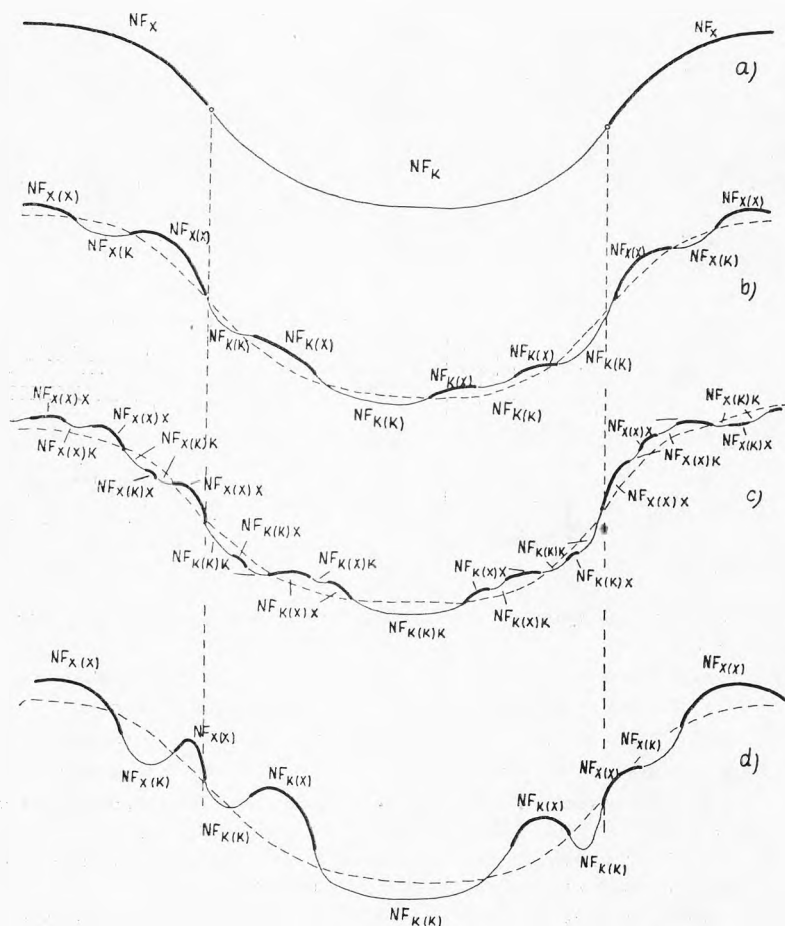
Poznamenajme, že ak pri $NF, K_r F, K_H F$ budeme rozlišovať iba konvexné a konkávne formy, t. j. vždy iba dve formy (NF_X, NF_K), ($K_r F_X, K_r F_K$), ($K_H F_X, K_H F_K$), potom máme pri operáciách pre výpočet celkového počtu foriem rôznych hierarchických úrovní základ 2. Ak v zmysle podmienok (11') budeme uvažovať aj o tretej forme $NF_L, K_r F_L, K_H F_L$, potom rozlišujeme tri formy a pri operáciách pre výpočet celkového teoretického počtu foriem rôznych hierarchických úrovní budeme mať základ 3. Pre stručnosť zápisu budeme v ďalšom vychádzať z dvoch základných tvarov (NF_X, NF_K) a ($K_r F_X, K_r F_K$).

Pri prvej hierarchickej úrovni normálových a horizontálnych foriem $NF^{(1)}, K_r F^{(1)}$ vychádzame teda zo stanovenia dvoch základných tvarov spádových kriviek, t. j. z tvarov $NF_K^{(1)}, NF_X^{(1)}$ a zo stanovenia dvoch základných tvarov vrstevníc, t. j. z tvarov $K_r F_K^{(1)}, K_r F_X^{(1)}$ vzhľadom na uvažovaný orografický celok, obr. 10a. Na obr. 10a je na rozvinutom profile spádovej krivky ilustratívne vyjadrený základný tvar spádovej krivky vzhľadom na dva orografické celky. Sú na

nej vyjadrené základné konvexné a konkávne normálové formy prvej hierarchickej úrovne $NF_X^{(1)}$, $NF_K^{(1)}$.

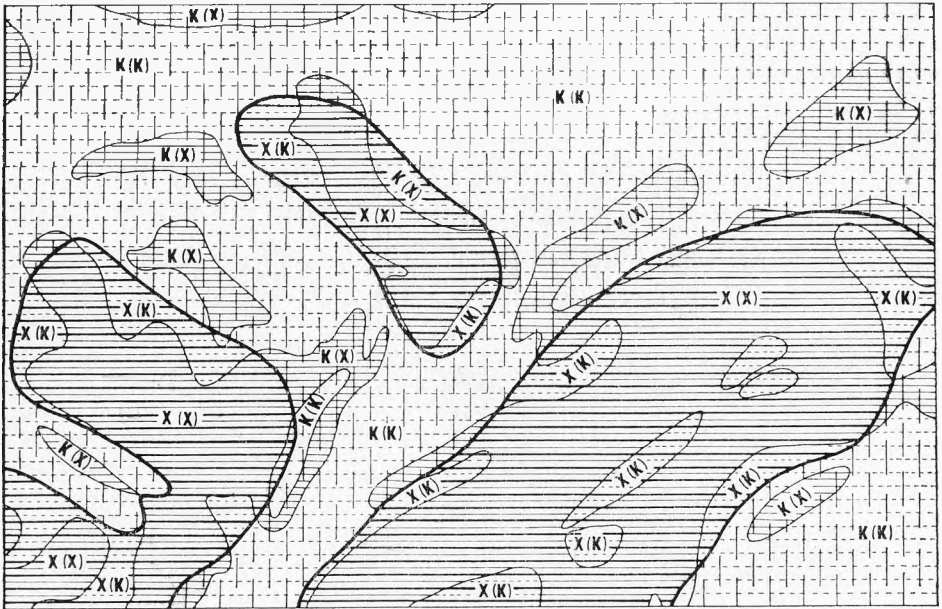
Pri druhej hierarchickej úrovni (obr. 10b), vychádzame z foriem prvej hierarchickej úrovne, pričom v každej jednej forme $NF_X^{(1)}$, $NF_K^{(1)}$ prvej hierarchickej úrovne teoreticky rozlíšime dve formy (konvexnú a konkávnu) druhej hierarchickej úrovne, t.j.

- v $NF_X^{(1)}$ rozlíšime formy $NF_{X(X)}^{(2)}$, $NF_{X(K)}^{(2)}$
- v $NF_K^{(1)}$ rozlíšime formy $NF_{K(X)}^{(2)}$, $NF_{K(K)}^{(2)}$
- v $K_r F_X^{(1)}$ rozlíšime formy $K_r F_{X(X)}^{(2)}$, $K_r F_{X(K)}^{(2)}$
- v $K_r F_K^{(1)}$ rozlíšime formy $K_r F_{K(X)}^{(2)}$, $K_r F_{K(K)}^{(2)}$.

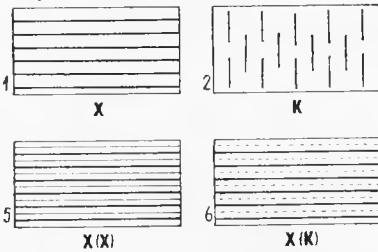


Obr. 10. Hierarchické úrovne normálových foriem georeliéfu vyjadrené na profile. a — prvá hierarchická úroveň, b — druhá hierarchická úroveň, c — tretia hierarchická úroveň, d — rôzne ilustratívne varianty druhej hierarchickej úrovne.

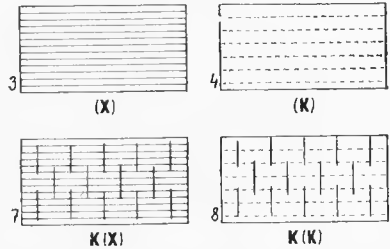
NORMÁLOVÉ FORMY GEORELIÉFU PRVEJ A DRUHEJ HIERARCHICKEJ ÚROVNE



PRVÁ HIERARCHICKÁ ÚROVŇ



DRUHÁ HIERARCHICKÁ ÚROVŇ



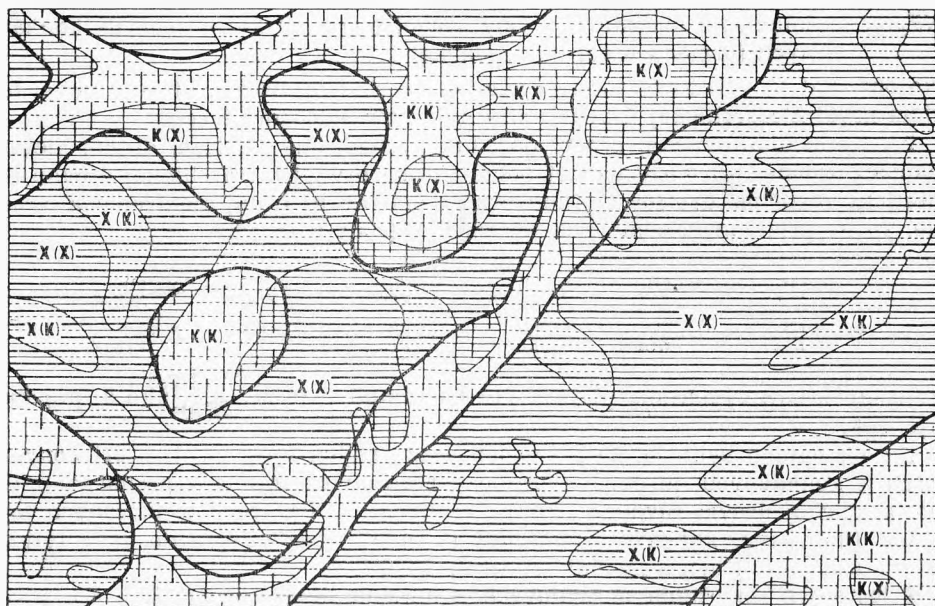
Obr. 11a. Priestorové rozloženie normálových foriem georeliéfu prvej a druhej hierarchickej úrovne.

- 1 — X , konvexné normálové formy prvej hierarchickej úrovne,
- 2 — K , konkávne normálové formy prvej hierarchickej úrovne,
- 3 — $\{X\}$, konvexné normálové formy druhej hierarchickej úrovne,
- 4 — $\{K\}$, konkávne normálové formy druhej hierarchickej úrovne,
- 5 — $X\{X\}$, konvexné normálové formy druhej hierarchickej úrovne na konvexných normálových formách prvej hierarchickej úrovne,
- 6 — $X\{K\}$, konkávne normálové formy druhej hierarchickej úrovne na konvexných normálových formách prvej hierarchickej úrovne,
- 7 — $K\{X\}$, konvexné normálové formy druhej hierarchickej úrovne na konkávných normálových formách prvej hierarchickej úrovne,
- 8 — $K\{K\}$, konkávne normálové formy druhej hierarchickej úrovne na konkávných normálových formách prvej hierarchickej úrovne.

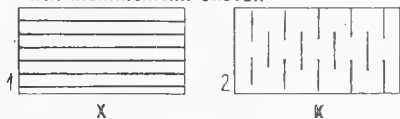
To pre všetky tri krivosti NF , K_rF , K_HF vyjadríme v tvare schémy

$$\begin{aligned}
 NF_X^{(1)} &\rightarrow NF_{X(X)}^{(2)}, NF_{X(K)}^{(2)}; NF_K^{(1)} \rightarrow NF_{K(X)}^{(2)}, NF_{K(K)}^{(2)} \\
 K_rF_X^{(1)} &\rightarrow K_rF_{X(X)}^{(2)}, K_rF_{X(K)}^{(2)}; K_rF_K^{(1)} \rightarrow K_rF_{K(X)}^{(2)}, K_rF_{K(K)}^{(2)} \\
 K_HF_X^{(1)} &\rightarrow K_HF_{X(X)}^{(2)}, K_HF_{X(K)}^{(2)}; K_HF_K^{(1)} \rightarrow K_HF_{K(X)}^{(2)}, K_HF_{K(K)}^{(2)}
 \end{aligned} \quad (30)$$

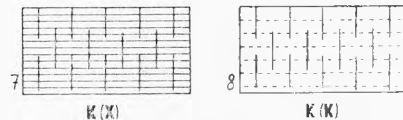
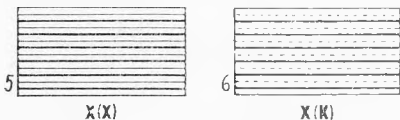
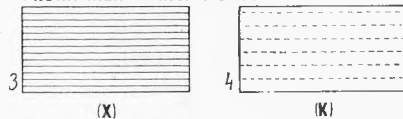
HORIZONTÁLNE FORMY GEORELIÉFU PRVEJ A DRUHEJ HIERARCHICKEJ ÚROVNE



PRVÁ HIERARCHICKÁ ÚROVŇ



DRUHÁ HIERARCHICKÁ ÚROVŇ



Obr. 11b. Priestorové rozloženie horizontálnych foriem georeliéfu prvej a druhej hierarchickej úrovne.

1 — X, konvexné horizontálne formy prvej hierarchickej úrovne,

2 — K, konkávne horizontálne formy prvej hierarchickej úrovne,

3 — X(X), konvexné horizontálne formy druhej hierarchickej úrovne,

4 — K(K), konkávne horizontálne formy druhej hierarchickej úrovne.

Horizontálne formy 5 — X(X), 6 — X(K), 7 — K(X), 8 — K(K) sa čítajú na tom istom princípe ako normálne formy 5 —, 6 —, 7 —, 8 —, na obr. 11a.

Na obr. 10b sú rozlíšené formy druhej hierarchickej úrovne na formách prvej hierarchickej úrovne.

Čítanie symbolov v [30] ukážeme na príklade normálových foriem:

- $NE_{X(X)}$ — konvexné normálové formy druhej hierarchickej úrovne na konvexných normálových formách prvej hierarchickej úrovne,
- $NE_{X(K)}$ — konkávne normálové formy druhej hierarchickej úrovne na konvexných normálových formách prvej hierarchickej úrovne,
- $NE_{K(X)}$ — konvexné normálové formy druhej hierarchickej úrovne na konkávných normálových formách prvej hierarchickej úrovne,
- $NE_{K(K)}$ — konkávne normálové formy druhej hierarchickej úrovne na konkávných formách prvej hierarchickej úrovne.

Na obr. 10d sú vyjadrené formy druhej hierarchickej úrovne, ktoré v rámci foriem prvej hierarchickej úrovne tvoria relatívne samostatné celky.

Pri tretej hierarchickej úrovni obr. 10c, vychádzame z foriem druhej hierarchickej úrovne, pričom v každej jednej forme druhej hierarchickej úrovne teoreticky rozlíšime dve formy (konvexnú a konkávnu) tretej hierarchickej úrovne. To na príklade normálových foriem vyjadríme v schéme

$$\begin{aligned}
 NF_{X(X)}^{(2)} &\rightarrow NF_{X(X)X}^{(3)}, NF_{X(X)K}^{(3)}; NF_{X(K)}^{(2)} \rightarrow NF_{X(K)X}^{(3)}, NF_{X(K)K}^{(3)} \\
 NF_{K(X)}^{(2)} &\rightarrow NF_{K(X)X}^{(3)}, NF_{K(X)K}^{(3)}; NF_{K(K)}^{(2)} \rightarrow NF_{K(K)X}^{(3)}, NF_{K(K)K}^{(3)}
 \end{aligned} \tag{31}$$

Ten istý princíp vyjadrenia platí aj pre horizontálne formy K, F , ako aj pre formy $K_H F$.

Z načrtnutého vyplýva, že pri dvoch uvažovaných formách, t. j. pri konvexných a konkávných, je počet teoreticky rozlíšených foriem v príslušnej n -tej hierarchickej úrovni rovný 2^n , kde $n = 1, 2, \dots$. Pri troch uvažovaných formách (konvexné, konkávne, lineárne) je počet teoreticky rozlíšených foriem v príslušnej n -tej hierarchickej úrovni rovný 3^n .

Prístorové rozloženie normálových a horizontálnych foriem NE, K, F prvej a druhej hierarchickej úrovne je ilustratívne vyjadrené na obr. 11a, b.

Z uvedeného princípu vyplýva rozlíšenie štyroch základných celkových foriem [10]. Tu je počet možných celkových foriem n -tej hierarchickej úrovne ($n = 1, 2, \dots$) rovný 4^n . Pre prvú hierarchickú úroveň je to $4^1 = 4$, čo je počet foriem v [10]. Pre druhú hierarchickú úroveň $n = 2$ je to $4^2 = 16$ foriem, čo vyjadríme v tvare

| | | |
|----------------|--|------|
| $F_{XX}^{(1)}$ | $F_{XX(XX)}^{(2)}, F_{XX(KX)}^{(2)}, F_{XX(KK)}^{(2)}, F_{XX(XK)}^{(2)}$ | (32) |
| $F_{KX}^{(1)}$ | $F_{KX(XX)}^{(2)}, F_{KX(KX)}^{(2)}, F_{KX(KK)}^{(2)}, F_{KX(XK)}^{(2)}$ | |
| $F_{KK}^{(1)}$ | $F_{KK(XX)}^{(2)}, F_{KK(KX)}^{(2)}, F_{KK(KK)}^{(2)}, F_{KK(XK)}^{(2)}$ | |
| $F_{XK}^{(1)}$ | $F_{XK(XX)}^{(2)}, F_{XK(KX)}^{(2)}, F_{XK(KK)}^{(2)}, F_{XK(XK)}^{(2)}$ | |

Pre tretiu hierarchickú úroveň $n = 3$ to už bude $4^3 = 256$ teoreticky možných rozlíšených celkových foriem.

Ak by sme v zmysle [12] uvažovali o rôznych hierarchických úrovniach de-

viatych základných foriem, potom možný počet celkových rozlíšených foriem n -tej hierarchickej úrovne ($n = 1, 2, \dots$) by bol 9^n . To znamená, že pre druhú hierarchickú úroveň by schéma [32] pozostávala z 9 riadkov a 9 stĺpcov, takže by obsahovala 9^2 prvkov.

Z naznačeného princípu rozlíšenia hierarchických úrovní plynie, že formy prvej hierarchickej úrovne ($n = 1$) zaberajú väčšie priestorové celky ako formy druhej hierarchickej úrovne, atď., (obr. 10a, b, c, d, obr. 11a, b). Preto formy prvej hierarchickej úrovne už z hľadiska svojho priestorového rozsahu ovplyvňujú priestorovú diferenciáciu geoeologických procesov a na ne viazaných prvkov krajiny dominantnejšie a vo väčšom priestorovom rozsahu, ako formy druhej hierarchickej úrovne, atď.

Pri charakterizovaní foriem $NF^{(n)}$, $K_r F^{(n)}$, $K_H F^{(n)}$, ako aj celkových foriem $F^{(n)}$ ($n = 1, 2, \dots$) stačí z hľadiska štúdia priestorovej diferenciácie krajiny i geoeologických procesov v úplnosti rozlíšiť ich štyri, maximálne šesť hierarchických úrovní, ak za základnú (prvú) rozlišovaciu úroveň považujeme úroveň základných orografických celkov. Ak však študujeme menšie oblasti krajiny, možno z pracovného hľadiska stanoviť lokálne hierarchické odstupňovanie, v ktorom sa prvá lokálna hierarchická úroveň $F^{(1)}$ vzťahuje na najbližší celok, v ktorom sa celá študovaná oblasť nachádza. V takomto prípade vystačíme s dvomi, maximálne tromi hierarchickými úrovňami.

Pre úplnejšie stanovenie miery vplyvu uvedených foriem na priestorovú diferenciáciu geoeologických procesov v geografickej sfére je však potrebné ešte stanoviť:

- a) „mohutnosť“ každej formy na každej hierarchickej úrovni, ktorá je podobne ako morfotop, vyjadrená v tvare usporiadanej množiny,
- b) vzájomnú polohu foriem $F^{(3)}$ v $F^{(2)}$ a v $F^{(1)}$ ako aj foriem $F^{(2)}$ v $F^{(1)}$, ak študovanú oblasť uvažujeme na troch hierarchických úrovniach.

Pojem „mohutnosť“ považujeme za pracovný, preto je aj v úvodzovkách. Nerozumie sa pod ním totiž iba samotná objemová, alebo plošná veľkosť. Pretože je to však rozsiahlejší problém, uvedieme ho v samostatnej práci.

ZÁVER

Pre poznanie vplyvu georeliéfu ako subsystému krajiny na priestorovú diferenciáciu geoeologických procesov má zásadný význam jednak presná definícia množiny jeho morfometrických parametrov v každom jeho ľubovoľnom bode a jednak poznanie závislostí a vzťahov medzi nimi v ich súčasnej väzbe na ostatné prvky krajiny. Na základe takto stanovených morfometrických parametrov a vzájomných väzieb medzi nimi je potom možné aj exaktne stanoviť základné topické aj chórické jednotky georeliéfu, z ktorých v nadväznosti na našu predošlú prácu charakterizujeme teraz morfotopy.

LITERATÚRA

1. HAVERLÍK, I., KRCHO, J.: Mathematical Generalisation of forming Isoline Thematic Maps by Computer exemplified by Morphometric Analysis of Relief and Dynamic of Relief and Dynamic of Relief Insolation. Acta geographica Univ. Comenianae, Geogr. physica Nr. 1. SPN Bratislava 1973. — 2. KRCHO, J.: Zovšeobecnenie rovnice izalun-

kĺn na topografickej ploche a v jej skalárnom poli. Geogr. Čas. 19, 2, 1967. — 3. KRCHO, J.: Zostrojenie máp časovej a uhlovej dynamiky oslnenia reliéfu graficko-numerickým spôsobom a pomocou samočinných počítačov. Geogr. Čas., 22, 3, 1970. — 4. KRCHO, J.: Morphometric Analysis of Relief on the Basis of Geometric Aspect of Field Theory. Acta geographica Univ. Comeniana, Geogr. physica Nr. 1, SPN Bratislava 1973. — 5. KRCHO, J.: Štruktúra a priestorová diferenciacia fyzickogeografickej sféry ako kybernetického systému. Geogr. Čas., 24, 2, 1974. — 6. KRCHO, J.: Mapa a štruktúra jej obsahu z hľadiska teórie systémov. Geodet. a kartogr. obzor, 27/69, 1/1981. — 7. KRCHO, J.: Mapa ako abstraktný model geografickej krajiny ako priestorového systému. Geogr. Čas., 33, 3, 1981. — 8. KRCHO, J., JENÍK, J., BUREŠ, L.: The Geometrical Forms of Relief and their Description in Ecology (v tlači). — 9. KRCHO, J.: Teoretická koncepcia a interdisciplinárne aplikácie komplexného digitálneho modelu reliéfu pri modelovaní dvojdimenzionálnych polí. Geogr. Čas., 35, 3, 1983. — 10. KRCHO, J.: Teoretická koncepcia komplexného digitálneho modelu reliéfu (KDMT). Acta fac. nat. UC, Geographica Nr. 23, Bratislava 1984.

11. NEEF, E.: Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre. Gotha/Leipzig 1967. — 12. NEEF, E., RICHTER, H., BARTSCH, HAASE, G.: Beiträge zur Klärung der Terminologie in der Landschaftsforschung. Geogr. Inst. d. A. d. W. d. DDR, Leipzig 1973. — 13. SOČAVA, V., B.: Vvedenje v učenje o geosistemach. Izd. Nauka, Novosibirsk 1978. — 14. SCHEIDEGGER, A. E.: Theoretical Geomorphology, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1961.

Йозеф Крхо

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ФОРМЫ ГЕОРЕЛЬЕФА И ИХ ИЕРАРХИЧЕСКИЕ УРОВНИ

На основе математически определяемых параметров в статье рассматриваются следующие проблемы:

а) проблема определений элементов упорядоченного множества морфометрических параметров георельефа в его каждой произвольной точке $A_i (x_i, y_i, z_i)$ как функции его положения на георельефе, рассматриваемого в декартовой системе координат (O, x, y, z) ,

б) проблема математически формализованного выражения морфотопов, рассматриваемых в качестве минимальных, относительно гомогенных пространственных единиц георельефа, выраженных на основе множества морфометрических параметров и форм,

в) проблема математически формализованного выражения иерархических уровней геометрических форм георельефа и взаимоотношений отдельных форм друг с другом.

Эти проблемы рассмотрены с аспекта влияния георельефа на пространственную дифференциацию геоэкологических процессов в ландшафте. На пространственную дифференциацию рельеф влияет посредством своих отдельных морфометрических параметров. Влияние каждого морфометрического параметра зависит как от его величины в данной произвольной точке, так и от величин остальных морфометрических параметров, с которыми он находится во взаимном функциональном отношении.

Рис. 1. Кривая георельефа по нормали ω и окружность искривления кривизны по нормали ω с радиусом искривления $R_\omega = 1/\omega$. В конвексных формах по нормали $NF_X (\omega > 0)$ окружность искривления находится на внутренней стороне георельефа, в конкавных формах по нормали $NF_K (\omega < 0)$ находится окружность искривления на внешней стороне георельефа.

Рис. 2. Кривизна георельефа по горизонтали K_T и окружность искривления кривизны по горизонтали K_T с радиусом искривления $R_{K_T} = 1/K_T$. В конвексных формах по горизонтали $K_T F_X (K_T > 0)$ окружность искривления находится на внутренней

стороне геояельфа, в конкавных формах по горизонтали $K_r F_K (K_r < 0)$ находится окружность искривления на внешней стороне георельфа.

- Рис. 3. Окружность искривления главной кривизны $K_H = K_r \sin \gamma_N$ и их положение на георельфе.
- Рис. 4. Взаимоотношение и положение окружностей искривления кривизны по нормали ω , кривизны по горизонтали K_r и главной кривизны $K_H = K_r \sin \gamma_N$.
- Рис. 5. Ход значений угла падения (экспозиции) солнечного луча δ_{exp} для отдельных избранных величин наклона георельфа γ_N в направлении кривых максимального уклона в зависимости от ориентации (экспозиции) A_N георельфа по отношению к странам света для деклинации $\delta_0 = 0^\circ 00'$ и $T = 12,00$.
- Рис. 6. Ход количества солнечного сияния в джоулях для отдельных величин угла наклона георельфа γ_N в направлении кривых максимального уклона в зависимости от ориентации (экспозиции) георельфа A_N по отношению к странам света.
- Рис. 7. Геометрическое изображение схемы (27) для выражения морфотопов при нерегулярной градации значений ориентации (экспозиции) георельфа A_N в зависимости от углов наклона γ_N . Дело касается модификации матричной схемы морфотопов (15), (15') и ее геометрического отображения на рис. 4 в статье [9] стр. 272.
- Рис. 8. Пространственное распределение морфотопов при регулярной градации значений ориентации (экспозиции) георельфа A_N по отношению к странам света для всех значений γ_N .
- Рис. 9. Пространственное распределение морфотопов при переменной градации значений ориентации (экспозиции) георельфа A_N в зависимости от его угла наклона γ_N . 1 — изолинии нулевой кривизны по нормали ($\omega = 0$) как границы морфотопов (МФТ), 2 — изолинии нулевой кривизны по горизонтали ($K_r = 0$) как границы морфотопов (МФТ), 3 — границы морфотопов (МФТ), с определенным углом наклона γ_N и ориентацией (экспозицией) A_N георельфа по отношению к странам света, 4 — идентификационные трехзначные цифры типов морфотопов согласно схеме (27).
- Рис. 10. Иерархические уровни форм георельфа по нормали, выраженные на профиле. а — первый иерархический уровень, б — второй иерархический уровень, с — третий иерархический уровень, d — разные иллюстративные варианты второго иерархического уровня.
- Рис. 11а Пространственное распределение форм георельфа по нормали первого и второго иерархического уровня.
1 — X, конвексные формы по нормали первого иерархического уровня, 2 — K, конкавные формы по нормали первого иерархического уровня, 3 — (X), конвексные формы по нормали второго иерархического уровня, 4 — (K), конкавные формы по нормали второго иерархического уровня, 5 — X(X), конвексные формы по нормали второго иерархического уровня на конвексных формах по нормали первого иерархического уровня, 6 — X(K), конкавные формы по нормали второго иерархического уровня на конвексных формах по нормали первого иерархического уровня, 7 — K(X), конвексные формы по нормали второго иерархического уровня на конкавных формах по нормали первого иерархического уровня, 8 — K(K), конкавные формы по нормали второго иерархического уровня на конкавных формах по нормали первого иерархического уровня.
- Рис. 11б Пространственное распределение форм рельефа по горизонтали первого и второго иерархического уровня.
1 — X, конвексные формы по горизонтали первого иерархического уровня, 2 — K, конкавные формы по горизонтали первого иерархического уровня, 3 — (X), конвексные формы по горизонтали второго иерархического уровня, 4 — (K), конкавные формы по горизонтали второго иерархического уровня.
Формы по горизонтали 5 — X(X), 6 — X(K), 7 — K(X), 8 — K(K) читаются по такому же принципу как и формы по нормали 5 —, 6 —, 7 —, 8 —, на рис. 11а.

Перевод: Л. Правдова

GEOMETRIC FORMS OF THE GEORELIEF AND THEIR HIERARCHIC LEVELS

On the basis of mathematically defined morphometric parameters of the georelief the following problems have been set out in the paper:

a) the problem of definition of elements of an ordered set of morphometric parameters of the georelief in each its arbitrary point A_i' (x_i, y_i, z_i) as a function of its position on the georelief considered in the cartesian coordinate system $\{O, x, y, z\}$,

b) the problem of mathematically formalized expression of morphotopes as the smallest, relatively homogeneous spatial units of the georelief, expressed on the basis of a set of morphometric parameters and forms,

c) the problem of mathematically formalized expression of hierarchic levels of geometrical forms of the georelief as well as of mutual relationships between the individual forms.

The mentioned problems have been set out from the viewpoint of influence of the georelief on the spatial differentiation of geocological processes in the landscape. A relief exerts influence on the spatial differentiation by means of its individual morphometric parameters. An influence of each morphometric parameter depends on both its magnitude in a given arbitrary point and the magnitude of the other morphometric parameters that it is in a mutual functional relationship with.

Fig. 1. A curvature of normal of the georelief ω and the curvature circles of normal curvature ω with curvature radius $R_\omega = 1/\omega$. In convex normal forms NE_X ($\omega > 0$) the curvature circle lies on inner side of the georelief, while in concave normal forms NE_K ($\omega < 0$) the curvature circle lies on outer side of the georelief.

Fig. 2. The horizontal curvature of georelief K_r and the curvature circle of horizontal curvature K_r with curvature radius $R_{K_r} = 1/K_r$. In convex horizontal forms K_rEX ($K_r > 0$) the curvature circle lies on inner side of the georelief, while in concave horizontal forms K_rEK ($K_r < 0$) the curvature circle lies on outer side of the georelief.

Fig. 3. The curvature circle of principal curvature $K_H = K_r \sin \gamma_N$ and their position on the georelief.

Fig. 4. Correlations and positions of the curvature circles of normal curvature ω , of horizontal curvature K_r and of principal curvature $K_H = K_r \sin \gamma_N$.

Fig. 5. The course of values of incidence angle (exposure) of sun beam δ_{exp} for the individual selected values of the gradient of georelief γ_N in direction of gradient curves in dependence on orientation (exposure) A_N of the georelief to the points of compass for declination $\delta \odot = 0^\circ 00'$ and $T = 12,00$ hours.

Fig. 6. The course of amount of solar radiation in joules for the individual values of gradients of georelief γ_N in direction of gradient curves in dependence on the orientation (exposure) of georelief A_N to the points of compass.

Fig. 7. The geometrical representation of scheme (27) for expressing morphotopes in a non-regular gradation of orientation (exposure) of georelief A_N in dependence on gradients γ_N . This is a modification of matrix scheme of morphotopes [15], [15'] and its geometrical expression in Fig. 4 in work [9], p. 272.

Fig. 8. A spatial distribution of morphotopes in regular gradation of orientation (exposure) of georelief A_N to the points of compass for all values γ_N .

Fig. 9. A spatial distribution of morphotopes in varying gradation of orientation (exposure) of georelief A_N in dependence on its gradient γ_N .

1 — isolines of null normal curvature ($\omega = 0$) as boundaries of morphotopes (MFT), 2 — isolines of null horizontal curvatures ($K_r = 0$) as boundaries of

morphotopes (MFT), 3 — boundaries of morphotopes (MFT) with a certain gradient γ_N and orientation (exposure) A_N of the georelief to the points of compass, 4 — identifying numerical triples of morphotopic types in the sense of scheme (27).

Fig. 10. Hierarchic levels of normal forms of the georelief, expressed on the profile. *a* — 1st hierarchic level, *b* — 2nd hierarchic level, *c* — 3rd hierarchic level, *d* — various illustrative variants of the 2nd hierarchic level.

Fig. 11a. The spatial distribution of normal forms of the georelief of the 1st and 2nd hierarchic levels.

- 1 — *X*, convex normal forms of the 1st hierarchic level,
- 2 — *K*, concave normal forms of the 1st hierarchic level,
- 3 — $\{X\}$, convex normal forms of the 2nd hierarchic level,
- 4 — $\{K\}$, concave normal forms of the 2nd hierarchic level,
- 5 — *X* (*X*), convex normal forms of the 2nd hierarchic level on convex normal forms of the 1st hierarchic level,
- 6 — *X* (*K*), concave normal forms of the 2nd hierarchic level on convex normal forms of the 1st hierarchic level,
- 7 — *K* (*X*), convex normal forms of the 2nd hierarchic level on concave normal forms of the 1st hierarchic level,
- 8 — *K* (*K*), concave normal forms of the 2nd hierarchic level on concave normal forms of the 1st hierarchic level.

Fig. 11b. The spatial distribution of horizontal forms of the georelief of both the 1st and 2nd hierarchic levels.

- 1 — *X*, convex horizontal forms of the 1st hierarchic level,
 - 2 — *K*, concave horizontal forms of the 1st hierarchic level,
 - 3 — $\{X\}$, convex horizontal forms of the 2nd hierarchic level,
 - 4 — $\{K\}$, concave horizontal forms of the 2nd hierarchic level.
- Horizontal forms 5 — *X* (*X*), 6 — *X* (*K*), 7 — *K* (*X*), 8 — *K* (*K*) are read on the same principle as normal forms 5 —, 6 —, 7 —, 8 —, in Fig. 11a.

Translated by A. Krajićir