GEOGRAFICKÝ ČASOPIS

ROČNÍK 43 1991 ČÍSLO 1

MARCEL ŠÚRI*

VPLYV RELIÉFU NA PRIESTOROVÚ DIFERENCIÁCIU DÁT DRUŽICE LANDSAT 5

Marcel Šúri: Influence of Relief on Spatial Differentiation of LANDSAT 5 Data. Geogr. čas. *43*, 1991, 1, 6 figs., 3 tables, 32 refs.

The work demonstrates a relevance in solving one of the problems of interpreting LANDSAT 5 images. On test sites of model territory Zobor there is studied a correlate dependence between values of reflectance characteristics and intensity of direct solar irradiance, which is with constant position of Sun, satellite radiometer and state of atmosphere a function of slope of the relief in the direction of orthogonal lines γ_N and exposition of the relief to the cardinal points A_N. Determination of test sites was based on theoretic conception of a landscape, as spatialy organized dynamic system, while the basic criterion of their localization and choice was acceptable homogenity of landscape complexes. The obtained results document the following. In hilly type of forest landscape, the relief is showed on images of middle infrared part of spectrum during spring period as a dominant factor repressing also a manifestation of mutual differences between landscape complexes. There was ascertained direct dependence between intensity of solar irradiance and reflectance characteristics.

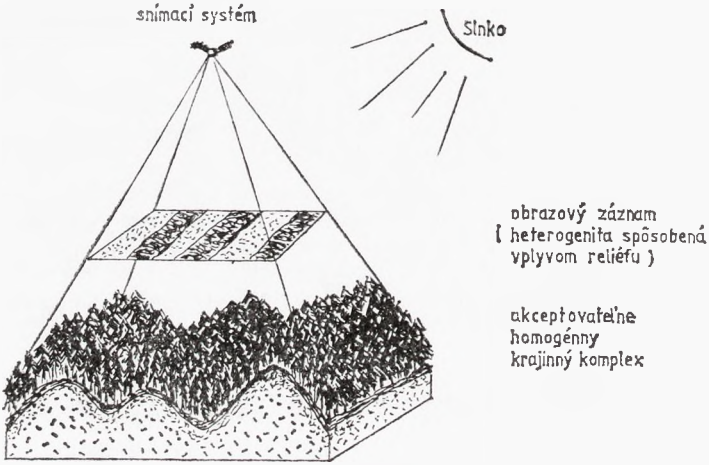
NÁČRT PROBLÉMU

Diaľkový prieskum Zeme (DPZ) v geografii chápeme ako súbor metód, prostredníctvom ktorých možno získavať informácie o krajine. Jeho výhoda spočíva v tom, že informácie o všetkých prvkoch krajiny (anorganickej, organickej i spoločenskej povahy) sa získavajú prostredníctvom jednej mernej veličiny — elektromagnetickej radiácie. Nosná idea, na ktorej je založený výskum krajiny metódami DPZ, spočíva v tom, že ak v krajine objektívne existujú akceptovateľne homogénne krajinné komplexy, musia sa objektívne prejaviť na obrazových záznamoch DPZ a musia sa dať v príslušnej mierke z nich interpretovať (J. Feranec, J. Oťaheľ 1984).

Našim cieľom bolo analyzovať vplyv reliéfu ako jedného z faktorov priestorovej diferenciácie reflexných charakteristík (ďalej RCH) akceptovateľne homogénnych objektov zemského povrchu, ktoré sú zaznamenávané multispektrálnym rádiometrom typu THEMATIC MAPPER družice LANDSAT 5. Pod pojmom reflexné charakteristiky rozumieme uvedeným rádiometrom namerané relatívne hodnoty kvantifikované v úrovni 0—255, zodpovedajúce intenzite elektromagnetickej radiácie odrazenej od objektov zemského povrchu.

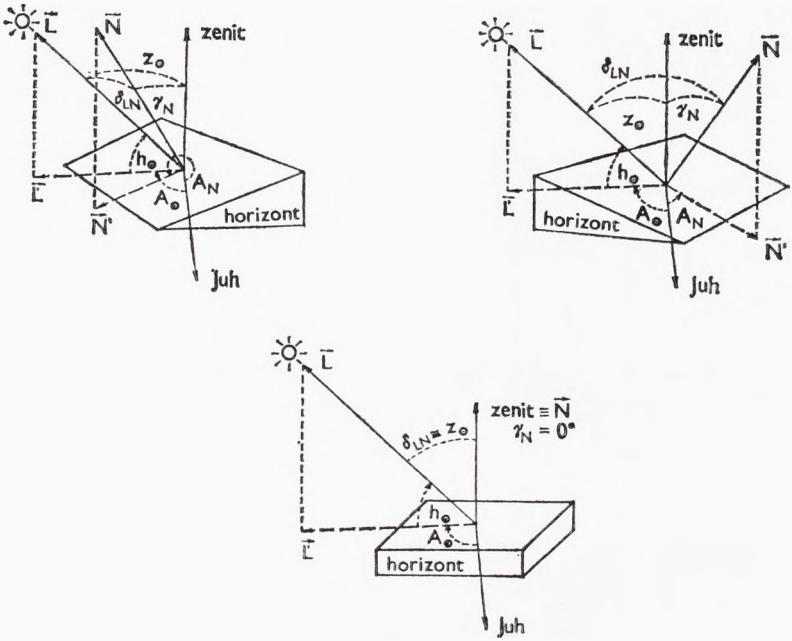
* RNDr. Marcel Šúri, Geografický ústav SAV, Jozefská 7, 811 06 Bratislava.

Z hľadiska uvedeného cieľa sme si stanovili túto pracovnú hypotézu: „Ak akceptovateľne homogénne krajinné komplexy majú rovnaké morfometrické parametre, potom ich radiačná odozva (reprezentovaná RCH) bude tiež rovnaká; ak sa tieto komplexy líšia práve morfometrickými parametrami, budú sa tiež odlišovať hodnotami RCH na obrazovom zázname." Takto definovaný problém je schematicky načrtnutý na obr. 1.



Obr. 1. Schematický náčrt formulovaného problému.

Pod pojmom *vplyv reliéfu na dáta družice LANDSAT* sa v literatúre chápe zmena radiačnej odozvy (zmena hodnôt RCH) objektov zemského povrchu, spôsobená zmenou parametrov reliéfu (najmä sklonu svahu a orientácie voči svetovým stranám). Efekt vplyvu reliéfu je definovaný ako rozdiel v RCH medzi horizontálne uloženým a nakloneným povrchom (B. Holben, C. O. Justice 1980, 1981), pričom maximálne rozdiely v radiácii sú na svahoch orientovaných v hlavnej rovine (t. j. v rovine prechádzajúcej vektorom **L** slnečného lúča a jeho priemetom **L'** do roviny horizontu) a minimálne na svahoch orientovaných kolmo na hlavnú rovinu (obr. 2). Intenzita jeho pôsobenia sa mení v závislosti od výšky Slnka nad obzorom ($h_{\odot}$), (C. O. Justice 1981). C. J. Stohr a T. R. West (1985) uvádzajú, že vplyv reliéfu sa prejavuje najviac v oblasti infračerveného spektra, pričom ho treba brať do úvahy z hľadiska geometrickej polohy troch objektov:Slnka — snímača — objektu na zemskom povrchu. Podľa práce (C. O. Justice 1978) veľkosť uhla dopadu slnečného lúča vztiahnutého k normále prechádzajúcej daným bodom zemského povrchu (δ_{LN}) ovplyvňuje množstvo slnečnej radiácie dopadnutej na jednotku plochy, a tým spôsobuje i diferenciáciu reflexných charakteristík. Autori C. E. Leprieur, J. M. Durand, J. L. Peyron (1988) uvádzajú, že reflexná variabilita v rámci jednotlivých objektov zemského povrchu spôsobená reliéfom je taká vysoká, že dochádza k vzájomnému prekryvu ich reflexných charakteristík. RCH majú tendenciu klesať v závislosti od vzrastu uhla dopadu slnečnej radiácie (δ_{NL}) Anizotropia



Obr. 2. Vplyv reliéfu na uhol dopadu slnečných lúčov. —**L** — vektor smeru dopadu slnečných lúčov, **N** vektor normály roviny v danom bode, **L'** — priemet vektora **L** do roviny horizontu, **N'** — priemet vektora **N** do roviny horizontu, $A_\odot$, $h_\odot$ — horizontálne súradnice Slnka, $z_\odot$ — zenitový uhol Slnka, A_N — orientácia reliéfu voči svetovým stranám, γ_N — sklon reliéfu v smere spádových kriviek, δ_{LN} — uhol dopadu slnečných lúčov na danú rovinu vztiahnutý k jej normále.

odrazenej radiácie vzrastá s vlnovou dĺžkou, pričom maximum dosahuje na svahoch privrátených k Slnku a minimum na svahoch od Slnka odvrátených.

Nájsť správny algoritmus na vyrešenie tohto problému nie je jednoduché. Jeho zložitosť spočíva predovšetkým v tom, že je ťažké postihnúť a vymedziť všetky faktory, ktoré súhrnne pôsobia na diferenciáciu RCH objektov krajiny a vystupujú pri riešení otázky vplyvu reliéfu ako nežiadúci šum. Analýza citovanej literatúry potvrdzuje aktuálnosť načrtnutého problému. Jeho prípadné neakceptovanie môže viesť k omylom vedúcim k nesprávnej interpretácii údajov získaných metódami DPZ. Preto pokladáme za dôležité poukázať na niektoré aspekty jeho riešenia aj v oblasti Západných Karpát, kde reliéf pôsobí v krajine ako výrazný diferenciačný faktor.

OBJASNENIE ZÁKLADNÝCH POJMOV A METÓD

Geografickú krajinu chápeme, v zhode s prácami J. Krchu (1974, 1978), ako priestorovo organizovaný, látkovoenergetický a informačný materiálny systém S_G, v ktorom môžeme vyčleniť dva autonómne subsystémy S_{AG} — subsystém socioekonomickej geografickej sféry a S_{FG} — subsystém fyzickogeografic-

kej sféry. Za zvláštny subsystém systému S_{FG} považujeme reliéf ako priestorovú, dynamickú plochu, ktorá je nehmotná, hmotný je len nositeľ, a to buď litosféra, alebo pedosféra. Reliéf Zeme definujeme v zmysle uvedených prác ako pevné, ale dynamické rozhranie medzi litosférou, resp. pedosférou na jednej strane a atmosférou, resp. hydrosférou na strane druhej. Reliéf možno v každom bode A_{ir} $(\varphi_i, \lambda_i, h_i)$ charakterizovať množinou:

$$G_{RF} = \{\triangle h, \gamma_N, A_N, \omega, K_r, K_h \ldots\}, \qquad (1)$$

ktorej prvkami sú jednotlivé morfometrické parametre, ako $\triangle h$ — relatívna výška v smere spádových krviek, γ_N — sklon reliéfu v smere spádových kriviek, A_N — orientácia reliéfu voči svetovým stranám, ω — normálová krivosť, K_r — horizontálna krivosť, K_H — hlavná krivosť.

Množina morfometrických parametrov (ďalej MFPR) pôsobí na priestorovú diferenciáciu v krajine komplexne, pričom význam ani jedného z nich nemožno zanedbávať. Riešenie problému vplyvu reliéfu na priestorovú diferenciáciu družicových dát si v jeho prvej fáze zjednodušíme tým, že budeme brať do úvahy pôsobenie len dvoch MFPR — sklonu (γ_N) a orientácie (A_N).

Pod pojmom *družicové dáta* rozumieme množinu pixlov usporiadaných vo forme matice do obrazového záznamu. Detektory rádiometra TM, citlivé na príslušný interval optického spektrálneho pásma, priradia každému pixlu hodnotu 0—255, reprezentujúcu intenzitu odrazenej, resp. vyžiarenej elektromagnetickej radiácie (ďalej EMR) objektmi zemského povrchu. Hodnoty reflexných a emisných charakteristík tak integrálne charakterizujú okamžitý stav súboru fyzikálnych, chemických, biologických a geografických vlastností prvkov krajiny chápanej ako systém S_G (J. Feranec, J. Oťaheľ 1984).

Na veľkosť nameranej hodnoty odrazenej EMR majú vplyv tieto faktory:

1. Intenzita slnečnej radiácie (ISR) dopadajúcej na zemský povrch v danom okamihu. Pri jej výpočte vychádzame zo vzťahu prebratého z prác J. Krchu 1965, 1970, 1985

$$I = I_o p^m \cos \delta_{LN}, \qquad (2)$$

kde pre daný časový horizont parametre I_o — solárna konštanta, p — koeficient priepustnosti atmosféry a m — optická vzduchová hmota atmosféry, považujeme za konštanty, ako premenná vystupuje uhol δ_{LN} zovretý vektormi **L** a **N** (obr. 2), do ktorého vstupujú pre daný čas snímania ako konštanty parametra Slnka — výška nad horizontom $h_\odot$ a azimut $A_\odot$ a premenné parametre reliéfu — sklon γ_N a orientácia A_N. Podľa rovnice radiačnej bilancie aktívneho povrchu (P. Plesník 1985) v podmienkach preletu družice nad študovaným územím možno vplyv efektívneho dlhovlnného vyžarovania aktívneho povrchu a difúznej slnečnej radiácie zanedbať. Z tohto hľadiska má na priestorovej diferenciácii EMR prijatej zemským povrchom dominantný podiel intenzita priamej slnečnej radiácie.

2. Veľkosť zorného poľa rádiometra — vzhľadom na to, že berieme do úvahy len jeden typ rádiometra, túto veličinu považujeme za konštantnú.

3. Vlastnosti aktívneho povrchu — z hľadiska študovaného problému nás zaujíma najmä schopnosť odrazu, ktorá výrazne závisí od:

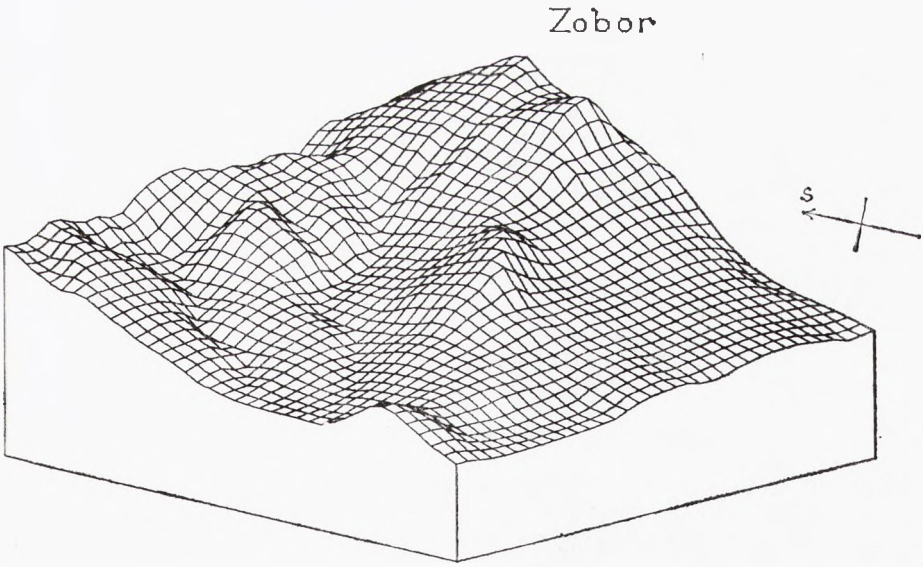
a) smeru dopadu EMR vzhľadom na reliéf, vyjadreného uhlom δ_{LN}.

b) smeru meranej odrazenej EMR vyjadrenej zenitálnou a azimutálnou orientáciou lúča odrazeného od snímaného bodu zemského povrchu do rádiometra družice. Vzhľadom na to, že schopnosť odrazu študovaných TP nebolo možné kvantitatívne opísať, použili sme kvalitatívny opis. Problém sme študovali na akceptovateľne homogénnych krajinných komplexoch, t. j. na tých územiach vymedzených v krajinnej sfére, ktoré z hľadiska rozlišovacej schopnosti rádiometra a mierky mapy možno považovať za homogénne z hľadiska geologického substrátu, pôdneho a vegetačného krytu.

POUŽITÉ MATERIÁLY A METÓDY

Načrtnutý problém sme študovali na modelovom území veľkosť 2100 × 2280 m situovanom na severnom okraji Nitry v geomorfologickom celku Tríbeč, podcelku Zobor. Vertikálna disekcia územia je 425 m, najvyšším bodom je Zobor (537 m n. m.). Na študovanom území sme sa zamerali na lesnú krajinu s prevládajúcim sklonom svahov 10—15° a orientáciou južnou a juhozápadnou až severozápadnou (obr. 3).

Základné vstupné údaje, ktoré sme mali k dispozícii, predstavovali dva obrazové záznamy (ďalej OZ) družice LANDSAT 5 študovaného územia, z 26. 4. 1987 (64 × 64 pixlov) a z 12. 4. 1988 (64 × 63 pixlov) zosnímané o 9.30 hod. miestneho času. Oba záznamy sú zo strednej infračervenej časti spektra (kanál TM 5 t. j. 1,55—1,75 μm). Súbory obsahujú surové nespracované dáta, neboli na nich vykonané nijaké predbežné korekcie. Vizualizované dáta sme polohovo



Obr. 3. Pohľadová mapa modelového územia. Pohľad od juhozápadu na masív Zobora (rozmer štvorca 60 × 60 m, model dvojnásobne prevýšený).

priradili k topografickej mape mierky 1 : 10 000 pomocou bodov výrazných na mape ako aj na OZ.

Na vyčlenenie akceptovateľne homogénnych krajinných komplexov sme použili metódu typologickej regionalizácie naložením máp v mierke 1 : 10 000 (geologickej, pôd, porastovej a lesných typov) doplnených informáciami z leteckých snímok a terénneho prieskumu. Ohraničené typy regiónov reprezentujú z hľadiska riešenia nášho problému akceptovateľne homogénne krajinné komplexy, na ktorých boli podľa kritéria veľkosti vybrané testovacie plochy, v ďalšom štádiu použité na analýzu problému. V ďalšej časti uvádzame stručný opis vybraných testovacích plôch (ďalej TP):

TP 1, TP 2 a TP 3 — na stredne kyslom kvartérnom delúviu s prímesou spraše a sprašových hlín, s hnedou lesnou pôdou mezotrofnou a dubovým porastom (100 %), vek porastu 55—60 rokov.

TP 4 — na kremencovom substráte, s hnedou lesnou pôdou mezotrofnou, sčasti oligotrofnou, zloženie porastu: 70 % dub, 30 % buk, vek porastu 85 rokov.

TP 5 — na kremencovom substráte, s hnedou lesnou pôdou mezotrofnou, sčasti prechádzajúcou do rankrovej, zloženie porastu: 45 % dub, 35 % hrab, 10 % jaseň, 10 % javor, vek porastu 75 rokov.

TP 6 — na vápencovom substráte, s rendzinou tanglovou, sčasti hnedou, zloženie porastu: 35 % dub, 25 % buk, 25 % hrab, 10 % jaseň, 5 % javor, vek porastu 80 rokov.

TP 7 — na vápencovom substráte, s rendzinou hnedou, zloženie porastu: 30 % dub, 30 % buk, 40 % hrab, vek porastu 55 rokov.

TP 8 — na vápencovom substráte, s rendzinou typickou, sčasti prechádzajúcou do tanglovej, zloženie porastu: 40 % dub, 30 % hrab, 30 % jaseň, vek porastu 40 rokov.

Prehľad kvantitatívnych ukazovateľov je obsiahnutý v tabuľke 1.

Hodnoty sklonu (γ_N) a orientácie (A_N) sme pre každý pixel vyinterpolovali z morfometrických máp skonštruovaných graficko-numerickým postupom, ktorý opísal J. Krcho (1973). Hodnoty ISR vypočítané z nich podľa vzťahu (2) a údaje o RCH tvorili tak podklad na štatistické spracovanie použitím metód lineárnej regresie a korelácie. Štatistické spracovanie prebiehalo v troch úrovniach. V prvej úrovni sme jednotlivé testovacie plochy spracovali samostatne, v druhej v troch skupinách, do ktorých boli začlenené podľa príbuznosti krajinných komplexov, na ktorých sa nachádzajú (skupiny TP 123, 45, 678), v tretej úrovni sme spoločne spracovali všetky TP.

ANALÝZA VÝSLEDKOV

Vizuálnym porovnaním a štatistickým spracovaním podkladov sme získali tieto výsledky:

1. Reliéf sa javí na OZ zo strednej infračervenej časti spektra (TM 5) ako významný diferenciačný faktor. Porovnajme hodnoty RCH s hodnotami A_N a γ_N na príklade TP 1, 2 a 3 (tab. 1), ktoré sa nachádzajú na takmer identických krajinných komplexoch, vzájomne sa líšiacich iba zmenou MFPR.

2. V strednej infračervenej časti spektra pôsobí reliéf ako dominantný faktor, ktorý potláča prejav rozdielov spôsobených vzájomnou heterogenitou kra-

Tab. 1. Prehľad kvantitatívnych ukazovateľov v jednotlivých testovacích plochách

TP	1	2	3	4	5	6	7	8	123	45	678
N	39	44	45	56	29	68	29	94	128	85	191
RCH_{str}	67,3 37,8	73,0 41,1	80,6 44,5	52,9 30,4	53,1 35,3	53,3 36,4	— 31,8	— 37,2	73,9 41,0	53,0 32,1	— 36,1
σ_{RCH}	6,5 2,8	2,4 1,1	3,4 1,6	2,3 1,9	3,6 3,3	2,2 2,0	— 1,9	— 3,4	6,9 3,3	2,8 3,4	— 3,4
RCH_{min}	53 32	69 38	74 42	48 27	45 27	48 32	— 27	— 30	53 32	45 27	— 27
RCH_{max}	81 42	80 43	88 47	58 35	59 40	58 40	— 35	— 43	88 47	59 40	— 43
$\triangle RCH$	28 10	11 5	14 5	10 8	14 13	10 8	— 8	— 13	35 15	14 13	— 16
ISR_{str}	542,0 479,6	643,9 590,4	755,4 696,7	461,1 390,8	463,2 398,3	510,5 446,5	— 421,3	— 527,6	625,1 585,3	461,8 393,3	— 482,6
σ_{ISR}	49,4 50,6	8,1 8,1	20,7 16,0	25,0 26,5	102,4 97,7	32,3 31,9	— 70,3	— 140,8	91,8 91,5	62,5 60,4	— 113,3
ISR_{min}	436,0 369,7	633,3 580,4	723,4 669,9	417,1 343,6	273,7 214,4	419,5 355,0	— 304,5	— 270,4	436,0 369,7	273,7 214,4	— 270,4
ISR_{max}	616,2 554,7	662,6 610,9	772,1 726,1	515,9 444,5	603,8 532,8	571,1 510,3	— 551,8	— 831,2	809,1 726,1	603,8 532,8	— 831,2
$\triangle ISR$	180,2 184,9	29,3 30,5	69,1 56,1	98,2 100,9	330,1 318,4	151,6 155,4	— 247,2	— 560,8	373,1 356,4	330,1 318,4	— 560,8
γ_{Nmin}	8,5	11,8	13	12	7	10,8	13,5	8,5	8,5	7	8,5
γ_{Nmax}	18	16,5	18	19	29	25	27	27	18	29	27
$\triangle\gamma_N$	9,5	4,7	5	7	22	14,2	13,5	18,5	9,5	22	18,5
A_{Nmin}	242	318	348	210	194	224	149	230	242	194	149
A_{Nmax}	295	328	15	26	275	288	198	68	15	275	68
$\triangle A_N$	53	10	27	52	81	64	49	198	133	81	279

TP — testovacia plocha, N — počet pixlov; RCH — hodnoty reflexných charakteristík: RCH_{str} — stredná, σ_{RCH} — smerodajná odchýlka, RCH_{min} — minimálna, RCH_{max} — maximálna, $\triangle RCH$ — rozdiel (RCH_{max} — RCH_{min}). ISR — hodnoty intenzity slnečnej radiácie [W/m²]: ISR_{str} — stredná, σ_{ISR} — smerodajná odchýlka, ISR_{min} — minimálna, ISR_{max} — maximálna, $\triangle ISR$ — rozdiel (ISR_{max} — ISR_{min}). γ_N — sklon reliéfu v smere spádových kriviek [°]: γ_{Nmin} — minimálny, γ_{Nmax} — maximálny, $\triangle\gamma_N$ — rozdiel (γ_{Nmax} — γ_{Nmin}). A_N — orientácia reliéfu voči svetovým stranám [°]: A_{Nmin} — minimálna, A_{Nmax} — maximálna, $\triangle A_N$ — rozdiel (A_{Nmax} — A_{Nmin}).

Poznámka: hodnoty RCH a ISR sú za roky 1987/1988.

jinných komplexov. Porovnajme rozdiely v reflexných charakteristikách TP 4, 5 a 6 s rozdielmi v ich MFPR (tab. 1). Poznamenávame, že uvedené TP predstavujú vzájomne značne odlišné krajinné komplexy. Vplyv týchto rozdielov na diferenciáciu RCH je čiastočne potlačený vplyvom relatívne rovnakých MFPR.

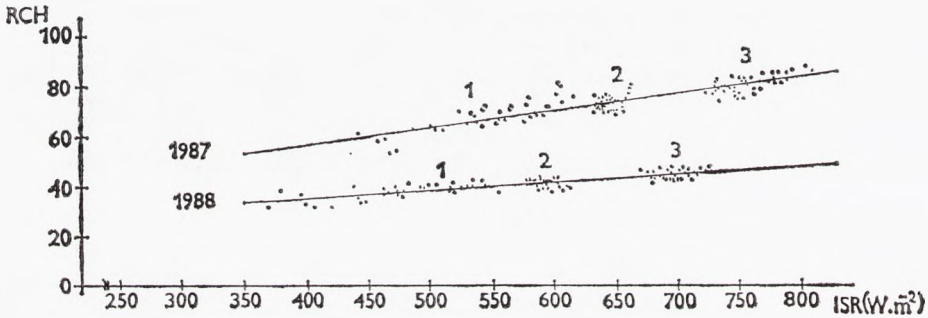
Tab. 2. Prehľad korelačných koeficientov

TP	1	2	3	4	5	6	7	8
1987	0,88	0,38[5]	0,67	0,56	0,74	0,28[5]	—	—
1988	0,78	—0,27+	0,45	0,31	0,73	0,05+	0,89	0,82

TP	123	45	678	ΣTP
1987	0,90	0,64	—	0,95
1988	0,89	0,54	0,76	0,93

TP — testovacia plocha, [5] — korelačná závislosť je signifikantná na 5 % hladine významnosti, + — korelačná závislosť nie je signifikantná.

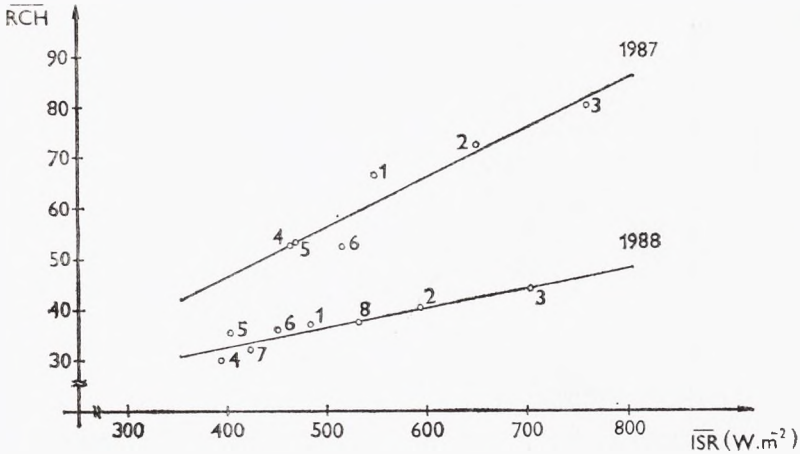
Poznámka: neoznačené korelačné koeficienty sú signifikantné na 1 % hladine významnosti.



Obr. 4. Závislosť hodnôt reflexných charakteristík (RCH) od intenzity slnečnej radiácie (skupina testovacích plôch 1, 2 a 3).

3. Priestorová diferenciácia dát oboch OZ súvisí s intenzitou priamej slnečnej radiácie, ktorá je pre okamih snímania daného územia funkciou morfometrických parametrov reliéfu γ_N a A_N. Na príklade TP 1, 2 a 3 možno dokumentovať (tab. 2 obr. 4), že medzi vypočítanými hodnotami ISR a hodnotami RCH existuje za daných podmienok a pre vlnový rozsah spektra EMR 1,55—1,75 μm priama korelačná závislosť.

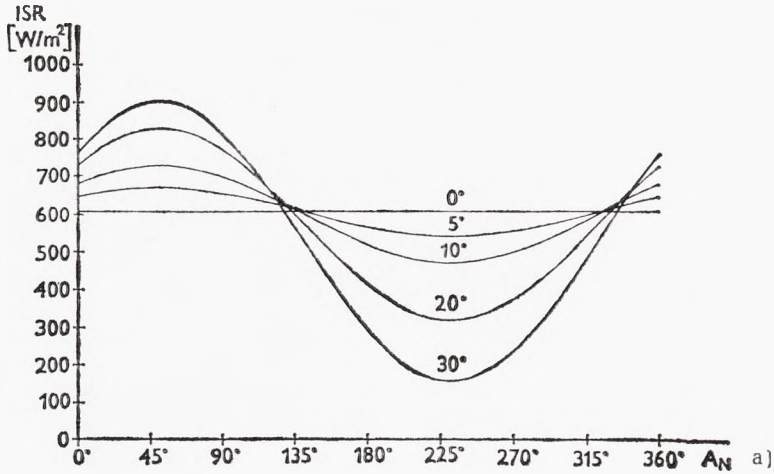
Veľkosti korelačných koeficientov (tab. 2) sa pohybujú v pomerne širokom rozpätí, iba v dvoch prípadoch sa ukázali ako nesignifikantné. Hodnoty korelačných koeficientov sú čiastočne ovplyvňované aj variabilitou hodnôt ISR a RCH, ktorú charakterizujú smerodajné odchýlky σ_{ISR} a σ_{RCH} (tab. 3). Nesignifikantnú závislosť v prípade TP 2 možno vysvetliť tým, že je orientovaná takmer kolmo na hlavnú rovinu ($A_N \approx 320°$; $A_{\bigcirc}{}^{87} = 54{,}3°$, $A_{\bigcirc}{}^{88} = 51{,}1°$), čo spôsobuje minimálnu variabilitu hodnôt ISR, a tým aj RCH. Korelačné koeficienty v prípade TP 6 sú napriek pomerne vysokej variabilite oboch parametrov nízke. Hodnoty korelačných koeficientov vypočítaných pre skupiny TP a pre všetky TP sú omnoho vyššie a vyrovnanejšie. Poukazujú na väčšiu stabilitu väzby súvisiacu tiež so vzrastom variability oboch veličín (obr. 5).

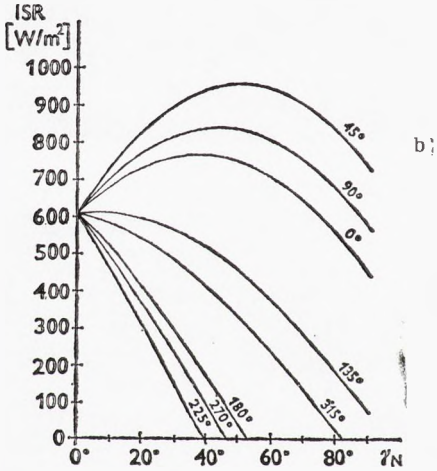


Obr. 5. Závislosť stredných hodnôt reflexných charakteristík (RCH) jednotlivých testovacích plôch od stredných hodnôt intenzity slnečnej radiácie (ISR). $_o5$ — testovacia plocha.

Keďže v našom prípade sa ukazuje tesná závislosť medzi hodnotami ISR a RCH, predpokladáme, že parametre γ_N a A_N budú aj jednotlivo ovplyvňovať diferenciáciu RCH tak, ako ovplyvňujú diferenciáciu ISR. Orientácia reliéfu voči svetovým stranám (A_N) sa na dynamike ISR podieľa tak, že najväčšie extrémy v hodnotách ISR sú na svahoch orientovaných v hlavnej rovine a najmenšie extrémy sú na svahoch s orientáciou v rovine približne kolmej na hlavnú rovinu (obr. 6a). Sklon reliéfu v smere spádových kriviek ovplyvňuje dynamiku ISR tak, že na svahoch privrátených k Slnku so vzrastajúcou hodnotou γ_N rastú i hodnoty ISR až po kritickú hodnotu $\gamma_{Nkrit} = 90° - h_\odot$, potom hodnoty klesajú. Na odvrátených svahoch so vzrastajúcou hodnotou γ_N klesá hodnota ISR (obr. 6b). Na základe analógie sme študovali vzťahy medzi A_N a RCH a γ_N a RCH. Vzhľadom na obmedzené možnosti a nereprezentatívny počet študovaných pixlov sme sa museli uspokojiť len s čiastočnými výsledkami, ktoré nedávajú jednoznačnú odpoveď.

Pri multitemporálnej analýze vplyvu reliéfu na diferenciáciu dát získaných skanerom THEMATIC MAPPER je potrebné brať do úvahy aj pôsobenie horizontálnych súradníc Slnka ($h_\odot$, $A_\odot$) na hodnoty ISR. Zdôrazňujeme pritom v literatúre uvádzaný názor (C. O. Justice 1981), že s klesajúcou výškou Slnka nad horizontom ($h_\odot$) sa prejavuje vplyv reliéfu extrémnejšie, t. j. narastá variabilita hodnôt smerodajných odchýlok (σ_{ISR} a σ_{RCH}). V tab. 3 uvádzame hodnoty smerodajných odchýlok oboch študovaných parametrov prepočítané na relatívne miery podľa Pearsonovho variačného koeficientu. Porovnaním smerodajných odchýlok hodnôt ISR možno konštatovať, že s klesajúcou hodnotou uhla $h_\odot$ vzrastá variabilita hodnôt ISR. Pri smerodajných odchýlkach hodnôt RCH sa to však jednoznačne nepotvrdzuje. Možno to objasniť tým, že OZ boli snímané v rôznych meteorologických podmienkach a sú značne ovplyvnené stavom atmosféry, pričom hodnoty ISR boli počítané pre ideálny stav atmosfé-





Obr. 6. Závislosť intenzity slnečnej radiácie (ISR) od: a) orientácie voči svetovým stranám (A_N) pre jednotlivé hodnoty sklonu v smere spádových kriviek (γ_N). b) sklonu v smere spádových krviek (γ_N) pre jednotlivé hodnoty orientácie voči svetovým stranám (A_N). Platí pre deň 26. 4. 1988, o 9.30 hod.

ry. Svoju úlohu tu zohrávajú aj vlastnosti aktívneho povrchu (textúra, farba, drsnosť, odrazivosť atď.), ktoré sa odrážajú v jeho schopnosti interakcie s danou časťou spektra EMR.

DISKUSIA

Problém vplyvu reliéfu sme študovali na malom území, preto sme väčšiu pozornosť sústredili na výber TP, aby sa čo najviac eliminoval vplyv iných faktorov (napr. heterogenity aktívneho povrchu). Pri ich určovaní je však potrebné viac využiť informácie, ktoré možno získať z družicových OZ a leteckých snímok v rôznych spektrálnych pásmach a z geografického informačného systému.

Tab. 3. Porovnanie smerodajných odchýlok σ_{RCH} a σ_{ISR} upravených podľa Pearsonovho variačného koeficientu

TP	1	2	3	4	5	6	123	45
V_{ISR}^{87}	9,11	1,26	2,74	5,42	22,11	6,33	14,69	13.53
V_{ISR}^{88}	10.55	1,37	2,30	6,78	24,53	7,14	15,63	15,36
V_{RCH}^{87}	9,66	3,29	4,22	4,35	6,78	4,13	9,34	5,28
V_{RCH}^{88}	7,41	2,68	3,60	6,25	9,35	5,49	7,88	10.59

TP — testovacia plocha;

variačné koeficienty: $V_{RCH} = \frac{100\sigma_{RCH}}{RCH_{str}}$ [%]; $V_{ISR} = \frac{100\sigma_{ISR}}{ISR_{str}}$ [%];

horizontálne súradnice Slnka: $h_{\odot}^{87} = 43{,}2°$; $A_{\odot}^{87} = 54{,}3°$;
$h_{\odot}^{88} = 39{,}3°$; $A_{\odot}^{88} = 51{,}1°$.

Presnosť interpolácie MFPR treba voliť s ohľadom na rozlišovaciu schopnosť rádiometra a z toho vyplývajúcu hierarchickú úroveň, v akej dáta o reliéfe potrebujeme. Na zvýšenie presnosti konečných výsledkov je nevyhnutné použiť geometricky transformované družicové dáta a exaktne polohovo ich priradiť k údajom o reliéfe.

Napriek tomu, že vzťah medzi RCH a ISR K. Hall-Könyves (1985) označuje za divergentný, podľa našich výsledkov sa ukazuje ako pomerne silný. Rozdiel vo výslednom hodnotení je podľa nášho názoru spôsobený odlišnými prístupmi k otázke riešenia daného problému. Napriek tomu však môže nastať situácia, kedy závislosť nie je lineárna, ani priama, napr. pri ovplyvnení niektorých zložiek krajinného komplexu (pri poškodení vegetácie, zamokrení pôdy a pod.). Vzhľadom na obmedzené možnosti nebolo možné uspokojivo riešiť ďalšie aspekty, ktoré faktor vplyvu reliéfu so sebou prináša.

V príspevku sme študovali vzťah RCH k reliéfu iba na príklade lesnej krajiny vo vrchovinovom type reliéfu. Aby sme mohli vysloviť zovšeobecňujúce tvrdenie, je potrebné brať do úvahy aj iné typy krajinných komplexov s inými typmi reliéfu z rôznych časových horizontov. Ako dominantne vplývajúce MFPR na diferenciáciu RCH sa v našom prípade javili sklon v smere spádových kriviek (γ_N) a orientácia reliéfu voči svetovým stranám (A_N). V iných podmienkach sa však môžu ukázať ako významnejšie iné MFPR (napr. geometrické formy reliéfu vyčlenené na základe normálovej (ω) a horizontálnej (K_r) krivosti reliéfu v inundačných územiach riek).

ZÁVER

Korektná interpretácia údajov DPZ vyžaduje hlboké pochopenie vzťahu medzi objektmi zemského povrchu, ich radiačnou odozvou na obrazových záznamoch a podmienkami, za ktorých boli získané. Jedným z mnohých faktorov, ktoré ovplyvňujú charakter a mieru priestorovej diferenciácie dát získaných rádiometrom TM je reliéf, ktorý pôsobí najmä v oblasti infračerveného spektra EMR. Cieľom práce bolo načrtnúť niektoré aspekty riešenia tohto problému a poukázať na jeho mimoriadny význam v podmienkach Slovenska. Analýzou

družicových dát z dvoch časových horizontov a údajov o reliéfe na príklade modelového územia Zobor sme došli k týmto záverom:

1. Vplyv reliéfu na priestorovú diferenciáciu dát z 5. kanála družice LANDSAT 5 je preukazný, pričom je natoľko dominantný, že čiastočne potláča prejav rozdielov spôsobených vzájomnou odlišnosťou krajinných komplexov a zároveň vytvára diferencie v RCH medzi rovnakými krajinnými komplexmi.

2. Štatistická analýza v našom prípade poukazuje na priamu korelačnú závislosť medzi reflexnými charakteristikami a hodnotami intenzity priamej slnečnej radiácie, ktorá je pre príslušný časový horizont funkciou sklonu v smere spádových kriviek γ_N a orientácie voči svetovým stranám A_N.

Náš príspevok považujeme za úvod do komplexného štúdia problému, pretože otázka jeho vyriešenia zostáva stále otvorená.

Pri tejto príležitosti by som sa rád poďakoval doc. RNDr. J. Krchovi, CSc. a RNDr. J. Ferancovi, CSc., za starostlivé usmerňovanie pri riešení problému, ako aj Ing. H. Mitášovej, CSc., za mnohé rady a pomoc, Ing. J. Kolářovi, CSc., za výpis údajov z magnetickej pásky, Ing. J. Naďovi z Lesoprojektu Piešťany za poskytnutie podkladových materiálov a Z. Cábelovej za technickú úpravu obrázkov.

LITERATÚRA

1. BAKYTOVÁ, H. a kol.: Základy štatistiky. Alfa, Bratislava 1975, 380. s. — 2. DAVIS, S., M., SWAIN, P., H.: Remote Sensing: the Quantitative Approach. (Preklad — Distancionnoe zondirovanie: količestvennyj podchod) Nedra, Mokva 1983, 400 s. — 3. FERANEC, J., POSPÍŠIL, L.: Možnosti využitia multispektrálnych kozmických snímok pri výskume štruktúrno-tektonických pomerov v oblasti Slovenského stredohoria. Geogr. Čas., 33, 3, Bratislava 1981, ss. 273—288. — 4. FERANEC, J., OŤAHEĽ, J.: Geographical Approach to Interpretation of Data Obtained by Remote Sensing of Earth on the Example of Analysis of Land Use. Geogr. Čas., *36,* 4, Bratislava 1984, ss. 366—377. — 5. FERANEC, J., OŤAHEĽ, J.: Súčasné využitie krajiny Východoslovenskej nížiny. Geogr. Čas., *41.* 2. Bratislava 1989, ss. 158—171. — 6. HALL-KÖNYVES, K.: Empirical Studies of the Influence of Topography upon LANDSAT MSS and TM Data in Gently Undulating Terrain. Depart. of Physical Geography, University of Lund, Sweden, 1985, 27 s. — 7. HOLBEN, B., JUSTICE, C., O.: The Topographic Effect on Spectral Response from Nadir Pointing Sensors. 1980, in: HALL-KÖNYVES, K., 1985. — 8. HOLBEN, B., JUSTICE, C, O.: An Examination of Spectral Band Ratioing to Reduce the Topographic Effect on Remotely Sensed Data. 1981, in: HALL-KÖNYVES, K., 1985. — 9. JENSEN, J., R.: Introductory Digital Image Processing — a Remote Sensing Perspective. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1986, 380 s. — 10. JUSTICE, C., O.: An Examination of the Relationship Between Selected Ground Properties and LANDSAT MSS Data in an Area of Complex Terrain in Southern Italy, 1978, in: HALL-KÖNYVES, K., 1985.

11. KOLEKTÍV: Generálny plán výstavby Nitrianskeho lesného parku — s perspektívou tvorby do r. 2000. Ústav pre hospodársku úpravu lesov Zvolen, pobočka Piešťany, 1978. — 12. KRCHO, J.: Oslnenie reliéfu v ľubovolnom uhle a čase a jeho znázornenie do máp pomocou izalumklín. Geogr. Čas., *17,* 1, Bratislava 1965, ss. 19—41. — 13. KRCHO, J.: Zostrojenie máp časovej a uhlovej dynamiky oslnenia reliéfu grafickonumerickým spôsobom a pomocou samočinných počítačov. Geogr. Čas., *22,* 3, Bratislava 1970, ss. 205—245. — 14. KRCHO, J.: Morphometric Analysis of Relief on the Basis of Geometric Aspect of Field Theory. Acta geographica UC, Geographica Physica Nr. 1, SPN, Bratislava 1973, ss. 1—233. — 15. KRCHO, J.: Štruktúra a priestorová diferenciácia fyzickogeografickej sféry ako kybernetického systému. Geogr. Čas., *26,* 2, Bratislava 1974, ss. 133—162. — 16. KRCHO, J.: Teoretická koncepcia a interdisciplinárne aplikácie komplexného

digitálneho modelu reliéfu pri modelovaní dvojdimenzionálnych polí. Geogr. Čas., *35*, 3, Bratislava 1983, ss. 265—291. — 17. KRCHO, J.: Diaľková detekcia zrážok a dynamický model prírodného prostredia. Záverečná správa II.—5—1—02, SHMÚ, Bratislava 1985. — 18. KRCHO, J.: Geometrické formy reliéfu a ich hierarchické úrovne. Geogr. Čas., *38*, 2—3, Bratislava 1986, ss. 210—235. — 19. KRCHO, J.: Matematické vlastnosti topografickej plochy georeliéfu z hľadiska morfometrickej analýzy a jej modelovanie pomocou komplexného digitálneho modelu, Geogr. Čas., *39*, 2, Bratislava 1987, ss. 169—199. — 20. KRIEBEL, K., T.: Measured Spectral Bidirectional Reflexion Properties of Vegetated Surfaces 1978, in: HALL-KÖNYVES, K., 1985.

21. LEPRIEUR, C., E., DURAND, J., M., PEYRON, J., L.: Influence of Topography on Forest Reflectance Using TM and Digital Terrain Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, *54*, 4, 1988, ss. 491—496. — 22. MIČIETOVÁ, E.: Problémy štúdia krajiny ako teritoriálneho dynamického systému S_{FG} na príklade územia Majdan. Rigor. práca, KFGaK PvF UK, Bratislava 1977. — 23. MIČIAN, L., ZATKALÍK, F.: Náuka o krajine a starostlivosť o životné prostredie. Skriptá PvF UK, Bratislava 1984, 132 s. — 24. MINÁR, J.: Niektoré aspekty modelovania reliéfu prostredníctvom AS KDMR so zameraním na vyčleňovanie morfotopov. Dipl. práca, KFGaK PvF UK, Bratislava 1986, 108 s. — 25. MITÁŠOVÁ, H.: Kartografické aspekty počítačového modelovania povrchov ako špeciálnych subsystémov geografickej sféry. Kandid. diz. práca, SvF SVŠT, Bratislava 1985, 141 s. — 26. PLESNÍK, P.: Výpočet dĺžky a intenzity oslnenia reliéfu. Kandid. diz. práca, KAGaM MFF UK, Bratislava 1985. — 27. RYBANSKÁ, E., ŠÚRI, M.: Príspevok k vyjadreniu priestorovej diferenciácie termického režimu reliéfu z hľadiska morfotopov. Práca ŠVOČ, KFGaK PvF UK, Bratislava 1986, 28 s. — 28. RYBANSKÁ, E., ŠÚRI, M.: Pohľadová mapa, ako spôsob modelovania geografických polí. Práca ŠVOČ, KFGaK PvF UK, Bratislava 1987, 34 s. — 29. STOHR, C., J. WEST, T., R.: Terrain and Look Angle Effects upon MSS Response, 1985, in: HALL-KÖNYVES, K., 1985. — 30. ŠÚRI, M.: Vplyv reliéfu na priestorovú diferenciáciu dát družice LANSAT 5. Dipl. práca, KFGaK PvF UK, Bratislava 1989, 70 s.

Použité mapy: 1. Biely, A.: Geologická mapa pohoria Tríbeč. Autorský originál 1:25 000, GÚDŠ, Bratislava. 2. — 4. mapy: porastová, lesných typov, pôdnych typov a druhov mierky 1:10 000, Lesoprojekt Piešťany. 5.—6. topografické mapy mierky 1:10 000.

Марцел Шури

ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЮ ДАННЫХ ПОЛУЧЕННЫХ СПУТНИКОМ ЛАНДСАТ 5

В процессе интерпретации данных, полученных при помощи искусственных спутников Земли, необходимо учитывать ряд факторов, влияющих на их пространственную дифференциацию. Одним из таких факторов является рельеф, обуславливающий факт, что одинаковые объекты земной поверхности, отличающиеся разницами в параметрах рельефа, имеют разный радиационный отклик. Цель статьи — сделать набросок некоторых аспектов влияния рельефа на пространственную дифференциацию данных, полученных с помощью спутника Ландсат 5 для конкретных контрольных (тестируемых) участков на территории Словакии.

При подходе к данной проблеме мы исходили из теоретической концепции ландшафта, понимаемого как пространственно-организованную динамическую систему. В данных дистанционного зондирования Земли содержатся информации характеризующие моментальное состояние свойств (физических, химических, биологических и географических) элементов ландшафта. Рельеф нами понимается как осо-

бая субсистема ландшафта, причем нас интересует с точки зрения морфометрических параметров: угла наклона в направлении линий максимального уклона γ_N и экспозиции по отношению к странам света A_N избранных из множества [1].

Из формулы радиационного баланса активной поверхности в условиях, в каких были данные получены, вытекает, что количество отражаемой радиации зависит, главным образом, от свойств активной поверхности (в нашем случае ландшафтного комплекса) и от интенсивности прямой солнечной радиации, попадающей на данную поверхность. Интенсивность солнечной радиации при данном состоянии атмосферы и положении Солнца согласно формуле [2] является функцией морфометрических параметров γ_N и A_N. Корректное изучение взаимосвязи интенсивности солнечной радиации с рефлексными характеристиками обуславливает выбор местоположения контрольных участков в таких ландшафтных комплексах, которые с аспектов масштаба и разрешающей способности радиометра являются акцептируемо гомогенными. Для выделения акцептируемо гомогенных ландшафтных комплексов нами применен метод типологической регионализации путем накладывания карт масштаба 1:10 000 (геологической, почвенной, растительности и типов лесов), дополненных информациями, полученными в результате полевых обследований и из аэрофотоснимков.

В процессе работ нами использованы две цифровые изображения горного массива Зобор в горах Трибеч. Обе изображения получены в середине инфракрасного диапазона спектра (1,55—1,75 μм) и в двух моментах съемки (26. 4. 1987 и 12. 4. 1988). Оба необходимых параметра, т. е. угол наклона γ_N и экспозицию A_N мы получили путем интерполирования по морфометрическим картам и с их помощью нами вычислены величины интенсивности солнечной радиации. Эти величины совместно с величинами отражательных характеристик нами затем статистически обработаны.

На основе таким образом полученных результатов можно констатировать следующее:

1. Влияние рельефа на пространственную дифференциацию данных, полученных посредством пятого канала спутника Ландсат 5 подтверждается, причем частично подавляется проявление дифференций, вызываемых взаимоотличительностью ландшафтных комплексов.

2. Статистический анализ в нашем случае выявляет прямую корреляционную зависимость между рефлексными характеристиками и величинами интенсивности прямой солнечной радиации, являющейся для данного времени функцией угла наклона в направлении линий максимального уклона γ_N и экспозиции по отношению к странам света A_N.

Эта статья нами расценивается лишь как введение в комплексное изучение проблемы. Задача ее решения остается и впредь открытой. Для более обобщающих заключений необходимо распространить изучение проблемы на более крупные территории в разных ландшафтных комплексах с разными типами рельефа и в разных отрезках времени.

Рис. 1. Схема формулируемой проблемы.

Рис. 2. Влияние рельефа на угол падения солнечных лучей.
—**L** — вектор направления падения солнечных лучей, **N** — вектор нормали плоскости в данной точке, **L'** — проекция вектора **L** в плоскость горизонта, **N'** — проекция вектора **N** в плоскость горизонта, $A_\odot$, $h_\odot$ — горизонтальные координаты Солнца, $z_\odot$ — зенитный угол Солнца, A_N — экспозиция рельефа по отношению к странам света, γ_N — угол наклона рельефа в направлении линий максимального уклона, δ_{LN} — угол падения солнечных лучей на данную плоскость отнесенный к ее нормали.

Рис. 3. Панорамный вид-схема модельной территории. Вид с юго-запада на горный массив Зобор (размеры квадрата 60×60 м, превышение модели в 2 раза).

Рис. 4. Зависимость величин рефлексных характеристик (RCH) от интенсивности солнечной радиации (группа контрольных участков 1, 2 и 3).

Рис. 5. Зависимость средних величин рефлексных характеристик (RCH) отдельных контрольных участков от средних величин интенсивности солнечной радиации (ISR).

$_{o}5$ — контрольный участок.

Рис. 6. Зависимость интенсивности солнечной радиации (ISR) от:

а) экспозиции по отношению к странам света (A_N) для отдельных величин угла наклона в направлении линий максимального уклона (γ_N);

б) угла наклона в направлении линий максимального уклона (γ_N) для отдельных величин экспозиции по отношению к странам света (A_N). Действенно для 26. 4. 1988 в 9 часов 30 минут утра.

Табл. 1. Квантитативные показатели на отдельных контрольных участках. TP — контрольный (тестируемый) участок, N число пикселей. RCH — величины рефлексных характеристик: RCH_{str} — среднее, σ_{RCH} — стандартное отклонение, RCH_{min} — минимальное, RCH_{max} — максимальное, $\triangle RCH$ — разница (RCH_{max} — RCH_{min}). ISR — величины интенсивности солнечной радиации (W/m^2): ISR_{str} — среднее, σ_{ISR} — стандартное отклонение, ISR_{min} — минимальное, ISR_{max} — максимальное, $\triangle ISR$ — разница (ISR_{max} — ISR_{min}). γ_N — угол наклона рельефа в направлении линий максимального уклона (в градусах): γ_{Nmin} — минимальный, γ_{Nmax} — максимальный, $\triangle\gamma_N$ — разница (γ_{Nmax} — γ_{Nmin}). A_N — экспозиция рельефа по отношению к странам света (в градусах): A_{Nmin} — минимальная, A_{Nmax} — максимальная, $\triangle A_N$ — разница (A_{Nmax} — A_{Nmin}). Примечание: величины RCH и ISR относятся к 1987/1988 гг.

Табл. 2. Коэффициенты корреляции. TP — контрольный участок, ^{5} — корреляционная зависимость сигнификантна при 5 %-ном уровне значимости, $^+$ — корреляционная зависимость не является сигнификантной. Примечание: Необозначенные коэффициенты корреляции являются сигнификантными на 1 %-ном уровне значимости.

Табл. 3. Сравнение стандартных отклонений σ_{RCH} и σ_{ISR}, исправленных при помощи коэффициента вариации Пирсона. TP — контрольный участок, коэффициенты вариации: $V_{RCH} = \frac{100\sigma_{RCH}}{RCH_{str}}$ (%); $V_{ISR} = \frac{100\sigma_{ISR}}{ISR_{str}}$ (%); горизонтальные координаты Солнца: $h_{\odot}^{87} = 43{,}2°$; $A_{\odot}^{87} = 54{,}3°$; $h_{\odot}^{88} = 39{,}3°$; $A_{\odot}^{88} = 51{,}1°$.

Перевод: Л. Правдова

Marcel Šúri

INFLUENCE OF RELIEF ON SPATIAL DIFFERENTIATION OF LANDSAT 5 DATA

In the process of interpreting sattelite data come forward many factors which have an influence on their spatial differentiation. One of them is relief causing that the same objects of the Earth's surface, which are noted for differentiations in relief parameters, have various radiation response. The aim of the work is to outline some problems of influence of relief on spatial differentiation of LANDSAT 5 data on particular test sites in Slovakia.

By study the problem we base on a theoretical conception of landscape as a spatial

organized dynamic system. Remote sensing data involve information characterising states of properties (physical, chemical, biological and geographical) of landscape elements at that moment. We understand relief as a special landscape subsystem, while we are interested in it from the point of view of morphometric parameters- — of slope in the direction of orthogonal lines γ_N and exposition with respect to the cardinal points A_N picked from set [1].

According to equation balance of radiation of active surface in the conditions in which data were obtained, the quantity of reflected radiation depends particularly on active surface properties (in our case on landscape complex) and on intensity of direct solar irradiance which falls down to the given surface. Intensity of solar irradiance, by given state of atmosphere and position of a Sun according to equation [2], is the function of morphometric parameters γ_N and A_N. Right study of relation between intensity of solar irradiance and reflectance characteristics is conditional on choice and localization of test sites in those landscape complexes which are from the point of view of scale of processing and resolution of radiometer acceptably homogeneous. For separation of acceptably homogeneous landscape complexes we have used method of typological regionalization by superposition of maps in scale of 1:10 000 (geological, of soils, of vegetation and forest types) completed with information from field research and aerial photographs.

In this work we have used two images of the area of massif Zobor in Tríbeč range of mountains. Both images are from middle infrared part of spectrum (1,55—1,75 μm) in two time horizons-April 26th, 1987 and April 12th, 1988. We have interpolated parameters slope γ_N and exposition A_N out of morphometric maps and we have computed values of intensity of solar irradiance. These ones we have worked up statisticaly both with values of reflectance characteristics.

On the basis of results obtained in this way we can state:

1. Influence of relief on data spatial differentiation from 5th band of LANDSAT 5 is demonstrable, while it represses partially appearance of difference caused by mutual differentiation of landscape complexes.

2. Statistical analysis shows, in our case, to direct correlate dependence between reflectance characteristics and values of intensity of direct solar irradiance. This irradiance is for relevant time horizon the function of slope of the relief in the direction of orthogonal lines γ_N and exposition of the relief to the cardinal points A_N.

We consider our contribution as only a beginning to complex study of problem. Its solution is still open. In order to make general conclusions it is necessary to extend study of problem to larger areas in various landscape complexes with various types of relief and in more time horizons.

Fig. 1. Schematic outline of formulated problem.

Fig. 2. Influence of relief on incidence of solar rays angle: — **L** — vector of direction of incidence solar rays, **N** — vector of normal of level in a given point, **L'** — projection of vector **L** to levl of horizon, **N'** — projection of vector **N** to level of horizon, $A_\odot$, $h_\odot$ — horizontal co-ordinates of Sun, $z_\odot$ — Zenith angle of Sun, A_N — exposition of relief to cardinal points, γ_N — slope of relief in the direction of orthogonal lines, δ_{LN} — angle of solar rays incidence to a given level related to its normal.

Fig. 3. Perspective view of the model territory. A view from SW to massif Zobor (proportion of square 60×60 metres, model double overtopped).

Fig. 4. Dependence of values of reflectance characteristics (RCH) upon intensity of solar irradiance (group of test sites 1,2 and 3).

Fig. 5. Dependence of middle values of reflectance characteristics (RCH) in individual test sites upn middle values of intensity of solar irradiance (ISR). $_o5$ — test site.

Fig. 6. Dependence of intensity of solar irradiance (ISR) upon a) exposition to cardinal

points $\{A_N\}$ for individual values of slope in the direction of orthogonal lines $\{\gamma_N\}$; b) slope in the direction of orthogonal lines $\{\gamma_N\}$ for individual values of of exposition to cardinal points $\{A_N\}$. It is valid for April 26th, 1988 at 9.30 o'clock.

Table 1. Survey of quantitative indicators in individual test sites. TP — test site, N — number of pixels, RCH — values of reflectance characteristics: RCH_{str} — middle, σRCH — standart deviation, RCH_{min} — minimal, RCH_{max} — maximal, $\triangle RCH$ — difference $\{RCH_{max} - RCH_{min}\}$.
ISR — values of intensity of solar irradiance [W/m²]: ISR_{str} — middle, σISR — standart deviation, ISR_{min} — minimal, ISR_{max} — maximal, $\triangle ISR$ — difference $\{ISR_{max} - ISR_{min}\}$.
γ_N — slope of the relief in the direction of orthogonal lines [°]: γ_{Nmin} — minimal, γ_{Nmax} — maximal, $\triangle\gamma_N$ — difference $\{\gamma_{Nmax} - \gamma_{Nmin}\}$.
A_N — orientation of relief to the cardinal points [°]: A_{Nmin} — minimal, A_{Nmax} — maximal, $\triangle A_N$ — difference $\{A_{max} - A_{Nmin}\}$.
Note: Values RCH and ISR are for years 1987—1988.

Table 2. Survey of correlation coefficients. TP — test site, 5 — correlation is significant at level 5 %, + — correlation is not significant.
Note: unindicated correlation coefficients are significant at level 1 %.

Table 3. Comparision of standard deviations σ_{RCH} and σ_{ISR} set up according to Pearson variation coefficient, TP — test site,

variation coefficients: $V_{RCH} = \dfrac{100\,\sigma RCH}{RCH_{str}}\,[\%]$; $V_{ISR} = \dfrac{100\,\sigma ISR}{ISR_{str}}\,[\%]$;

horizontal co-ordinates of Sun: $h_{\odot}^{87} = 43{,}2°$; $A_{\odot}^{87} = 54{,}3°$;
$h_{\odot}^{88} = 39{,}3°$; $A_{\odot}^{88} = 51{,}1°$.

Translated by J. Sýkorová