
GEOGRAFICKÝ ČASOPIS

47

1995

2

Lubomír Solín, Pavol Faško***

HYDROGEOGRAFICKÉ REGIONÁLNE TYPY MONTÁNEJ KRAJINY SLOVENSKA Z HLADISKA PRIEMERNEJ ROČNEJ ODTOKOVEJ VÝŠKY

Lubomír Solín, Pavol Faško: Runoff hydrogeographical regional types of mountainous landscape of Slovakia. Geogr. čas., 47, , 1995, 2, 3 figs., 2 tables, 9 refs.

The study is oriented to refinement of the classification of mountainous landscape of Slovakia from the point of view of mean annual runoff as worked out by Solín (1993). Five regional types were identified by the method of hydro-geographical regional typification. GIS-SPANS technology was used for their map expression.

Key words: regional type, hydro-geographical regional typification, mean annual runoff, GIS.

I ÚVOD

V dôsledku zriadenia hydrologických meraní na pomerne veľkom počte malých povodí v 70. rokoch, sú dnes z týchto povodí k dispozícii 15-20 ročné hydrologické rady pozorovaní. Tým sa vytvorila šanca získať omnoho detailnejšie poznatky o priestorovej variabilite hydrologickej odozvy na území Slovenska. Okrem hydrologických údajov z malých povodí sa za posledných 20 rokov taktiež prehĺbili

*Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava

**Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 831 01 Bratislava

poznatky aj o ďalších prvkoch fyzickogeografickej sféry Slovenska. V procese hydrologickej a hydrogeografickej regionalizácie sa popri klasických regionalizačných metódach založených na princípoch logického delenia, resp. zoskupovania a popisnej štatistike čoraz výraznejšie uplatňujú metódy numerickej taxonómie a metódy indukčívnej štatistiky napr. Haines et al. (1988), Mosley (1981) a Wiltshire (1985, 1986a, 1986b, 1986c). Výrazný pokrok nastal aj pri tvorbe mapového vyjadrenia výsledkov regionalizácie v dôsledku uplatnenia technológie GIS-u (Arnell et al. 1993, Arnell and Gottschalk 1993).

V zhode s týmito trendmi sa pristúpilo v prácach Solín (1993) a Solín, Poláčik (1994) k identifikovaniu hydrogeografických regionálnych typov montánnej krajiny Slovenska z hľadiska priemernej ročnej odtokovej výšky. V prvej práci fyzickogeografické regionálne typy boli vyčlenené na základe ôsmich fyzickogeografických charakteristík metódou zhlukovej analýzy. Identifikované boli štyri hydrogeografické regionálne typy, objasňujúce 47 % z celkového rozptylu hodnôt priemernej ročnej odtokovej výšky. V druhej z citovaných prác boli fyzickogeografické regionálne typy vyčlenené len na základe jednej fyzickogeografickej charakteristiky, a to maximálnej nadmorskej výšky povodia metódou jej rozčlenenia do klasifikačných tried. Identifikované boli opäť štyri hydrogeografické regionálne typy objasňujúce však už 67 % z celkového rozptylu hodnôt priemernej ročnej odtokovej výšky. Neobjasnených 33 % z celkového rozptylu vytvára ešte priestor pre "jemnejšie" vyčlenenie hydrogeografických regionálnych typov v rámci montánnej krajiny Slovenska z hľadiska priemernej ročnej odtokovej výšky.

Cieľom práce je preto:

a) zjemniť členenia montánnej krajiny Slovenska na hydrogeografické regionálne typy z hľadiska priemernej odtokovej výšky prezentované v práci Solín (1993),

b) mapové vyjadrenie identifikovaných hydrogeografických regionálnych typov v rámci montánnej krajiny Slovenska uskutočniť pomocou technológie GIS.

2 POUŽITÉ ÚDAJE

Podkladom pre identifikáciu hydrogeografických regionálnych typov sú údaje, ktoré boli použité v práci Solín (1993). Hydrologická odozva je vyjadrená priemernou ročnou odtokovou výškou, ktorá bola vypočítaná z priemerných denných hydrologických údajov za obdobie 1976-85. Fyzickogeografické vlastnosti každého povodia vybraného súboru sú vyjadrené prostredníctvom deviatich charakteristík, a to: priemerným ročným úhrnom zrážok, priepustnosťou pôdno-substrátového komplexu, plochou povodia, percentom zalesnenia, priemerným sklonom, priemernou nadmorskou výškou povodia, maximálnou nadmorskou výškou povodia, relatívnou výškou povodia, tvarom povodia a hustotou riečnej siete. Priemerný ročný úhrn zrážok bol vypočítaný z denných úhrnov zrážok za obdobie 1976-85. Na základe ročných priestorových úhrnov atmosferických zrážok vypočítaných pre územie Slovenska izohyetovou metódou malo obdobie 1976-1985 v priemere 735 mm zrážok za rok, čo je v porovnaní s dlhodobým priemerom za roky 1901-1990 o 45 mm menej. Zrážkovo podnormálne boli roky 1978, 1982 a 1983. Zrážkovo nadnormálny bol iba rok 1980, ostatné roky študovaného desaťročia boli zrážkovo normálne. Priemerná hodnota úhrnu

zrážok, ktoré spadnú na povodie, bola určená na základe aritmetického priemeru úhrnov zrážok zo zrážkomerných staníc umiestnených v povodí. V povodiach, v ktorých rozmiestnenie zrážkomerných staníc je asymetrické vzhľadom na výškové rozpätie povodia, boli hodnoty aritmetického priemeru upravované.

3 METÓDA

Hydrologická odozva je reakcia povodia na zrážky. Môže byť vyjadrená priemernou ročnou hodnotou odtoku, režimom odtoku, genetickou štruktúrou odtoku, extrémnymi maximálnymi a minimálnymi hodnotami odtoku a pod. Predpoklad, že približne rovnaké fyzicko-geografické vlastnosti povodia by mali vyvolať i približne rovnakú veľkosť hydrologickej odozvy, umožňuje uplatniť pri výskume priestorovej variability hydrologickej odozvy dva základné prístupy: *hydrologický a hydrogeografický*. V prvom prípade regióny alebo regionálne typy sú identifikované priamo na základe hodnôt hydrologickej odozvy. V druhom prípade sú regióny alebo regionálne typy identifikované nepriamo, na základe fyzicko-geografických vlastností povodia, ktoré majú rozhodujúci vplyv na priestorovú variabilitu vybranej hydrologickej odozvy. V práci je pri výskume priestorovej variability priemernej ročnej odtokovej výšky uplatnený druhý prístup.

Hydrologické merania sa uskutočňujú len na vybraných vodných tokoch. Výpoved' o charaktere priestorovej variability hydrologickej odozvy väčšieho regionálneho celku je preto založená na výberovom súbore povodí. O vlastnostiach celku teda usudzujeme na základe vybranej vzorky. Proces hydrogeografickej regionálnej typizácie krajiny je preto rozdelený na dva subprocesy:

1. identifikácia hydrogeografických regionálnych typov v rámci výberového súboru priestorových jednotiek a na základe hodnôt ich hydrologickej odozvy určenie intervalov, v ktorých sa bude pohybovať hodnota hydrologickej odozvy hydrogeografických regionálnych typov základného súboru povodí.

2. začlenenie ostatných povodí základného súboru do identifikovaných hydrogeografických regionálnych typov a ich mapové vyjadrenie.

Pod základným súborom priestorových jednotiek sa rozumie počet všetkých priestorových jednotiek, ktoré je možné vyčleniť v rámci montánnej krajiny Slovenska na základe určitého kritéria.

3.1 IDENTIFIKÁCIA HYDROGEOGRAFICKÝCH REGIONÁLNYCH TYPOV V RÁMCI VÝBEROVÉHO SÚBORU PRIESTOROVÝCH JEDNOTIEK

Ak je hydrologická odozva vo vodomernom profile chápaná ako plošne integrovaná hodnota a nie ako bodová hodnota, potom identifikácia hydrogeografických regionálnych typov je založená na postupe, ktorého základné kroky sú načrtnuté v práci Solín (1993, 1994) a Solín, Poláčik (1994). Ide o tieto kroky:

- a) definovanie základnej priestorovej jednotky,
- b) zostavenie výberového súboru priestorových jednotiek, ktorý bude predmetom ďalšej analýzy,
- c) identifikovanie fyzickogeografických charakteristík, ktoré sú rozhodujúce z

hľadiska priestorovej variability vybranej, hydrologickej odozvy,

d) vyčlenenie fyzickogeografických regionálnych typov, na základe charakteristík určených v kroku (c),

e) testovanie homogénosti hydrologickej odozvy v rámci fyzickogeografických regionálnych typov a heterogénosti medzi nimi.

Hydrogeografický regionálny typ je potom definovaný ako súbor priestorových jednotiek vzájomne nesusediacich v geografickom priestore, ktorý je identifikovaný na základe ich fyzickogeografických vlastností tak, aby bol splnený predpoklad heterogénosti hydrologickej odozvy medzi regionálnymi typmi a homogénosti v ich rámci.

Hodnota hydrologickej odozvy je funkciou vlastností plochy povodia. Preto v procese hydrogeografickej regionálnej typizácie krajiny za základnú priestorovú jednotku považujeme povodie. To je však príliš všeobecné chápanie priestorovej jednotky, ktoré si vyžaduje ďalšie upresnenie, dotýkajúce sa predovšetkým lokalizácie uzatvárajúceho profilu povodia a veľkosti jeho plochy. Po určitej úvahe, ktorej základne myšlienky sú objasnené v diskusii, sme dospeli k tomu, že priestorovú jednotku hydrogeografickej regionálnej typizácie je vhodné definovať ako povodie so stálym riečnym tokom (blue line), ktorého celá plocha je v pohorí, kotlinovej pahorkatine alebo nížinnej pahorkatine a nepresahuje 300 km². Keďže predmetom štúdie je len montánna krajina Slovenska, povodia nížinnej pahorkatiny sa v ďalšej analýze neberú do úvahy.

Výberový súbor veľkosti 126 povodí bol zostavený z povodí s hydrologickým pozorovaním a vyhovujúcich uvedenej definícii základnej priestorovej jednotky. Aby výpoveď o priestorovej variabilite hydrologickej odozvy v základnom súbore povodí na základe výberového súboru bola korektná, bol zostavený na základe zámerného výberu tak, aby zohľadňoval pestrosť fyzickogeografických podmienok montánnej krajiny Slovenska.

Hydrologická odozva je vyjadrená priemernou ročnou odtokovou výškou. Výber fyzickogeografických charakteristík, ktoré majú rozhodujúci vplyv na priestorovú variabilitu priemernej ročnej odtokovej výšky, sa opiera o výsledky dosiahnuté regresno-korelačnou a faktorovou analýzou.

Na základe vybraných fyzickogeografických charakteristík boli metódou hierarchického logického delenia vyčlenené fyzickogeografické regionálne typy povodí. Klasifikačné triedy vytvorené na základe vybranej fyzickogeografickej charakteristiky na prvej hierarchickej úrovni sú na druhej hierarchickej úrovni rozdelené na podtriedy na základe inej fyzickogeografickej charakteristiky atď.

Miera, do akej fyzickogeografické regionálne typy, identifikované na základe prijatej klasifikačnej schémy naplňajú predpoklad heterogénosti hodnôt priemernej ročnej odtokovej výšky medzi nimi a homogénosti v ich rámci, je testovaná nulovými hypotézami. Testovanie nulových hypotéz patrí do oblasti indukčívnej štatistiky. Testovanie nulových hypotéz o heterogénosti priemernej ročnej odtokovej výšky medzi fyzickogeografickými regionálnymi typmi je založené na postupoch, ktoré sú súčasťou analýzy rôzptylu. Táto metóda umožňuje analyzovať vplyv kvalitatívne vyjadrenej premennej alebo kvantitatívnej premennej zoskupenej do skupín na inú kvantitatívny spôsobom vyjadrenú premennú. Formulovanie nulových hypotéz vychádza z predpokladu, že kvantitatívne vyjadrená premenná je nezávislá, má normálne

rozdelenie pravdepodobnosti a konštantný rozptyl v každej z vyčlenených skupín. Rozdiely v rozdelení pravdepodobnosti kvantitatívne vyjadrenej premennej medzi vyčlenenými skupinami sú potom spôsobené rozdielnymi hodnotami ich aritmetických priemerov. Rozdielne hodnoty aritmetických priemerov kvantitatívnym spôsobom vyjadrenej premennej sú výsledkom vplyvu klasifikačných kritérií, na základe ktorých bola kvalitatívne, resp. kvantitatívnym spôsobom vyjadrená premenná zoskupená do skupín. Ak fyzickogeografické charakteristiky predstavujú kvalitatívne vyjadrenú premennú alebo kvantitatívnu premennú zoskupenú do skupín, priemerná ročná odtoková výška kvantitatívnym spôsobom vyjadrenú premennú a vyčlenené skupiny predstavujú fyzickogeografické regionálne typy, tak F-pomerom sa najskôr testuje nulová hypotéza, $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i$, t.j. aritmetické priemery hydrologickej odozvy fyzickogeografických regionálnych typov základného súboru sú rovnaké. V prípade jej zamietnutia (hodnota F-pomeru je väčšia ako zodpovedajúca tabulková hodnota F rozdelenia) sa metódou jednoduchého párového porovnania rozdielov hydrologickej odozvy medzi fyzickogeografickými regionálnymi typmi testuje nulová hypotéza $H_0 = \mu_1 - \mu_2 = \mu_2 - \mu_3 = \dots = \mu_{i-1} - \mu_i = 0$, t.j. rozdiely medzi aritmetickými priemermi hydrologickej odozvy fyzickogeografických regionálnych typov v základnom súbore sú rovné nule. Zamietnutie tejto hypotézy znamená, že fyzickogeografické regionálne typy sú z hľadiska aritmetických priemerov priemernej odtokovej výšky heterogénne.

Vzorce, na ktorých sú založené spomenuté testovacie procedúry sú uvedené napr. v práci Neter, Wasserman, Kutner (1985), Bhattacharyya, Johnson (1977). Ich praktický výpočet sa uskutočnil pomocou štatistického softveru STATGRAPHIC.

Zhoda rozdelenia pravdepodobnosti hydrologickej odozvy s normálnym rozdelením je posúdená vizuálnym porovnaním rozdelenia pravdepodobnosti hydrologickej odozvy s grafom normálneho rozdelenia. Konštantnosť rozptylov bola testovaná Bartlettovým testom. Obmedzenie vzájomnej závislosti hydrologickej odozvy do určitej miery zabezpečuje zoskupenie povodí do tried na základe fyzickogeografických charakteristík, ktoré majú rozhodujúci vplyv na priestorovú variabilitu hydrologickej odozvy.

Na testovaní zhody rozdelenia pravdepodobnosti priemernej ročnej odtokovej výšky povodí patriacich do jedného fyzickogeografického typu s normálnym rozdelením je založené posúdenie homogénnosti priemernej ročnej odtokovej výšky v rámci fyzickogeografického regionálneho typu.

Konfidenčné intervaly, v ktorých sa s pravdepodobnosťou $1 - \alpha$ budú pohybovať aritmetické priemery priemernej ročnej odtokovej výšky identifikovaných hydrogeografických regionálnych typov základného súboru sú určené podľa vzťahu

$$Y_i \pm t(1 - \alpha / 2; n_T - r) s(Y_i),$$

kde:
 Y_i = aritmetický priemer hydrologickej odozvy i -teho fyzickogeografického regionálneho typu,

$$s = \sqrt{\text{MSE} / n_i},$$

kde MSE = priemerná suma štvorcov odchýliek neobjasneného rozptylu,
 n_i = počet povodí v i -tom fyzickogeografickom regionálnom type.

3.2 MAPOVÉ VYJADRENIE HYDROGEOGRAFICKÝCH REGIONÁLNYCH TYPOV V ZÁKLADNOM SÚBORE POVODÍ

Vychádzajúc z definície priestorovej jednotky bol v topografických mapách 1: 200 000 vykreslený základný súbor povodí Slovenska, ktorý tvorí 1750 povodí (obr.1).

Do hydrogeografických regionálnych typov, identifikovaných v rámci vybraného súboru povodí, sú povodia základného súboru začleňované na základe fyzickogeografických charakteristík, ktoré majú rozhodujúci vplyv na priestorovú variabilitu priemernej ročnej odtokovej výšky. Mapové zobrazenie hydrogeografických regionálnych typov Slovenska sa uskutočnilo technológiou GIS-u SPANS. Celý proces bol rozdelený do nasledujúcich krokov:

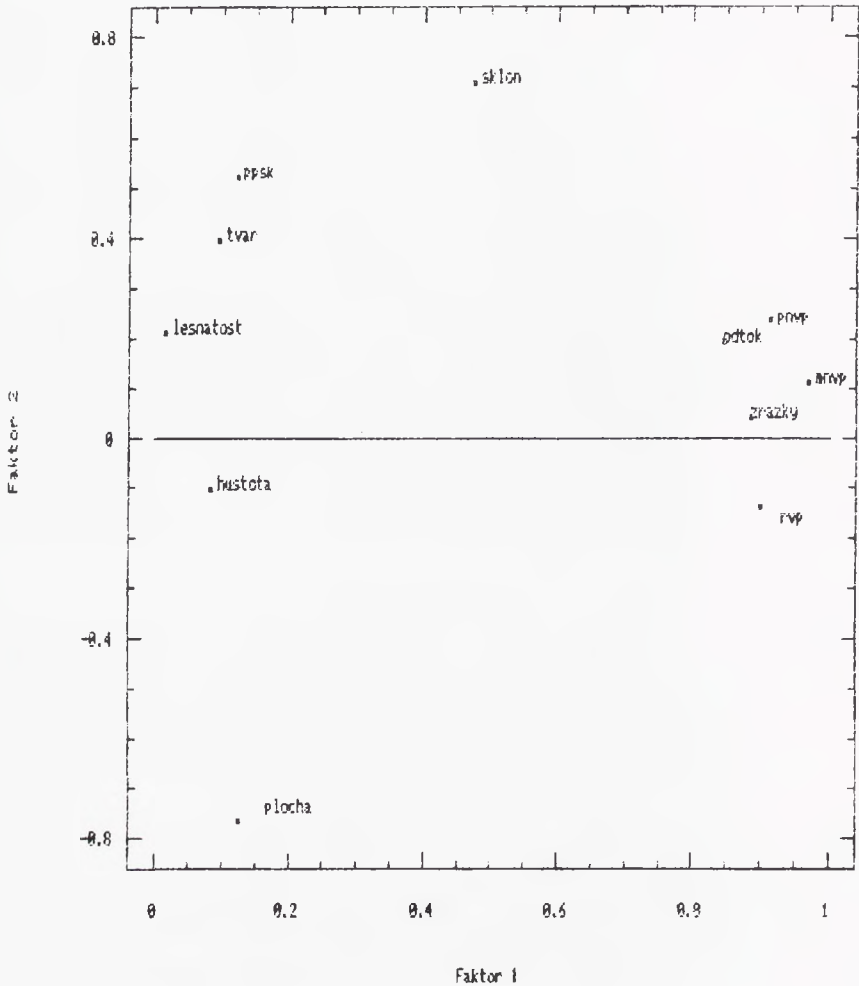
- a) vykreslenie základného súboru povodí montánnej krajiny Slovenska v topografických mapách v mierke 1:200 000 a digitalizácia rozvodníc povodí;
- b) importovanie digitálnych údajov o rozvodniciach povodí do SPANS-u a vytvorenie mapového súboru;
- c) určenie hodnôt vybraných fyzickogeografických charakteristík pre každé vyčlenené povodie a importovanie vytvoreného tabulkového súboru do SPANS-u;
- d) v softwerovom prostredí SPANS-u vytvorenie tabulkového súboru, v ktorom každé povodie základného súboru je začlenené do identifikovaných hydrogeografických regionálnych typov na základe hodnôt určených v c);
- e) v softwerovom prostredí SPANS-u vytvorenie mapového súboru z tabulkového súboru vytvoreného v d).

4 DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

Už výsledky dosiahnuté regresno-korelačnou analýzou (Soňín 1992) naznačili a výsledky dosiahnuté faktorovou analýzou (obr.2.) to aj potvrdili, že z deviatich uvažovaných fyzickogeografických charakteristík sú z hľadiska priestorovej variability priemernej ročnej odtokovej výšky rozhodujúce tri charakteristiky, a to priemerný ročný úhrn zrážok, maximálna nadmorská výška a priemerná nadmorská výška povodia. Vzhľadom na to, že medzi maximálnou nadmorskou výškou a priemernou výškou povodia existuje veľmi vysoká korelačná závislosť ($r = 0,97$), je úplne postačujúce brať do úvahy len vplyv jednej z nich. Z ďalšej analýzy bola vynechaná priemerná nadmorská výška povodia, ktorá objasňuje menšie percento (58 %) z celkového rozptylu priemernej ročnej odtokovej výšky než maximálna nadmorská výška (60 %). Vysoká korelačná závislosť existuje aj medzi maximálnou nadmorskou výškou a priemerným ročným úhrnom zrážok ($r = 0,80$). Podstatná časť vplyvu ročného úhrnu zrážok na priestorovú variabilitu priemernej ročnej odtokovej výšky je teda premietnutá už v maximálnej nadmorskej výške povodia. Hodnota ročného úhrnu zrážok spadnutého na povodie však nezávisí len od jeho nadmorskej výšky, ale aj od geografickej polohy povodia voči prevládajúcimu prúdeniu, ktoré prináša vlhké vzduchové hmoty a zrážky. Preto povodia, ktoré sú zaradené do jednej klasifikačnej triedy z hľadiska ich maximálnej nadmorskej výšky, môžu nadobúdať rozdielne hodnoty priemernej ročnej odtokovej výšky práve z dôvodu nižšieho alebo vyššieho



Obr. 1. Sieť povodí.



Obr. 2. Graf záťaží prvého a druhého faktora.

ppsk - priepustnosť pôdno - substrátového komplexu; pnpv - priemerná námorská výška povodia;
mnpv - maximálna námorská výška povodia; rvp - relatívna výška povodia.

ročného úhrnu zrážok, ktorý je spôsobený geografickou polohou povodia. Vychádzajúc z tejto úvahy, triedy maximálnej námorskej výšky povodia uvedené v práci Solín (1993), sú rozdelené na základe priemerného ročného úhrnu zrážok do nasledujúcich podtried: (a) trieda s intervalovým rozpätím maximálnej námorskej výšky 300-1000 m n.m. je rozdelená na triedy s priemerným ročným úhrnom zrážok 600-800 mm a 801 a viac mm, (b) trieda s intervalovým rozpätím maximálnej námorskej výšky 1001-1500 m n.m. je rozdelená na triedy s priemerným ročným úhrnom zrážok 600-900 mm a 901 a viac mmm; (c) trieda s intervalovým rozpätím maximalnej námorskej výšky 1501-2100 m n.m. je rozdelená na triedy s priemerným

ročným úhrnom zrážok 900-1050 mm a 1051 a viac mm; (d) trieda s intervalovým rozpätím maximálnej nadmorskej výšky 2101-2655 m n.m. nie je rozdelená a sú v nej povodia s priemerným ročným úhrnom zrážok nad 1200 mm. Uvedených sedem klasifikačných tried predstavuje sedem fyzickogeografických regionálnych typov a počet povodí spolu s hodnotami ich priemernej ročnej odtokovej výšky je uvedený v tab. 1a.

Aritmetické priemery priemernej ročnej odtokovej výšky, ktoré sú uvedené v tab. 1a potvrdzujú predpoklad o rozdieloch v hydrologickej odozve v rámci vyčlenených tried maximálnej nadmorskej výšky, ktoré sú spôsobené rozdielnym ročným úhrnom zrážok. Rozdiely medzi aritmetickými priemermi priemernej ročnej odtokovej výšky v rámci vyčlenených tried maximálnej nadmorskej výšky sú väčšie, ako rozdiely medzi triedami s rôznou maximálnou nadmorskou výškou, ale s približne rovnakým ročným úhrnom zrážok.

Na základe údajov o priemernej odtokovej výške v jednotlivých fyzickogeografických regionálnych typoch, ktoré sú uvedené v tab. 1a sa pristúpilo k testovaniu nulových hypotéz o heterogénnosti hydrologickej odozvy medzi vyčlenenými fyzickogeografickými regionálnymi typmi a homogénnosti hydrologickej odozvy v ich rámci.

Heterogénnosť priemernej ročnej odtokovej výšky medzi fyzickogeografickými regionálnymi typmi je testovaná prostredníctvom dvoch nulových hypotéz. Najskôr F - pomerom bola zamietnutá nulová hypotéza o rovnosti aritmetických priemerov priemernej ročnej odtokovej výšky fyzickogeografických regionálnych typov v základnom súbore povodí ($F = 92,46$). Po zamietnutí uvedenej hypotézy sa pristúpilo k vzájomnému párovému porovnaniu aritmetických priemerov priemernej ročnej odtokovej výšky. Výsledky testovania hypotézy $H_0 = \mu_1 - \mu_2 = \mu_2 - \mu_3 = \dots = \mu_{i-1} - \mu_i = 0$ sú uvedené v tab. 2a. Z uvedenej tabuľky vyplýva, že rozdiely medzi $\mu_2 - \mu_3$ a $\mu_4 - \mu_5$ nie sú štatisticky významné, pretože intervalové rozpätie ich rozdielov obsahuje aj nulu. Rozdiely medzi aritmetickými priemermi priemernej ročnej odtokovej výšky fyzickogeografického typu 2 a 3, resp. 4 a 5 teda nie sú spôsobené fyzickogeografickými charakteristikami na základe, ktorých boli vyčlenené fyzickogeografické regionálne typy, ale sú výsledkom náhodných vplyvov. Z toho dôvodu sa pristúpilo k reklasifikácii povodí, výsledkom ktorej je zoskupenie povodí do piatich fyzickogeografických regionálnych typov a to:

1 - povodia s maximálnou nadmorskou výškou 300-1000 m n.m. s priemerným ročným úhrnom zrážok 600-800 mm;

2 - povodia s maximálnou nadmorskou výškou 300-1000 m n.m. s priemerným ročným úhrnom zrážok 800-900 mm a povodia s maximálnou nadmorskou výškou 1001-1500 m n.m. s ročným úhrnom zrážok 600-900 mm;

3 - povodia s maximálnou nadmorskou výškou 1001-1500 m n.m. s ročným úhrnom zrážok 900-1200 mm a povodia s maximálnou nadmorskou výškou 1501-2100 s priemerným ročným úhrnom zrážok 900-1050 mm;

4 - povodia s maximálnou nadmorskou výškou 1501-2100 m n.m. s priemerným ročným úhrnom zrážok 1050-1200;

5 - povodia s maximálnou nadmorskou výškou 2101-2655 m n.m. s priemerným ročným úhrnom zrážok nad 1200 mm;

Aritmetické priemery ich hydrologickej odozvy, ktoré boli vypočítané na základe

Tab.1. Základné štatistické údaje o hydrologickej odozve vo vyčlenených fyzickogeografických regionálnych typoch

FGR typ	Max.nadmor.výška povodia /m n.m./	Priemerný ročný úhrn zrážok /mm/	Počet povodí	Priemer odt. výšky /mm/	Smerodatná odchylka /mm/
a)					
1	300 - 1000	600 - 800	22	292	94,63
2	300 - 1000	800 - 900	12	404	98,09
3	1001 - 1500	600 - 900	37	385	98,68
4	1001 - 1500	900 - 1200	25	600	160,20
5	1501 - 2100	900 - 1050	13	558	84,79
6	1501 - 2100	1050 - 1200	11	815	52,17
7	2101 - 2655	nad 1200	6	1272	64,89

b)

1	300 - 1000	600 - 800	22	292	94,63
2	300 - 1000	800 - 900	49	389	97,89
	1001 - 1500	600 - 900			
3	1001 - 1500	900 - 1200	38	586	139,24
	1501 - 2100	900 - 1050			
4	1501 - 2100	1050 - 1200	11	815	52,17
5	2101 - 2655	nad 1200	6	1272	64,88

vybraných súborov povodí spolu s hodnotami smerodajnej odchýlky sú v tab. 1b.

Uvedená klasifikačná schéma podstatne zvyšuje hodnotu F - pomeru ($F = 138,77$), čo znamená výraznejšie zamietnutie nulovej hypotézy o rovnosti aritmetických priemerov priemernej ročnej odtokovej výšky medzi fyzickogeografickými regionálnymi

Tab.2. Porovnanie aritmetických priemerov hydrologickej odozvy medzi fyzickogeografickými regionálnymi typmi

a)			b)		
FGR typ	rozdiel	+/- konfidenčný interval	FGR typ	rozdiel	+/- konfidenčný interval
1 - 2	-112,561	76,9530 x	1 - 2	-97,635	54,9285 x
1 - 3	- 92,795	57,7301 x	1 - 3	-294,333	57,3390 x
1 - 4	-308,707	62,6839 x	1 - 4	-523,045	79,0364 x
1 - 5	-266,689	75,0135 x	1 - 5	-980,061	98,5757 x
1 - 6	-523,045	79,1840 x	2 - 3	-196,697	46,2645 x
1 - 7	-980,061	98,7598 x	2 - 4	-425,410	71,4100 x
2 - 3	19,766	71,2352	2 - 5	-882,425	92,5733 x
2 - 4	-196,147	75,3058 x	3 - 4	-228,713	73,2804 x
2 - 5	-154,128	85,8413 x	3 - 5	-685,728	94,0236 x
2 - 6	-410,485	89,5087 x	4 - 5	-457,015	108,625 x
2 - 7	-867,500	107,2160 x			
3 - 4	-215,912	55,5154 x			
3 - 5	-173,894	69,1355 x			
3 - 6	-430,251	73,6397 x			
3 - 7	-887,266	94,3726 x			
4 - 5	42,018	73,3227			
4 - 6	-214,338	77,5842 x			
4 - 7	-671,353	97,4818 x			
5 - 6	-256,357	87,8468 x			
5 - 7	-713,372	105,832 x			
6 - 7	-457,015	108,828 x			

x označuje štatisticky významné rozdiely

typmi a zároveň lepšie objasnenie priestorovej variability priemernej ročnej odtokovej výšky v porovnaní s predchádzajúcou klasifikačnou schémou. Výsledky viacnásobného párového porovnania rozdielov aritmetických priemerov medzi $\mu_1 - \mu_2, \dots, \mu_4 - \mu_5 = 0$ sú uvedené v tab. 2b. Keďže nula ani v jednom prípade nie je súčasťou konfidenčného intervalu, všetky rozdiely medzi aritmetickými priemermi priemernej ročnej odtokovej výšky sú štatisticky významné. To znamená, že fyzickogeografické regionálne typy povodí vyčlenené na základe vyššie uvedenej klasifikačnej schémy, sú z hľadiska hodnôt aritmetických priemerov priemernej ročnej odtokovej výšky heterogénne.

Hodnoty aritmetických priemerov hydrologickej odozvy vyčlenených fyzickogeografických regionálnych typov v základnom súbore budú s pravdepodobnosťou $\alpha = 0,05$ ležať v intervaloch:

$$246 \leq \mu_1 \leq 337 \text{ mm}, \quad 750 \leq \mu_4 \leq 879 \text{ mm},$$

$$359 \leq \mu_2 \leq 420 \text{ mm}, \quad 1184 \leq \mu_5 \leq 1359 \text{ mm},$$

$$551 \leq \mu_3 \leq 621 \text{ mm}.$$

Vzájomný pomer rozptylu priemernej ročnej odtokovej výšky medzi fyzickogeografickými regionálnymi typmi k celkovému rozptylu udáva, že identifikované fyzickogeografické regionálne typy objasňujú 82 % z celkového rozptylu hodnôt priemernej ročnej odtokovej výšky.

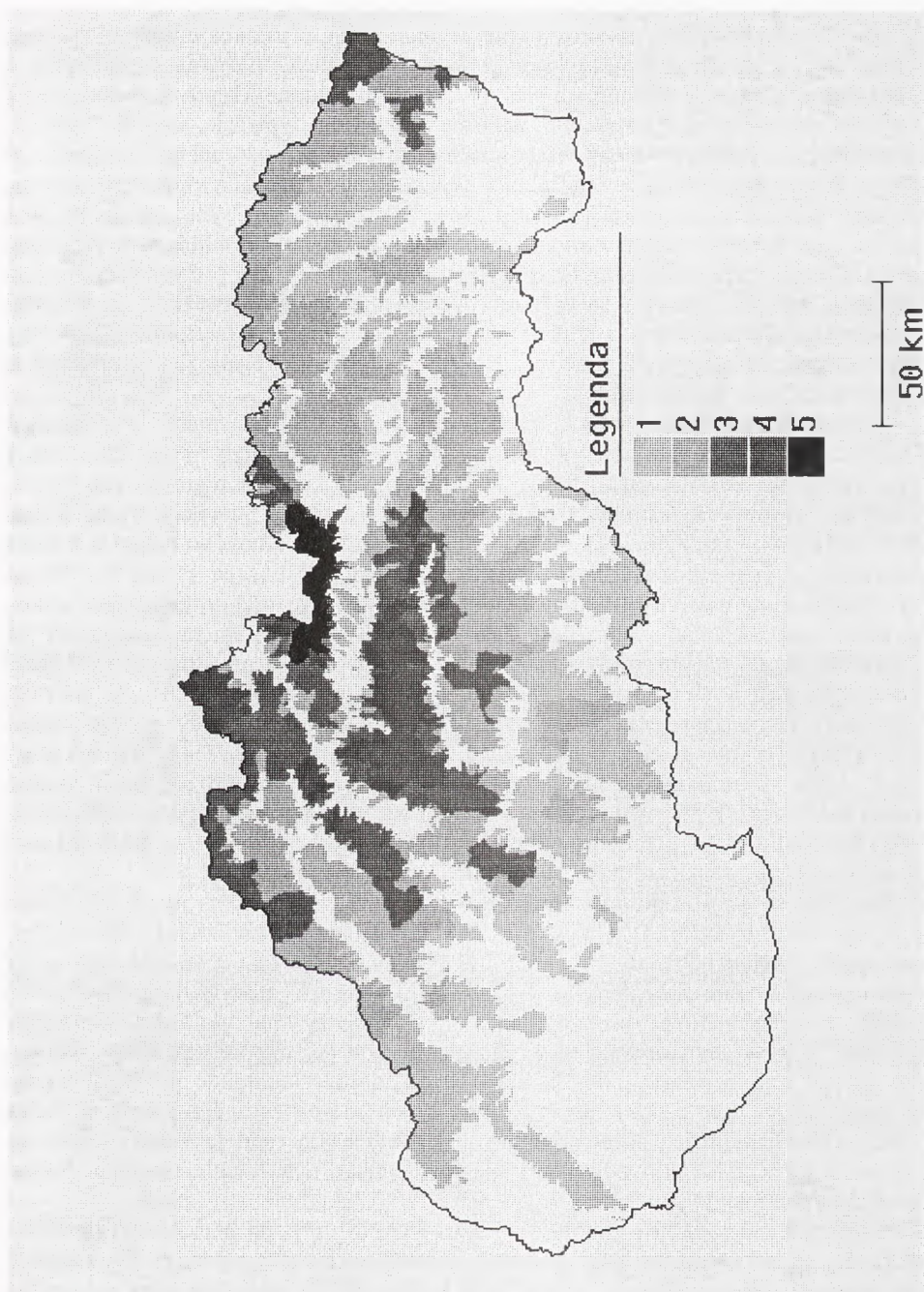
Rozdelenie pravdepodobnosti priemernej ročnej odtokovej výšky v každom vyčlenenom hydrogeografickom regionálnom type nevykazuje extrémne odchylky od normálneho rozdelenia. Možno ich preto považovať za homogénne z hľadiska priemernej ročnej odtokovej výšky. Výberový súbor vykazuje určitú odchylku od predpokladu o konštantnosti rozptylu. Koeficient Bartlettovho testu má hodnotu 20,62, čo zodpovedá hladine významnosti $\alpha = 0,002$. Avšak vzhľadom na robustnosť prezentovaného modelu analýzy rozptylu, táto odchýlka nemá podstatný vplyv na veľkosti konfidenčných intervalov skutočných aritmetických priemerov hydrologickej odozvy fyzickogeografických regionálnych typov ani na konfidenčné intervaly rozdielov medzi aritmetickými priermi hydrologickej odozvy.

Z uvedeného vyplýva, že na základe klasifikačnej schémy, vzniknutej rozdelením tried maximálnej nadmorskej výšky povodia na subtriedy vzhľadom na priemerný ročný úhrn zrážok v rámci montánnej krajiny Slovenska možno z hľadiska priemernej ročnej odtokovej výšky identifikovať 5 hydrogeografických regionálnych typov.

Do identifikovaných 5 hydrogeografických regionálnych typov sú ostatné povodia základného súboru zaradované na základe ich maximálnej nadmorskej výšky a priemerného ročného úhrnu zrážok. Údaje o maximálnej nadmorskej výške boli pre každé povodie priamo odčítané z topografických máp 1:50 000. Údaje o priemernom ročnom úhrne zrážok, ktoré spadli na povodie za obdobie 1976-85 boli určené z mapy izohyet. Mapa izohyet bola zostrojená na základe analýzy zrážkového poľa priemerných ročných úhrnov zrážok za vybrané obdobie zo všetkých dostupných meteorologických staníc, ktoré boli v danom období v prevádzke. Z mapy izohyet sa pre každé povodie určil maximálny a minimálny priemerný ročný úhrn zrážok. Z týchto dvoch hodnôt bol vypočítaný jednoduchý aritmetický priemer reprezentujúci priestorový úhm zrážok spadnutých na povodie. V niektorých špecifických prípadoch bola hodnota vypočítaného aritmetického priemeru upravená vzhľadom na konkrétne prírodné pomery povodia. Mapové zobrazenie identifikovaných hydrogeografických regionálnych typov priemernej ročnej odtokovej výšky v rámci montánnej krajiny Slovenska vytvorené technológiou GIS SPANS je prezentované na obr.3.

5 DISKUSIA

Myšlienky geografického prístupu pri výskume priestorovej variability hydrologickej odozvy krajiny sú väčšinou deklarované len vo veľmi všeobecnej polohe bez dôrazu na metodické postupy. V práci je prezentovaná určitá predstava jednotlivých krokov hydrogeografickej regionálnej typizácie. Pri ich riešení je samozrejme možné uplatniť aj iné metodické postupy než tie, ktoré boli aplikované. Alternatívny spôsob riešenia existuje predovšetkým pri definovaní priestorovej jednotky a pri vyčleňovaní fyzickogeografických regionálnych typov. Lokalizovať uzatvárajúci profil povodia je totiž možné i do jeho sútoku s iným povodím. Uplatnený spôsob riešenia vychádzal z úvahy, že v reliéfe Slovenska sa veľmi výrazne prejavujú tri geomor-



Obr.3 Hydrogeografické regionálne typy montánnej krajiny Slovenska z hľadiska priemernej ročnej odtokovej výšky.

1 - $246 \leq \mu_1 \leq 337$ mm, 2 - $359 \leq \mu_2 \leq 420$ mm, 3 - $551 \leq \mu_3 \leq 621$ mm, 4 - $750 \leq \mu_4 \leq 879$ mm, 5 - $1184 \leq \mu_5 \leq 1359$ mm.

fologické jednotky, a to pohorie, kotlina a nížina, ktoré zakladajú celkom odlišnú štruktúru procesov hydrologického cyklu v každej z nich. V rovinnej časti nížin v dôsledku neexistencie podmienok pre vytvorenie autochtónnych povrchových tokov je potrebné dokonca uplatniť inú filozofiu regionálnej typizácie, než tú, ktorá je prezentovaná. Takýto výrazný diferenciačný vplyv sa nemôže nebrať do úvahy. V procese hydrogeografickej regionálnej typizácie je zohľadnený prostredníctvom prijatej definície priestorovej jednotky, ktorá zabezpečuje, že hydrologická odozva povodia je formovaná odtokovými procesmi, ktoré sú autochtónne uvedeným geomorfologickým jednotkám. Lokalizáciou uzatvárajúceho profilu povodia do jeho sútoku s iným povodím by sa vytvorila sieť povodí, ktorá neumožňuje postihnutie diferenciačného účinku uvedených geomorfologických jednotiek, pretože v nej prevládajú povodia, ktorých plocha je zložená z dvoch geomorfologických jednotiek (pohorie-kotlina, pohorie-nížina).

Vytvorenie súboru povodí, ktorých fyzickogeografické vlastnosti sú vyjadrené kvantitatívnymi premennými, vytvára predpoklad pre aplikáciu metód numerickej klasifikácie pri zoskupovaní povodí do fyzickogeografických regionálnych typov. Takýmto spôsobom vyčlenené fyzickogeografické regionálne typy napr. v práci Solín, Poláčik (1994), však z hľadiska ich vplyvu na objasnenie celkového rozptylu hodnôt priemernej ročnej odtokovej výšky neposkytli celkom očakávané výsledky. Určitou nevýhodou numerických klasifikačných metód je, že na rozdiel od logického zoskupovania, resp. delenia neumožňujú zakomponovať do klasifikačnej procedúry už existujúce určité všeobecné poznatky alebo predpoklady o priestorovej variabilite fyzickogeografických prvkov. Dosiahnutie vyššieho percenta objasnenia priestorovej variability priemernej ročnej odtokovej výšky ako je 67 % fyzickogeografickými regionálnymi typmi sa opiera o predpoklad, že povodia patriace do jednej klasifikačnej triedy z hľadiska maximálnej nadmorskej výšky môžu nadobúdať rozdielne priemerné ročné úhrny zrážok z dôvodu ich rozdielnej geografickej polohy voči prevládajúcim zrážkovým situáciám. Z toho dôvodu sa v práci pri tvorbe fyzickogeografickej klasifikačnej schémy použila metóda hierarchického logického delenia.

V dôsledku prijatej definície priestorovej jednotky, hydrogeografické regionálne typy priemernej odtokovej výšky nevypĺňajú celú plochu územia Slovenska. Vzniknuté "biele plochy" sa viažu predovšetkým na rovinnú časť nížin, kde v dôsledku morfometrie sa autochtónny stály povrchový tok prakticky nevyskytuje. Plochy bez stáleho autochtónneho povrchového toku sa vyskytujú aj v pahorkatinnej časti kotlin a nížin. To však neznamená, že by tieto plochy boli bez akejkoľvek formy odtoku. Dominantný je podzemný odtok, ktorý však doplnia alochtónne povrchové toky pretekajúce cez tieto územia. Kvantitatívne vyjadrenie podzemného odtoku z týchto plôch, spôsobeného ich autochtónnymi odtokovými procesmi je veľmi zložitá, ak vôbec je možné. Z toho dôvodu týmto "bielym plochám" nebola zatiaľ pridelená žiadna hodnota odtokovej výšky.

Prezentované použitie technológie GIS-u - SPANS v procese mapového vyjadrenia hydrogeografických regionálnych typov nahradilo klasické práce a dlhotrvajúce ručné kreslenie kvalitným počítačovým výstupom. Zdigitalizovaním rozvodnic vytvorenej siete povodí sa vytvoril základný predpoklad pre uplatnenie GIS-u v procese hydrogeografickej regionálnej typizácie Slovenska z hľadiska ďalších charakteristík hydrologickej odozvy (minimálneho odtoku, maximálneho odtoku, režimu

odtoku a pod.).

6 ZÁVER

V dôsledku toho, že hydrologické pozorovania sa z finančných, ale aj organizačných dôvodov uskutočňujú len na vybraných povodiach, je problém priestorovej extrapolácie hydrologických údajov stále aktuálny. Vhodným nástrojom na jeho riešenie je hydrogeografická regionálna typizácia krajiny. V príspevku sa spresnili jej základné kroky, ktoré boli načrtnuté už v prácach Solín (1993,1994) a Solín, Poláčik (1994). Na ich základe bolo potom z hľadiska priemernej ročnej odtokovej výšky, v rámci montánnej krajiny Slovenska, identifikovaných 5 hydrogeografických regionálnych typov objasňujúcich 82 % z celkového rozptylu hodnôt priemernej ročnej odtokovej výšky.

Príspevok je jedným z výstupov vedeckého grantového projektu číslo 2/1059/94.

Podakovanie

Autori príspevku vyslovujú poďakovanie RNDr. M.Šúrimu za pomoc pri riešení niektorých problémov aplikácie GIS-u a V. Iľkovej za pomoc pri určovaní priemerného ročného úhrnu zrážok povodí základného súboru.

LITERATÚRA

- ARNELL, N. W., GOTTSCHALK, L.(1993). Mapping average annual runoff. In Gustard, A., ed. *Flow regimes from international experimental and network data (FRIEND)*. Wallingford (Institute of Hydrology), pp.122-131.
- ARNELL, N. W., KRASOVSKAIA, I., GOTTSCHALK, L.(1993). River flow regimes in Europe. In Gustard, A., ed. *Flow regimes from international experimental and network data (FRIEND)*, Wallingford (Institute of Hydrology), pp.112-121.
- BHATTACHARYYA, G. K., JOHNSON, R. A. (1977). *Statistical concepts and methods*. New York (Wiley).
- HAINES, A. T., FINLAYSON, B. L.(1988). A global classification of river regimes. *Applied Geography*, 8, 255-272.
- MOSLEY, M. P.(1981). Delimitation of New Zealand hydrological regions. *Journal of Hydrology*, 49, 173-192.
- NETER, J., WASSERMAN, W., KUTNER, R. M. (1985). *Applied linear statistical models*. Illinois (Home Wood).
- WILTSHIRE, S. E.(1986). Identification of homogeneous regions for flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 84, 287-302.
- SOLÍN, L. (1992). Regresný model priemernej ročnej odtokovej výšky pre územie Slovenska. *Geografický časopis*, 44, 237-248.
- SOLÍN, L. (1993). Hydrogeografické regionálne typy Slovenska z hľadiska priemernej ročnej odtokovej výšky. *Geografický časopis*, 45, 251-263.
- SOLÍN, L., POLÁČIK, Š.(1994). Identification of homogeneous hydrological regional types of basin. In Seuna, P. et al. eds. *FRIEND: Flow regimes from international experimental and network data*. IAHS publication, 221, pp. 467-473.

RUNOFF HYDROGEOGRAPHICAL REGIONAL TYPES OF MOUNTAINOUS LANDSCAPE OF SLOVAKIA

The study is oriented to refinement of the classification of mountainous landscape of Slovakia from the point of view of mean annual runoff as worked out by Solín (1993). The process of hydro-geographical regional typification of the landscape is divided into two subprocesses:

1. identification of hydro-geographical regional types within a selective set of spatial units, and
2. inclusion of other basins of basic set into identified hydro-geographical regional types and their map expression.

Identification of hydrogeographical regional types within the selective set of spatial units is based on the following steps:

- a) definition of basic spatial unit
- b) arrangements of the selective set of spatial units – the object of further analysis,
- c) identification of physical-geographical characteristics decisive from the point of view of spatial variability of chosen hydrological response,
- d) delimitation of physical-geographical regional types on the basis of characteristics cited in step (c),
- e) testing of homogeneity of hydrological response within the physical-geographical regional types and heterogeneity between them.

Hydro-geographical regional type is then defined as a set of spatial units mutually not contiguous in geographical space, identified on the basis of their physical-geographical characters in a manner that fulfills the prerequisite of heterogeneity of hydrological response between the regional types and homogeneity within them.

Basic spatial unit is defined as a basin with a stable river stream (blue line), the area of which is situated in the mountain range, basin-like hills or lowland hills and its area does not surpass 300 km². The selective set counting 126 basins was composed of the basins with hydrological observations, satisfying the cited definition of the basic spatial unit, and reflecting the diversity of the physical-geographical conditions of mountainous landscape of Slovakia. Hydrological response is expressed by mean annual runoff. Choice of physical-geographical characteristics of decisive influence on spatial variability of mean annual runoff leaned on the results reached by regression-correlation and factor analyses. On the basis of chosen physical-geographical characteristics physical-geographical regional basin types were delimited. The rate at which the physical-geographical regional types, identified on the basis of adopted classification scheme, fulfill the prerequisite of the heterogeneity of values of mean annual runoff between them and homogeneity within them is tested by zero hypotheses. Testing of zero hypotheses on heterogeneity of mean annual runoff between the physical-geographical regional types is based on the procedures forming part of variance analysis. Judgement of homogeneity of the mean annual runoff within the physical-geographical regional type is based on testing the agreement of division of probability of mean annual runoff of the basins belonging to one physical-geographical type with nonnal division.

Basins of basic set are included into hydro-geographical regional types, identified within the chosen set of basins on the basis of physical-geographical characteristics, with decisive influence upon spatial variability of mean annual runoff. Hydrological response of hydro-geographical regional types of the basic set is expressed by an interval in which the real value of arithmetical average of mean annual runoff should oscillate.

Out of nine considered physical-geographical characteristics two are decisive from the point of view of spatial variability of mean annual runoff: maximum sea level altitude of the basin and mean annual runoff. Between the two characteristics there exists a high correlation ($r = 0.80$). The value of the annual total precipitation in basin depends though besides its sea level altitude also from the geographical position of the basin as compared to the prevailing precipitation situations.

That is why the basins included in one class from the point of view of maximum sea level altitude of the basin can gain different values of mean annual runoff precisely because of the lower or higher annual precipitation total caused by geographical position of the basin. Departing from this reflection, classes of maximum sea level altitude of the basin cited in Solin (1993) are divided on the basis of mean annual precipitation total into subclasses (Table 1a). The results of the testing of the hypothesis $H_0 = \mu_1 - \mu_2 = \mu_2 - \mu_3 = \dots = \mu_{i-1} - \mu_i = 0$ as presented in Table 2a, imply that the differences between $\mu_2 - \mu_3$ and $\mu_4 - \mu_5$ are not statistically significant as the interval span of their differences contains also zero. That is why re-classification of the basins was done, result of which is clustering of basins into five physical-geographical regional types (Table 1b). The quoted classification scheme better enlightens the spatial variability of mean annual runoff in comparison with the preceding classification scheme. Results of multiple couple comparison of the differences of arithmetical means between $\mu_1 - \mu_2, \dots, \mu_4 - \mu_5 = 0$ are presented in Table 2b. As zero is in neither case a part of confidential interval, all differences between arithmetical means of the mean annual runoff are statistically significant. It means that the physical-geographical regional types of basins delimited on the basis of above mentioned classification scheme are from the point of view of the values of arithmetical means of the mean annual runoff heterogeneous. Values of arithmetical means of hydrological response of the delimited physical-geographical regional types in basic set will with probability of $\alpha = 0.05$ lie in the following intervals:

$$246 \leq \mu_1 \leq 337 \text{ mm}$$

$$359 \leq \mu_2 \leq 420 \text{ mm}$$

$$551 \leq \mu_3 \leq 621 \text{ mm}$$

$$750 \leq \mu_4 \leq 879 \text{ mm}$$

$$1184 \leq \mu_5 \leq 1359 \text{ mm}$$

Mutual ratio of variance of mean annual runoff between physical-geographical regional types to total variance shows that identified physical-geographical regional types enlighten 82% of total variance of the values of mean annual runoff. Division of probability of mean annual runoff in each delimited hydro-geographical regional type does not show extreme deviations of the normal division. That is why it is possible to consider them homogeneous from the point of view of mean annual runoff.

The remaining basins of the basic set are classified into identified five hydro-geographical regional types on the basis of their maximum sea level altitude and mean annual precipitation total. Map expression of identified hydro-geographical regional types of mean annual runoff in mountainous landscape of Slovakia created by technology GIS SPANS is presented at Fig. 3.

Tab. 1. Basic statistical data on hydrological response in the delimited physical-geographical regional types.

Tab. 2. Comparison of arithmetical means of hydrological response between physical-geographical regional types.

Fig. 1. Network of basins.

Fig. 2. The diagram of loads of the first and second factors.

Fig. 3. Hydro-geographical regional types of mountainous landscape of Slovakia from the point of view of mean annual runoff.

Legend:

1 - $246 \leq \mu_1 \leq 337 \text{ mm}$

2 - $359 \leq \mu_2 \leq 420 \text{ mm}$

3 - $551 \leq \mu_3 \leq 621 \text{ mm}$

4 - $750 \leq \mu_4 \leq 879 \text{ mm}$

5 - $1184 \leq \mu_5 \leq 1359 \text{ mm}$