
GEOGRAFICKÝ ČASOPIS

53

2001

4

*Lubomír Solín**

NIEKTORÉ ASPEKTY TVORBY HYDROLOGICKÝCH MÁP

L. Solín: Some aspects of production of the hydrological maps. Geografický časopis, 53, 2001, 4, 29 refs.

The paper is aimed at definition of spatial and regional hydrological variability and analysis of methods of their mapping and cartographic representation. In connection with spatial hydrological variability, methods of mapping along the river system and across the territory of interest are reviewed and cartographic representation by isolines and choropleth is discussed. In case of regional hydrological variability approaches to identification of regional units and ways of classifying the ungauged basins into regional units, are analysed.

Key words: spatial hydrological variability, regional hydrological variability, hydrological mapping, cartographic representation

ÚVOD

Tematické mapy, ako aj súborné kartografické diela – atlasy, sú bohatým zdrojom priestorových informácií pre široký okruh používateľov. Preto sa vyžaduje ich „ľahká čitateľnosť“, ktorá je v prvom rade hodnotená vizuálne. Z tohto dôvodu je skladba mapy z mapových znakov (mapová syntax) venovaná pomerne veľká pozornosť (Pravda 1997). Rovnako dôležitá je však aj presnosť a pravdivosť vecnej, obsahovej stránky tematických máp.

Hydrologické mapy, ktoré tvoria samostatnú skupinu tematických máp, vyjadrujú z vecného hľadiska predovšetkým variabilitu dlhodobých hodnôt priemerneho, maximálneho a minimálneho odtoku, ako aj režimu odtoku v priestore.

* Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava

Variabilita hydrologických charakteristík môže byť na mape vyjadrená formou *priestorovej* alebo *regionálnej* variability. Termíny priestorová a regionálna variabilita sa však v hydrologickej literatúre striktne nerozlišujú. Cieľom príspevku je poukázať na rozdielnosť uvedených pojmov z vecného hľadiska a analyzovať spôsoby mapovania priestorovej a regionálnej variability hydrologických charakteristík.

PRIESTOROVÁ A REGIONÁLNA HYDROLOGICKÁ VARIABILITA

Priestorová hydrologická variabilita sa tradične kartograficky vyjadruje izočiarami. Naproti tomu na vyjadrenie regionálnej hydrologickej variability sa používa kartogram podľa regionálnych jednotiek. O vysvetlenie rozdielu medzi izočiarami a regionálnymi jednotkami priemerného ročného odtoku sa pokúsil Sokolov (1968). Podľa neho vyjadrenie priestorovej variability priemerného ročného odtoku izočiarami a prostredníctvom regiónov (rajónov) sú dva vzájomne sa dopĺňajúce prístupy. Prvý vyjadruje všeobecné zonálne zákonitosti variability priemerného ročného odtoku, druhý odráža vplyv azonálnych faktorov (sklonu reliéfu, vegetačnej pokrývky, pôd atď). Interpretovať rozdielnosť medzi izočiarami a regionálnymi jednotkami z pohľadu vplyvu rozdielnych fyzikogeografických charakteristík na veľkosť hodnôt priemerného ročného odtoku však nie je opodstatnené. V obidvoch prístupoch sa vychádza z tých istých hodnôt priemerného ročného odtoku, ktoré zahŕňajú vplyv klimatických a ďalších fyzikogeografických charakteristík záujmového územia.

Vecný, obsahový rozdiel medzi priestorovou a regionálnou hydrologickou variabilitou spočíva v tom, že priestorová variabilita vyjadruje kontinuálnym spôsobom heterogénnosť v priestorovom usporiadaní (lokalizácii) hydrologických hodnôt *bodových alebo základných areálových jednotiek*. Naproti tomu regionálna variabilita vyjadruje diskretným spôsobom heterogénnosť *stredných hydrologických hodnôt areálových jednotiek vyššieho rádu (regionálne jednotky)* identifikovaných na množine základných areálových jednotiek. Kartografické vyjadrenie zmien v hodnotách hydrologických charakteristík prostredníctvom plynule na seba nadväzujúcich intervalov, alebo intervalmi majúcimi skokový charakter, ktoré na seba nenadväzujú, sú potom už len *formálne vonkajšie znaky*, ktorými sa priestorová a regionálna hydrologická variabilita navzájom odlišujú. Priestorová a regionálna variabilita hydrologických charakteristík sú teda dva rozdielne koncepčné prístupy k vyjadreniu variability hydrologických charakteristík v priestore. V dôsledku toho sa odlišujú aj spôsoby ich mapovania. Označenie mapy izočiari priemerného ročného odtoku ako mapy zobrazujúcej „generalized regional patterns“ (McKay 1976) však poukazuje na synonymné chápanie termínov *priestorová a regionálna* hydrologická variabilita, ktoré žiaľ v hydrológii pretrváva dodnes.

MAPOVANIE PRIESTOROVEJ VARIABILITY HYDROLOGICKÝCH CHARAKTERISTÍK

Mapovanie priestorovej hydrologickej variability je proces získavania hydrologických hodnôt pre bodové alebo základné areálové jednotky meraním alebo odhadom (na základe interpolačných alebo extrapoláčnych metód exaktného

alebo logického charakteru) v rozsahu, ktorý je potrebný na výstižné vyjadrenie priestorovej variability hydrologickej charakteristiky v záujmovom území. Odhad chýbajúcich hodnôt je preto kľúčovým problémom hydrologického mapovania, resp. tvorby tematických hydrologických máp.

Metóda *izočiar* je najčastejšie používanou metódou na kartografické vyjadrenie priestorovej variability hodnôt priemerného ročného, maximálneho a minimálneho odtoku *naprieč* záujmovým územím, spravidla vymedzeného štátnymi hranicami. V rámci tejto metódy sú hydrologické hodnoty chápané ako bodové pole. Počet profilov s hydrologickým meraním, predovšetkým z malých povodí zaradených do bodového poľa nebýva dostatočný pre konštrukciu izočiar metódou grafickej interpolácie. A tak sa v procese hydrologického mapovania pristupuje k vykresľovaniu priebehu izočiar hydrologických charakteristík predovšetkým na základe priebehu izočiar úhrnu zrážok alebo vrstevníc (napr. Hlubocký 1980a, 1980b a 1980c), prípadne sa zohľadňujú aj ďalšie fyzicko-geografické charakteristiky, alebo sa uplatňuje aj intuícia. Pri konečnom rozhodnutí o priebehu izočiar sa v rámci takéhoto spôsobu mapovania však vytvára pomerne široký priestor pre uplatnenie subjektívneho prístupu.

Proti tomuto rozšírenému spôsobu kartografického vyjadrenia priestorovej variability bodových hodnôt sa v súvislosti s jeho aplikáciou na hydrologické údaje objavujú aj ďalšie výhrady. Hydrologické hodnoty majú plošne integrovaný charakter a predmetom kritiky je predovšetkým samotné chápanie hydrologických hodnôt ako bodových hodnôt (Arnell a Gottschalk 1993). Výhrady sú aj k samotnému použitiu izočiar na kartografické vyjadrenie. Podľa Kaňoka (1999) metóda izočiar nie je vhodná pre kartografické zobrazenie hodnôt, ktoré vznikli prepočtom na plochu areálovej jednotky. Hydrologické charakteristiky, vyjadrené odtokovou výškou (v mm) alebo špecifickým odtokom (v $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$), majú takýto charakter, pretože vznikli prepočtom na plochu povodia. Zodpovedajúci spôsob kartografického zobrazenia týchto charakteristík by mal byť založený na metóde kartogramu. V dôsledku nie celkom konzistentného spôsobu vykresľovania izočiar a opodstatnenosti ich aplikácie vznikajú potom z vecného i kartografického hľadiska problémy s ich interpretáciou.

Za korektnejší spôsob kartografického vyjadrenia priestorovej variability hydrologických údajov, zodpovedajúci chápaniu hydrologickej hodnoty ako atribútu areálovej jednotky – povodia, pokladáme preto kartografické vyjadrenie *kartogramom podľa základných areálových jednotiek*. V procese hydrologického mapovania sa odhad chýbajúcich hydrologických hodnôt uskutočňuje *matematicko-štatistickými* metódami, a to pre areálové jednotky *pozdĺž riečneho systému* (záujmové územie je reprezentované uceleným riečnym systémom o rozlohe niekoľko tisíc km^2), alebo pre areálové jednotky *naprieč záujmovým územím*. Hydrologické mapovania priestorovej variability pozdĺž riečneho systému sa opiera o vzájomnú závislosť hydrologických hodnôt, zatiaľ čo metódy hydrologického mapovania naprieč záujmovým územím vychádzajú z predpokladu vzájomnej nezávislosti hydrologických hodnôt.

Odhad hydrologických hodnôt pozdĺž riečneho systému geoštatistickými metódami je založený na lineárnej kombinácii hydrologických hodnôt z profilov lokalizovaných nad profilom, pre ktorý sa hydrologická hodnota odhaduje. V jadre geoštatistických metód je koncepcia priestorovej príbuznosti, v rámci

ktorej zodpovedá lokalizačnej (vzdialenostnej) blízkosti objektov ich blízkosť, podobnosť atribútová. V anglickej literatúre sa tieto metódy označujú aj názvom *objective analysis* alebo *kriging* (Cressie 1991). Na odhad hodnôt priemerného ročného odtoku v procese hydrologického mapovania ich aplikovali napr. Gottschalk a Krasovskaia (1994) a Sauquet et al. (2000).

Hydrologické mapovanie pozdĺž riečného systému sa môže uskutočniť aj na základe tzv. princípu matriošky (*nested approach*). V rámci tohto prístupu je povodie riečného systému rozčlenené na čiastkové povodia a medzipovodia tak, že ako prvé sa vyčlenení čiastkové povodie v pramennej oblasti riečného systému, ku ktorému sa potom postupne pridávajú plochy povodia, ktoré zodpovedajú vodomerným profilom lokalizovaným v smere od prameňa k ústiú na hlavnom toku riečného systému. V procese hydrologického mapovania sa potom určujú hodnoty hydrologickej charakteristiky, ktorá zodpovedá ploche medzi vyčlenenými profilmi, a to jednoduchým odčítaním hodnoty vyššie lokalizovaného profilu od hodnoty nižšie lokalizovaného profilu. V prípade, že sa v rámci riečného systému vyskytujú profily bez hydrologického pozorovania, hydrologická hodnota pre tieto profily sa odhaduje zvyčajne lineárnou interpoláciou alebo regresiou. Pritom musí platiť podmienka, že absolútna hodnota hydrologickej charakteristiky nižšieho profilu musí byť sumou hodnôt vyšších profilov. Na základe aplikácie tohto prístupu bola zostrojená napr. mapa špecifického odtoku ČSSR (Hlubocký et al. 1966), alebo mapa priemerného ročného odtoku Švajčiarska (Schädler a Weigartner 1992).

Odhad hydrologických hodnôt pre areálové jednotky naprieč záujmovým územím sa uskutočňuje na základe regresnej analýzy. Nevyhnutným predpokladom jej aplikácie je rozčlenenie záujmového územia na súbor základných, spravídla malých povodí a vytvorenie databázy ich fyzickogeografických charakteristík. Veľkosť povodí, na ktoré je rozčlenené záujmové územie, by mala korešpondovať s veľkosťou povodí, v rámci ktorých bol odvodený regresný vzťah. Odhad regresnou rovnicou je spoľahlivý len v rámci rozpätia hodnôt nezávisle premenných, z ktorého boli odvodené parametre regresnej rovnice. Preto pre presnosť regresného odhadu hydrologických hodnôt je žiadúce, aby súbor povodí vybraný pre odvedenie regresného vzťahu výstižne reprezentoval pestrosť fyzickogeografických podmienok záujmového územia. Rozvoj geografických informačných technológií (GIS), digitálnych modelov reliéfu a interpretácie satelitných snímok umožňuje vybudovať pomerne rozsiahlu bázu údajov fyzickogeografických charakteristík povodí (cf. Solín et al. 2000). Pre odhad hydrologických hodnôt sú však dôležité predovšetkým tie fyzickogeografické charakteristiky, ktoré majú významný vplyv na ich priestorovú diferenciáciu. Pri ich identifikácii sa môžu uplatniť tak exaktné metódy, ako aj logický úsudok (Solín a Faško 1995, Solín a Grešková 2000).

Základná areálova jednotka však nemusí byť vždy definovaná ako povodie. Záujmové územie sa môže rozčleniť aj na štvorce (Arnell a Gotschalk 1993). Metódy odhadu priemerného ročného odtoku pre štvorcovú sieť s rozmerom štvorca približne 50 x 50 km analyzoval Arnell (1995). Identifikoval pritom päť spôsobov mapovania odtoku: 1. aritmetickým priemerom odtoku, ktorý je vypočítaný zo všetkých malých povodí s hydrologickým meraním, ktoré sa nachádzajú vo štvorci, 2. štatistickou interpoláciou medzi vodomernými stanicami, 3. odhadom odtoku empirickými vzorcami na základe štvorcových hodnôt zrá-

žok, potenciálneho výparu a teploty vzduchu, 4. odhadom odtoku z rovnice hydrologickej bilancie na základe štvorcových hodnôt zrážok a potenciálneho výparu, 5. váženým aritmetickým priemerom, odvodeným z mapy odtoku podľa povodí.

V súvislosti s tvorbou rastrových máp zrážok a evapotranspirácie s rozmerom rastra v rozpätí od 100 x 100 m do 1000 x 1000 m v prostredí GIS sa začínajú vytvárať aj rastrové mapy odtoku, či už na základe použitia empirických vzorcov, alebo rovnice hydrologickej bilancie (Parajka 2000). Interpretácia rastrových odtokových máp si však vyžaduje určitú obozretnosť. Zatiaľ čo vyjadrenie priestorovej variability zrážok a evapotranspirácie prostredníctvom rastra je v súlade s empirickými bodovými hodnotami, v prípade odtoku to tak nie je, pretože hodnota odtoku je areálovo viazaná na povodie zodpovedajúce vodomernému profilu, a nie na raster.

Analýza intervalových kartogramových alebo izočiarových stupníc hydrologických hodnôt poukazuje na to, že ich tvoria nepravidelne rastúce, plynulo na seba nadväzujúce intervaly. Voľba intervalov spravidla nie je zdôvodnená. Podľa Kaňoka (1999) by tvorba intervalových stupníc mala vychádzať z analýzy frekvencie výskytu veľkostí jednotlivých hodnôt.

IDENTIFIKÁCIA A MAPOVANIE REGIONÁLNEJ VARIABILITY HYDROLOGICKÝCH CHARAKTERISTÍK

Proces mapovania regionálnej hydrologickej variability spočíva v zaradovaní základných areálových jednotiek (malé povodia) bez hydrologického pozorovania do regionálnych jednotiek (regiónov, resp. regionálnych typov), vyčlenených na množine vybraných povodí s hydrologickým pozorovaním. Kartograficky je potom regionálna hydrologická variabilita vyjadrená kartogramom podľa regionálnych jednotiek.

Vlastnému procesu mapovania teda predchádza identifikácia regionálnych jednotiek na množine malých povodí s hydrologickým pozorovaním. Zvolená regionalizačná metóda pomerne výrazným spôsobom ovplyvňuje exaktnosť, konzistentnosť a verifikovateľnosť hydrologického mapovania, ako aj samotné hranice regionálnych typov, resp. regiónov hydrologických charakteristík. Kľúčový význam pri voľbe prístupu k vyčleneniu regionálnych jednotiek hydrologickej variability má rozhodnutie o tom, či sa regionalizačný proces uskutoční priamo na množine hydrologických, alebo nepriamo na množine fyzickogeografických atribútov povodí.

Vyčleňovanie regionálnych jednotiek na množine *hydrologických atribútov* povodí sa uskutočňuje predovšetkým metódami hierarchickej alebo nehierarchickej zhlukovej analýzy (cf. Anderberg 1972, Gordon 1981). Súbor hydrologických atribútov je zvyčajne vytvorený z jednej alebo viacerých momentových charakteristík hydrologických hodnôt. Najčastejšie sa používa kombinácia aritmetického priemeru a koeficienta variácie. Miery šikmosti a špicatosti, vyjadrujúce tvar distribučnej krivky, sa používajú zriedkavejšie.

Zaradovanie ostatných malých povodí záujmového územia do regiónov, resp. regionálnych typov identifikovaných na základe hydrologických atribútov, však nie je také konzistentné a exaktné ako samotný proces ich identifikácie. Proces zaradovania je totiž možné uskutočniť len na základe fyzickogeografic-

kých atribútov povodí. Vzhľadom na to, že hydrologické regionálne jednotky boli identifikované bez väzby na fyzickogeografické atribúty povodí, v procese hydrologického mapovania je nutné pristúpiť k dodatočnému *fyzickogeografickému zdôvodneniu ich priestorovej lokalizácie*. Napríklad Mosley (1981) a Gottschalk (1985) aplikovali jednoduché vizuálne porovnanie priestorového rozloženia skupín, ktoré sú si podobné z hľadiska vybraných hydrologických atribútov so všeobecnými fyzickogeografickými regiónmi. Tento proces je však nekonzistentný a nepresný a navyše transformuje hydrologické mapovanie do inej polohy. Základná areálová jednotka – povodie prestáva byť predmetom mapovania a na miesto vymedzenia hraníc hydrologickej regionálnej variability pozdĺž rozvodníc sa uplatňuje vymedzenie hydrologických regionálnych jednotiek podľa hraníc jednotlivých fyzickogeografických komponentov, alebo podľa fyzickogeografických regiónov, resp. regionálnych typov, vyčlenených na základe ich vzájomnej kombinácie. Exaktnější spôsob použil Wiltshire (1986b), keď porovnal zaradenie povodí do skupín vymedzených na základe hydrologických atribútov metódou nehierarchickej klasifikácie s ich zaradením do skupín identifikovaných na základe fyzickogeografických charakteristík metódou diskriminačnej analýzy.

Proces identifikácie hydrologickej regionálnej variability na množine *fyzickogeografických atribútov* malých povodí sa môže uskutočniť, podobne ako v prvom prípade, metódami zhlukovej analýzy, ďalej metódou logického delenia (Grigg 1965, Armand 1975), alebo metódou ROI, ktorá vychádza z myšlienky, že ku každému povodiu je možné vytvoriť jeho vlastný región – *region of influence* (Burn 1990, Zrinji a Burn 1994). Výsledky metódy ROI nie sú kartograficky vyjadriteľné prijateľným spôsobom, a preto jej ďalej v súvislosti s mapovaním regionálnej hydrologickej variability nevenujeme pozornosť.

Fyzickogeografické regionálne jednotky by mali byť vyčlenené tak, aby z hľadiska vybraného hydrologického atribútu spĺňali podmienku vzájomnej heterogenity a vnútornej homogenity (Wiltshire 1986a, Hosking a Wallis 1997). Z fyzickogeografických klasifikačných schém, spĺňajúcich uvedenú podmienku, je z hľadiska hydrologickej regionálnej variability najvhodnejšia tá, ktorá objasňuje čo najväčšie percento z celkového rozptylu hydrologických hodnôt. Vzhľadom na to, že fyzickogeografické atribúty majú vo vzťahu k hydrologickým atribútom explanačnú funkciu, identifikovanie regionálnej hydrologickej variability si vyžaduje určité apriórne poznatky o vplyve fyzickogeografických charakteristík na priestorovú variabilitu hodnôt hydrologických atribútov a ich následnú implementáciu do regionalizačného procesu.

Vyčleňovanie fyzickogeografických regionálnych jednotiek numerickými metódami sa pre svoju exaktnosť uprednostňuje pred logickým delením. Ich určitým nedostatkom však je, že na rozdiel od logického delenia neumožňujú v plnej miere zohľadniť apriórne poznatky o priestorovej variabilite hydrologických atribútov v závislosti od fyzickogeografických charakteristík povodí. Doterajšie poznatky naznačujú, že fyzickogeografické regionálne typy, vyčlenené metódami numerickej klasifikácie, objasňujú menšie percento z celkového rozptylu hodnôt hydrologického atribútu ako regionálne typy vyčlenené metódou logického delenia (Solín a Cebecauer 2001, Solín 2001).

Bez ohľadu na spôsob vyčlenenia fyzickogeografických regionálnych jednotiek, vyčerpávajúce rozčlenenie záujmového územia na súbor povodí a vytvore-

nie bázy údajov ich fyzickogeografických charakteristík umožňuje založenie následného procesu mapovania na presne špecifikovaných spôsoboch. V dôsledku toho sa hydrologické mapovanie stáva konzistentným aj vzájomne verifikovateľným procesom. V prípade, že fyzickogeografické regionálne typy sú identifikované metódou logického delenia, ostatné povodia sa do vyčlenených regionálnych jednotiek zaraďujú *jednoznačným spôsobom*, a to na základe veľkosti príslušných fyzickogeografických charakteristík. Ak sú fyzickogeografické regionálne typy identifikované metódami numerickej klasifikácie, tak mapovací proces je založený na diskriminačnej analýze. Povodia bez hydrologického pozorovania sú zaraďované do identifikovaných regionálnych jednotiek na základe hodnôt diskriminačného skóre, vypočítaného z vybraných fyzickogeografických charakteristík povodí.

Po zaradení povodí do fyzickogeografických regionálnych jednotiek sa pred nami vynára problém odhadu ich hydrologických hodnôt. Jednou z možností jeho riešenia je, že povodiam, ktoré sú jednoznačne zaradené do fyzickogeografických regionálnych typov sa priradí očakávaná regionálna (stredná) hodnota hydrologického atribútu, určená metódou bodového alebo intervalového odhadu z hydrologických hodnôt povodí, patriacich do regionálnej jednotky. Kartograficky je potom variabilita regionálnych hodnôt vyjadrená kartogramom podľa regionálnych jednotiek.

Skokový rozdiel hydrologických regionálnych hodnôt medzi susediacimi povodiami, patriacimi do rozdielnych fyzickogeografických regionálnych jednotiek, však mnohí považujú za nereálny, argumentujúc pritom slovami, že zmena hydrologických hodnôt medzi susednými povodiami má skôr plynulý ako skokový charakter. Preto Wiltshire (1986c) v prípade jednoznačného zaradenia povodia do regionálnej jednotky v súvislosti s odhadom bezrozmernej hodnoty N-ročného kvantilu povodia navrhol metódu, ktorá zohľadňuje aj regionálne hodnoty kvantilov fyzickogeografických regionálnych jednotiek, susediacich s regionálnou jednotkou, do ktorej patrí povodie, pre ktoré sa odhaduje hodnota N-ročného kvantilu. Hodnota bezrozmerného kvantilu sa potom odhadne ako vážený priemer regionálnych hodnôt a za váhu sa zvolí vzdialenosť povodia od centroidov jednotlivých regionálnych jednotiek. Podmienkou na určenie vzdialenosti je vyjadrenie regionálnych jednotiek v dvojrozmernom údajovom priestore fyzickogeografických charakteristík povodí. V prípade nejednoznačného zaradenia povodia do fyzickogeografickej regionálnej jednotky, napr. diskriminačnou analýzou, je váhou pravdepodobnosť zodpovedajúca hodnote diskriminačného skóre, na základe ktorého je povodie zaradené do príslušnej regionálnej jednotky (Wiltshire 1986b). Následná transformácia bezrozmerných kvantilov na reálne hodnoty sa uskutočňuje pomocou indexu (zvyčajne je ním priemerná ročná hodnota maximálnych prietokov), ktorým sa normovali pôvodné hodnoty maximálnych prietokov z jednotlivých staníc. Pre povodia bez hydrologického pozorovania sa hodnota indexu spravidla odhaduje z fyzickogeografických charakteristík daného povodia.

V dôsledku odhadu N-ročných prietokov váženou regionálnou hodnotou a spätnou transformáciou bezrozmernej regionálnej hodnoty, reálna hodnota N-ročného kvantilu pre všetky povodia v rámci regionálnej jednotky nebude konštatná, ale sa bude meniť (v relatívne úzkom rozpätí) od povodia k povodiu. Tým sa v zásade mení tradičné kartografické vyjadrenie hydrologickej regionál-

nej variability kartogramom podľa regionálnych jednotiek na kartografické vyjadrenie kartogramom podľa základných areálových jednotiek. Dochádza tak k mapovaniu priestorovej hydrologickej variability regionálnymi metódami. Explanačný charakter fyzickogeografických regionálnych jednotiek vo väzbe na odhadnuté hydrologické kvantily je však do určitej miery oslabený. Na druhej strane však takýto postup vytvára predpoklad pre spresnenie samotného odhadu N-ročných kvantilov.

ZÁVEREČNÉ POZNÁMKY

Priestorová a regionálna hydrologická variabilita sú dva rozdielne koncepčné prístupy k vyjadreniu variability hydrologických charakteristík v priestore. Táto rozdielnosť sa potom prejavuje aj v uplatňovaní odlišných prístupov pri ich mapovaní. V súvislosti s priemernými ročnými hydrologickými hodnotami prevláda skôr mapovanie priestorovej variability. Naproti tomu potreba máp regionálnej hydrologickej variability sa viaže na extrémne hydrologické hodnoty. Vyplyva to z toho, že pri maximálnych prietokoch si viac ako pri iných hydrologických charakteristikách uvedomujeme potrebu dostatočne dlhého hydrologického radu na presný odhad N-ročných prietokov. Na spoľahlivý odhad 100-ročného prietoku je nevyhnutný minimálne 50-ročný pozorovací rad. Pozorovacie rady v takejto dĺžke však nie sú k dispozícii predovšetkým pre malé povodia. Preto pozorujeme úsilie rozšíriť nedostatočnú dĺžku časového radu v jednotlivých povodiach prostredníctvom zohľadnenia časových radov ďalších povodí patriacich do toho istého regionálneho typu. Veľmi výstižne význam regionálnych typov a regionálnej hodnoty vyjadrili Hosking a Wallis (1997, p. 1) konštatovaním: „Ak frekvencie výskytu udalostí majú podobné hodnoty, ktoré sú namerané na rozdielnych miestach, potom omnoho presnejší záver o ich veľkosti je možné získať analýzou všetkých súborov údajov spoločne, ako vychádzať len z hodnôt jedného súboru údajov“.

Príspevok vznikol za finančnej podpory grantovej agentúry VEGA v rámci vedeckého projektu 2/7050/20 „Hydrogeografické regionálne typy SR – problém extrapolácie hodnôt hydrologickej odozvy a racionálneho využitia vodných zdrojov“.

LITERATÚRA

- ANDERBERG, M. R. (1972). *Cluster analysis for applications*. New Mexico (NTIS).
 ARMAND, D. L. (1975). *Nauka o landšafte*. Moskva (Nova Mysl').
 ARNELL, N. W. (1995). Grid mapping of river discharge. *Journal of Hydrology*, 167, 39-56.
 ARNELL, N. W., GOTTSCHALK, L. (1993). Mapping average annual runoff. In Gustard, A., ed. *Flow regimes from international experimental and network data (FRIEND)*. 1. Wallingford (Institute of Hydrology), pp. 122-131.
 BEZÁK, A. (1993). Problémy a metódy regionálnej taxonómie. *Geographia Slovaca*, 3. Bratislava (Geografický ústav SAV).
 BURN, D. H. (1990). An appraisal of the „region of influence“ approach to flood frequency analysis. *Hydrological Sciences Journal*, 35, 149-165.
 CRESSIE, N. A. C. (1991). *Statistics for spatial data*. New York (Wiley).

- GORDON, A. D. (1981). *Classification*. London (Chapman and Hall).
- GRIGG, D. (1965). The logic of regional systems. *Annals of the Association of American Geographers*, 55, 465-491.
- GOTTSCHALK, L., KRASOVSKAIA, I. (1994). Interpolation of runoff to a regular grid net: theoretical aspects. *International Association of Hydrological Sciences*, 221, 455-466.
- HLUBOCKÝ, B. et al. (1966). Špecifický odtok. In *Atlas Československej socialistickej republiky*, Praha (Ústřední správa geodézie a kartografie).
- HLUBOCKÝ, B. (1980a). Elementárny odtok (malý). In Mazúr, E., ed. *Atlas Slovenskej socialistickej republiky*. Bratislava (SAV a SÚGK).
- HLUBOCKÝ, B. (1980b). Elementárny odtok (rok). In Mazúr, E., ed. *Atlas Slovenskej socialistickej republiky*. Bratislava (SAV a SÚGK).
- HLUBOCKÝ, B. (1980c). Elementárny odtok (maximálny). In Mazúr, E., ed. *Atlas Slovenskej socialistickej republiky*. Bratislava (SAV a SÚGK).
- KAŇOK, J. (1999). Klasifikace stupnic a zásady jejich tvorby pro kartogram a kartodiagram. *Kartografické listy*, 7, 75-86.
- McKAY, G. A. (1976). Hydrological Mapping. In Rodda, J. C., ed. *Facets of Hydrology*. London (Wiley), pp. 1-36.
- MOSLEY, M. P. (1981). Delimitation of New Zealand hydrologic regions. *Journal of Hydrology*, 49, 173-192.
- NATURAL ENVIRONMENTAL RESEARCH COUNCIL (1975). *Flood Studies Report*, 1. London (NERC).
- PARAJKA, J. (2000). Mapovanie dlhodobého priemerného ročného odtoku s využitím empirických modelov. *Acta Hydrologica Slovaca*, 1, 51-59.
- PRAVDA, J. (1997). *Mapový jazyk*. Bratislava (Univerzita Komenského).
- SCHÄDLER, B., WEIGARTNER, E. (1992). Natural runoff 1961-1980. In *Hydrological Atlas of Switzerland*. Bern (Federal Office for Water and Geology).
- SAUQUET, E., GOTTSCHALK, L., LEBLOIS, E. (2000). Mapping average annual runoff: a hierarchical approach applying a stochastic interpolation scheme. *Hydrological Sciences Journal*, 45, 799-815.
- SOKOLOV, A. A. (1968). K teorii gidrologičeskogo kartirovanija. *Izvestija vsesojuznogo geografičeskogo občestva*, 100 (1), 38-43.
- SOLÍN, L., CEBECAUER, T. (2001). Hydrogeografické regionálne typy dlhodobého priemerného ročného odtoku na Slovensku. *Geografický časopis*, 53, 21-48.
- SOLÍN, L., FAŠKO, P. (1995). Hydrogeografické regionálne typy montánnej krajiny Slovenska z hľadiska priemernej ročnej odtokovej výšky. *Geografický časopis*, 47, 75-91.
- SOLÍN, L., GREŠKOVÁ, A. (2000). Hydrogeografické regionálne typy dlhodobého priemerného ročného minimálneho odtoku na území Slovenska. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 46, 399-432.
- WILTSHIRE, S. E. (1986a). Regional flood frequency analysis I: Homogeneity statistics. *Hydrological Sciences Journal*, 31, 321-333.
- WILTSHIRE, S. E. (1986b). Regional flood frequency analysis II: Multivariate classification of drainage basins in Britain. *Hydrological Sciences Journal*, 31, 335-346.
- WILTSHIRE, S. E. (1986c). Identification of homogenous regions for flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 84, 287-302.
- ZRINJI, Z., BURN, D. H. (1994). Flood frequency analysis for ungauged sites using a region of influence approach. *Journal of Hydrology*, 153, 1-21.

Eubomír Solín

SOME ASPECTS OF PRODUCTION OF THE HYDROLOGICAL MAPS

Variability of hydrological characteristics in space can be expressed by means of spatial and regional variability. Spatial hydrological variability expresses in a continuous way heterogeneity in spatial arrangement (localisation) of points or basic spatial units. On the other side, regional hydrological variability expresses in a discrete way the heterogeneity of spatial units of higher order – regional units, which were identified in a set of basic spatial units with regard to their hydrological or physiographic attributes. The aim of the paper is the analysis of ways of mapping spatial and regional variability of hydrological characteristics.

Mapping of a spatial hydrological variability is the process of obtaining hydrological values for points or basic spatial units in the extent necessary for accurate cartographic representation of the spatial hydrological variability by isolines or choropleths. This can be done by gauging and estimates by means of the interpolating or extrapolating methods having exact or logical character.

The method of isolines is more frequently used for cartographic representation of spatial hydrological variability across the territory of interest. Hydrological values are conceived as a point field. In the consequence of insufficient number of gauged values in field of points, hydrological isolines are drawn along isohyets, contour lines, boundaries other physiographic characteristics or intuition is used instead of using the method of graphical interpolation. Many objections have been raised against the isolines of hydrological values. They mostly concern the interpolation of hydrological values as point values and cartographic expression of hydrological values by isolines. This is the reason why choropleth maps are produced as an alternative way of cartographic expression of spatial hydrological variability across territory of interest. An estimate of the missing hydrological values for basic spatial units, which are defined as basins, is usually made by statistical methods (e.g. regression analysis). In case of hydrological mapping along a river system, an estimate of hydrological values is realised by geostatistical methods or nested approach is applied. However, the basic spatial unit does not have to be always defined as basin. In some cases it can be advantageous to divide territory of interest into raster. Raster maps of runoff are prepared either using empirical formulas or equation of hydrological balance.

Mapping process of the regional hydrological variability lies in classifying basins lacking gauging into regional units identified in the framework of a selected set of gauged basins. Regional units can be identified either on the basis of hydrological or physiographic attributes of basins. Delimitation of regional units on a set of hydrological attributes is realised above all by methods of hierarchical or non – hierarchical cluster analysis. However, classification of the remaining ungauged basins into regional units is not consistent and exact. This process is based on searching of physiographic justification of identified hydrological regional units.

Identification of the regional hydrological variability on a set of physiographic characteristics of basin by methods of cluster analysis, logical division or region of influence (ROI) is then followed by testing the identified regional units in terms hydrological consequences. The remaining ungauged basins are classified into regional units, which were delimited by logical division on the basis of corresponding value of physiographic characteristic. If the physiographic regional units were identified by methods of cluster analysis, then the mapping process makes use of discrimination analysis.

Translated by H. Contrerasová