

JAROMÍR KOLEJKA, MARIÁN MIKLAŠ

VYUŽITÍ SHLUKOVÉ ANALÝZY KE STUDIU GEOEKOLOGICKÉ STRUKTURY KRAJINY

J. Kolejka, M. Miklaš: *The Application of Cluster Analysis in the Study of the Geocological Landscape Structure*. — Sborník ČSGS, 91, č. 4, s. 282–296 [1986]. — The article discusses the application of the methodical apparatus of cluster analysis in order to rationalize and objectify the process of the complex physico-geographical regionalization. The results obtained by the qualitative data statistical proceedings concerning geology, land forms, insolation, moisture, soil and vegetation properties of the localities and represented by the elementary fields of the rectangular network on the maps of the studied area of the Dyje river basin, gave us a picture of the geocological structure of the landscape in the model area. By combining the furthest neighbour method and simple matching coefficient we succeeded in setting up a hierarchical system of 12 types of geocomplexes, and a hierarchical system of the boundaries between them. The findings were shown on computer maps.

1. Úvod

Rozvoj moderní techniky umožňující automatické pořizování, ukládání a zpracování údajů o geografické sféře nabízí řadu možností k využití matematicko-statistických metod při studiu krajiny. Matematizace a s ní související automatizace se podílejí na zvýšení přesnosti a objektivitý závěrů a zejména na racionalizaci výzkumné činnosti.

Lidský subjekt se při komplexním výzkumu krajiny významně uplatňuje, neboť značná část jejích parametrů je obtížně vyčíslitelná a také mnohé geografické disciplíny, které pracují převážně s informací kvalitativního (spíše slovního) charakteru, jsou k nasazení matematických metod hůře připraveny. Matematizace vstupuje do nauky o krajině — do komplexní fyzické geografie — postupně od matematické interpretace tradičních úkolů přes jejich matematickou modifikaci až po matematickou formulaci jinak prozatím neproveditelných úloh (Vasilevskij, Medvedkov 16). S důrazem na exaktizaci a objektivizaci je třeba v maximální možné míře dávat přednost matematickému a kartografickému modelování před metodami popisu geografické reality matematickými výrazovými prostředky. Mezi numerickým a grafickým modelováním stojí společná oblast kartografického znázornění rozličných výpočtů v tzv. matematicko-kartografickém modelování, jakožto systematickém spojení kladů matematických a kartografických modelů pro tvorbu nových map a rozšíření oblasti jejich využití ve vědeckém výzkumu (Žukov, Serbenjuk, Tikunov 17).

Mezi neužívanější statistické metody s možností matematicko-kartografického modelování patří prostorová regrese — trendové povrchy, faktorová, komponentní, diskriminační a shluková analýza. V některých případech byly tyto metody využity ke studiu přirozené prostorové diferenciaci krajiny. Příklady užití metody trendových povrchů k regionalizačním účelům uvádí Š. Poláček (9), G. Bahrenberg a E. Giese (1), faktorové a komponentní analýzy H. Neumeister (8), L. Hautamäki (4), E. Jauhainen (5) a další. Shluková analýza je používána podstatně méně. O možnostech jejího využití ke studiu krajiny (ke klasifikaci objektů) se zmiňuje V. V. Bufal a I. A. Chlebovič et al. (2), V. A. Snytko et al. (13) a A. Richling (11). K regionalizačním účelům na malém experimentálním území byla shluková analýza užitá Š. Poláčkem a J. Ořáhem (10). O možnostech aplikace metody ke geologické regionalizaci uvažuje V. Sattran (12). Odkazy na použití shlukové analýzy ke komplexní fyzickogeografické regionalizaci, tj. k identifikaci geoekologické struktury krajiny, jsou zcela výjimečné.

2. Charakteristiky shlukové analýzy

Úkolem shlukové analýzy je provedení sdružovací klasifikace pro navzájem se nepřekrývající množiny objektů (Sokal, Sneath 14). Měřítkem příslušnosti k množině (shluku) je prostorová vzdálenost objektů (prvků n -rozměrného prostoru), zvaná koeficientem podobnosti objektů d. Je to předpis, který dvěma objektům přiřadí reálné číslo — jejich vzdálenost. Každý objekt je popsán uspořádanou n -ticí údajů a při použití shlukové analýzy se s těmito objekty pracuje jako s prvky n -rozměrného prostoru. Objekty (např. geografické územní jednotky) patřící do skupin (typů) jsou v n -rozměrném prostoru hustěji při sobě, na rozdíl od objektů náležejících zas do jiných skupin.

Celý proces shlukování sestává z etap (Sattran 12):

1. „Iniciace skupin“ — vytvoření zárodku skupin.
2. „Alokace prvků“ — přidružení dalších objektů.
3. „Fúze skupin“ — sdružování skupin.

Z hlediska techniky použité shlukové analýzy je možné vyjít z aplikace buď postupu typu „Q“, kdy jde o vytváření podobnostních skupin pozorovaných případů, anebo z postupu typu „R“, kdy je zajišťována míra podobnosti rozlišovaných parametrů objektů (7). Numerickým výstupem je matice podobnosti, grafickým výstupem je dendrogram (graf — rodokmen). Udávají vzájemnou podobnost jedinců, skupin či vlastností a jejich přibuzenské vztahy odvozené z příslušné míry podobnosti. Použitím dalších metod lze výsledky obsažené v matici podobnosti či dendrogramu převést do názorné kartografické podoby. Výhodou shlukové analýzy je také možnost práce s kvalitativními daty bez přímého číselného významu.

3. Spojení metody komplexní fyzickogeografické regionalizace s aparátem shlukové analýzy

Během přirozeného vývoje oblastí se vytvářejí charakteristické kombinace parametrů jednotlivých složek krajiny, tj. geokomponent,

s určitým teritoriálním rozsahem. Vznikají fyzickogeografické regiony, které se spojují v zákonitě postavený prostorový systém krajiny, staticky definovaný její geoekologickou strukturou. Procesem odhalení a postupného studia této přirozené teritoriální diferenciace území je fyzickogeografická regionalizace. Komplexní fyzickogeografickou regionalizací libovolného území je možné provádět podle různých hledisek, přístupů, směrů a metod. Každá metoda nutně zahrnuje posloupnost etap: sběru a analýzy informace (I.), procesu územního třídění (II.) a interpretace výsledků (III.). Jednotlivé metody fyzickogeografické regionalizace jsou rozličnou měrou schopné vzájemného kombinování a rozdílně uzpůsobeny aplikaci výpočetní techniky vcelku nebo v jednotlivých etapách postupu prací.

I. etapa: Sběr a analýza podkladů

Komplexní charakter fyzickogeografické regionalizace předpokládá použití map vzájemně srovnatelného charakteru co do měřítka i do obsahu od úplného souboru složek krajiny. Využití metod matematické statistiky pomocí výpočetní techniky však vyžaduje nezbytnou úpravu výchozí kartografické informace pro vstup do počítače. Při úpravě vstupních dat je vhodné užít indexace, tj. označení areálů určité kvality číselným nebo abecedním indexem. Nejjednodušším způsobem úpravy mapových podkladů je převod jejich obsahu do podoby kartogramu zavedením diskrétního prostoru pomocí pravidelné geometrické sítě.

Postup zpracování je demonstrován na experimentálním území Podýjí, zaujímajícím plochu 180 km² v soutokové oblasti řek Jihlava, Svratka a Dyje jižně od Brna. K provedení fyzickogeografické regionalizace daného území byl shromážděn soubor 6 map měřítka 1 : 25 000: geologická a geomorfologická mapa, mapa insolace, vlhkostních poměrů, půdních typů a mapa potenciálního vegetačního krytu; jejich obsah má ve většině případů charakter dílčí syntézy v daném oboru. Jednotlivé mapové listy byly překryty pravidelnou obdélníkovou sítí 75 × 75 elementů (celkem v síti 5625 obdélníků). V každém z nich byly odečítány indexy nejčastěji zastoupeného prvku příslušné tematické mapy. Tímto způsobem byla každá mapa převedena do řetězce obsahujícího 5625 alfa-betických znaků, a tak vytvořena primární databáze lokálního účelového geografického informačního systému (GIS).

II. etapa: Regionalizace experimentálního území

Charakter připravených podkladů umožňuje využít k procesu komplexní fyzickogeografické regionalizace tzv. etalonizační metodu (Ukleba 15). Postup předpokládá vytvoření několika vzorů — etalonů struktury krajinných jednotek během utřídování poznatků z daného teritoria. Pro vzory jsou pak stanovovány areály rozšíření, což jsou regiony se stejným souborem vlastností struktury. Etalonem je tedy chápán vzor, se kterým jsou srovnávány jiné objekty (zde lokality popsány svým etalonem), a podle něj zařazovány do příslušné podobnostní skupiny nebo vylučovány. Vyloučené objekty jsou porovnávány s dalším vzorem, a tak postupně jsou všechny zkoumané objekty včleněny do elemen-

tárních skupin. Během komplexní fyzickogeografické regionalizace lze tímto způsobem vymezit základní typologické jednotky krajiny.

Každý element sítě (objekt) je popsán uspořádanou šesticí údajů (po jednom znaku z každé mapy), která charakterizuje tzv. vertikální strukturu dané lokality. Takto uspořádaná šestice znaků funguje v procesu fyzickogeografické regionalizace jako etalon a plošky sítě, které se navzájem shodují ve všech členech šestice, tvoří základní homogenní typologické krajinné jednotky. Následující úkol spočívá v postupné integraci jednotek do hierarchicky vyšších, typologických, avšak heterogennějších celků. Je-li krajina považována za systém rovnocenných složek, pak se budou do vyšších celků spojovat lokality podle podílu shodných členů šestic, které je popisují. V dalším postupu fyzickogeografické regionalizace směrem „zdola nahoru“ tak etalonizační metoda postupně přeroste ve srovnávací fyzickogeografickou metodu (Fedina 3). Je výhodné za postupného slučování relativně homogenních areálů do heterogennějších celků současně numericky provádět klasifikaci vymezených typů jednotek a jejich zařazování do místního taxonomického systému přirozených krajinných regionů. Úkol postupného sjednocování jednotek a jejich klasifikaci je možné řešit využitím metodického aparátu shlukové analýzy a použitím výpočetní techniky. V tomto případě tedy půjde o využití výhradně hierarchické verze shlukové analýzy. Počítačové zpracování vyžaduje sestavení banky metod — programového vybavení GIS. Ústřední procedurou matematicko-statistického řešení úkolu je provedení shlukové analýzy programem NCLAS (Jedlička, Mucina 6). Obsahuje podprogramy pro nasazení některé z osmi metod shlukové analýzy v kombinaci s jedním z 21 koeficientů podobnosti. Hlavní program zajišťuje načtení parametrů analýzy, řídí načítání matice dat, výpočet matice podobnosti, průběh shlukové analýzy zvoleného postupu a tisk výsledků, NCLAS vyžaduje přibližně $4(n^2 + 3n)$ bitů operační paměti na manipulaci s daty (n ... počet objektů). Tomuto faktu nutno přizpůsobit z hlediska kvantity vstupní data, aby analýzu bylo možné provést na počítači EC 1032 s operační pamětí 768 kB, což umožňuje zpracování informace cca o 410 objektech.

Kvalitativní charakter dat omezuje výběr použitelných shlukovacích metod především na osvědčenou metodu nejvzdálenějšího souseda, metodu skupinového průměru, flexibilní metodu Lanceho a Williamse a na Wardovu metodu shlukování. Pro vstup do programu NCLAS bylo nutno vytvořit v sekundární databázi matici vstupních dat, akceptující omezení dané kapacitou operační paměti použitého počítače.

Výchozí matice dat tvaru 5625×6 obsahuje úplný soubor ($N_0 = 5625$) všech vyskytujících se i opakujících se kombinací rozličných prvků geokomponent. Celkově bylo rozlišováno podle legend po tyto účely generalizovaných geokomponentních map 57 prvků (geologické poměry — 12, geomorfologické poměry — 10, insolace — 4, vlhkostní poměry — 11, půdní typy — 8, potenciální vegetační společenstva — 12). Šesticí s četností vyšší než 1 by se v procesu shlukové analýzy spojovaly do skupin již v prvním cyklu sdružování a zbytečně by zatěžovaly paměť zařízení. Na vstup do počítače tedy postačí již v této fázi jeden exemplář z každé takové zcela homogenní skupiny. Uvedených 57 prvků vytváří v daném území spolu $N_1 = 624$ typů objektů, tj. reálně se vyskytujících kombinací s četností alespoň v jednom exempláři. Tento soubor značně převyšuje kapacitu operační paměti. Z dalšího zpra-

cování byly tedy ještě vypuštěny objekty s četností $m = 1$, tj. celkem 297 objektů „vyskytujících se“ v daném území (v souboru 5625 objektů) pouze v jednom exempláři. Výsledný soubor (N_2) průběžně očíslovaných 327 objektů s četností $m \geq 2$ tvořil základní vstup do programu NCLAS.

Negativní stránkou shlukové analýzy, vedle náročnosti na vnitřní paměť počítače, je také polymorfnost výsledků, což znamená, že může nastat situace, kdy za použití různých metod s odlišně definovanými vzdálenostmi při totožných datech se liší alespoň v několika bodech tvary výsledných dendrogramů. Pak je zapotřebí pracovat s tou metodou, která dává výsledky blízké dosavadním znalostem o řešené problematice (Sattran 12). Z metodického hlediska však nejsou s využitím shlukové analýzy ke komplexní fyzickogeografické regionalizaci zatím k dispozici relevantní zkušenosti.

K řešení úkolu fyzickogeografické regionalizace experimentální oblasti Podyjí byly použity uvedené čtyři metody v kombinacích s různými koeficienty podobnosti. Nejpriznivější výsledky pro interpretaci dala metoda nejvzdálenějšího souseda (FURTHEST NEIGHBOUR) s koeficientem prosté shody (SIMPLE MATCHING COEFFICIENT — S), jehož hodnoty odpovídají poměru shodných dvojic odpovídajících si položek dvou porovnávaných šestic k celkovému počtu položek (v tomto případě 57, neboť pro bezprostřední zpracování je šestice v binárním tvaru rozvinuta na padesátisedmici).

$$\text{Čili } D_{FN} (A, B) = \max \{d_{DS} (O_i, O_j)\}$$

$$\begin{aligned} O_i &\in A \\ O_j &\in B \end{aligned}$$

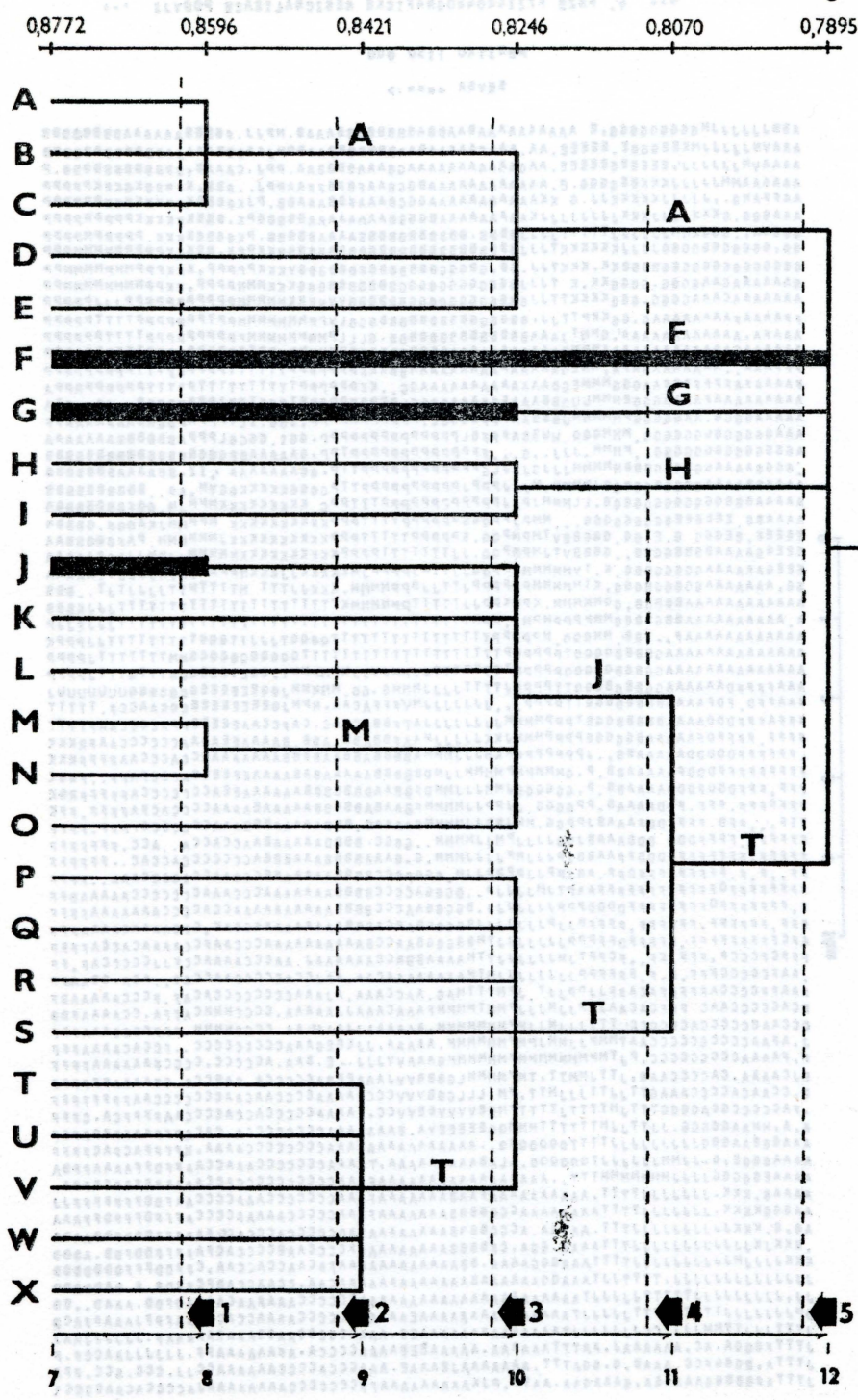
$$D_{FN} (A, A) = 0,$$

kde D_{FN} je množinová funkce řídící tvorbu shluků metodou nejvzdálenějšího souseda, $A \neq B$ jsou shluky rozkladu Ω a $d_{DS} = \frac{a}{u}$ je koeficientem podobnosti, odpovídající koeficientu prosté shody, kde a je počet shodných dvojic odpovídajících si položek (členů) příslušného objektu n -tice a u ($u = n$) je počet položek (viz 7).

Výpočet a tisk výsledků k této metodě (matice podobnosti a dendrogram) si na počítači EC 1032 vyžádal cca 20 minut strojového času. Dendrogram (obr. 1) vznikl postupně v jednotlivých cyklech shlukování, přičemž zformované skupiny vytvářely spojení ve 12 úrovních podobnosti. Pro účely regionalizace s dostatečnou podrobností je uspokojující spojení na posledních pěti hladinách podobnosti. Pod těmito hladinami byly provedeny řezy, které přetrnuly větve dendrogramu. Základní řez č. 1 protnul dendrogram pod hladinou podobnosti č. 8 (číslováno 1 až 12) a vzniklo celkem 21 větví a 3 dále nerozčleňované heterogenní bloky (zesílené čáry v obr. 1) při hodnotě koeficientu prosté

Obr. 1 — Výřez z dendrogramu výsledků shlukové analýzy (posledních 5 hladin podobnosti) při použití metody nejvzdálenějšího souseda (S — koeficient prosté shody, a — čísla řezů, b — čísla hladin podobnosti, zesílené větve = heterogenní bloky).

S



shody $S = 0,8596$. Pro usnadnění interpretace a na základě chování těchto bloků při použití jiné shlukovací metody, kde se formovaly vždy v témže rozsahu na podstatně nižší úrovni podobnosti, byly považovány dále za kompaktní skupiny reprezentované po jedné větvi. Výchozích 24 (21 + 3) skupin se spojilo postupně na 9., 10., 11. a 12. úrovni do jednoho celku. Jednotlivým skupinám byly přiděleny znaky abecedy a podle dendrogramu určena posloupnost jejich slučování. V sekundární databázi tak bylo všech 327 typů objektů s četností $m \geq 2$ rozděleno do 24 skupin popsanych po jednom písmenu. Chybějícím 297 objektům ($s = m - 1$) byl přidělen znak “. Abecední označení typů (skupin) šestice se přeneslo automaticky i na všechny šestice skupinou zahrnované, včetně opakujících se jedinců, a vzniklý soubor 5625 znaků byl vytištěn jako matice 75×75 elementů, tj. ve formě kartogramu 4. fáze fyzickogeografické regionalizace Podyjí (obr. 2).

III. etapa: Interpretace výsledků

Prvním interpretačním problémem je doplnění znaků pro oněch 297 objektů vypuštěných z procesu analýzy. Ze srovnání kartogramu 4. fáze fyzickogeografické regionalizace Podyjí s kartogramy jednotlivých geokomponent vyplývá, že nejvyšší míru shody vykazují vymezené komplexní celky s areály vlhkostních charakteristik a půdních typů, v řadě případů i s areály potenciálních vegetačních společenstev. Podle areálů uvedených geokomponent byly do regionalizačního kartogramu doplněny znaky pro chybějící šestice. V následujících fázích regionalizace s nimi bylo manipulováno jako s ostatními znaky.

Zvláštní pozornost je třeba věnovat interpretaci dendrogramu shlukové analýzy. Při použití této klasifikační metody je zapotřebí mít představu o základních rysech přirozeného třídění zkoumaného souboru objektů. V momentu, kdy se výsledky rozcházejí s ověřenými znalostmi o geoeologické struktuře teritoria, nutno zásahem subjektu provést korekturu, zdůvodnit ji a pokusit se o vysvětlení příčin vzniku tohoto nedostatku během strojné početního zpracování. Analyzovaná část dendrogramu na posledních pěti úrovních podobnosti postihuje nejvyšší hladiny hierarchického uspořádání typů geokomplexů. Nedílnou součástí shlukové analýzy je v tomto případě i kartografické znázornění jednotlivých etap shlukování v kartogramech fyzickogeografické regionalizace, a proto je nutné interpretaci výsledků i korektury provádět v úzkém kontextu s vymezovanými geokomplexy. Zmíněných pět úrovní podobnosti vytváří vrchol dendrogramu mezi hodnotami koeficientu prosté shody $S = 0,8596$ až $0,7895$. V posledním cyklu spojování došlo k fúzi skupin označených písmeny T a G při $S = 0,7895$. V předposledním (—1.) cyklu při stejné úrovni podobnosti se sloučily skupiny F, G a H, v předešlém (—2.) cyklu se spojila skupina A s F. Rozbor shlukování lze založit na kartografickém znázornění jevu. Hranicí mezi regiony typu T a G je bezpečně okraj nivy. To znamená, že jednotky typu T

Obr. 2 — Počítačový tisk kartogramu 4. fáze fyzickogeografické regionalizace experimentálního území Podyjí (označení typů geokomplexů odpovídá označení větví dendrogramu na obr. 1).

jsou „hydromorfními“ geokomplexy a typu G „terestrickými“. Skupinu G tvoří regiony typu F, G a H. Vyjma skupiny H jde o heterogenní bloky, do jejichž struktury nutno zasáhnout. Skupinu H reprezentují plochy, kde část z mapovaných geokomponent je postižena antropogenní transformací. Protože v rámci fyzickogeografické regionalizace nelze uvažovat o antropickém vlivu na přirozenou prostorovou diferenciaci krajiny, nutno tuto výraznou skupinu eliminovat již opravou dat ve výchozích kartogramech. Blok G sestává ze dvou základních skupin diametrálně odlišných: geokomplexů na vátých a terasových píscích a skupiny geokomplexů na dnech podmáčených údolí. Vnější zásahem je nutno je oddělit, což se nikterak nepříčí struktuře dendrogramu, kde blok G vykazuje vysoký stupeň heterogenity (spojení při $S = 0,8246$). Oddělené skupiny tvoří typ „písečných geokomplexů“ — P a typ „geokomplexů vlhkých údolí“ — W. Příčinu původního spojení lze hledat ve vlastnostech metody nejvzdálenějšího souseda, kdy došlo ke spojení velmi odlišných shluků na nízké hladině podobnosti. Blok F vzniká až na úrovni $S = 0,7895$, ale již na počátku shlukování. Z kartografického znázornění je zřejmé, že jde o regiony vázané především na členitější reliéf, kde z hlediska některých charakteristik, zejména insolace a vlhkosti, jsou patrné výrazné difference proti okolí. Porovnáme-li difference ozáření a vlhkosti, jako zřejmě základní kritéria vymezení tohoto typu regionů analýzou shluků, vytvoří se uvnitř bloku opět dvě skupiny geokomplexů značně odlišných vlastností většiny stavebních geokomponent (i substrátu, reliéfu a půd), tj. typ „rendzinových geokomplexů“ — Z a typ tzv. „stinných geokomplexů“ — F.

Jednotky typu A lze na úrovni třídění, dané hodnotou $S = 0,7895$, popsat jako černozezemní geokomplexy s průměrným a nadprůměrným ozářením. Na nižší úrovni shlukování, ale při vyšší hladině podobnosti ($S = 0,8246$) se skupina A člení na typ „černozezemních geokomplexů“ — A, „úpatních geokomplexů“ — D a „geokomplexů vysychavých údolí“ — E.

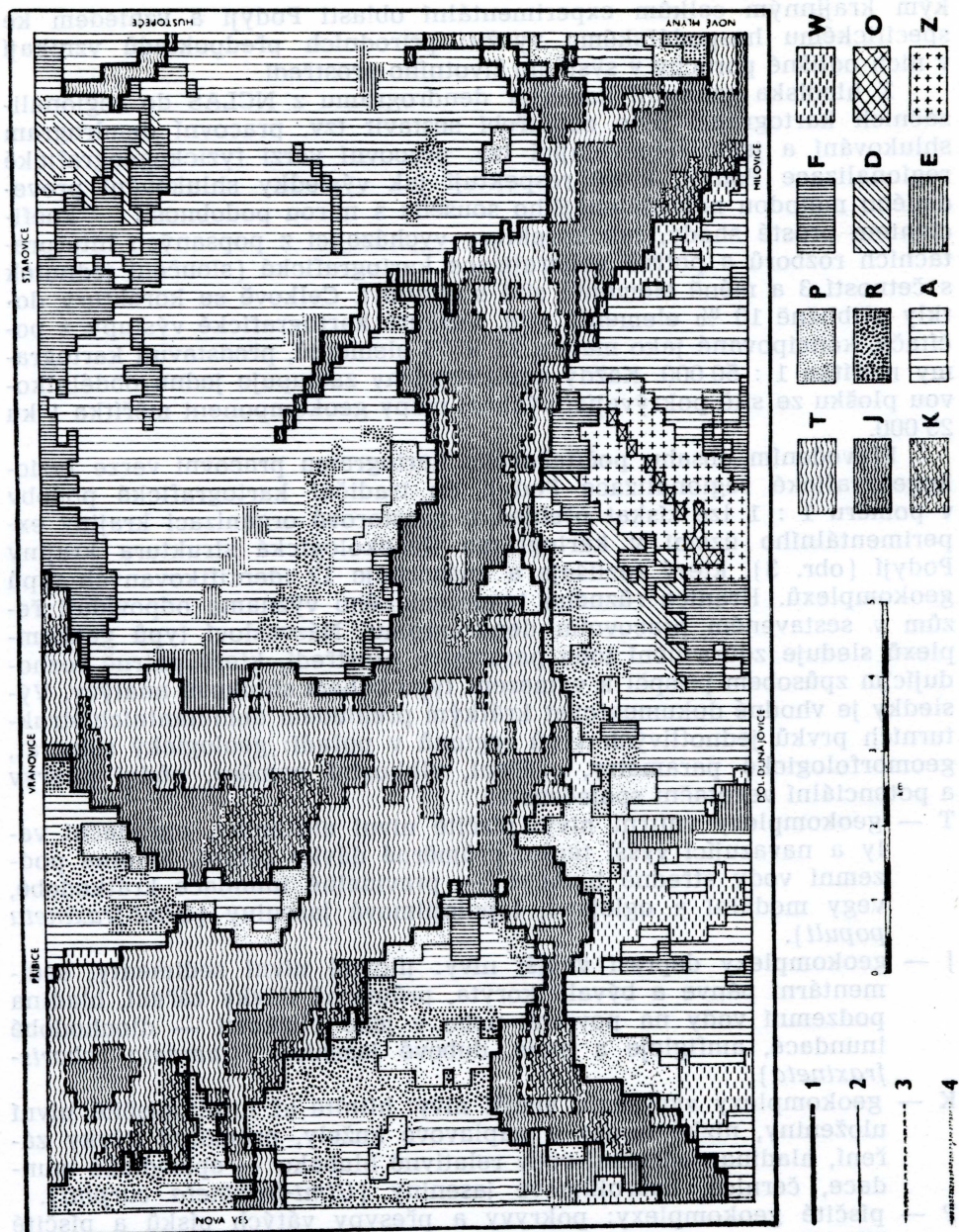
Vymezení skupiny regionů typu T přesně koreluje s okrajem nivy ($S = 0,7895$). Pozoruhodné je připojení skupiny O k tomuto typu, přestože jde o bradla Pavlovských vrchů. Tento logický nonsens vznikl již na úrovni $S = 0,8246$ a lze jej přičíst použité metodě shlukování, kdy došlo k připojení nepočtené osamocené skupiny plošek, reprezentovaných jedinou šesticí, k rozsáhlé, poměrně homogenní grupě zcela jiného charakteru. Oddělení skupiny O — tzv. „bradlových geokomplexů“ od skupiny T, resp. již od její podskupiny J a přidružení k „terestrickým geokomplexům“ je jediným vážným, avšak nezbytným zásahem do vypočteného dendrogramu během interpretace výsledků shlukové analýzy. Při kartografickém znázornění tohoto jevu je geografická nesmyslnost původního spojení zcela zřetelná. Nivní regiony se ostře člení na skupinu „geokomplexů vnitřní nivy“ — T a skupinu jednotek vnější nivy, kde lze odlišit další typy regionů. Kromě extrakce geokomplexů typu O zůstává dendrogram v podstatě v původní podobě a členění heterogenních bloků jej neruší. Pro účel dalšího zpracování (hodnocení změn krajiny z hlediska životního prostředí) však byl zdůrazněn význam regionů typu B ve skupině „černozezemních geokomplexů“ (jde o tzv. „terasové geokomplexy“ — B přepsáno na R) a typu K ve skupině „geokomplexů vnější nivy“ (zdůrazněny jsou tzv. „vyvýšeniny vnější nivy“ — K proti „depresím vnější nivy“ — J), neboť patří k charakteristic-

kým krajinným celkům experimentální oblasti Podyjí a vzhledem ke specifickému hospodářskému využití přírodních předpokladů vznikají v nich odlišné poruchy v systému životního prostředí.

Z hlediska zanesení korektur dendrogramu z NCLAS do regionalizačních kartogramů bylo zapotřebí sestavit tzv. pracovní dendrogram shlukování a jemu odpovídající tzv. pracovní verzi fyzickogeografické regionalizace Podyjí, které respektují jak výsledky shlukování provedeného metodou nejvzdálenějšího souseda s mírou podobnosti — koeficientem prosté shody, tak korektury vycházející z popsaných interpretačních rozborů a potřeb generalizace kartografické (sloučení jednotek s četností 3 a méně elementů sítě s okolím). Celkově se korektury dotkly přibližně 10 % elementů sítě. Veškeré kartografické výstupy z počítače, koncipované jako matice 75×75 elementů, představují kartogramy měřítko 1 : 50 000. Každý znak tiskárny zastupuje jednu obdélníkovou plošku ze sítě pokrývající výchozí mapy geokomponent měřítko 1 ku 25 000.

Převedením obsahu počítačového kartogramu pracovní verze fyzickogeografické regionalizace Podyjí do tradiční kartografické podoby v poměru 1 : 1 lze získat přehled o prostorové organizaci krajiny experimentálního území v kartogramu Geoekologická struktura krajiny Podyjí (obr. 3), který rozlišuje a znázorňuje 12 identifikovaných typů geokomplexů. Hranice různého taxonomického významu odpovídají řežům v sestaveném pracovním dendrogramu. Návosloví typů geokomplexů sleduje zdůraznění toho parametru prostředí, který patrně rozhodujícím způsobem přispěl k vymezení typu během shlukové analýzy. Výsledky je vhodné dokumentovat krátkým přehledem dominantních strukturních prvků jednotlivých typů regionů v pořadí: geologický substrát, geomorfologické parametry, ozáření, vlhkostní poměry, půdní pokryv a potenciální vegetační společenstva.

- T — geokomplexy vnitřní nivy: písčité nivní uloženiny, agradační valy a navazující vyšší terén, průměrné dávky záření, hladina podzemní vody středně hluboko — pravidelné inundace krátkodobé, vegy modální a oglejené, topolojilmové jaseniny (*Ulmi-fraxineta populi*).
- J — geokomplexy depresí vnější nivy: jílovité nivní sedimenty, sedimentární pánve a bývalá koryta, průměrné dávky záření, hladina podzemní vody na povrchu nebo v jeho blízkosti — dlouhodobé inundace, amfigleje a gleje, dubové jaseniny (*Querceta roboris-fraxineta*).
- K — geokomplexy vyvýšenin vnější nivy: hlinité až hlinitopísčité nivní uloženiny, nízké terasy a náplavové kužely, průměrné dávky záření, hladina podzemní vody relativně hluboko — epizodické inundace, černice, habrojilmové jaseniny (*Ulmi-fraxineta carpini*).
- P — písčité geokomplexy: pokryvy z přesypů vátých písků a písčité říční terasy, plochý akumulační reliéf říčních teras a písečných pokryvů a zvlněný reliéf neaktivních přesypů, průměrné dávky záření, silně vysychavý povrch, regosoly až arenické černozemě, vysychavé doubravy (*Querceta petraeae*).
- R — terasové geokomplexy: terasové šterkopisky, nezaplavované terasové plošiny, průměrné dávky záření, povrch teras vysychavý — báze trvale nebo sezónně zvodnělá, černozemě lehčího typu, doubravy s ptačím zobem (*Ligustri-querceta*).



Obr. 3 — Kartogram Geoekologická struktura krajiny Podolí. Typy geokomplexů: T — vnitřní niva, J — deprese vnější nivy, K — vyvýšeniny vnější nivy, P — písčité, R — terasové, A — černozemní, F — stinné, D — úpatní, E — vysýchavých údolí, W — vlhkých údolí, O — bradlové, Z — rendzinové; 1, 2, 3, 4 — řády hranic.

- A — černozemní geokomplexy: peltické — místy až psamitické zvětraliny paleogenních, neogenních a kvartérních materiálů, rovinný až členitý reliéf erozně denudačních svahů, kryopedimentů, úpadů a sprašových pokryvů, průměrné a vyšší dávky záření, kolísavé vláhové poměry závislé na atmosférických srážkách, černoze-
mě, doubravy s ptačím zobem (*Ligustri-querceta*).
- F — stinné geokomplexy: geologické a geomorfologické poměry jako u typu A, podrůměrná dávka záření, snížený výpar, illimerizované černoze-
mě, hnědozemě a illimerizované půdy, bukové doubravy (*Fagi-querceta*), lípobukové doubravy (*Fagi-querceta tiliae*).
- D — úpatní geokomplexy: geologické a geomorfologické poměry jako u typu A, průměrné dávky záření, zvýšená vlhkost podmíněná ku-
mulací podpovrchového odtoku ze svahů, černoze-
mě, bukové dou-
bravy (*Fagi-querceta*).
- E — geokomplexy vysýchavých údolí: fluviální a deluviofluviální se-
dimenty a náplavové kužely, neprotékaná údolní dna a kužely, prů-
měrné dávky záření, sezónní zvlhčení uloženin akumulovanou vlá-
hou, černoze-
mě se sklonem k oglejení, lípové doubravy (*Tili-quer-
ceta roboris*).
- W — geokomplexy vlhkých údolí: peltické terciérní horniny a kvar-
térní, většinou přeplavené spraše, rozevřená protékaná údolí s mír-
nými erozně denudačními svahy a sprašovými pokryvy, průměrné
dávky záření, intenzivní sezónní zvlhčení na nepropustné bázi
a kapilárním zdvihem z hlubokoležící hladiny podzemní vody,
černicové černoze-
mě, lípové doubravy (*Tili-quer-
ceta roboris*).
- O — bradlové geokomplexy: jurské vápence, skalní výchozy v kraso-
vém reliéfu, extrémně místně proměnlivé insolační poměry, extrém-
ní rozdíly ve vlhkostním režimu, lithosoly a rendziny, dealpínské
bory (*Pineta dealpina*), šípákové doubravy s dřínem (*Corni-quer-
ceta pubescentis*), lípobukové doubravy (*Fagi-querceta tiliae*), lí-
pové javořiny (*Tili-acereta*).
- Z — rendzinové geokomplexy: vápence a svahoviny s vápencovým detri-
tem, erozně denudační povrchy na vápencích a koluvia, výrazná
expoziční asymetrie s odrazem v insolačních a ve vlhkostních po-
měrech, modální a vyluhované rendziny, šípákové doubravy s dří-
nem (*Corni querceta pubescentis*), bukové doubravy (*Fagi-querce-
ta*), lípobukové doubravy s javorem (*Fagi-querceta tiliae /aceris/*).

Provedená regionalizace krajiny experimentálního území Podyjí je tedy více-
stupňová, typologická a proběhla směrem „zdola nahoru“. Vy-
mezené typy geokomplexů nevytvářejí jediné kompaktní areály, ale
mozaiku územně nesouvisících jednotek téhož typu.

4. Závěr

Aplikace metodického aparátu shlukové analýzy do značné míry
usnadňuje a objektivizuje klasifikaci přírodních objektů a lze ji využít
k procesu komplexní fyzickogeografické regionalizace. Značnou výhodou
této metody je, že jako jeden z mála matematicko-statistických postu-
pů pracuje s kvalitativními daty, která tvoří značnou část informace
o území. Na druhé straně nelze zakrýt některé její dosavadní nedostatky,

především z aspektu náročnosti na výkonnou výpočetní techniku a také z hlediska potřeby zásahu subjektu při interpretaci výsledků.

Prvořadým problémem je rozdílnost výstupů při použití různých metod shlukové analýzy. Jestliže v předchozích fázích zpracování byl vliv subjektivního faktoru relativně potlačen, zde nabývá opět na významu. Zpravidla sice porovnáním výsledků několika metod nebo kombinací metod s koeficienty podobnosti jsou zcela nepoužitelné výstupy vyloučeny, avšak vždy zůstává na subjektu zpracovatele výběr nejvhodnějších metod v případě „rozumných“ výsledků. Při zpracování kvalitativních údajů je třeba brát v úvahu skutečnost, že míra podobnosti prezentovaná dendrogramem jako míra příbuznosti srovnávaných objektů, je stanovována mechanicky výpočtem podle podílu shodných parametrů. Tak se může stát, že v nejvyšších stádiích statisticky odvozeného hierarchického systému se do nově vytvářené skupiny dostávají velmi odlišné jednotky. Rozborem dendrogramu a kartografického znázornění jeho obsahu lze závady odhalit, vysvětlit a odstranit.

Použití programů shlukové analýzy je omežováno kapacitou operační paměti použité techniky, co se týče kvantitativních vstupních dat. V komplexní fyzické geografii se však při regionalizaci rozsáhlejších teritorií nelze značnému množství údajů vyhnout. Namísto drastické kvantitativní i kvalitativní redukce informace je vhodné použít počítače s velkou kapacitou operační paměti nebo problém lze řešit i programy, které snižují nároky na paměť výpočetního systému.

Literatura:

1. BAHRENBURG, G., GIESE, E.: Statistische Methoden und ihre Anwendung in der Geographie. Stuttgart, B. G. Teubner 1975, 306 s.
2. BUFAL, V. V., CHLEBOVIČ, I. A. et al.: Prirodnye režimy stěpej Minusinskoj kotloviny. Novosibirsk, Nauka 1976, 237 s.
3. FEDINA, A. E.: Fizikogeografičeskoje rajonirovanije. Moskva, MGU 1973, 196 s.
4. HAUTAMÄKI, L.: The Use of Multi-variable Methods in Regional Geographical Analysis. Fennia, 99, Helsinki, Geographical Society of Finland 1970, č. 6, s. 7–24.
5. JAUHIAINEN, E.: Zur Anwendung der multivarianten statistischen Methoden bei der Landschaftsgliederung. Fennia, 109, Helsinki, Geographical Society of Finland 1981, č. 1, s. 103–110.
6. JEDLIČKA, L., MUCINA, L.: Program A99NCL. Bratislava, Kat. syst. a ekol. zoológie PF KU 1982, 15 s.
7. LUKASOVÁ, A., ŠARMANOVÁ, J.: Metody shlukové analýzy. Praha, SNTL 1985, 210 s.
8. NEUMEISTER, H.: Typifying of Space and Analysis of Factors. In: Acta Univ. Comenianae Economico-Geographica 12. Bratislava, SPN 1973, s. 145–154.
9. POLÁČIK, Š.: Samočinné počítače a spôsoby ich využívania v geografii. Bratislava, GGÚ SAV 1977, 94 s.
10. POLÁČIK, Š., OŤAHEL, J.: Meranie krajinných štruktúr na príklade územia časti Liptova. In: Studia Geographica 74, Brno, GGÚ ČSAV 1982, s. 75–142.
11. RICHLING, A.: Metody badań kompleksowej geografii fizycznej. Warszawa, PWN 1982, 163 s.
12. SATTRAN, V.: Numerická klasifikace rudních ložisek. In: Knihovna ÚÚG, 52, Praha, Academia 1979, s. 1–118.
13. SNYTKO, V. A. et al.: O modelirovanii i klasifikacii stepnykh geosistem. In: Stationarnye issledovaniya i modelirovanije geosistem. Irkutsk, IGSiDV SO AN SSSR 1977, s. 41–52.

14. SOKAL, K. R., SNEATH, P. H. A.: Principles of Numerical Taxonomy. San Francisco, Freeman and Comp. 1963, 573 s.
15. UKLEBA, D. B.: Fiziko-geografičeskoje rajonirovanije Vostočnoj Gruzii — dlja celej selskogo chozjajstva. Tbilisi, Izd. Tbil. univ. 1970, 101 s.
16. VASILEVSKIJ, L. I., MEDVEDKOV, J. V.: Perspektivy matematičeskich metodov v geografii. In: Voprosy geografii, 100, Moskva, Mysl 1976, s. 93—108.
17. ŽUKOV, V. T., SERBENJUK, S. N., TIKUNOV, V. S.: Matematičko-kartografičeskoje modelirovanije v geografii. Moskva, Mysl 1980, 224 s.

Zusammenfassung

ANWENDUNG DER CLUSTER-ANALYSE IN DER FORSCHUNG DER GEOÖKOLOGISCHEN LANDSCHAFTSSTRUKTUR

Die vorliegende Arbeit bietet ein Beispiel von der Anwendung der multivariaten statistischen Cluster-Analyse zur Durchführung der mehrstufigen physisch-geographischen Regionalisation und zur Bildung des Klassifikationssystems von Regionen. Der methodische Apparat der Cluster-Analyse stellt im vorliegenden Beispiel eine mathematisch-statistische Form der kombinierten etalonisation-vergleichenden Methode der komplexen physisch-geographischen Regionalisation dar.

Methodik der Arbeit ist in die drei Etappen gegliedert:

- I. Sammlung und Analyse der Angaben.
- II. Prozess der Territorialgliederung.
- III. Resultateninterpretation.

In jeder Etappe ist es möglich, die automatische Rechnentechnik in den unterschiedlichen Formen auszunutzen, was die Rationalisation und Effektivität der Arbeit sehr erhöht.

Realisation der I. Etappe setzt eine Sammlung von den relativ homogenen Kartenmaterial von einem kompletten Geokomponentensatz aus dem untersuchten Territorium voraus. Autoren des Artikels geben der Serie von 6 Landkarten, die in den meisten Fällen ein Charakter der Teilsynthese auszeigen, dem Vorzug und das sind: die geologische und geomorphologische Karten, die Karte der Insolation und Karte der Befeuchtungsbedingungen, die Bodentypenkarte und die Karte der potentialen Vegetation, alle in gleichem Maßstab (1 : 25 000) vom Modellgebiet „Podyji“ (180 qkm) südlich von Brno (Mähren). Inhalt aller diesen Karten war im regelmäßigen orthogonalen Rasternetz digitalisiert und jede unter diesen als eine Reihe von 5625 Elementen war ins lokalen geographischen Informationssystem (GIS) gelegt.

In der zweiten Etappe wurden aus den oben genannten sechs monothematischen Informationsreihen die 6-Koordinatenvektore gebildet. Es war nötig, in dem Zusammenhang zur eingeschränkten Gedächtniskapazität der Rechenmaschine EC 1032 die von den 5625 Vektoren dargestellte Datenbasis zu reduzieren. Input ins NCLAS-Programm = Programm der Cluster-Analyse bestand aus 327 6-Koordinatenvektorentypen, die eine Matrix mit 327×6 Elementen schufen. Befriedigende Resultate der Agglomeration mit „Q“-Procedure gab die Methode „FURTHEST NEIGHBOUR“ in der Kombination mit dem „SIMPLE MATCHING COEFFICIENT“.

Zur Interpretation dienten die Schnitte unter den fünf höchsten Niveaus (von $S = 0,8596$ bis $S = 0,7895$) der Ähnlichkeit des ausgerechneten Dendrogramms (Abb. 1), dessen Inhalt in die anschauliche kartographische Form — ins Kartogramm als eine Matrix 75×75 Elementen im Maßstab 1 : 50 000 transformiert wurde (Abb. 2). Es zeigte sich bei der Interpretation notwendig, einige Korrekturen in die Struktur des Dendrogramms einzutragen und die berichtigten Resultate neu in die kartographische Form zu transformieren. Die Korrekturen griffen cca 10 % von den Elementen des orthogonalen Netzes ein und am ersten Niveau wurden 12 Typen der geoökologischen Einheiten des Modellgebiets definiert, die zusammen ein hierarchisches Ordnungssystem bilden. Die Territorialgliederung des untersuchten Gebiets „Podyji“ in die zwölf Grundtypen von natürlichen Einheiten stellt ein Kartogramm dar (Abb. 3). Die komplexe physisch-geographische Regionalisation von „Podyji“ ist typologisch, mehrstufig und „von unten nach oben“ durchgeführt.

Im Schlußwort sind einige positive und negative Momente von der Anwendung der Cluster-Analyse in der Landschaftslehre behandelt.

Abbildungen:

- Abb. 1 — Ausschnitt aus dem Dendrogramm der Cluster-Analyseresultaten (letzte fünf Niveaus der Ähnlichkeit) bei der Nutzung der Furthest Neighbour-Methode (S — Werte des Simple Matching-Koeffizients, a — No. des Schnittes, b — No des Ähnlichkeitsniveaus, verstärkte Äste = heterogene Blöcke).
- Abb. 2 — Rechenmaschinendruck des Kartogramms der 4. Phase der physisch-geographischen Regionalisation vom experimentellen Gebiet „Podyjí“ (Bezeichnung der Geokomplextypen stimmt mit der Bezeichnung der Dendrogrammäste im Abb. 1).
- Abb. 3 — Kartogramm „Die geoökologische Landschaftsstruktur von „Podyjí“. Geokomplextypen: T — innere Aue, J — Depressionen der äußeren Aue, K — Elevationen der äußeren Aue, P — sandige G., R — Terrassengeokomplexe, D — Basisgeokomplexe, E — Geokomplexe der vertrocknungsfähigen Täler, W — Geokomplexe der naßen Täler, O — Felsklippengeokomplexe, Z — Rendzina-Geokomplexe; 1, 2, 3, 4 — Bedeutungsniveaus der Grenzen.

(Adresa autorů: J. Kolečka — Geografický ústav ČSAV, Mendlovo nám. 1, 662 82 Brno;
M. Miklaš — Výzkumný ústav jadrových elektrárni, 919 31 Jaslovské Bohunice.)
Došlo do redakce 16. 4. 1984.