

Asociačná analýza vzťahu medzi chemizmom vôd prameňov v karpatskom flyši a morfológickou pozíciou

(3 tab. v texte)

JÁN JETEL — LÝDIA RYBÁŘOVÁ*

Зависимость между химизмом источников вод в карпатском флише и морфологическими условиями на основании ассоциационного анализа

Ассоциационный анализ гидрохимических данных из 61-го источника в годулских слоях (песчаники и сланцы) Моравско-слизских Бескид с использованием критерия χ^2 подтвердила статистическую зависимость химизма источников от морфологических условий.

Воды источников расположенных вблизи вершин — сульфатные, воды источников расположенных в долинах и на пологих склонах — бикарбонатные. Эта зависимость объясняется различными длинами путей циркуляции вод и можно предполагать её и в других флишевых районах.

Association analysis of the relation between the chemistry of spring waters in the Carpathian flysch and the morphologic position

An association analysis of hydrochemical data from 61 water springs in Godula beds (sandstones and shales) of the Moravsko-sliezské Beskydy Mts. using criterion of chi-square distribution ascertained statistical dependence upon morphological disposition. Sulphates predominate in springs located on ridges whereas bicarbonates occur mainly in springs situated in valleys with moderate slopes. Ascertained dependence probably reflects different circulation length and it may occur in other flysch areas, too.

Jedným z poznatkov získaných pri postupnom spracúvaní údajov o chemizme podzemnej vody zóny intenzívneho obehu v karpatskom flyši v úseku Moravskosliezských Beskyd a priľahlej časti Slovenských Beskyd bol záver o istej závislosti chemizmu vody od morfológickej pozície v teréne. Táto závislosť sa prejavuje prevahou prameňov so sulfátovou vodou v hrebeňových a vrcholo- vých úsekoch terénu oproti prevahe prameňov s bикарбонатovou vodou v nižšie položených úsekoch terénu. Uvedená štatistická závislosť zrejme odráža rozdiely v dĺžke a rýchlosti obehu od infiltrácie k výveru a konštatovala sa už pri spracovaní menších území (J. Jetel — L. Rybářová 1972, L. Rybářová 1973, 1975a, b). Pre časté výnimky však pri malej hustote dokumentovaných bodov miestami chýbali presvedčivé a jednoznačné dôkazy o jej všeobecnej

* RNDr. Ján Jetel, CSc., Lýdia Rybářová, Ústřední ústav geologický, Malostranské nám. 19, 118 21 Praha 1.

platnosti. Pri súhrnnom hodnotení širšej oblasti (J. Jetel — L. Rybářová 1975) sme preto pokladali za potrebné overiť objektívnu platnosť naznačenej zákonitosti asociačnou analýzou (pozri J. Jetel — S. Gazda — J. Chrobok 1975), t. j. aplikáciou testovania štatistických hypotéz o závislosti kvalitatívnych (nominálnych) znakov.

Výsledky regionálneho zhodnotenia ukázali, že sa uvedená zákonitosť najvýraznejšie prejavuje pri prameňoch v godulských vrstvách (nevápnité alebo slabo vápnité pieskovce striedajúce sa s nevápnitými ílovcami), ktoré sú v Moravskosliezskych Beskydách najpodrobnejšie dokumentované a súčasne sú natoľko geochemicky sterilné, aby sa skúmaná zákonitosť mohla výrazne prejavíť. Na overenie objektívnej existencie naznačenej zákonitosti sme preto použili výsledky chemických rozborov vody zo 61 prameňov viažúcich sa na godulské vrstvy sliezskej jednotky flyšu.

Väčšina vôd skúmaných prameňov patrí jednak do rozličných typov kalciovo-bikarbonátovej skupiny (najčastejšie typu C_{II}^{Ca} Alekinovej klasifikácie), jednak do typov kalciovo-sulfátovej skupiny (typ S_{II} a i.). V klasifikácii podľa S. Gazdu (1971) ide o vody čistého kalciovo-bikarbonátového typu (celková mineralizácia 0,05—0,33 g/l, medián celkovej mineralizácie 0,10 g/l), čistého kalciovo-sulfátového typu (0,03—0,11 g/l, medián 0,08 g/l) a ďalej prechodného alebo zmiešaného typu (0,04—0,16 g/l).

Postup a výsledky asociačnej analýzy

Skúmané pramene sme rozdelili podľa morfolologickej pozície na:

1. pramene vrcholových a hrebeňových partií (súbor *h*),
2. pramene v stredných úsekoch miernejších svahov (súbor *m*),

Kontingenčná tabuľka vzťahu chemizmu vody prameňov v godulských vrstvách a morfolologickej pozície

Tab. 1

Pozícia prameňa	Súbor	Prevažujúci anión		Súčet početností
		SO_4^{2-} ₄	HCO_3^- ₃	
		S	C	
Vrcholové a hrebeňové partie	<i>h</i>	9	3	12
Stredné úseky miernejších svahov	<i>m</i>	3	9	12
Úpätia strmých úbočí	<i>s</i>	10	8	18
Údolia a úpätia miernych svahov	<i>u</i>	2	17	19
Súčet početností		24	37	61

3. pramene na úpätiach strmých úbočí (súbor *s*),
4. pramene v dolinách a na úpätiach miernych svahov (súbor *u*).

Z hydrochemického hľadiska sme vydělili vody s prevahou sulfátov (súbor *S*) a vody s prevahou bikarbonátov (súbor *C*), pričom sme vychádzali z pomeru obsahov vyjadrených v ekvivalentných množstvách. Početnosť výskytov jednotlivých kombinácií vymedzených kvalitatívnych znakov uvádza tab. 1.

Pri overení štatistickej významnosti predpokladaného vzťahu sme postupovali spôsobom bežným pri testovaní nulovej hypotézy pomocou Pearsonovho kritéria χ^2 (pozri napr. W. C. Krumbein — F. A. Graybill 1965, R. Reisenauer 1970, W. Sadowski 1975 a i.) pre kontingenčnú tabuľku 2×2 . Prvý rozbor sme vykonali pri rozčlenení prameňov na pramene vrcholových a hrebeňových partií (súbor *h*) a na ostatné pramene (súbor *m + s + u*). Početnosť jednotlivých kombinácií uvažovaných znakov uvádza tab. 2. Pre štvorpoľnú kontingenčnú tabuľku sme teda zistili početnosť $a = 15$, $b = 34$, $c = 9$ a $d = 3$.

*Kontingenčná tabuľka vzťahu medzi chemizmom vôd
prameňov v góduľských vrstvách a ich pozíciou
na hrebeňoch alebo v dolinách a na úbočiach*

Tab. 2

Súbor	<i>S</i>	<i>C</i>	Súčet početností
<i>m + s + u</i>	15 (= <i>a</i>)	34 (= <i>b</i>)	49 (= <i>a + b</i>)
<i>h</i>	9 (= <i>c</i>)	3 (= <i>d</i>)	12 (= <i>c + d</i>)
Súčet početností	24 (= <i>a + c</i>)	37 (= <i>b + d</i>)	61 (= <i>a + b + c + d</i>)

Ak by platil predpoklad náhodného rozdelenia početností jednotlivých kombinácií, t. j. ak by nejestvovala nijaká závislosť medzi morfológickou pozíciou a chemizmom, mali by jednotlivé kombinácie uvažovaných znakov očakávanú početnosť a_0 , b_0 , c_0 a d_0 , danú iba okrajovými súčtami početností v jednotlivých riadkoch a stĺpcoch:

$$\begin{aligned} a_0 &= (a + b)(a + c)/n & b_0 &= (a + b)(b + d)/n \\ c_0 &= (a + c)(c + d)/n & d_0 &= (b + d)(c + d)/n \end{aligned} \quad (1)$$

($n = a + b + c + d$, t. j. počet skúmaných výskytov).

Ako testovacie kritérium slúži veličina

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n_{zj} - n_{0j})^2}{n_{0j}} \quad (2)$$

kde n_{zj} je zistená početnosť v j -tom poličku tabuľky, n_{0j} — očakávaná náhodná početnosť v j -tom poličku, k — počet poličkov (počet možných kombinácií uvažovaných znakov). Pre $k = 4$ možno určiť χ^2 podľa vzťahu

$$\chi^2 = \left(\frac{ad - bc}{n} \right)^2 \left[\frac{1}{a_0} + \frac{1}{b_0} + \frac{1}{c_0} + \frac{1}{d_0} \right] \quad (3)$$

V danom prípade má očakávaná náhodná početnosť jednotlivých kombinácií podľa vzťahov (1) hodnoty

$a_0 = 19,3$, $b_0 = 29,7$, $c_0 = 4,7$, $d_0 = 7,3$
 takže podľa rovnice (3) $\chi^2 = 7,96$. Podľa štatistických tabuliek (napr. W. Sadowski 1975) má kritérium χ^2 pre hladinu významnosti $\alpha = 0,05$ (t. j. pre 95 %-nú istotu) a pre tabuľku 2×2 (t. j. pre jeden stupeň voľnosti) hodnotu 3,84. Keďže je zistená hodnota kritéria 7,96 vyššia ako kritická hodnota (3,84), možno so zvolenou istotou 95 % zamietnuť nulovú hypotézu, podľa ktorej by nejestvovala závislosť medzi morfológickou pozíciou prameňa a skúmanými znakmi chemizmu vody. Test ukázal, že predpokladaný vzťah je štatisticky významný a že teda objektívne platí zákonitosť početnejšieho výskytu sulfátových vôd v hrebeňových a vrcholových úsekoch terénu.

Obdobné výsledky malo štatistické testovanie aj po vylúčení prameňov zo stredných úsekov miernych svahov (t. j. pri porovnaní súborov h a s + u) a po rozčlenení na pramene vrcholových a hrebeňových partií spolu s prameňmi pod strmými úbočiami (súbor h + s) na jednej strane a na pramene v dolinách a pod miernymi svahmi na druhej strane (súbor u). V ostatnom variante sa porovnávali iba morfológicky celkom protikladné pramene súborov h a u ; v tomo prípade bola skúmaná závislosť najvýraznejšia.

Pre pomerne malý počet údajov v ostatnom variante triedenia sa tieto údaje navyše podrobili aj Fisherovmu testu pre tabuľku 2×2 s malou početnosťou (pozri napr. J. Jeteľ 1965, R. Reisenauer 1970). Test ukázal, že zistené rozdelenie početností jednotlivých kombinácií znakov „ h “ alebo „ u “ so znakmi „ S “ alebo „ C “ by sa v prípade nezávislosti chemizmu od morfológickej pozície mohlo náhodne vyskytnúť iba s pravdepodobnosťou 0,0004, t. j. 0,04 ‰, čo potvrdzuje jestvovanie uvažovanej závislosti celkom jednoznačne.

Na porovnanie tesnosti zistených asociačných vzťahov jednotlivých variantov triedenia prameňov sme použili Yulov koeficient asociácie Q (pozri G. U. Yule — M. G. Kendall 1950 alebo M. Kovačka — O. Kontšeková 1969)

$$Q = (ad - bc)/(ad + bc) \quad (4)$$

(pri úplnej nezávislosti je $Q = 0$, pri maximálnej tesnosti $Q = +1$ alebo $Q = -1$). Štandardná odchýlka výberového rozdelenia koeficienta asociácie (V. Lamser — L. Růžička 1970) je

$$s_Q = \frac{1 - Q^2}{2} \sqrt{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{1}{d}} \quad (5)$$

Hodnoty Q a s_Q uvádza tab. 3. Tesnosť závislosti vyjadrená pomocou Q sa zvyšuje s výslednými hodnotami χ^2 . Ako však vychodí z porovnania vypočítaných štandardných odchýlok s_Q , rozdiely v tesnosti závislosti pri jednotlivých variantoch nie sú štatisticky významné, čo možno exaktnejšie potvrdiť aj testom významnosti pomocou kritéria z (pozri napr. V. Lamser — L. Růžička 1970).

Roztriedenie prameňov (porovnávané súbory alebo skupiny súborov)	χ^2	Q	s _Q
$m + s + u$; $\bar{h}$	7,96	-0,74	0,165
$s + u$; $\bar{h}$	6,71	-0,59	0,249
u ; $\bar{h} + s$	12,7	-0,87	0,101
u ; $\bar{h}$	13,4	-0,92	0,075

Kritická hodnota χ^2 pre hladinu významnosti $\alpha = 0,05$ je 3,84 a bola prekročená vo všetkých variantoch roztriedenia.

Príčiny zistenej závislosti

Ako sme už naznačili, za hlavnú príčinu diferenciácie chemizmu skúmaných prameňov v závislosti od morfológickej pozície pokladáme rozdiely v dĺžke a rýchlosti obehu vody v hornine, t. j. v rozdielnom trvaní vzájomného pôsobenia vody a horniny (v danom prípade najmä rozpúšťania karbonátovej zložky pieskovcov — pozri S. G a z d a 1964). Prevaha sulfátov vo vyššie položených prameňoch by sa síce mohla vysvetľovať aj väčšou rýchlosťou oxidácie rozptýlených sulfidov v porovnaní s rýchlosťou rozpúšťania karbonátov, ale ak berieme do úvahy výsledky štúdia chemizmu vody v širšej oblasti, pokladáme za rozhodujúci prínos sulfátov zrážkovými vodami. V prospech takéhoto záveru svedčí jednak zistené rozdelenie absolútneho obsahu sulfátov vo vodách skúmanej oblasti (obsah SO_4^{2-} tu v podstate nerastie s rastom celkovej mineralizácie — J. J e t e l — L. R y b á ř o v á 1975), jednak aj výsledky štúdia chemizmu zrážkovej vody (V. J i ř e l e 1975), ktoré ukazujú na prevahu a pomerne vysoký absolútny obsah sulfátov v zrážkovej vode na území ČSR. Prínos sulfátov z atmosférických zrážok môže byť mimoriadne významný práve v Moravskosliezskych Beskydách a v priľahlých úsekoch Slovenských Beskýd a Javorníkov, kam väčšina zrážok prichádza z oblasti intenzívnych priemyselných exhalácií Ostravy a okolia. V hrebeňových a vrcholových úsekoch terénu vyvierajú teda vody, v ktorých prevažuje mineralizácia prinesená zrážkovou vodou, zatiaľ čo pri dlhšom kontakte s horninou sa voda obohacuje predovšetkým rozpúšťaním karbonátovej zložky, takže v nižšie položených prameňoch potom začínajú prevažovať bikarbonáty.

Záver

1. Asociačná analýza výsledkov chemických rozborov vody zo 61 prameňov vyvierajúcich z godulských vrstiev v Moravskosliezskych Beskydách potvrdila na základe testovania štatistických hypotéz s použitím kritéria χ^2 platnosť predpokladu o existencii štatistickej závislosti medzi chemizmom vôd prameňov a ich morfológickou pozíciou.

2. Zistená závislosť, t. j. prevaha sulfátov vo vodách prameňov vyvierajúcich

v hrebeňových a vrcholových partiách a na úpätiach strmých svahov na jednej strane a prevaha bikarbonátov vo vodách prameňov na úpätiach a stredných častiach miernych svahov na druhej strane, pravdepodobne odráža rozdiely v dĺžke obehu a kontaktu s horninou. Relatívny podiel sulfátov, ktoré sú zväčša pravdepodobne zrážkového pôvodu, pri dlhšom kontakte s horninou klesá v súvislosti s rozpúšťaním karbonátovej zložky hornín.

3. Existencia skúmaného vzťahu sa mohla zatiaľ štatisticky overiť iba v go-dulských vrstvách, ktoré sú doteraz najpodrobnejšie hydrochemicky dokumen-tované a kde sa môže výrazne prejavovať vzhľadom na ich pomerne nízku vápnitosť. S rastúcou hydrochemickou preskúmanosťou karpatského flyšu by bolo vhodné preveriť platnosť tejto závislosti aj v iných častiach flyšu. Pritom nie je vylúčené, že zistený vzťah bude mať aj všeobecnejšiu platnosť, najmä v horskom teréne.

4. Z metodického hľadiska sa názorne ukázala možnosť široko uplatňovať asociačnú analýzu vzájomných vzťahov kvalitatívnych znakov pri riešení hy-drogeochemickej a hydrogeologickej problematiky. Použité metódy napriek svojej jednoduchosti a výpočtovej nenáročnosti umožňujú objektívne potvrdiť závery vyslovované intuitívne pri spracovaní empirických poznatkov.

Doručené 1. 6. 1976

Odporučil S. Gazda, P. Bujalka

LITERATÚRA

- Gazda, S. 1964: Odras horninového prostredia v chemizme podzemných vôd. Geol. práce, Spr. (Bratislava), 32, s. 263—279.
- Gazda, S. 1971: Modifikácia Palmerovho klasifikačného systému. Hydrogeol. Ro-čenka (Praha—Brno) 1969—1970, s. 122—126.
- Jetel, J. 1965: O použitelnosti některých statistických metod v hydrogeologii. Hy-drogeol. ročen. (Praha—Žilina) 1965, s. 80—94.
- Jetel, J. — Gazda, S. — Chrobok, J. 1975: Použitie štatistických metód pri hydrogeochemickom štúdiu. Geol. práce, Spr. (Bratislava), 62, s. 145—159.
- Jetel, J. — Rybářová, L. 1972: Hydrogeologické poměry. In: V. Pesl et al.: Vysvětlivky k listu základní geologické mapy 1 : 25 00 M-34-85-C-b Rožnov pod Radhoštěm. Manuskript — Geofond Praha, s. 48—61.
- Jetel, J. — Rybářová, L. 1975: Hydrogeologie a hydrogeochemie Moravsko-slezských Beskyd. Manuskript — Geofond Praha.
- Jiřele, V. 1975: Vliv kontaminovaných srážkových vod na kvalitu podzemní vody. In: M. Kněžek et al.: Ochrana podzemních vod, jejich využití a rozmnožování. Závěrečná zpráva. Manuskript — Výzk. ústav vodohospodář. Praha, s. 42—55.
- Kováčka, M. — Kontšeková, O. 1969: Štatistické metody. 3. vyd. Bratislava, Alfa. 266 s.
- Krumbein, W. C. — Graybill, F. A. 1965: An introduction to statistical models in geology. New York, McGraw-Hill Books Co. (ruský preklad: Statističeskije modeli v geologii. Moskva, Mir. 398 s.).
- Lamser, V. — Růžička, L. 1970: Základy statistiky pro sociology. Praha, Svo-boda. 430 s.
- Reisenauer, R. 1970: Metody matematické statistiky a jejich aplikace v technice. 2. vyd. Praha, SNTL — Nakl. techn. lit. 239 s.
- Rybářová, L. 1973: Hydrogeologické poměry území listu Bystřice nad Olší (M-34-86-A-b). Manuskript — Geofond Praha 18 s.
- Rybářová, L. 1975a: Hydrogeologické poměry území listu Komorní Lhotka. In: E. Menčík et al.: Základní geologická mapa 1 : 25 000, list M-34-86-A-a Ko-morní Lhotka. Manuskript — Geofond Praha.

- Rybářová, L. 1975b: Hydrogeologické poměry území listu Morávka. In: E. Menčík et al.: Základní geologická mapa, list M-34-86-A-c Morávka. Manuskript — Geofond Praha.
- Sadowski, W. 1975: Matematická statistika. Bratislava, Alfa, 403 s.
- Yule, G. U. — Kendall, M. G. 1950: An introduction to the theory of statistics. 14th ed. London, Griffin and Co. 701 p.

Association analysis of the relation between the chemistry of spring waters in the Carpathian Flysch and the morphologic position

JÁN JETEL — LÝDIA RYBÁŘOVÁ

Association analysis of hydrochemical data on 61 springs issuing from the Godula Beds (sandstones and shales) in the Moravian—Silesian Beskydy Mts. verified a statistical dependance between the water chemical composition and the morphologic position of the springs by testing statistical hypotheses with the use of the criterion χ^2 . The sulfates predominate on the ridges, near the peaks and on the feet of sheer slopes, the bicarbonates prevailing in the springs situated in the valleys and on moderate slopes. This regularity reflects evidently differences in the length of the ways of underground circulation. The sulfates are brought, in the main, probably by rainwater. The percentage of sulfates in the groundwater decreases in the course of the interaction with rocks as a consequence of the dissolution of rock carbonates.

For now, it has been possible to verify statistically the above-described dependance only in the Godula Beds from where the most detailed information is available and where this dependance may manifest itself most distinctly thanks to comparatively low calcium carbonate contents in the rocks. In the future, it will be useful to examine from this point of view the spring waters in other Flysch regions as well. The described relation might even prove to be of a more general validity, especially in mountainous regions.

The analysis of association of qualitative attributes may have more extensive applications in solving various hydrogeologic and hydrogeochemical problems. Although the used methods are very simple and do not require laborious computations at all, they make possible to verify objectively the conclusions often drawn only by intuition from empirical data.

Preložil J. Jetel

ZO ŽIVOTA SPOLOČNOSTI

Jan Kalvoda: Kvartérní orogenní rysy reliéfu Himálaje

(Prednesené na zasadnutí SGS Bratislava 30. 3. 1977)

Recentní modelace reliéfu Himálaje svědčí o vrásném dotváření horské klenby v pleistocénu. Postmiocenní orogenetické změny objemu a tvaru horstva byly spolu s planetárními klimatickými oscilacemi hlavními příčinami variability klimamorfogenetických procesů. Průběh těchto procesů je stále podporován a ožíván pokračováním tektonické aktivity.