

TAKSONOMICZNA METODA ZGODNOŚCI RANG W BADANIACH GEOLOGICZNYCH

UKD 550.8:519.2:005 + 001.5

Metody taksonomiczne mają szerokie zastosowanie w klasyfikacji obiektów geologicznych. Służą one do określania podobieństw lub różnic (odległości taksonomicznych) między obiektami, scharakteryzowanymi zespołem cech jakościowych, stopniowanych lub ilościowych, a w konsekwencji umożliwiając dokonywanie podziału niejednorodnych zbiorów na podzbiory jednorodne. Możliwa jest również ocena jednorodności zbiorów oraz wykazywanie obecności pojedynczych obiektów, wyraźnie odbiegających swoimi cechami od pozostałych składników zbioru. Analiza taksonomiczna może być realizowana w różny sposób i na podstawie rozmaitych formuł matematycznych (10), szczególnie często była ona stosowana w antropologii i ekologii, a także w geografii, ekonomii i rolnictwie. W naukach geologicznych zainteresowanie metodami taksonomicznymi koncentrowało się na klasyfikacji skał i minerałów, złóż rozmaitych surowców mineralnych oraz zespołów skamieniałości. W polskiej literaturze geologicznej szczególnie dużo uwagi poświęcono zastosowaniu tych metod dla interpretacji wyników badań mikropaleontologicznych (1, 2, 3).

Wynik analizy taksonomicznej zależy w znacznym stopniu od właściwości zastosowanych metod i formuł matematycznych, toteż prawidłowy dobór sposobu prowadzenia obliczeń ma największe znaczenie dla możliwości uzyskiwania merytorycznie pożądaných rezultatów badań. Na marginesie tego stwierdzenia należy podkreślić, że tzw. obiektywność wyników, uzyskiwanych przez wprowadzenie interpretacji matematycznych do wnioskowania geologicznego, ma charakter względny, bowiem zachowuje ona znaczenie jedynie wobec wybranej metody obliczeń, natomiast sam dobór metody jest dokonywany arbitralnie, w sposób mniej lub bardziej świadomy. Nasuwa to konieczność studiów nad przydatnością różnych

metod taksonomicznych dla rozwiązywania określonych problemów geologicznych, a także uzasadnia potrzebę stosowania i wprowadzania rozmaitych, mało znanych i nowych wariantów analizy taksonomicznej.

Jedną z takich odmian omawianej analizy jest metoda zaproponowana przez J. Czekanowskiego (4) i zastosowana przez niego do badań psychometrycznych (metoda podobieństw), a następnie aplikowana w studiach nad przestrzenną strukturą rolnictwa (6). Charakterystyczną właściwością tej metody jest założenie, że podobieństwo między dwoma obiektami jest wyrażone zgodnością rang względnych odchyłeń cech, a nie rzeczywistymi wartościami cech (metoda zgodności rang). Miara zgodności (odległości) taksonomicznej jest współczynnik korelacji rang Spearmana — r_s .

Wprowadzenie do analizy taksonomicznej współczynnika korelacji rang umożliwia określenie statystycznej istotności podobieństwa porównywanych obiektów na dowolnie założonym poziomie ufności, na podstawie wartości krytycznych r_s , podawanych w tablicach statystycznych. Możliwość taka ma główne znaczenie przy podziale zbioru na podzbiory, realizowanym przez dyskryminację dendrytu, dendrogramu lub struktury taksonomicznej. W opisywanej metodzie dzielenie zbioru polega na przerywaniu połączeń dendrytu (lub innego diagramu) przekraczających określony poziom ufności, gdy w innych metodach taksonomicznych operacja ta jest dokonywana przez opuszczanie kolejnych, najdłuższych połączeń lub według dowolnie przyjętego schematu.

Metoda zgodności rang prezentuje zmodyfikowaną i rozwiniętą wersję metody podobieństw. Jest ona szczególnie dogodna dla badania zbiorów złożonych z 10–30 obiektów, scharakteryzowanych kilkoma lub kilkunastoma cechami. Określanie podobieństw taksonomicznych względnie odległości taksonomicznych jest

mało pracochłonne i nieskomplikowane, dzięki czemu może ono być efektywnie realizowane, bez stosowania specjalnej aparatury obliczeniowej.

TOK ANALIZY

Przedmiotem analizy prowadzonej metodą zgodności rang jest zbiór obiektów: A, B, C ..., scharakteryzowanych cechami ilościowymi; I, II, III ..., przy czym liczba cech jest określona symbolem n . Obliczenia są prowadzone w następujących etapach.

1. W danym zbiorze obiektów sumujemy wartości każdej cechy i obliczamy ich średnie arytmetyczne, dzieląc sumy wartości każdej cechy przez ilość obiektów. Uzyskane średnie wartości cech są oznaczone symbolami: $x_I, x_{II}, x_{III} \dots$ W jednym z wariantów opisywanej analizy należy ponadto wyznaczyć odchylenia standardowe cech: $s_I, s_{II}, s_{III} \dots$

2. Obliczamy odchylenia względne poszczególnych cech w stosunku do ich wartości średnich według wzoru:

$$W_{IA} = \frac{A_I - \bar{x}_I}{\bar{x}_I} \quad [1]$$

Wzór ten stosuje się w wariancie typowym omawianej analizy. Zamiast wzoru na odchylenie względne można posłużyć się innymi formułami:

$$W'_{IA} = \frac{A_I - \bar{x}_I}{s_I}, \quad W''_{IA} = \frac{A_I - \bar{x}_I}{I_{\max}} \quad [2]$$

Zmiana wyjściowych wartości liczbowych każdej cechy na jej odchylenia względne (W) lub na inne rodzaje odchyleń (W', W'') pozwala na właściwe wyważanie wpływu poszczególnych cech na ogólny wynik analizy, niezależnie od ich bezwzględnych wielkości lub od stopnia zróżnicowania.

3. Nadajemy rangi (R) obliczonym odchyleniom względnym cech. Rangę „1” otrzymuje najwyższa wartość odchylenia danej cechy, a kolejne rangi: „2”, „3” ... — coraz to niższe wartości odchyleń względnych.

4. Wartości rang służą następnie do porównywania ze sobą poszczególnych obiektów. Następuje to przez obliczenie dla każdej pary obiektów współczynnika korelacji rang Spearmana (r_s) według wzoru:

$$r_s = 1 - \frac{6}{n} \cdot \frac{(R_A - R_B)^2}{n^2 - 1} \quad [3]$$

gdzie n — oznacza ilość cech; R_A, R_B — wartości rang każdej cechy w danej parze obiektów.

5. Współczynniki korelacji rang są miarą podobieństwa taksonomicznego, są one podstawą dla wykreślenia diagramów: dendrytu, dendrogramu, struktury taksonomicznej lub tabeli skupień. Każdy współczynnik może być zweryfikowany względem wartości krytycznych r_s , określonych dla wybranego poziomu ufności. Tablice wartości krytycznych współczynnika korelacji rang Spearmana, dla różnych wartości n , zostały opracowane m.in. przez S. Siegela oraz przez G. T. Glassera i R. F. Wintera (8, 11).

6. Podział zbioru obiektów na podzbiory jest dokonywany przez dyskryminację diagramu, np. przez przerywanie tych połączeń dendrytu lub dendrogramu, które symbolizują wartości współczynnika korelacji rang, niższe od wartości krytycznych r_s na przyjętych poziomach ufności (np. kolejno na poziomie .01, a następnie — .05 oraz — .10). Ta metoda postępowania umożliwia jednolity sposób podziału różnych zbiorów, niezależnie od ilości cech charakteryzujących zawarte w nich obiekty.

Przedstawiony tok analizy może być zmodyfikowany i uproszczony przez pominięcie obliczania współczynnika korelacji rang i zastąpienie go sumą kwadratów różnic rang. Jest to możliwe dzięki prostemu przekształceniu wzoru 3, który może przyjąć postać:

$$r_s = 1 - \frac{6}{n^3 - n} (R_A - R_B)^2 \quad [4]$$

Prawy człon tego wzoru składa się z dwóch elementów: z mnożnika C, którego wielkość zależy jedynie od ilości cech (n) oraz z czynnika D, który jest sumą kwadratów różnic rang, wyznaczaną w toku normalnego postępowania jako wartość pośrednia dla obliczania współczynnika r_s . Po takim uproszczeniu omawiany wzór przyjmuje postać:

$$r_s = 1 - C \cdot D \quad [5]$$

gdzie: $C = \frac{6}{n^3 - n}$, a $D = (R_A - R_B)^2$. Wielkość C moż-

na obliczyć jako stały mnożnik dla analizy taksonomicznej, obejmującej obiekty o określonej liczbie cech; nadaje się więc ona do ujęcia tablicowego. Z przedstawionych zależności wynika, że wartości krytyczne współczynnika r_s mogą być zamienione na wartości krytyczne czynnika D, dla wybranych poziomów ufności oraz dla różnych ilości cech (n):

$$D_{kryt} = \frac{1 - r_{skryt}}{C} \quad [6]$$

Na podstawie cytowanego wzoru 6, dokonano przeliczenia tablicy wartości krytycznych współczynnika korelacji rang Spearmana, opracowanej przez G. T. Glassera i R. F. Wintera (8). Przedstawione na tak opracowanej tablicy wartości D_{kryt} są maksymalnymi wielkościami D, dla których przy danej ilości cech (n) i na założonym poziomie ufności współczynnika r_s , korelacja jest statystycznie istotna. Tablica zawiera ponadto wartości mnożnika C, umożliwiające bezpośrednio zamianę D na r_s (tab.).

Zastąpienie współczynnika r_s czynnikiem D powoduje, że w opisywanej metodzie zamiast podobieństwa taksonomicznego (metoda podobieństw J. Czekanowskiego) mamy do czynienia z odległościami taksonomicznymi, które są wyrażone sumami kwadratów różnic rang. Uzasadnia to określenie metody jako — metody zgodności rang. Rozwiązanie takie jest bardzo dogodne ze względu na przejrzystość diagramów (zwłaszcza dendrytów i dendrogramów) wykreślanych dla zobrazowania wyników analizy. Punkty symbolizujące obiekty podobne są położone blisko siebie, natomiast dyskryminacja zbioru polega na przerywaniu diagramu przez opuszczanie połączeń najdłuższych, odpowiadających największym odległościom taksonomicznym. Opisany, uproszczony tok analizy polega na realizacji etapów 1—3, określeń wartości D oraz interpretacji wyników obliczeń na podstawie tabeli (etapy 5 i 6).

ZASTOSOWANIE METODY ZGODNOŚCI RANG

Przedstawiona metoda może znaleźć różnorodne zastosowanie w naukach geologicznych. Zaprezentowanie jej przydatności zostanie przeanalizowane na kilku przykładach. Dotyczą one chemizmu wód mineralnych, składu granulometrycznego piasków, zespołów minerałów ciężkich oraz zespołów otwornic (ryc. I—IV).

Chemizm wód mineralnych z rejonu Piwnicznej.

Badania taksonomiczne objęły 13 źródeł wód mineralnych, które scharakteryzowano analizami chemicznymi, a w szczególności udziałem następujących składników chemicznych: Na + K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cl (+ Br + J), HCO_3 , SO_4 (ilość cech $n = 8$). Są to źródła mineralne występujące w dolinie Popradu, opisane przez H. Ostrowską (7): 1 — źródło Kinga w Głębokiem; 2 — źródło w Kokusze koło Piwnicznej; 3, 4 — wody mineralne z wiercen w Piwnicznej (Piwniczanka 1 i Piwniczanka 2); 5—11 — źródła mineralne w Łomnicy; 12, 13 — źródła mineralne w Wierchomli. W opracowanym zbiorze wód mineralnych dwa źródła (1 i 2) wyraźnie różnią się od pozostałych i tworzą zespół wykazujący nieistotne (na poziomie ufności .10) połączenie z głównym podzbiorem. W obrębie pozostałych 11 źródeł wszystkie połączenia są istotne na poziomie ufności .05 lub .01, tworząc grupę względnie jednolitą (ryc. — I).

Uziarnienie piasków bogucickich. Obliczenia objęły zbiór 12 wybranych próbek piasków bogucickich,

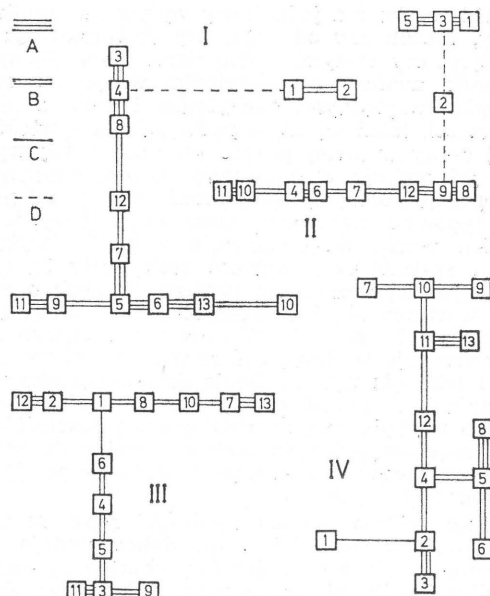
n	C	D _{kryt}					
		.001	.005	.010	.025	.050	.100
4	0.100000					2	2
5	0.050000			2	2	4	6
6	0.028571		2	4	6	8	14
7	0.017857	2	6	8	14	18	26
8	0.011905	6	12	16	26	34	44
9	0.008333	12	22	28	38	50	64
10	0.006061	22	36	44	60	74	92
11	0.004545	34	54	66	86	104	128
12	0.003497	52	78	94	120	144	172
13	0.002747	76	110	130	162	190	226
14	0.002198	106	148	172	212	246	290
15	0.001786	142	194	224	270	312	364
16	0.001471	186	250	284	340	390	450
17	0.001225	238	314	356	420	480	550
18	0.001032	300	390	438	512	582	664
19	0.000877	372	476	532	618	696	790
20	0.000752	454	574	638	738	826	934
21	0.000649	546	686	758	870	972	1092
22	0.000565	651	809	891	1019	1133	1269
23	0.000494	772	950	1042	1184	1312	1464
24	0.000435	903	1103	1207	1365	1509	1677
25	0.000385	1048	1272	1388	1564	1724	1910
26	0.000342	1211	1461	1589	1785	1959	2167
27	0.000305	1391	1667	1809	2025	2217	2445
28	0.000274	1764	2102	2276	2541	2774	3052
29	0.000246	1802	2136	2308	2567	2799	3071
30	0.000222	2036	2403	2589	2873	3126	3423

Tabela wartości krytycznych D, na wybranych poziomach ufności. n — ilość cech, C — mnożnik zamieniający wartość D na wartość r_s (D — suma kwadratów różnic rang, r_s — współczynnik korelacji rang Spearmana), D_{kryt} — wartości krytyczne czynnika D na wybranych poziomach ufności.

Table of critical values D at selected confidence levels. n — number of properties, C — multiplier converting value D into r_s (D — sum of squared rank differences, r_s — Spearman coefficient of rank correlation), D_{kryt} — critical values of factor D at selected confidence levels.

scharakteryzowanych analizami granulometrycznymi (9). Jako cechy posłużyły udziały procentowe następującej frakcji (w mm): 0,06; 0,06—0,10; 0,10—0,25; 0,25—0,50; 0,50—1,0; 1,0—2,0; 2,0 (ilość cech $n=7$). Zbiór ujmował następujące próbki: 1 — Rajska, 2—7 — Bogucice, 8, 9 — Wieliczka, 10—12 — Zabawa. Dyskryminacja dendrytu wykazała, że w badanym materiale wyraźnie wyodrębniają się dwa podzbiory. Pierwszy z nich (próbki 1, 3, 5) grupuje średnioziarniste piaski o dobrze zaznaczonej frakcji modalnej, a drugi (próbki 4 i 6—12) — odmiany drobnoziarnistych i średnioziarnistych piasków o słabym przesortowaniu. Połączenie tych dwóch podzbiorów jest nieistotne na poziomie ufności .10, a odrębną pozycję zajmuje pojedyncza próbka nr 2. W obrębie obu podzbiorów różnice między próbkami są natomiast nieznaczne (ryc. — II).

Minerały ciężkie z osadów miocenu. Przedmiotem analizy taksonomicznej były zespoły minerałów ciężkich z warstw chodenickich, grabowieckich oraz z piasków bogucickich okolic Wieliczki i Bochni. Skład tych zespołów znany jest dzięki opracowaniu M. Kryszewskiej (5), a dla ich klasyfikacji uwzględniono minerały przezroczyste: granat, cyrkon, turmalin, staurolit, rutyl, dysten i chloryt (ilość cech $n=7$). Badany zbiór obejmował 13 próbek określonych następującymi symbolami: 1—5 — warstwy chodenickie z Chełmu nad Rabą, Chodenic i Bochni; 6—10 — warstwy grabowieckie z Niepołomic, Chełmu nad Rabą i Bochni; 11—13 — piaski bogucickie z Bogucic. Analizowane próbki wykazują dość znaczne podobieństwo, a odległości taksonomiczne nie przekraczają poziomu ufności .10. Pierwszy podział dendrytu, polegający na opuszczeniu jednego połączenia, odpowiadającego róż-



Dendryty wrocławskie wybranych przykładów, analizowanych metodą zgodności rang.

I — chemizm wód mineralnych z rejonu Piwnicznej, II — uziarnienie piasków bogucickich, III — minerały ciężkie z osadów miocenu rejonu Wieliczki i Bochni, IV — zespoły otwornic miocennych z Radnej Góry. Istotność połączeń dendrytów na wybranych poziomach ufności: A — .01, B — .05, C — .10, D — połączenie nieistotne na poziomie .10.

Wrocław dendrites of some examples analysed with the use of rank consistency method.

I — chemistry of mineral waters from the Piwniczna region, II — grain size distribution of Bogucice sands, III — heavy minerals from Miocene sands of the Wieliczka and Bochnia region, IV — Miocene foraminifer assemblages from the Mt. Radna. Significance of dendrite connections at selected confidence levels: A — .01, B — .05, C — .10, D — insignificant connections at .10 confidence level.

nicy istotnej na poziomie ufności .05, powoduje rozbięcie zbioru na dwa podzbiory (ryc. — III). W obu tych podzbiórach występują próbki, reprezentujące trzy różne kompleksy litostratygraficzne. Świadczy to o jednorodności całego zbioru.

Zespoły otwornic miocennych z Radnej Góry. Analiza taksonomiczna objęła zespoły otwornic występujące w marglach oraz w wapieniach detrytycznych i piaszczystych dolnego badenu, w wierceniu z Radnej Góry koło Zaklikowa na Roztoczu. Zespoły te zostały scharakteryzowane obecnością (ilościowym udziałem) następujących rodzajów otwornic: *Discorbis*, *Elphidium*, *Nonion*, *Cibicides*, *Quinqueloculina*, *Triloculina*, *Cassidulina*, *Globigerina* i in. (ilość cech $n=8$). Próbkę oznaczoną liczbami 1—13 pobrano z rdzeni co 4—5 m, z głęb. 10,5—63,5 m. W badanym zbiorze wyraźnie wyodrębnia się próbka nr 1, odznaczająca się obecnością licznych otwornic planktonicznych, których udział w innych próbkach jest nieznaczny. Pozostałe próbki tworzą dość zwartą grupę, w której poszczególne elementy łączą się ze sobą w sposób istotny na poziomie ufności .05 lub .01. W obrębie tej grupy zwraca uwagę bliskie połączenie niektórych par próbek (2—3, 5—8, 11—13), odpowiadających podtypom zespołów otwornic, o ilościowej przewadze niektórych taksonów. Przeprowadzone obliczenia wykazały mało istotne zróżnicowanie zespołów płytkowodnych otwornic bentonicznych, uznawanych potocznie za bardzo różnorodne (ryc. — IV).

UWAGI OGÓLNE

Taksonomiczna metoda zgodności rang jest bardzo przydatna dla analizy ilościowej danych geologicznych. Może ona być stosowana w różnych zagadnieniach z zakresu nauk o Ziemi zarówno w problematyce ogólnej i teoretycznej, jak też w geologii złożowej, surowcowej i hydrogeologii. Metoda ta, w porównaniu z innymi sposobami taksonomicznego podziału zbiorów wyróżnia się dwiema charakterystycznymi właściwościami:

1. Każda cecha ma jednakowy wpływ na wynik analizy, niezależnie od tego, czy jest ona wyrażona dużymi czy małymi wartościami bezwzględными.
2. Wynik analizy odzwierciedla wzajemne relacje między względnymi odchyleniami cech, a nie ich wartości, toteż wybitnie podwyższona wartość jednej cechy w danej próbie znacznie mniej wpływa na jej pozycję w diagramie taksonomicznym, niż proporcje pomiędzy wszystkimi cechami tej próbki.

W typowym wariancie omawianej analizy, w mianowniku wzoru na odchylenie względne występuje średnia arytmetyczna wartość cech (wzór 1), co powoduje pewną nieznaczną preferencję cech o mniejszych wartościach bezwzględnych w stosunku do cech o dużych średnich. W innych wariantach metody, preferencje te mogą być rozmaicie, celowo dobierane. I tak, np.: wprowadzenie do mianownika wzoru 1 odchylenia standardowego (wzór 2) przekształca odchylenie względne na znormalizowaną wartość cechy i powoduje uwypuklenie cech o małej zmienności w stosunku do cech, wykazujących dużą dyspersję wartości bezwzględnych.

Taksonomiczna metoda zgodności rang, ze względu na swoje właściwości bardzo dobrze nadaje się do analizowania zbiorów obiektów, charakteryzowanych różnymi cechami, np. wyrażonymi w różnych jednostkach, nieporównywalnych bezpośrednio ze sobą. Eliminuje ona niepożądany, silny wpływ cech o dużych wartościach bezwzględnych, a uwzględnia w sposób wyrównany wszystkie cechy bez zasadniczych preferencji. Badania ilościowe zbiorów bardzo niejednorodnych, obejmujących wyraźnie różniące się od siebie podzbiory, mogą być efektywnie realizowane przez zastosowanie różnych formuł matematycznych (3), natomiast do analizy zbiorów o ograniczonej niejednorodności taksonomiczna metoda zgodności rang jest szczególnie godna polecenia.

SUMMARY

The taxonomic method of rank consistency is based on Spearman rank correlation coefficient, used as a measure of taxonomic similarity. The analysis involves calculation of mean value of each feature and its relative deviation (Formula 1), to which rank is ascribed. Pairs of objects (samples) are compared by calculating correlation coefficient of ranks with the use of Formula 3. Transformation of this Formula with the use of Formulae 4 and 5 makes much simpler both the calculations and estimations of taxonomic relationships (similarities or distances) at a chosen confidence level. Taxonomic distances are expressed by the value D, that is sum of squared differences of ranks. Table 1 presents critical values of the factor D, calculated with reference to G. T. Glasser and R. F. Winter (8) tables of critical values r_s . This method may be used in analysing various sets of geological data. The examples given here (Fig. 1) include sets of data concerning chemistry of mineral waters from the Piwniczna area (Polish Flysch Carpathians), grain size distribution of Bogucice sands (Miocene of the Carpathian Foredeep), heavy minerals from the Miocene of the Wieliczka and Bochnia region and Miocene foraminifer assemblages from the Mt. Radna in Roztocze.

LITERATURA

1. Alexandrowicz S. W. — Taxonomische Analyse der Foraminiferenfaunen in den Skawina Schichten. Bull. Acad. Pol. Sci. Sc. Ter. 1975, nr 3—4.
2. Alexandrowicz S. W. — Zespoły otwornic w miocenie Karpat zewnętrznych w świetle analizy taksonomicznej. Spraw. Pos. Kom. PAN, 19 1976.
3. Alexandrowicz S. W. — Taksonomiczne metody systematyzowania zespołów mikroskamieniałości. Geologia 1977 3/3.
4. Czekanowski J. — Metoda podobieństw w zastosowaniu do badań psychometrycznych. Bad. Psychol. 1926 nr 2.
5. Kryzowska M. — Minerale ciężkie w utworach mioceńskich obszaru śląsko-krakowskiego. Pr. Geol. Komis. Nauk. Geol. PAN Oddz. w Krakowie. 1966 z. 36.
6. Miłnarczyk W. — Metody taksonomiczne w przestrzennym badaniu rolnictwa. Biul. Kom. Przet. Zag. Kr. PAN, 1970 z. 61.
7. Ostrowicka H. — Wody mineralne w rejonie doliny Popradu. Zesz. Nauk. AGH 1966 nr 139, z. spec. nr 11.
8. Sachs L. — Statistische Auswertungsmethoden. Springer Verl. 1972.
9. Skoczylas-Ciszewska K., Kolasa M. — O piaskach bogucickich. Roczn. Pol. Tow. Geol. 1959 z. 3.
10. Sokal R. R., Sneath P. H. A. — Principles of numerical taxonomy. W. H. Freeman Co. 1963.
11. Weber E. — Grundriss des biologischen Statistik. VEB G. Fischer Verl. 1972.

РЕЗЮМЕ

Таксономический метод согласия рангов основан на коэффициенте корреляции рангов Спирмана, который употребляется в качестве меры таксономического подобия. В ходе анализа определяются средние величины каждого свойства и их относительные отклонения (формула 1), которым признают ранги. Сравнение каждой пары объектов (образцов) заключается в вычислении коэффициента корреляции рангов по формуле 3. Преобразование этой формулы по формулам 4 и 5 позволяет значительно упростить расчеты и определить сущность таксономических связей (подобия или расстояния) на избранном уровне доверчивости. Таксономические расстояния выражаются величиной D, которая является суммой квадратов разности рангов. Критические величины фактора D, вычислены на основании таблицы критических величин r_s , составленной Г. Т. Глассером и Р. Ф. Винтером (8), представлены в таблице I. Описанный метод можно применять для анализа разных множеств геологических данных. В качестве примеров рассмотрены следующие множества: химизм минеральных вод в районе местности Пивнична (Польские флишевые Карпаты), зернистость богучицких песков (миоцен предкарпатского прогиба), тяжелые минералы района Велички и Бохни, группы миоценовых фораминифер из Радной Гуры (Расточе), рис. 1.