

STATYSTYCZNA ANALIZA PORÓWNAWCZA SKŁADU CHEMICZNEGO GENOTYPÓW PACYFICZNYCH KONKREKCI POLIMETALICZNYCH (NA PRZYKŁADZIE FRAGMENTU OBSZARU IOM)

THE STATISTICAL COMPARATIVE ANALYSIS OF CHEMICAL COMPOSITION IN VARIOUS GENOTYPES OF PACIFIC POLYMETALLIC NODULES (INTEROCEANMETAL AREA)

Jerzy Wójtowicz, Jacek Mucha, Monika Wasilewska-Błaszczyk - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

W artykule przedstawiono wyniki badań statystycznych nad zawartością metali (Mn, Ni, Cu, Co) w 4 wydzielonych typach genetycznych konkrecji polimetalicznych (genotypy: H, HD, D, D1) na Pacyfiku w obszarze administrowanym przez Wspólną Organizację Interoceanmetal (IOM). Podstawowy opis statystyczny wykazał bliskie normalnemu rozkłady empiryczne badanych parametrów oraz bardzo niskie, nieprzekraczające 20% współczynniki zmienności. W oparciu o wykresy „ramka-wąsy” stwierdzono brak wartości anomalnych i jedynie nieliczne wartości odstające w zbiorach danych podstawowych przyporządkowanych genotypom. Wyłączając zawartość Co, przy zastosowaniu testu Games-Howell'a wykazano istotne różnicowanie średnich zawartości metali między badanymi typami genetycznymi. Wskazuje to na celowość szacowania zasobów metali oddzielnie dla poszczególnych genotypów co może skutkować zwiększeniem dokładności oszacowań ich całkowitych zasobów. Wyniki analizy korelacji potwierdziły istnienie bardzo silnej liniowej zależności pomiędzy zasobnością konkrecji a zasobnością metali w genotypach wcześniej badanej jedynie dla połączonych zbiorów danych, bez wydzielenia genotypów.

Słowa kluczowe: konkrecje polimetaliczne, Pacyfik, IOM, zawartości metali, statystyka

This paper presents statistical analysis of Mn, Ni, Cu and Co content in four genetic types of polymetallic nodules (genotypes H, HD, D and D1). The analyzed nodules occur in the area administered by the Interoceanmetal Joint Organization in the Eastern Pacific Ocean. The basic statistical description showed close to normal empirical distributions of analyzed parameters, very low coefficients of variation (not exceeding 20%) and lack of the anomaly values in the data sets within genotypes. Games-Howell multiple range test confirmed statistically significant differences in mean metal contents between analyzed genotypes, except for Co. The results indicate that estimation of metal resources separately for individual genetic domain is preferred over traditional, global estimation (without separation of the domains). The results of the correlation analysis confirmed a very strong linear relationship between the abundance of nodules and the total abundance of a metal.

Keywords: polymetallic nodules, Pacific, IOM, metals contents, statistics

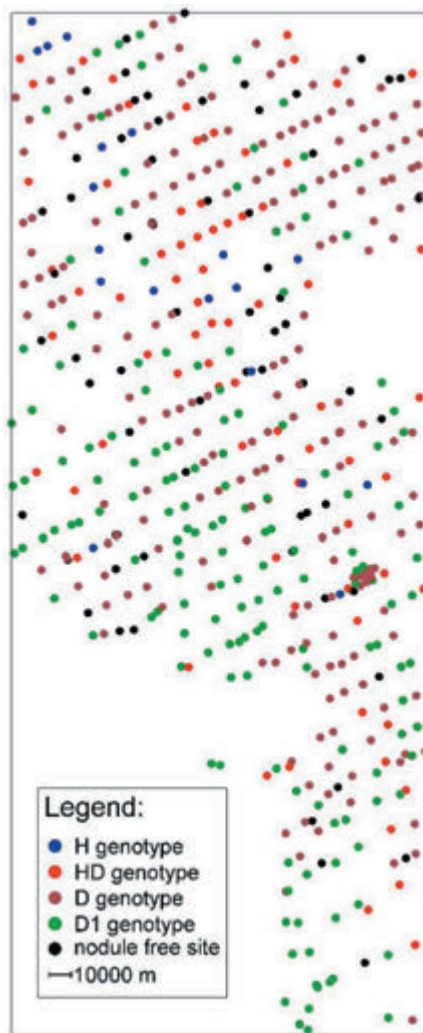
Wprowadzenie

Konkrecje polimetaliczne są skupieniami uwodnionych tlenków żelaza i manganu oraz minerałów ilastych występującymi w dużych ilościach na dnie Oceanów Pacyficznego i Indyjskiego. Na Pacyfiku duże ich nagromadzenia występują w równoleżnikowo zorientowanej strefie rozłamowej Clarion-Clipperton [1, 2, 3, 4, 5, 7]. We wschodniej części tej strefy, usytuowany jest obszar o powierzchni 75 000 km², administrowany i rozpoznawany przez Wspólną Organizację Interoceanmetal (IOM), do której obok 5 innych państw należy Polska [6].

Obszar IOM położony jest między 10° i 15° szerokości północnej w odległości około 1000 mil morskich na zachód od Meksyku i składa się z dwóch rejonów B1 i B2. W większym z nich, rejonie B2, o powierzchni 60 000 km² stwierdzono wysokie, przekraczające 10 kg/m², zasobności konkrecji polimetalicznych w około 42% stanowisk opróbowania [7].

Na podstawie składu mineralno-chemicznego i tempa przyrostu generacji manganowych wyróżniono 4 typy genetyczne (genotypy) konkrecji: hydrogeniczny (H), diagenetyczny (D), przejściowy (HD) oraz D1 cechujący się wyższymi zawartościami Cu niż Ni w odróżnieniu od genotypu D, w którym obserwuje się odwrotną relację zawartości tych pierwiastków [5, 7]. Rozmieszczenie wymienionych genotypów w punktach opróbowania dna oceanicznego przedstawiono na rysunku 1. Ich poniższą, krótką charakterystykę oparto na opisie zawartym w publikacji Kotlińskiego [7].

Konkrecje typu „H” zostały uformowane przez procesy hydrogeniczne prowadzące do wytrącania jonów metali i substancji koloidalnych Fe i Mn z wód przydennych. Charakteryzują się one z reguły formami sferoidalnymi lub nieprawidłowo sferoidalnymi, odznaczają się wygładzoną lub szorstką drobnochropowatą strukturą powierzchni oraz niewielkimi rozmiarami modalnymi, zwykle poniżej 4,0 cm (rys. 2). Ten genotyp charakteryzuje się stosunkowo niskimi zawartościami



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów opróbowania dna oceanicznego w rejonie B2 IOM wraz ze stwierdzonymi w nich genotypami

Fig. 1. Location of ocean bottom sampling stations in B2 IOM area with information about nodules genotype

manganu i wysokimi zawartościami Fe [3]. Konkrecje typu „H” występują głównie w północnej części rejonu B2 (rys. 1), na ogół w interwale głębokości 3900–4200 m i spoczywają na łałach brunatnych i mułach ilastych krzemionkowych.

Konkrecje typu „D” podlegały przeobrażeniom przy udziale procesów diagenetycznych. Źródłem składników, w tym jonów metali, są wody przydenne i porowe w tzw. warstwie „granicznej” osadów o miąższości od 1 do 12 cm. Konkrecje są z reguły dyskoidalne lub elipsoidalne i odznaczają się zwykle silnie urozmaiconą powierzchnią, o rozmiarach modalnych z przedziału 6-12 cm (rys. 2). Zalegają na mułach okrzemkowo-radiolariowych oraz na mułach ilastych krzemionkowych i zwykle pograżone są w tzw. aktywnej warstwie osadów. Ten typ konkrecji cechuje się stosunkowo wysokimi zawartościami



Rys. 2. Konkrecje typu: H (hydrogeniczny), D (diagenetyczny), HD (pośredni między H i D) [7]

Fig. 2. Nodules genotypes: H (hydrogenic), D (diagenetic), HD (intermediate type between H and D) [7]

Mn i niskimi zawartościami Fe [3]. Konkrecje typu „D” występują zwykle w interwale głębokości poniżej 4500 m.

Konkrecje przejściowe typu „HD”, które pod względem składu i zawartości metali zajmują pozycję pośrednią między typami „H” i „D” wyróżniają się obecnością na powierzchni konkrecji pierścieniowego zgrubienia, powstającego na kontakcie woda-osad i zwykle występują na głębokościach 4200–4600 m. Rozmiary modalne konkrecji tego genotypu mieszczą się w przedziale 3-6 cm.

W rejonie B2 dominują konkrecje typu „D” i „D1” a ich zasobność wzrasta z północy na południe, przy równocześnie zmniejszającej się zasobności konkrecji „HD”.

Zaletą pacyficznych konkrecji polimetalicznych jest współwystępowanie i wysoka koncentracja 4 metali: Mn, Ni, Cu, Co, dająca przyszłym producentom gwarancje dużej stabilności ekonomicznej. Istotne znaczenie gospodarcze z uwagi na podwyższone zawartości mają również molibden i pierwiastki ziem rzadkich.

W rejonie B2 ze wzrostem głębokości dna oceanicznego z N na S rejestruje się pewną prawidłowość zmiany zawartości metali w konkrecjach [7]. Maksymalnymi zawartościami Ni i Co odznaczają się konkrecje występujące na północy rejonu (typu „H” i „HD”). Wzrost zawartości Cu stwierdzono w konkrecjach centralnej części rejonu (typ: „D”), zaś na południu wyraźnie wzrasta w konkrecjach udział Mn (typ „D”).

Zasobności konkrecji i metali jak również zawartości metali w obszarze IOM były przedmiotem stosunkowo licznych badań statystycznych jak i geostatystycznych. Ich celem było przeanalizowanie rozmaitych aspektów dokładności szacowania zasobów konkrecji i metali oraz zależności korelacyjnych pomiędzy parametrami złożowymi konkrecji [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. W cytowanych publikacjach zbiory danych były traktowane całościowo bez przyporządkowania ich genotypom. Z punktu widzenia zawartości i zasobności metali, genotypy traktowane indywidualnie nie były przedmiotem bardziej zaawansowanych analiz statystycznych i geostatystycznych.

Cel badań

Dotychczasowe badania składu chemicznego genotypów (H, HD, D) wykazały, że średnie zawartości 3 cenniejszych metali (Mn, Ni, Cu) są najniższe w genotypie H, najwyższe w genotypie D natomiast w genotypie HD przyjmują wartości pośrednie. Odwrotną prawidłowość odnotowano w przypadku średnich zawartości Co, które są najwyższe w genotypie H natomiast najniższe w genotypie D [5, 7]. Podstawowym celem badań była statystyczna analiza zawartości 4 najważniejszych metali (Mn, Ni, Cu, Co) w obrębie 4 wyróżnionych genotypów H, HD, D, D1 oraz przetestowanie statystycznej istotności różnic średnich zawartości metali między genotypami prowadzącej

do wydzielenia potencjalnie jednorodnych grup genotypów. Drugim zadaniem było wykonanie analizy korelacyjnej między zasobnością konkrecji i zasobnościami metali oddzielnie dla poszczególnych genotypów oraz porównanie jej rezultatów z wynikami dla pełnego zbioru danych (połączonych danych dla wszystkich genotypów).

Material podstawowy badań

Jako materiał podstawowy analiz statystycznych posłużyły dane pozyskane łącznie z 448 stacji opróbowania położonych w granicach rejonu B2 IOM (rys. 1.) Obejmowały one oznaczenia zawartości i zasobności 4 podstawowych metali (Mn, Ni, Cu, Co) oraz zasobności konkrecji w obrębie 4 typów genetycznych konkrecji (H, HD, D i D1).

W niemal połowie punktów opróbowania (201 stacji) stwierdzono występowanie konkrecji polimetalicznych o genezie diagenetycznej (D). Typ ten spotykany jest najczęściej w północnej części obszaru B2, przy czym w rejonach leżących dalej na południe również pojawiają się strefy gdzie są one licznie reprezentowane. Drugą pod względem liczności grupę (154 stacje) stanowiły konkrecje o podobnej, diagenetycznej genezie, ale odmiennym wzajemnym stosunku niklu i miedzi w składzie chemicznym konkrecji (D1). Dominują one w centralnej i południowej części omawianego obszaru, ale ich rozproszone, niewielkie skupiska można spotkać także w rejonach bardziej wysuniętych na północ. Najrzadziej występującą grupę stanowiły konkrecje o genezie hydrogenicznej (H). Typ ten stwierdzono jedynie w 19 izolowanych stacjach

opróbowania rozproszonych na północy i w centrum. Wystąpienia konkrecji o genezie pośredniej, hydro-diagenetycznej (74 stacje) stwierdzono na niemal całym obszarze złoża, ale jedynie w północnej części złoża tworzą one zwarte, dające się wyróżnić skupiska.

Metodyka badań

Analiza statystyczna zebranych danych obejmowała następujące kroki:

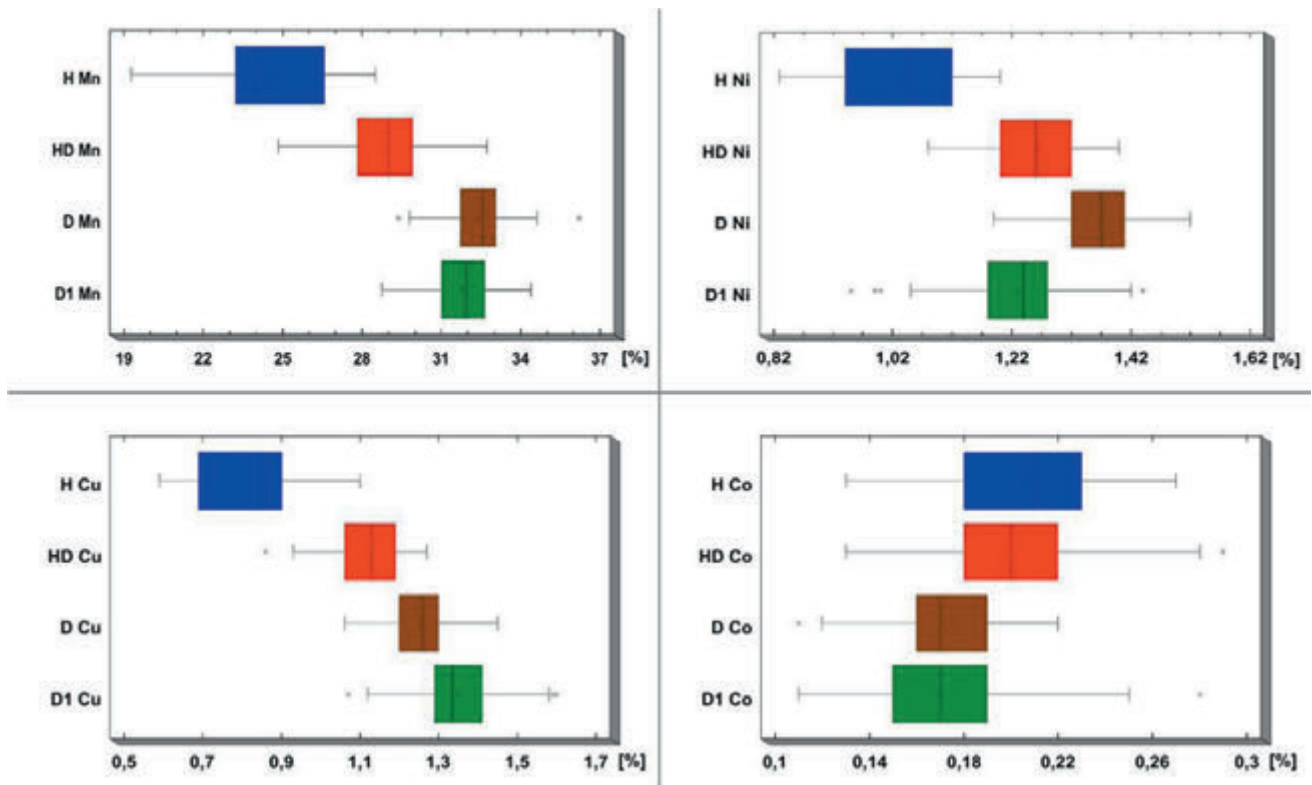
- obliczenie podstawowych miar statystycznych opisujących zmienność zawartości metali: średniej arytmetycznej, mediany, współczynnika zmienności oraz standaryzowanych współczynników asymetrii i ekscesu [16],
- skonstruowanie wykresów typu: „ramka-wąsy” dla zawartości metali celem wydzielenia ewentualnych wartości anomalnych w zbiorach danych [16],
- sporządzenie wykresów kwantylowych (dystrybuant empirycznych) zawartości metali dla różnych genotypów [17],
- przeprowadzenie testu Games-Howell'a dla wydzielenia jednorodnych grup genotypów z punktu widzenia średnich zawartości poszczególnych metali [18],
- obliczenie współczynnika determinacji, jako miary charakteryzującej siłę zależności między zasobnością konkrecji i zasobnościami metali w genotypach oraz dla wszystkich danych połączonych w jeden zbiór [16].

Wszelkie obliczenia statystyczne i ilustracje graficzne otrzymanych wyników wykonano przy zastosowaniu programu STATGRAPHICS® Centurion XVII [18].

Tab. 1. Podstawowe miary statystyczne zawartości metali w badanych typach genetycznych konkrecji polimetalicznych
Tab. 1. Basic statistical measures of metal content in the analysed genotypes of polymetallic nodules

Parametry statystyczne	Mn [%]				Ni [%]				Cu [%]				Co [%]			
	H	HD	D	D1	H	HD	D	D1	H	HD	D	D1	H	HD	D	D1
Liczba prób	19	74	201	154	19	74	201	154	19	74	201	154	19	74	201	154
Średnia arytmetyczna	24.5	28.9	32.4	31.8	1.03	1.26	1.37	1.23	0.82	1.12	1.26	1.35	0.21	0.20	0.18	0.17
Mediana	24.0	29.0	32.5	31.9	1.05	1.26	1.37	1.24	0.86	1.13	1.26	1.34	0.21	0.20	0.17	0.17
Minimum	19.3	24.9	29.4	28.8	0.83	1.08	1.19	0.95	0.59	0.86	1.06	1.07	0.13	0.13	0.11	0.11
Maximum	28.5	32.7	36.2	34.4	1.2	1.4	1.52	1.44	1.1	1.27	1.45	1.6	0.27	0.29	0.22	0.28
Współczynnik zmienności	9%	6%	3%	4%	10%	6%	4%	7%	18%	9%	6%	7%	18%	16%	11%	16%
Standaryzowany* wsp. asymetrii	-0.64	-0.47	-0.93	-2.05	-0.80	-0.38	-0.70	-1.87	0.16	-1.53	-0.89	0.40	-0.31	0.75	-0.61	2.67
Standaryzowany* wsp. ekscesu	0.39	-0.22	1.5	-0.67	-0.50	-1.25	0.04	1.14	-0.69	-0.86	-0.73	0.89	-0.37	0.86	0.42	3.10

*w przypadku gdy współczynniki asymetrii i ekscesu są na wartość bezwzględną <2 rozkład empiryczny można traktować w praktyce jako normalny
*if the coefficients of skewness and kurtosis have absolute values <2 empirical distribution can be treated in practice as normal

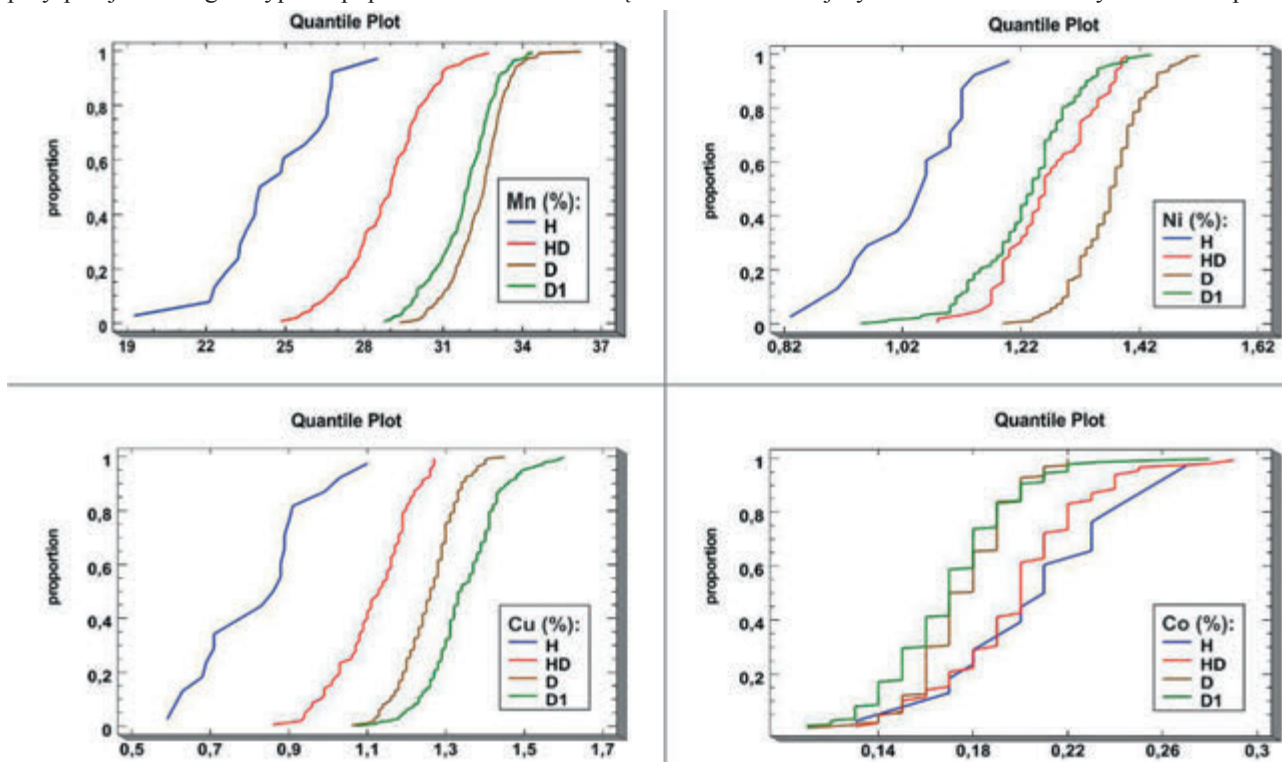


Rys. 3. Wykresy ramka-wąsy zawartości metali w poszczególnych typach genetycznych
 Fig. 3. Box and whisker plots of metals content in distinguished nodules genotypes

Wyniki badań

Otrzymane wyniki statystycznego opisu zmienności zawartości metali w genotypach H, HD i D (tab. 1) są zbliżone z wynikami uzyskanymi przez Kotlińskiego [5]. Zarówno średnie zawartości Mn, Ni, Cu jak i bliskie im mediany zawartości konsekwentnie wzrastają, a zawartości Co nieznacznie maleją przy przejściu od genotypu H poprzez HD do D. W obrębie

genotypu D1 średnie zawartości Cu są wyższe od średnich zawartości Ni. Zmienność względna zawartości metali jest generalnie mała ze współczynnikami zmienności mniejszymi od 20%. Na tle rozpatrywanych metali relatywnie największą zmiennością charakteryzuje się zawartość Co ze współczynnikami zmienności z przedziału 10-20% natomiast najmniejszą zmiennością zawartość manganu ze współczynnikami zmienności mniejszymi od 10%. Standaryzowane współczynniki



Rys. 4. Wykresy kwantylowe zawartości metali w badanych typach genetycznych konkrecji polimetalicznych
 Fig. 4. Quantile plots of metals content in distinguished polymetallic nodules genotypes

Tab. 2. Wyniki testu badania jednorodności zbiorów Gamesa-Howella* (dla poziomu istotności 0,05)
 Tab. 2. Results of Games-Howell* test for homogeneous groups (for significance level 0.05)

Genotyp	Metale											
	Mn			Ni			Cu			Co		
H	X			X			X			X		
HD		X			X			X			X	
D			X			X			X			X
D1				X			X			X		X

* Na zbiory jednorodne wskazują symbole X umieszczone w jednej kolumnie.
 * Homogeneous groups are marked by X placed in the same column.

asymetrii i ekscesu empirycznych rozkładów zawartości w zdecydowanej większości analizowanych przypadków są na wartość bezwzględną mniejsze od 2, co wskazuje na możliwość ich przybliżenia za pomocą teoretycznych rozkładów normalnych. Wyjątkiem są tu zawartości Co w genotypie D1 gdzie oba współczynniki wyraźnie przekraczają 2 oraz zawartość Mn w genotypie D1 gdzie standaryzowany współczynnik asymetrii nieznacznie przekracza na wartość bezwzględną 2.

Rozkłady empiryczne przedstawione w formie wykresów „ramka-wąsy” (rys. 3) nie ujawniają występowania wartości

genotypów w pary dla utworzenia zbiorów jednorodnych z punktu widzenia rozpatrywanego kryterium. Inaczej wygląda sytuacja w przypadku zawartości Co, w którym wyniki testowania upoważniają do połączenia genotypów H i HD oraz D i D1 i traktowania ich jako zbiory jednorodne z punktu widzenia poziomów średnich zawartości tego metalu.

Badanie korelacji liniowej między zasobnościami konkrecji i zasobnościami metali w poszczególnych genotypach wykazało, z jednym wyjątkiem, istnienie bardzo silnej zależności (ze współczynnikami determinacji >80) między badanymi zmien-

Tab. 3. Współczynniki determinacji (%)* dla liniowych zależności korelacyjnych wiążących zasobności konkrecji i zasobności metali
 Tab. 3. Coefficients of determination (%)* for linear correlations between nodules abundance and metals' abundance

Zasobność metali	Zasobność konkrecji w genotypach [kg/m ²]				
	H	HD	D	D1	H+HD+D+D1
qMn [kg/m ²]	97,7%	97,8%	99,2%	99,7%	98,2%
qNi [g/m ²]	97,6%	97,6%	98,5%	99,0%	97,7%
qCu [g/m ²]	89,5%	94,5%	97,2%	99,1%	95,3%
qCo [g/m ²]	75,3%	88,5%	90,5%	91,9%	91,1%

*Współczynnik determinacji określa udział zmienności wyjaśnionej przez model regresji liniowej i przyjmuje wartości z przedziału [0, 100]%; wartości skrajne oznaczają: 0% - brak jakiegokolwiek korelacji, 100% - idealna, funkcyjna zależność korelowanych zmiennych

*Coefficient of determination determines the proportion of variability explained by the linear regression model and takes values from the interval [0, 100]%; extreme values are: 0% - no correlation, 100% - the linear function of correlated variables

anomalnych zawartości metali, co w powiązaniu z małą ich zmiennością i możliwością zastosowania rozkładów normalnych jako modeli teoretycznych ich rozkładów empirycznych, uzasadnia traktowanie zbiorów danych w poszczególnych genotypach jako jednorodnych.

Rozkłady empiryczne zawartości Mn, Ni, Cu dla genotypów prezentowane za pomocą wykresów kwantylowych (rys. 4) wykazują wyraźne przesunięcia, szczególnie dobrze widoczne dla genotypów H, HD, D. W przypadku zawartości Co przebiegi wykresów kwantylowych są bardzo zbliżone w parach genotypów H-HD oraz D-D1. Tę samą prawidłowość obserwuje się także na wykresach „ramka-wąsy” dla tego samego metalu (rys. 3).

Wymienione spostrzeżenia znajdują pełne potwierdzenie w wynikach testu Games-Howell'a (tab. 2). Zbiory zawartości Mn, Ni, Cu wykazują statystycznie istotne (z ryzykiem błędu mniejszym od przyjętego w testowaniu poziomu istotności równego 0.05) zróżnicowanie wartości średnich między wszystkimi genotypami. Nie ma więc podstaw do łączenia jakichkolwiek

nymi (tab. 3). Tylko w przypadku pary zmiennych: zasobność konkrecji – zasobność Co w genotypie H zależność liniowa jest silna, ze współczynnikiem determinacji nieco mniejszym od 80% (75,3%). Współczynniki determinacji dla genotypów D i D1 dla wszystkich zasobności metali przekraczają 90%. Relatywnie najsilniejsze korelacje obserwuje się dla zasobności Mn, nieco słabsze dla zasobności Ni i Cu oraz dla zasobności Co. Generalnie zbliżone siły korelacji dla zasobności poszczególnych metali odnotowuje się dla połączonych zbiorów danych ze wszystkich genotypów (tab. 3).

Podsumowanie i wnioski

1. Zmienność zawartości czterech podstawowych metali (Mn, Ni, Cu i Co) w obrębie wydzielonych genotypów jest mała (ze współczynnikiem zmienności <20%) i nie odbiega znacząco od ocen zmienności dokonanych dla wszystkich połączonych danych, bez wydzielenia genotypów. Wynika to głównie z wewnętrznej jednorodności zbiorów danych, w których nie

ujawniają się wartości anomalne oraz rozkładów empirycznych zawartości metali zbliżonych do normalnych.

2. Zróżnicowanie średnich zawartości Mn, Ni i Cu między wyróżnionymi typami genetycznymi koncentracji nie jest dziełem przypadku. W świetle testu Games'-Howell'a jest ono statystycznie istotne z ryzykiem błędu mniejszym niż 0,05. Nie ma więc podstaw do łączenia zbiorów danych należących do różnych genotypów gdyż prowadzi to do powstania niejednorodnej grupy danych ze względu na średnie zawartości rozpatrywanych metali. Uzyskany wynik uzasadnia celowość szacowania zasobów tych metali oddzielnie dla każdego genotypu co może skutkować podwyższeniem dokładności oszacowań ich całkowitych zasobów. W przypadku zawartości Co pary genotypów H i HD oraz D i D1 można traktować jako jednorodne z punktu widzenia tego metalu.

3. Zasobności metali w obrębie wydzielonych genotypów (podobnie jak i dla połączonych zbiorów danych wszystkich genotypów) są bardzo silnie skorelowane liniowo z zasobnościami koncentracji, co daje podstawy do wiarygodnego prognozowania ich wartości na podstawie modeli regresyjnych.

Podziękowania: Autorzy wyrażają podziękowania Panu Prof. Tomaszowi Abramowskiemu, Dyrektorowi Generalnemu Interoceanmetal za zgodę na udostępnienie materiałów niezbędnych do zrealizowania pracy.

Praca zrealizowana została w ramach grantu dziekańskiego (15.11.140.859) oraz częściowo z badań statutowych Katedry Geologii Żyłowej i Górniczej AGH (nr 11.11.140.320) w 2017 roku.

Literatura

- [1] Abramowski T., Kotliński R. A. (2011): *Współczesne wyzwania eksploatacji oceanicznych kopalni polimetalicznych*. Górnictwo i Geoinżynieria, R 35, z.4/1: 41–61
- [2] Abramowski T., Stoyanova V. (2012): *Deep-sea polymetallic nodules: renewed interest as resources for environmentally sustainable development*. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, Surveying geology and mining ecology management, 1, 515
- [3] Dreiseitl I. (2016): *Deep sea exploration for metal reserves – objectives, methods and look into the future*. In: T. Abramowski (ed.): *Deep sea mining value chain: organization, technology and development*. Interoceanmetal Joint Organization. Szczecin, 105-117
- [4] Kotliński R., Szamałek K. (Eds.) (1998): *Surowce mineralne mórz i oceanów*. Wyd. Nauk. Scholar, 127–184
- [5] Kotliński R. (1999): *Metallogenesis of the world's ocean against the background of oceanic crust evolution*. Polish Geological Institute Special Papers, 4. Warszawa
- [6] Kotliński R. (2010): *Activities of the Interoceanmetal Joint Organization (IOM) in relation to deep seabed mineral resources development*. Proc. „SEABED: THE NEW FRONTIER”, ISA, Madrid, Spain, s. 29
- [7] Kotliński R.A. (2011): *Pole koncentracjonalne Clarion-Clipperton - źródło surowców w przyszłości*. Górnictwo i Geoinżynieria. R. 35, z. 4/1, 195-214
- [8] Kotliński R., Mucha J., Wasilewska M. (2008): *Problemy szacowania zasobów złóż koncentracji polimetalicznych na Pacyfiku*. Gosp. Sur. Min., vol. 24, z. 2/4 Kraków, IGSMiE PAN, 257-266
- [9] Kotliński R., Mucha J., Wasilewska-Błaszczuk M. (2011): *Dokładność szacowania zasobów pacyficznych koncentracji polimetalicznych w obszarze IOM*. Górnictwo Odkrywkowe, R. 52, nr 1–2, 31–36
- [10] Mucha J., Kotliński R., Wasilewska-Błaszczuk M. (2011): *Metodyka szacowania parametrów zasobowych złóż koncentracji polimetalicznych w obszarze Interoceanmetal na Pacyfiku*. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, nr 81, 137-145
- [11] Mucha J., Kotliński R., Wasilewska-Błaszczuk M. (2011): *Zasoby koncentracji - procedury i wymagania dla ich szacowania na przykładzie obszaru IOM w polu Clarion- Clipperton*. Górnictwo i Geoinżynieria. R. 35, z. 4/1 291-302
- [12] Mucha J., Wasilewska-Błaszczuk M., Kotliński R.A., Maciąg Ł. (2013): *Variability and Accuracy of Polymetallic Nodules Abundance Estimations in the IOM Area – Statistical and Geostatistical Approach*. Proc. of the Tenth ISOPE Ocean Mining and Gas Hydrates Symposium Szczecin, Poland, September 22-26, 2013, 27-31
- [13] Mucha J., Wasilewska-Błaszczuk M. (2013): *The Contouring Accuracy of Polymetallic Nodules Ore Fields in the Interoceanmetal (IOM) Area, East Pacific Ocean*. Proc. of the Tenth ISOPE Ocean Mining and Gas Hydrates Symposium Szczecin, Poland, September 22-26, 2013, 53-57
- [14] Mucha J., Wasilewska-Błaszczuk M., Auguścik J. (2015): *Variability and indirect method of cobalt abundance estimation in the polymetallic nodules, the INTEROCEANMETAL exploration area, Pacific Ocean*. Proceedings of IAMG 2015 Freiberg, September 5-13, 2015. *The 17th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences*, 1372 pages, ISBN 978-3-00-050337-5 (DVD), Helmut Schaeben, Raimon Tolosana Delgado, K. Gerald van den Boogaart, Regina van den Boogaart (Eds.) (2015), 1085-1092
- [15] Mucha J., Wasilewska-Błaszczuk M., Auguścik J., Wójtowicz J. (2015): *Prognozowanie zasobności wytypowanych metali w złożu koncentracji na Pacyfiku oparta na modelach regresyjnych (strefa Clarion-Clipperton, obszar INTEROCEANMETALU)*. Górnictwo Odkrywkowe, R. 56, nr 5, 5–8
- [16] Nieć M. (red), Mucha J., Sobczyk E.J., Wasilewska-Błaszczuk M. (2012): *Metodyka dokumentowania złóż kopalni stałych*. Tom IV. Szacowanie zasobów. Aneks, 177-228
- [17] Stanisław A. 2007 – *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach medycyny*. StatSoft Polska
- [18] STATGRAPHICS® Centurion XVII, User Manual 2017 by Statpoint Technologies, Inc.