

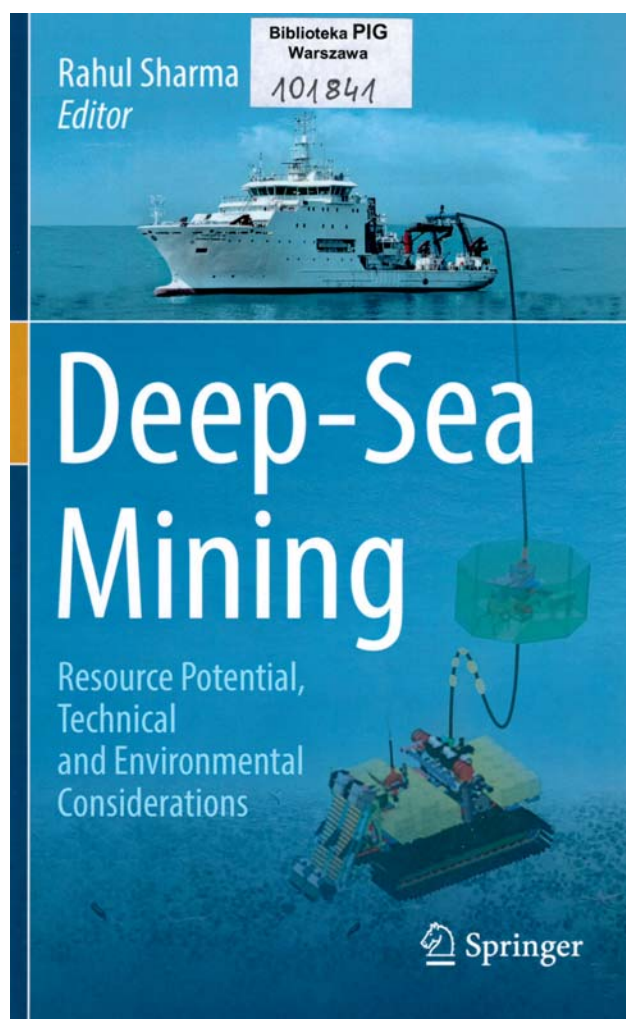
R. SHARMA (red.) – Deep-Sea Mining. Resource Potential, Technical and Environmental Considerations. Springer 2017, 535 s., 213 ryc., 84 tab.

Badania zasobów mineralnych oceanu światowego są prowadzone przez społeczność międzynarodową z coraz większą intensywnością zarówno przez państwa, jak i organizacje gospodarcze. Wiedza o zasobach mineralnych oceanu jest zatem stale uzupełniana o nowe fakty i hipotezy związane z genezą, zasobami, możliwościami zagospodarowania i wykorzystania kopaliny. Omawiana monografia mieści się w nurcie współczesnych zaawansowanych badań surowcowych oceanów. Składa się z czterech części: I – *Deep-Sea Minerals: Distribution Characteristics and Their Resource Potential*, II – *Deep-Sea Mining Technology: Concepts and Applications*, III – *Metallurgical Processing and Their Sustainable Development*, IV – *Environmental Concerns of Impact of Deep-Sea*.

Część I zawiera 8 rozdziałów przygotowanych przez międzynarodowych specjalistów z różnych obszarów wiedzy, związanej z poszczególnymi grupami kopaliny. Rozdział 1 *Deep-Sea Mining: Current Status and Future Considerations* autorstwa redaktora monografii dr. Rahula Sharmy, reprezentującego indyjski instytut oceanograficzny, ma charakter wprowadzenia w problematykę informacji o kontraktorach *International Seabed Authority* (ISA) i obszarach ich działania, zagrożeniach środowiska oceanicznego przez przyszłą eksploatację morskich zasobów mineralnych i badaniach tego zagrożenia, technologii eksploatacji i potencjalnych zasobach kopaliny morskich.

Rozdział 2 *Composition, Formation and Occurrence of Polymetallic Nodules* został przygotowany przez zespół niemieckich naukowców (Thomas Kuhn, Anna V. Wegorzewski, Carsten Rühleman oraz Annemiek Vink) z German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR). W rozdziale tym (wzbogaconym w liczne fotografie, rysunki i tabele) przedstawiono sumaryczną wiedzę o klasyfikacji konkrecji, szczegółach ich struktury i tekstury, składzie chemicznym i mineralnym, tempie i procesach powstawania konkrecji, rozmieszczeniu i zasobach. Autorzy zaprezentowali bardzo szeroki przegląd najnowszej literatury dotyczącej badań konkrecji. Rozdział napisany jest bardzo profesjonalnie, przejrzysto i jasno. Trudne zagadnienia procesów powstawania konkrecji i wpływu różnych czynników na ten proces omówiono bardzo kompetentnie.

Kolejny rozdział *Marine Co-Rich Ferromanganese Crust Deposits: Description and Formation, Occurrences and Distribution, Estimated World-wide Resources* jest autor-



stwa zespołu znakomitych naukowców, dobrze znanych osobom zajmującym się badaniami kopaliny oceanicznych. Są to profesorowie Peter E. Halbach i Georgy Cherkashov oraz przedstawiciel młodszego pokolenia Andreas Jahn. To chyba najważniejszy naukowo rozdział książki. Zawarto w nim zarówno przegląd literatury, jak i efekty własnych licznych prac (zwłaszcza prof. Halbacha). Mimo prawie identycznego składu chemicznego i mineralnego konkrecji oraz naskorupień, geneza tych ostatnich jest silnie związana z obecnością podmorskich gór i gujotów. Ich powstawanie związane jest głębokimi partiami oceanu (często poniżej 5 tys. m), a zatem poniżej linii OMZ (strefa minimalnej zawartości tlenu – *oxygen-minimum zone*) i CCD (głębokość kompensacji węgla wapnia). Szczegółowo omówiono

reakcje chemiczne prowadzące do wytrącania związków manganu, które tworzą pokrywę na podłożu skał płonnych (głównie bazaltów). Rozdział zawiera także bardzo interesujące wyniki analizy zawartości pierwiastków REE spośród, których największe zawartości średnie dotyczą ceru – 996 ppm, lantanu – 228 ppm czy neodymu – 163 ppm. Do chwili obecnej nie przeprowadzono tak szczegółowych badań złóżowych naskorupień, jak konkrecji w polu Clarion-Clipperton. Ale można już formować wnioski ogólne, że naskorupienia występują na zboczach, wierzchołkach i stropowych platformach gór podmorskich i gujotów, zwłaszcza na Pacyfiku. Według przyjętych przez autorów założeń łączne zasoby naskorupień we wszystkich oceanach oszacowano na $35,1 \times 10^9$ t materiału rudnego (z czego $23,6 \times 10^9$ t przypada na Pacyfik). W naskorupieniach występuje wysoka zawartość wielu pierwiastków, a wśród nich (dane dla Pacyfiku w ppm): Ni 4849, Co 7084, REE 1060, Cu 434, Zn 450, Pt 450. Autorzy przedstawiają także podział i rozmieszczenie potencjalnych pól złóżowych w oceanach wraz z szacunkiem ich zasobów.

Rozdział 4 autorstwa George'a Cherkashova *Seafloor Massive Sulphide Deposits: Distribution and Prospecting* zawiera syntezę danych o badaniach polimetalicznych siarczków hydrotermalnych. Omówiona jest historia ich odkrycia i poznania, związek ze strefami spreadingu dna oceanicznego, morfologia nagromadzeń siarczków na dnie (czarne kominy). Przedstawiono szczegółową charakterystykę mineralną rud siarczkowych oraz mechanizmy prowadzące do ich wytrącania.

Kolejny rozdział jest poświęcony fosforytom. Został napisany przez H. Kudrassa, R. Wooda i R. Falconera i nosi tytuł *Submarine Phosphorites: The Deposits of the Chatham Rise, New Zealand, off Namibia and Baja California, Mexico – Origin, Exploration, Mining, and Environmental Issues*. Autorzy szczególnie dużo miejsca poświęcają zasobom fosforytów z Chatham Rise. Jest to najlepiej do tej pory zbadany i opisany fosforytonośny oceaniczny obszar złóżowy. Szczegółowo przedstawiono proces powstawania fosforytów, ich zmian diagenetycznych od wczesnego miocenu do współczesności, charakterystykę chemiczną i mineralną oraz morfologię konkrecji. Z pola Chatham eksploatowano już konkrecję, jednak pod wpływem nacisku opinii publicznej, wyrażającej troskę o faunę bentoniczną, wydobycie znacznie ograniczono.

W rozdziale 6 *Predictive Mapping of the Nodule Abundance and Mineral Resource Estimation in the Clarion-Clipperton Zone Using Artificial Neural Networks and Classical Geostatistical Methods*, przygotowanym przez niemiecki zespół badawczy w składzie: A. Knobloch, T. Kuhn, C. Rühleman, T.Z. Hertwig, K.O. Zeissler i S. Noack, przedstawiono teoretyczne podstawy modelowania określania zasobów konkrecji w polu CCZ, przy zastosowaniu m.in. sztucznych sieci neuronowych. Autorzy wykazują, że wartością graniczną dla liczenia zasobów (*cut-off grade*) jest 10 kg/m^2 suchych konkrecji oraz $\sim 15 \text{ kg/m}^2$ konkrecji mokrych. Przedstawiana metodyka liczenia zasobów odniesiona jest także do standardu JORC (powszechnie już wymaganego w surowcowych projektach inwestycyjnych).

Nieco podobne zagadnienia są zawarte w kolejnym rozdziale *Statistical Properties of Distribution of Mangane Nodules in Indian and Pacific Oceans and Their Applications in Assessing Commonality Levels and in Exploration Planning*, autorstwa T.R.P. Singha i M. Sudhakara.

Zawiera on rozważania dotyczące wykorzystania metod statystycznych do oznaczenia zmienności występowania konkrecji w polach złóżowych. Porównanie parametrów złóżowych konkrecji na obu oceanach prowadzi autorów do wniosku, że wymiary pól złóżowych na Pacyfiku są 10 razy większe od tych w centralnej części Oceanu Indyjskiego.

Rozdział 8 *Assesment of Distribution Characteristics of Polymetallic Nodules and Their Implications on Deep-Sea Mining* napisał redaktor książki R. Sharma. Skoncentrował się na omówieniu ważnych dla technologii wydobywania parametrach, takich jak: wielkość konkrecji, stopień pokrycia dna konkrecjami, wydajność konkrecji z metra kwadratowego dna, rozmieszczenie konkrecji w związku z topografią dna. Na podstawie analizy tych parametrów przedstawia różne scenariusze wielkości wydobywania, wskazując na optymalne jego wielkości. Autor oblicza, że wydobycie konkrecji z pola złóżowego (rozmiar 4,3–12,8 tys. km^2) będzie się wahało w zakresie od ok. 3 do 10 tys. t konkrecji/dzień.

Część II *Deep-Sea Mining Technology: Concepts and Applications*, poświęconą technologii górnictwa głębokomorskiego, otwiera rozdział autorstwa T. Yamazaki *Fundamental Geotechnical Considerations for Design of Deep-Sea Mining Systems*. Zawarto w nim wyczerpujące informacje o właściwościach fizykomechanicznych potencjalnych kopalin głębokomorskich i im przeznaczonych metod eksploatacji zarówno metodą drag, jak i metodą hydrauliczną.

W rozdziale 10 autorstwa M.A. Atminda i G.A. Ramadassa *Concepts of Deep-Sea Mining Technologies* omówiono zagadnienia rozwoju technologii wydobywczych konkrecji z uwzględnieniem doświadczeń i osiągnięć indyjskich instytucji naukowo-badawczych. Badania przeprowadzono zarówno na próbkach konkrecji naturalnych pobranych z Oceanu Indyjskiego, jak i konkrecji wyprodukowanych specjalnie do testów technologicznych.

Autorami rozdziału 11 *An Application of Ocean Mining Technology: Deep Ocean Water Utilization* są K. Otsuka oraz K. Ouchi. Koncentrują się oni na zagadnieniu składu chemicznego wody oceanicznej oraz jej właściwości (temperatura, dynamika ruchu wody oceanicznej). Proponują wykorzystanie wody oceanicznej do wytwarzania m.in. energii elektrycznej, pozyskiwania metali rzadkich.

Część III *Metallurgical Processing and Their Sustainable Development* składa się z trzech rozdziałów. Rozdział 12 *Metallurgical Processing of Polymetallic Ocean Nodules* (R.P. Das i S. Amand) zawiera przegląd informacji zarówno historycznych, jak i bieżących o badaniach i rozwoju technologii przerobu konkrecji. Autorzy opisują zalety i wady stosowanych przez różne kraje i konsorcja technologii przerobu konkrecji. W tej części publikacji znajdują się ważne odniesienia do Interocyanometalu i rozwijanej przez IOM metody hydrometalurgicznej przerobu konkrecji.

W rozdziale 13 *Sustainable Processing of Deep-Sea Polymetallic Nodules* prof. P.K. Sen z Indian Institute of Technology zajmuje się charakterystyką technologii przerobu konkrecji, porównując je przede wszystkim z technologiami przerobu ładowych złóż laterytowych, z których pozyskuje się Ni, Cu i Co. Te same metale w postaci żelazokopców będą uzyskiwane z konkrecji. Koniecznym jest określenie charakteru i walorów technologii przerobu konkrecji ze względu na bilans energetyczny procesu, zanie-

czyszczenie środowiska, możliwości wprowadzenia zasad *circular economy* w ten proces.

Ostatni w tej części rozdział *Sustainable Development and Its Application to Mine Tailings of Deep Sea Minerals* został napisany przez J.C. Wiltshire'a z Univesity of Hawaii. Autor zajmuje się możliwościami wykorzystania w różnych obszarach odpadów poprocesowych związanych z górnictwem podmorskim. Wskazuje tu głównie rolnictwo i poprawę właściwości gleb poprzez dodatki odpadów żelazo i manganonośnych, ale także wykorzystanie przez przemysł ceramiczny.

Część IV *Environmental Concerns of Impact of Deep-Sea Mining* zawiera cztery rozdziały. Pierwszy z nich (15) *Recent Developments in Environmental Impact Assessment with Regard to Mining of Deep-Sea Mineral Resources* został przygotowany przez zespół japońskich uczonych: Y. Shirayama, H. Itoh, T. Fukushima i jest poświęcony zasadniczemu problemowi związanemu z podmorską eksploatacją, tj. wpływu tej eksploatacji na środowisko przyrodnicze dna oceanicznego. Autorzy opisują wykonane do tej pory prace badawcze na poligonach kontraktorów ISA w zakresie oddziaływania, zwłaszcza na bentos, tej eksploatacji i wskazywania ścieżek ograniczania negatywnego wpływu na to środowisko.

Autorami rozdziału 16 pt. *Taxonomic Problems in Environmental Impact Assessment (EIA) Linked to Ocean Mining and Possibility of New Technology Developments* są T. Fukushima i M. Nishijima. Opisują oni trudności w określaniu stopnia szkodliwości eksploatacji podmorskiej dla morskiego życia organicznego z powodu braku dostatecznej identyfikacji i klasyfikacji żyjących w oceanach organizmów, zwłaszcza mikroorganizmów. Brak określenia tych organizmów referencyjnych dla oceny wpływu eksploatacji na świat organiczny powinien zostać jak naj-

szybciej usunięty poprzez zintegrowane międzynarodowe badania taksonomiczne.

W rozdziale 17 *Development of Environmental Management Plan for Deep-Sea Mining* R. Sharma analizuje zagadnienia wpływu eksploatacji podmorskiej na środowisko organiczne oraz wód dennych. Autor przedstawia koncepcję powołania nowej specjalnej jednostki *Environmental Management Office* do struktury organizacyjnej kontraktora, której zadania byłyby związane z określeniem potencjalnego i rzeczywistego oddziaływania na środowisko i wskazywanie ścieżek eliminacji/ograniczania tego wpływu oraz monitoring rozwoju procesu.

Rozdział 18 *The Crafting of Seabed Mining Ecosystem-Based Management* napisał Y. Henocque z francuskiego Institute for the Sustainable Development of the Sea (IFREMER). Przedstawia on globalne problemy świata i oczekiwania w zakresie zrównoważonego podejścia do rozwoju cywilizacji, zagrożeń, jakie ona niesie ze sobą, konieczności zintegrowanego zarządzania oceanami zarówno strefy przybrzeżnej, jak i mórz wewnętrznych oraz oceanów. Podkreśla rolę wiedzy, jaką należy gromadzić i rozwijać, aby zrozumieć procesy naturalne i cywilizacyjne i ich wzajemne relacje.

Co bardzo ważne dla czytelnika, który zajmuje się nauką, książka zawiera bogaty indeks merytoryczny oraz bardzo obfitą literaturę zarówno tę o znaczeniu historycznym, jak i najnowszą. Z całym przekonaniem polecam lekturę tej pozycji wszystkim, którzy zajmują się zagadnieniami badań oceanów w aspekcie surowców mineralnych, ale także badań świata organicznego, oceanologii, technologii przerobu rud, międzynarodowych stosunków gospodarczych.

Krzysztof Szamalek
Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy