

## Czy ptaki mogą być indykatorami zanieczyszczenia środowiska rtęcią?

**Patrycja Płońska**

*Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii  
p.ploska1@gmail.com*

**Tutor: dr hab. Anita Lewandowska prof. nadzwyczajny**

*Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii  
Zakład Chemii Morza i Ochrony Środowiska Morskiego*

**Słowa kluczowe** – *rtęć, ptaki, objawy neurologiczne i fizjologiczne zatrucia rtęcią*

Rtęć (łac. *hydrargyrum*) jest silnie toksycznym pierwiastkiem chemicznym, oznaczanym symbolem Hg. Ma ona bardzo negatywny wpływ na zdrowie ludzi i zwierząt, w tym ptaków. Potocznie nazywana jest „żywym srebrem”. Jest to pierwiastek naturalnie występujący w środowisku. Stanowi  $8,5 \cdot 10^{-6}$  procenta skorupy ziemskiej (Jonasson, 1970). Wydobywany jest jako rtęć rodzima (rzadko) lub w formie minerałów. Spośród nich najczęściej spotykany jest cynober. Ponieważ rtęć nie miesza się geochemicznie z innymi pierwiastkami tworzącymi skorupę ziemską, jej rudy mogą być niezwykle skoncentrowane (Rytuba, 2003). Z biegiem czasu geologicznego naturalne procesy, takie jak: aktywność biologiczna i wulkaniczna, pożary, ruchy wód rzecznych i jeziornych, prądy oceaniczne czy upwellingi doprowadziły do dystrybucji rtęci w środowisku (Risher i in., 2002).

Rtęć w środowisku występuje w trzech formach: rtęci pierwiastkowej, nieorganicznych związków rtęci (głównie chlorku rtęci) i organicznych soli rtęci (II) (głównie metylortęci) (US EPA, 2000). W środowisku naturalnym rtęć pierwiastkowa może wchodzić w połączenia z chlorkami, siarczkami, fosforanami i innymi pierwiastkami dając związki nieorganiczne. Z kolei przy współdziałaniu mikroorganizmów rtęć nieorganiczna może wiązać się z węglem, co prowadzi do powstawania organicznych związków rtęci. Spośród nich najbardziej rozpowszechniona jest metylortęć (Risher i in., 2002).

Odzyskiwanie rtęci i sposoby jej wykorzystania opisywano już w czasach starożytnych, na początku drugiego tysiąclecia p.n.e. Doniesienia na temat cynoberu sięgają nawet czwartego wieku p.n.e. W dawnych czasach rtęć najchętniej stosowali magowie, zarówno do czarnej, jak i do białej magii. Dodawali jej do magicznych mikstur. Próbowali także przy udziale rtęci pozyskać złoto z metali nieszlachetnych. Z kolei rzymski pisarz, Pliniusz Starszy, w pierwszym wieku n.e. opisał ekstrakcję rtęci w wyniku destylacji i kondensacji, celem jej wykorzystania w górnictwie. W XVIII wieku stosowano związki rtęci do utwardzania filcu, na przykład przy wytwarzaniu kapeluszy (The New Encyclopedia Britannica, 1995).

Przez ostatnie 100 lat ilość używanej rtęci na cele produkcyjne na zmianę rosła i malała. Bardzo duże wydobycie tego pierwiastka zanotowano w czasie Pierwszej Wojny Światowej. Wówczas rtęć, w postaci wybuchowego piorunianu rtęci, używana była do produkcji amunicji do broni niewielkich rozmiarów. Kolejny wzrost wydobycia rtęci nastąpił w latach 40. XX wieku i ponownie związany był z okresem wojennym. W czasie Drugiej Wojny Światowej masowo wykorzystywano rtęć do produkcji naboju i broni wybuchowej. Ostatni, a zarazem największy w XX wieku, wzrost wydobycia rtęci przypadł na lata 1950-1990. W

tym czasie na całym świecie tworzone rezerwy rtęci, w obawie przed kolejną wojną światową (Davis, 2014). W międzyczasie pierwiastek ten wykorzystywany był także do wytwarzania fabrycznych chemikaliów, zastosowań elektrycznych i elektronicznych, produkcji termometrów, czy wyrobu lamp fluorescencyjnych. W medycynie Hg używana była do wyrobu różnego rodzaju leków (np. na kiłę, dur brzuszny, pasożyty), maści, wypełnień stomatologicznych, soczewek kontaktowych, kosmetyków oraz aparatury medycznej tj. termometry, ciśnieniometry itp. (Iqbal i Asmat, 2014). Obecnie rtęć w formie gazowej emitowana jest do atmosfery w procesach spalania węgla oraz ropy naftowej, produkcji ołowiu, cynku, stali i cementu, w trakcie spalania odpadów, a na małą skalę także przy oczyszczaniu złota po jego wydobyciu. Szacuje się, że w ciągu ostatnich 200 lat dopływ rtęci ze źródeł antropogenicznych zwiększył się nawet siedmiokrotnie. Między XV i XVIII wiekiem wyprodukowano około 106 000 ton rtęci, a w przeciągu dwóch kolejnych wieków ilość ta wzrosła do ponad 816 000 ton (Hylander i Meili, 2003).

Wyemitowana do atmosfery rtęć przechodzi szereg transformacji. Rtęć gazowa ( $Hg^0$ ) w obecności ozonu ( $O_3$ ) ulega utlenieniu do tlenku rtęci ( $HgO$ ). Może też reagować z atomami, związkami i rodnikami chlorków, bromków i jodków. Są one składnikami głównie morskich aerozoli, rzadziej obecnych w atmosferze obszarów lądowych oddalonych od strefy brzegowej morza. Rtęć występuje także w różnych formach w kroplach deszczu, mgle i chmurach. Rozpuszczona w wodzie  $Hg^0$  może zostać utleniona i przejść w formę jonową  $Hg^{2+}$ . Transformacje, jakim podlega rtęć w atmosferze zależą od temperatury powietrza, nasłonecznienia, obecności innych zanieczyszczeń i reakcji chemicznych, w które wchodzi ten związek (Gworek i in., 2017).

Dzięki zdolnościom rtęci do łączenia się z wieloma składnikami, stała się ona globalnym zanieczyszczeniem, występującym nawet w rejonach odległych od źródeł emisji (Wilson i in., 2006). W warunkach beztlenowych, tak w wodach słonych, jak i słodkich (tj. bagna i jeziora) może dojść do transformacji rtęci nieorganicznej w metylortęć (Driscoll i in., 2007). Jest to, w porównaniu z rtęcią nieorganiczną, bardziej biodostępna i toksyczna forma tego związku tak dla ptaków, jak i innych organizmów (Thompson i Furness, 1989; Driscoll i in., 2007).

Na bioakumulację metylortęci w organizmie najbardziej narażone są drapieżniki żyjące w środowisku wodnym. Ich głównym pożywieniem są różnego rodzaju ryby oraz mięczaki. Badania naukowe dowodzą, że duże drapieżne ryby charakteryzują się najwyższymi stężeniami rtęci. I odwrotnie, im mniejsze ryby, których pożywieniem są organizmy z niskich poziomów troficznych, tym mniejsze jest w nich stężenie rtęci. Tak więc im wyżej dany organizm znajduje się w sieci troficznej tym bardziej niebezpieczną toksyną staje się dla niego rtęć (Evers i in., 2005). Szczególną uwagę należy poświęcić bentosowym rybom drapieżnym, takim jak np. granik (łac. *Epinephelus diacanthus*). Pobierają one toksynę nie tylko z pokarmem, ale dodatkowo z otaczającej je wody naddanej. Prowadzi to do wzrostu stężenia rtęci w ich organizmie (Hosseini i in., 2013).

Rybam żywią się między innymi ptaki, co może prowadzić do wzrostu stężenia rtęci w ich organizmach. Dotyczy to na przykład kormorana czarnego (łac. *Phalacrocorax carbo*), w którego diecie dominują bentosowe ryby drapieżne z rodziny karpiovatych (łac. *Cyprinidae*) i okoniowatych (łac. *Percidae*) [CITATION Ste97 \l 1045]. Stwierdzono, że stężenie rtęci u tych ptaków jest kilkukrotnie wyższe niż u pingwina afrykańskiego (łac. *Spheniscus demersus*), karmionego tylko śledziami (łac. *Clupea harengus*), czyli planktonożernymi rybami pelagicznymi (Bełdowska i Falkowska, 2016). Zatrucie ptaków rtęcią może przyjmować niepokojące objawy. Badania naukowe najczęściej skupiają się na wpływie akumulacji rtęci na reprodukcję. Jednakże, zanim do tego dojdzie, u ptaków zachodzi szereg zmian w ich zachowaniu, neurologii i fizjologii. Jedną z pierwszych konsekwencji wysokiego stężenia rtęci jest ospałość, utrata apetytu, a także zmniejszona motywacja do poszukiwania pożywienia (Bouton i in., 1999). Ptaki więcej czasu poświęcają na odpoczynek, a mniej na takie aktywności, jak czyszczenie piór czy dbanie o potomstwo (Evans i in., 2008). Rtęć jako neurotoksyna wpływa także negatywnie na obniżenie czasu reakcji u ptaków oraz na utrzymanie przez nie równowagi (Spalding i in., 2000). Poza tym metylortęć hamuje produkcję hemu, składnika hemoglobiny, odpowiadającego za wiązanie i transportowanie tlenu we krwi. Obecność tego związku w organizmie ptaka prowadzi do zmniejszenia jego wydajności. Takie ptaki nie mogą pozwolić sobie na długodystansowe loty, co ogranicza ich możliwości migracyjne. Nie są w stanie także przez długi czas wstrzymać powietrza, co z kolei uniemożliwia im swobodne nurkowanie (Olsen i in., 2000). W konsekwencji prowadzi to do ograniczonego dostępu do pokarmu. Metylortęć wykazuje ponadto powinowactwo do keratyny, przez co duże jej ilości wiązane są w rosnących piórach ptaków. Do wzrostu piór potrzebna jest energia,

która zapewniana jest przez białka w tkance mięśniowej (Fournier i in., 2002). Jeśli magazynowana jest w niej w dużych ilościach metylortęć w upierzeniu ptaków odnotowuje się asymetrię (Evers i in., 2008).

Opisane powyżej objawy neurologiczne i fizjologiczne mogą dotyczyć nie tylko ptaków, czy zwierząt bytujących w rejonach nadmorskich, ale także ludzi. Świadczy o tym historia miasta Minamata, położonego w Japonii. W XIX wieku założono w nim fabrykę chemikaliów. Około 50 lat później u okolicznych mieszkańców zdiagnozowano chorobę, której nadano nazwę Minamata. Objawiała się ona trudnościami w chodzeniu, mówieniu, widzeniu oraz bezustannymi drgawkami. Ludzie często zapadali także w śpiączkę. Jak się okazało odpowiedzialna za to była okoliczna fabryka, z której do zatoki wpuszczano ogromne ilości ścieków zanieczyszczonych metylortęcią. Poza objawami choroby odnotowywanymi u ludzi, zaobserwowano zmiany w zachowaniu ryb bytujących w pobliskiej zatoce. Dochodziło nawet do ich śnięcia. Inne niepokojące objawy dotyczyły otwierania się muszli małż i ich gnicia oraz upadków ptaków w czasie wykonywanych przez nie lotów. Najbardziej szokujące było jednak szaleńcze zachowanie kotów. Z ich pysków wydzielaly się ogromne ilości śliny, a ciałem wstrząsały drgawki. Ponadto koty te nie były w stanie prosto chodzić. W konsekwencji wiele z nich wpadało do morza i ginęło. Doprowadziło to do zaniku populacji kotów, z których wcześniej słynęła Minamata (Harada, 1995).

W literaturze naukowej problem zatrucia ptaków morskich związkami rtęci w konsekwencji spożywania ryb został w dużym stopniu rozpoznany. Jakkolwiek mniej uwagi poświęca się ptakom hodowlanym, których pożywienie często jest wzbogacane o przetworzone ryby. Kilka lat temu w Polsce głośno było o mączce rybnej, dodawanej do paszy, którą karmiono kury. Wytwarzana jest ona zazwyczaj z ryb, które nie nadają się do konsumpcji przez ludzi, gdyż są zbyt małe lub wybrakowane. Do mączki rybnej dodawane są dodatkowo kości i inne zwierzęce odpady poprodukcyjne (Miles i Chapman, 2018). W 2008 roku EFSA (European Food Safety Authority) opublikował raport na temat zawartości rtęci w produktach odzwierzęcych spożywanych w Europie. Wskazano w nim, że w największym stopniu zanieczyszczona jest mączka rybna. Maksymalne stężenie rtęci dochodziło w niej do 0,5 mg/kg produktu. U kur niosek (łac. *Anas platyrhynchos*), których dieta bazowała na mączce rybnej stężenia metylortęci wynosiły nawet od 5 do 20 mg/kg masy ciała. Kury te składały jaja zawierające od 7 do 55 mg Hg/kg, z czego od 95 do 100% stanowiła metylortęć. Jej dominująca część odkładana była w białku jaj [ CITATION Hei04 \l 1045 ]. Wysokie było także stężenie rtęci w organizmie jednodniowych kurcząt. Określono je na 5 mg Hg/kg masy ciała (Soares i in., 1973). W dorosłych kurach stężenie rtęci średnio wynosiło 44 mg/kg masy ciała (Lundholm, 1995).

Opisane powyżej rezultaty uzyskano kilkadziesiąt lat temu. Od tego czasu zmienił się sposób hodowli kur oraz ich przetwarzania na cele spożywcze. Zmieniła się także dieta ludzi oraz ich podejście do spożywanych produktów. Na przykład w Polsce zmalało znacząco spożycie „czerwonego” mięsa na rzecz mięsa drobiowego. W raporcie GUS (Główny Urząd Statystyczny, 2017) wskazano, że całkowite spożycie mięsa na jednego Polaka w roku 2016 wyniosło 73,4 kg. Z tego na mięso drobiowe przypadło średnio 40%. W danym roku każdy mieszkaniec naszego kraju spożył także średnio 145 sztuk jaj kurzych oraz blisko 13 kg ryb i owoców morza (Główny Urząd Statystyczny, 2018). Wszystkie z tych produktów spożywczych mogły w swoim składzie zawierać rtęć. Badania dotyczące zawartości metali ciężkich w artykułach spożywczych dopuszczonych do obrotu wykonuje Państwowy Instytut Weterynarii, jednak są one trudno dostępne dla przeciętnego obywatela. To samo dotyczy karmy podawanej drobiowi czy produktów drobiopochodnych. O ile badania zawartości rtęci w rybach i innych zwierzętach morskich są powszechnie dostępne i ustawicznie aktualizowane o nowe informacje, o tyle doniesienia na temat ptactwa hodowlanego, spożywanego przez człowieka wymagają dalszej uwagi naukowców. Biorąc jednak pod uwagę, jak łatwe do interpretacji są objawy zatrucia rtęcią u dzikiego ptactwa można uznać, że hodowcy drobiu bez problemu odnotowałyby zachodzące w nim zmiany fizjologiczne i neurologiczne. Ptaki są bowiem świetnymi indykatorami zanieczyszczenia środowiska rtęcią.

Jeżeli w swoim otoczeniu zauważycie dziwnie opierzone stado osowiałych ptaków pomyślcie, że w ich organizmie może być wysokie stężenie toksycznej rtęci. Powinno Was to zaalarmować i zniechęcić do spożywania ryb z pobliskich zbiorników wodnych. To nimi prawdopodobnie żywiły się ptaki, których widok Was zaniepokoił. Bądźcie ostrożni zwłaszcza w przypadku ryb drapieżnych, bo to w nich tosyta ta będzie występować w najwyższych stężeniach. Pamiętajcie jednak, że ryby są z zasady zdrowym pożywieniem i ważnym składnikiem zbalansowanej diety.

## Literatura

- Beldowska, M. i Falkowska, L., 2016. Mercury in marine fish, mammals, seabirds, and human hair in the coastal zone of the southern Baltic. *Water, Air, and Soil Pollution*. 1–11. doi:10.1007/s11270-015-2735-5.
- Bouton, S. N., Frederick, P. C., Spalding, M. G. i McGill, H., 1999. *Effects of chronic, low concentrations of dietary methylmercury on the behavior of juvenile great egrets. Environmental Toxicology and Chemistry*, 1934–1939. doi:10.1002/etc.5620180911.
- Davis, K. J., 2014. *From Miracle Metal to Global Health Risk: A 100-Year History of Mercury Prices and Production*. <https://geovisualist.com/2014/02/23/from-miracle-metal-to-global-health-risk-a-100-year-history-of-mercury-prices-and-production/> [dostęp 20 X 2018]
- Driscoll, C.T.; Young-Ji, H.; Chen, C.Y.; Evers, D.C.; Lambert, K.F.; Holsen, T.M.; Kamman, N.C.; Munson, R.K., 2007. *Mercury Contamination in Forest and Freshwater Ecosystems in the Northeastern United States. BioScience* (57), 17–28. doi:10.1641/B570106.
- Evers, D., Burgess, N., Champoux, L., Hoskins, B., Major, A., Goodale, W., Daigle, T., 2005. *Patterns and interpretation of mercury exposure in freshwater avian communities in northeastern north America. Ecotoxicology* (14), 193–221. doi:10.1007/s10646-004-6269-7.
- Evers, D., Savoy L., J., DeSorbo, C., Yates, D., E., Hanson, W., Taylor, K., M., Siegel, L., S., John H. Cooley Jr, J., H., Bank, M., S., Major A., Munney, K., Mower, B., F., Vogel, H., S., Schoch, N., Pokras, M., Goodale, M., W., Fair, J., 2008. *Adverse effects from environmental mercury loads on breeding common loons. Ecotoxicology*, 17(2), 69–81. doi:10.1007/s10646-007-0168-7.
- Fournier, F., Karasov, W., Kenow, K., Meyer, M., Hines, R., 2002. *The oral bioavailability and toxicokinetics of methylmercury in common loon (Gavia immer) chicks. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 133(3), 703–714.
- Główny Urząd Statystyczny, 2018. *Rocznik statystyczny rolnictwa 2017*. Warszawa, Zakład Wydawnictw Statystycznych.
- Gworek, B., Dmuchowski, W., Baczevska, A. H., Brągoszewska, P., Bemowska-Kalabun, O., Justyna, W. J., 2017. *Air Contamination by Mercury, Emissions and Transformations – a Review. Water Air Soil Pollution*. doi:10.1007/s11270-017-3311-y.
- Harada, M., 1995. *Minamata Disease: Methylmercury Poisoning in Japan Caused by Environmental Pollution. Critical Reviews in Toxicology*, 25(1), 1–24. doi:10.3109/10408449509089885.
- Heinz, G. i Hoffman, D., 2004. *Mercury accumulation and loss in mallard eggs. Environmental Toxicology and Chemistry* 23(1), 222–4. DOI: 10.1897/03-111.
- Hosseini, M., Nabavi, S. M. i Parsa, Y., 2013. *Bioaccumulation of Trace Mercury in Trophic Levels of Benthic, Benthopelagic, Pelagic Fish Species, and Sea Birds from Arvand River, Iran. Biological Trace Element Research* (16), 175–180. doi:10.1007/s12011-013-9841-2.
- Hylander, L. D., Mcili, M., 2003. *500 years of mercury production: global annual inventory by region until 2000 and associated emissions. The Science of the Total Environment* (304), 13–27.
- Iqbal, K. i Asmat, M., 2014. *Uses and effects of mercury in medicine and dentistry. Journal of Ayub Medical College* (24), 3–4.
- Jonasson, I., 1970. Mercury in the natural environment. A review of recent work. *Geol Surv Can.*
- Lundholm, C., 1995. *Effects of methyl mercury at different dose regimes on eggshell formation and some biochemical characteristics of the eggshell gland mucosa of the domestic fowl. Comp. Biochem. Physiol. C. Pharmacol. Toxicol. Endocrinol.*, 23–28.
- Miles, R. D., Chapman, F., 2018. FA122. University of Florida IFAS Extension: <http://edis.ifas.ufl.edu/fa122> [dostęp 20 X 2018]
- Olsen, B., Evers, D., Desorbo, C., 2000. *Effect of methylated mercury on the diving frequency of the common loon. Journal of Ecological Research* (2), 67–72.
- Risher, J. F., Murray, H. E., Prince, G. R., 2002. *Organic mercury compounds: human exposure and its relevance to public. Toxicology and Industrial Health*, 109–160.
- Rytuba, J. J., 2003. *Mercury from mineral deposits. Environmental Geology* (43), 326–338.
- Soares, I. H., Miller, D., Lagally, H., Stillings, B., Bauersfeld, P., Cuppett, S., 1973. *The comparative effect of oral ingestion of methyl mercury on chicks and rats. Poult. Sci.*, 452–458.
- Spalding, M., G., Frederick, P., C., McGill, H., C., Bouton, S., N., Richey, L., J., Schumacher, I., M., Blackmore C., G., Harrison, J., 2000. *Histologic, neurologic, and immunologic effects of methylmercury in captive great egrets. J. Wildl. Dis.* (36), 423–435. doi:10.7589/0090-3558-36.3.423.
- Stempniewicz, L., Grochowski, A., 1997. *Diet composition of cormorants in the breeding colony of Katy. Supplemento alle Ricerche di Biologia della Selvaggina* (26), 537–544.
- The New Encyclopedia Britannica*, 1995. Chicago: Encyclopedia Britannica Ltd.
- Thompson, D., Furness, R., 1989. *The chemical form of mercury stored in South Atlantic seabirds. Environmental Pollution*, 60, 305–317. doi:10.1016/0269-7491(89)90111-5.
- United States Environmental Protection Agency, 2000. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/mercury-compounds.pdf>, [dostęp 20 X 2018]
- Wilson, S. J., Steenhuisen, F., Pacyna, J., M., Pacyna, E., G., 2006. Mapping the spatial distribution of global anthropogenic mercury atmospheric emission inventories. *Atmospheric Environment*, 4621–4632. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.042

## Notka o Autorce

*Studentka studiów licencjackich na kierunku Oceanografia IO UG. Jej zainteresowania badawcze koncentrują się wokół zanieczyszczeń rtęcią strefy przybrzeżnej południowego Bałtyku, oraz oddziaływania rtęci na organizmy związane ze środowiskiem morskim.*