

Możliwość rozróżnienia małży i ślimaków słodkowodnych na podstawie koncentracji metali ciężkich w tkankach miękkich i muszlach

Stanisław Piotrowski¹



A possibility of making a distinction between freshwater bivalves and snails on the basis of concentration of heavy metals in soft tissues and shells. Prz. Geol., 65: 400–404.

Abstract. The study involved 17 species of freshwater molluscs. The concentration of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Co, Cd and Hg) in soft tissues was determined for 14 species, while the concentration of heavy metals in shells was determined for 16 species. Totally, 110 samples of soft tissue and 119 samples of shells were analysed. The statistical analysis of the qualitative data concerning concentration of metals in shells indicated a clear distinction between snails and bivalves. The only exception is *Unio crassus*, which was assigned to a three-point cluster together with snails. With respect to snails, this may be because the analysis was performed only on one sample.

The results of this study can be significant both for palaeontological research and palaeoenvironmental research.

If we have a few shell fragments available, it can be generally concluded, based on geochemical analysis of heavy metals in shells, which shell fragments belong to bivalves and which to snails. It is also possible to assess geochemical conditions of ancient ecosystems. Obviously, the given results are preliminary and they suggest necessity of further research.

Keywords: the Odra river estuary, lakes of Western Pomerania, Poland, freshwater molluscs, soft tissues, shells, water, bottom sediment, heavy metals

Metale ciężkie nie ulegają biologicznemu rozkładowi i nie są eliminowane z ekosystemów, zwłaszcza wodnych (Linde i in., 1996; El-Sikaily i in., 2004; McGeer i in., 2007). Mięczaki wodne kontaktują się ze środowiskiem poprzez skrzelą, płaszcz, nogę i przewód pokarmowy; u małży metale ciężkie dostają się głównie przez skrzelą, a u ślimaków za pośrednictwem przewodu pokarmowego. Najczęściej metale ciężkie są pobierane wraz z pokarmem lub bezpośrednio z roztworu wodnego. Proporcje te zależą od gatunku. Wielu autorów twierdzi, że zwierzęta żerujące na osadach lub filtrujące wodę absorbują więcej metali niż gatunki roślinożerne (Parleman & Meili, 1993).

W badaniach ekotoksykologicznych przydatność mięczaków jako organizmów wskaźnikowych śledzenia zmian w długim okresie czasu jest opisane ze środowisk morskich (Le Pennec & Le Pennec, 2001; Ciocan & Rotchell, 2004; Jia i in., 2009), słodkowodnych (Amiard-Triquet i in., 1987; Berthet i in., 1992; Traunspurger & Drews, 1996) i lądowych (Cortet i in., 1999).

Zróżnicowanie zawartości Cu, Zn, Cd, Fe, Mn u różnych gatunków mięczaków pochodzących z tego samego biotopu jest związane prawdopodobnie ze specyfiką gatunku, a także sposobu odżywiania się (Brooks & Rumsby, 1965; Parsons i in., 1973). Ponadto uważa się, że wchłanianie metali ciężkich przez mięczaki zależy od czynników biologicznych i geochemicznych środowiska (Kesaran i in., 2013).

Podwyższone stężenia cynku obecne we wszystkich tkankach *Unio elongatulus*, *Anodonta cygnea* i *Viviparus viviparus* odzwierciedlają ważność tego metalu, który jest niezbędny, ale nie bardzo toksyczny w układach biologicznych (Muhineza i in., 1998). Cynk wykazuje funkcje katalityczne w licznych metaloenzymach oraz pełni rolę strukturalną w budowie różnych białek (Vallee & Falcuk, 1993). Stwierdzony poziom koncentracji Cu w tkankach *Viviparus viviparus*,

ok. 10 razy wyższy od koncentracji stwierdzonych u *Anodonta cygnea* i *Unio elongatulus*, był najprawdopodobniej efektem obecności hemocyjaniny, charakterystycznej dla niektórych mięczaków i wykorzystywanej w miejsce hemoglobiny do transportu tlenu (Muhineza i in., 1998). W ekosystemach wodnych, zwłaszcza środowisk przejściowych jakimi są ujścia rzek, obserwujemy, że na ogół spadek zasolenia wód wywala wzrost akumulowania kadmu w mięczakach słodkowodnych. Skrzelą, które pozostają w bezpośrednim kontakcie z zanieczyszczoną wodą, są tymi organami, które głównie kumulują kadm (Cassini i in., 1986). W wielu pracach przytacza się istotną pozytywną korelację pomiędzy koncentracjami metali ciężkich w tkankach miękkich mięczaków, a ich poziomem w środowisku (m.in. Manly & George, 1977; Phillips, 1979; Van-Balogh i in., 1988; Salanki & Van-Balogh, 1989; Salazar, 1997; Salazar & Salazar, 1997; Gundacker, 1999, 2000; Wiesner i in., 2001).

Zagadnienie różnic pomiędzy koncentracjami metali ciężkich w muszlach i w tkankach miękkich (jako całości) mięczaków tak morskich, jak i słodkowodnych jest stosunkowo mało poznane. W ostatnim czasie zwrócono jednak baczniejszą uwagę na oznaczenie metali ciężkich w muszlach mięczaków (Osuna-Mascaro i in., 2015).

Celem niniejszej pracy było sprawdzenie, przy zastosowaniu postępowania statystycznego, czy na podstawie koncentracji metali ciężkich w tkankach i muszlach mięczaków będzie możliwe rozróżnienie małży i ślimaków. Pracę uzupełniono o wyniki postępowania statystycznego przy analizie współczynników kumulacji metali ciężkich w tkankach, w odniesieniu do stężeń tych pierwiastków chemicznych w muszlach. Z punktu widzenia paleontologii czy nawet aktuo-paleontologii istotne jest, że muszle tych organizmów są często zachowane w stanie kopalnym. Wyniki przedstawione w tej pracy mogą być zatem pomocne w analizach paleoekologicznych.

¹ Ekspert zewnętrzny ds. analiz Delphi Narodowego Programu Foresight „Polska 2020”, biegły z listy wojewody dolnośląskiego w zakresie ocen oddziaływania na środowisko, ul. Łużycka 4/15, 59-300 Lubin; stanislaw.piotrowski@vp.pl.

MATERIAŁ I METODA

Obszar badań, materiał i zastosowane metody zostały opisane we wcześniejszych pracach autora (Piotrowski, 2003, 2009, 2010a, b, c). Tu szerzej zostanie omówiona użyta metoda statystyczna. Opracowanie wyników analiz dokonano za pomocą programów Microsoft Excel oraz Statistica (wersja 5). Badaniami objęto 17 gatunków, z czego dla 14 gatunków oznaczono koncentracje metali w tkankach miękkich, a dla 16 – stężenia tych pierwiastków chemicznych w muszlach (tab. 1). W przypadku tkanek miękkich dla 11 gatunków wykonano co najmniej analizę trzech próbek z różnych stanowisk. Odnośnie pozostałych trzech gatunków analizowano po jednej próbce. Natomiast w przypadku muszli dla 11 gatunków wykonano analizy metali co najmniej dwóch próbek z różnych stanowisk, zaś dla pięciu gatunków analizowano tylko po jednej próbce. Łącznie dysponowano wynikami analiz metali ze 110 próbek tkanek miękkich i ze 119 próbek muszli. W pracy przyjęto oznaczać koncentracje metali w tzw. próbkach niesortowanych, czyli takich, które obejmują stosunkowo dużo okazów o różnych rozmiarach. To udało się tylko dla dwóch gatunków – *Dreissena polymorpha* i *Sphaerium solidum*, dla których analizowane próbki liczyły po 100 okazów. Dla pozostałych gatunków dysponowano próbkami obejmującymi od 1 do 31 okazów. Algorytm postępowania przy analizie skupień obejmował następujące etapy:

1. Zdefiniowanie macierzy danych – jako macierz danych przyjęto wartości średnie z uwzględnieniem gatunków, dla których wykonano analizy tylko jednej próbki. Jeden gatunek to średnia wartość poszczególnych metali ze wszystkich próbek dla tego gatunku; osobno tkanki mięk-

kie i muszle. Tak więc macierzą danych było 14 średnich wartości, gdy idzie o tkanki miękkie i 16 wartości średnich w przypadku muszli;

2. Wybór miary podobieństwa – jako taksonomiczną miarę podobieństwa wybrano odległość euklidesową:

$$d_{ik} = \left[\sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{kj})^2 \right]^{1/2}$$

gdzie:

x_{ij} – wartość j-tej cechy dla i-tego obiektu,

x_{kj} – wartość j-tej cechy dla k-tego obiektu,

d_{ik} – odległość pomiędzy i-tym i k-tym obiektem

(i, k = 1, 2, ..., m; j = 1, 2, ..., p);

3. Przeprowadzenie standaryzacji danych. Standaryzacja polega na zamianie wartości wybranych zmiennych przez ich tzw. wartości standaryzowane obliczane jako: wartość standaryzowana = (wartość zmiennej – wartość średnia)/odchylenia standardowe;

4. Obliczenie elementów macierzy odległości taksonomicznych między gatunkami mięczaków (dla danych standaryzowanych);

5. Aglomeracja skupień została dokonana na podstawie metody najmniejszej wariancji (tzw. metoda Warda), aż do uzyskania dendrogramu;

6. Analiza i weryfikacja dendrogramu. Do ostatecznej weryfikacji przynależności poszczególnych gatunków na dendrogramie wykorzystano metodę zaproponowaną przez Hellwiga (1968), według której dwa podzbiory zbioru będziemy uważać za istotnie różne, jeżeli najkrótsza obliczona odległość między parą punktów należących do

Tab. 1. Liczba analizowanych próbek tkanek miękkich i muszli badanych mięczaków oraz obszar ich pochodzenia
Table 1. Quantity of the analysed samples of soft tissues and shells studium molluscs and their area of the origin

Gatunek Species	Liczba próbek (obszar badań*) Number of samples (study area*)	
	Tkanki miękkie / Soft tissues	Muszle / Shells
BIVALVIA:		
<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	27 (M, JD, D, R, Z, JO, JK, JW, JB, JM)	38 (M, JD, D, R, Z, JO, JK, JW, JB, JM)
<i>Anodonta anatina</i> (L.)	20 (M, JD, D, R, Z, JM)	12 (M, JD)
<i>Anodonta cygnea</i> (L.)	1 (JD)	1 (JD)
<i>Pseudoanodonta complanata</i> (Rossmässler, 1835)	5 (M, R)	7 (M, R, JW)
<i>Unio pictorum</i> (L.)	14 (M, JD, D, R, Z)	11 (M, JD, D, R, Z)
<i>Unio tumidus</i> Philipson, 1788	4 (JD, D, R, Z)	9 (M, JD, D, R, Z, JO, JW)
<i>Unio crassus</i> Philipson, 1788	0	1 (R)
<i>Sphaerium solidum</i> (Normand, 1844)	7 (JD, D, R, Z)	8 (M, JD, D, R, Z)
<i>Sphaerium rivicola</i> (Lamarck, 1818)	3 (D, R)	2 (D, R)
GASTROPODA:		
<i>Viviparus viviparus</i> (L.)	14 (M, JD, D, R)	11 (M, JD, D, R)
<i>Viviparus contectus</i> (Milet, 1813)	6 (JD, R, JO, JK)	7 (JD, R, JO, JK)
<i>Lymnaea stagnalis</i> (L.)	4 (JD, Z, JK, JW)	7 (JD, R, Z, JK, JW, JB)
<i>Lymnaea auricularia</i> (L.)	3 (JW, JB, JM)	1 (JW)
<i>Lymnaea peregra</i> (O.F. Müller, 1774)	1 (JM)	0
<i>Planorbarius corneus</i> (L.)	1 (JK)	1 (JK)
<i>Theodoxus fluviatilis</i> (L.)	0	1 (R)
<i>Lithoglyphus naticoides</i> (Pfeiffer, 1828)	0	2 (M, R)

* Estuarium Odry: M – Międzyodrze, JD – Jezioro Dąbie, D – Dociąża, R – Rostoka Odrzańska, Z – Zalew Szczeciński; jeziora Pomorza Zachodniego: JO – Jezioro Ostrów, JK – Jezioro Kielbicz, JW – Jezioro Weltyńskie, JB – Jezioro Binowo, JM – Jezioro Miedwie

* Odra River estuary: M – Międzyodrze, JD – Dąbie Lake, D – Dociąża, R – Rostoka Odrzańska, Z – Szczecin Lagoon; lakes of Western Pomerania: JO – Ostrów Lake, JK – Kielbicz Lake, JW – Weltyńskie Lake, JB – Binowo Lake, JM – Miedwie Lake

dwóch podzbiorów jest większa niż wartość krytyczna (Wk). Wartość tę oszacowano w następujący sposób:

- znaleźć wartość minimalną dla każdego wiersza w macierzy odległości,
- dla nowo powstałej zmiennej obliczyć średnią arytmetyczną i odchylenie standardowe,
- obliczyć wartość krytyczną ze wzoru $Wk = x + 2\sigma$ (Pluta, 1977). Tak obliczoną wartość należy traktować jako wyznacznik wydzielenia liczby skupień.

Oprócz analizy wielozmiennej istotną jest także analiza struktury każdego z wydzielonych skupień. Pozwala ona uzyskać informacje, jakie cechy (w tym przypadku rodzaj metalu ciężkiego) zadecydowały o utworzeniu poszczególnych skupień. Badanie to przeprowadzono na podstawie metody średnich arytmetycznych.

WYNIKI BADAŃ

Metale w tkankach miękkich

Średnie koncentracje metali ciężkich w tkankach miękkich badanych mięczaków (ppm w suchej masie), łącznie z gatunkami dla których wykonano oznaczenia metali tylko w jednej próbce, wynoszą:

Cu – od 7,3 (*Planorbarius corneus*) do 111,2 (*Viviparus contectus*),

Zn – od 60,4 (*Planorbarius corneus*) do 659,9 (*Lymnaea peregra*),

Pb – od 1,2 (*Viviparus viviparus*) do 13,0 (*Sphaerium solidum*),

Co – od <0,003 (*Lymnaea peregra*) do 2,3 (*Sphaerium solidum*),

Cd – od 0,1 (*Planorbarius corneus*) do 0,9 (*Lymnaea peregra*),

Hg – od 0,1 (*Planorbarius corneus*) do 5,2 (*Lymnaea peregra*).

Na podstawie wykonanej analizy skupień metodą aglomeracyjną wyodrębniono pięć skupień (w nawiasie metale, które decydują o przynależności do danego skupienia):

– 1-elementowe – *Lymnaea peregra* (Cu, Zn, Pb, Cd oraz Hg) oraz *Pseudoanodonta complanata* (Zn i Co)

– trzy skupienia 4-elementowe – (1) *Viviparus contectus*, *V. viviparus*, *Sphaerium solidum*, *S. rivicola* (Cu, Pb, Co i Cd), (2) *Unio tumidus*, *U. pictorum*, *Anodonta cygnea*, *A. anatina* (Zn), (3) *Planorbarius corneus*, *Lymnaea auricularia*, *L. stagnalis*, *Dreissena polymorpha* (Co i Cd).

Z powyższego zestawienia wynika, że na podstawie koncentracji metali w tkankach miękkich dochodzi tylko do częściowego rozróżnienia ślimaków od małży. Dotyczy to dwóch skupień 1-elementowych oraz jednego skupienia 4-elementowego. W pozostałych skupieniach grupują się zarówno przedstawiciele małży, jak i ślimaków.

Metale w muszlach

Średnie koncentracje metali w muszlach wynoszą odpowiednio (ppm w suchej masie):

Cu – od 0,4 (*Sphaerium rivicola*) do 13,3 (*Viviparus contectus*),

Zn – od 3,6 (*Planorbarius corneus*) do 69,4 (*Theodoxus fluviatilis*),

Pb – od 0,1 (*Lymnaea auricularia*) do 3,6 (*Theodoxus fluviatilis*),

Co – od <0,01 (*Lymnaea auricularia*) do 0,7 (*Viviparus viviparus*),

Cd – od 0,01 (*Planorbarius corneus*) do 0,6 (*Theodoxus fluviatilis*),

Hg – od 0,01 (*Anodonta cygnea*) do 0,1 (*Viviparus contectus*).

Obserwowane koncentracje metali ciężkich w tkankach miękkich i muszlach są porównywalne z koncentracjami z innych obszarów, np. estuariowych i klimatycznych (Kesaran i in., 2013).

W szeregu prac zanotowano również wyższe koncentracje metali ciężkich w tkankach miękkich w porównaniu z ich zawartością w muszlach (Ravera i in., 2003; Kesaran i in., 2013).

Na podstawie wykonanej analizy skupień metodą aglomeracyjną uzyskano 6 skupień:

– trzy skupienia 1-elementowe: (1) *Theodoxus fluviatilis* (Zn, Pb, Co, Cd i Hg), (2) *Viviparus contectus* (wszystkie sześć metali), (3) *Planorbarius corneus* (Hg),

– 2-elementowe – *Lithoglyphus naticoides* i *Lymnaea stagnalis* (Pb, Co i Cd),

– 3-elementowe – *Unio crassus*, *Lymnaea auricularia* i *Viviparus viviparus* (Zn, Co, Hg),

– 8-elementowe – *Sphaerium rivicola*, *S. solidum*, *Unio tumidus*, *U. pictorum*, *Anodonta cygnea*, *A. anatina*, *Pseudoanodonta complanata* i *Dreissena polymorpha* (Cu, Pb).

W efekcie tej analizy wykazano wyraźne rozróżnienie badanych gatunków na ślimaki i małże. Jedynym wyjątkiem jest *Unio crassus*, który został przypisany do skupienia 3-elementowego razem ze ślimakami. Może to wynikać z faktu, że dla tego gatunku dysponowano jedynie analizą jednej próbki.

Relacje pomiędzy koncentracjami metali w tkankach miękkich i muszlach

Wartości maksymalne współczynników koncentracji metali w tkankach miękkich w odniesieniu do ich koncentracji w muszlach są dość wysokie i wynoszą od 101 do 45 299:

Zn – 101 – *Unio tumidus*,

Hg – 237 – *Sphaerium solidum*,

Co – 881 – *Lymnaea auricularia*,

Cd – 1138 – *Dreissena polymorpha*,

Pb – 7890 – *Dreissena polymorpha*,

Cu – 45 299 – *Sphaerium rivicola*.

Na podstawie analizy wyodrębniono 4 skupienia:

– dwa skupienia 1-elementowe – *Sphaerium rivicola* (Cu, Zn, Pb, Cd) i *S. solidum* (Hg),

– 2-elementowe – *Lymnaea auricularia* i *Dreissena polymorpha* (Pb, Co),

– 9-elementowe – *Unio tumidus*, *U. pictorum*, *Anodonta cygnea*, *A. anatina*, *Pseudoanodonta complanata*, *Lymnaea stagnalis*, *Viviparus contectus*, *V. viviparus*, *Planorbarius corneus* (Zn).

W tym przypadku, dzięki analizie skupień, jedynie dwa gatunki małży z rodzaju *Sphaeridae* tworzą wyodrębnione skupienia 1-elementowe. W pozostałych dwóch mamy przedstawicieli ślimaków i małży.

DYSKUSJA I KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

Mięczaki można określić jako organizmy wszechobecne i wszechstronne, które mogą być wykorzystywane w różny sposób w zależności od tolerancji na zanieczyszczenia. Niektóre gatunki, jak *Margaritifera margaritifera*, żyjąca wyłącznie w wodach czystych, jest dokładnym wskaźnikiem czystości wód (Frank & Gerstmann 2007), podczas gdy inne gatunki, jak małż *Dreissena polymorpha* czy ślimak *Littorina* sp., są odporne na zanieczyszczenia i mogą gromadzić w swoich tkankach duże ilości metali ciężkich oraz zanieczyszczeń organicznych (Daka & Hawkins, 2004; Del Piero i in., 2012).

Chociaż szereg badań ekotoksykologicznych skupia się na analizie tkanek miękkich mięczaków, ze względu na ich spożywanie przez ludzi na całym świecie (Miramand & Bentley, 1992; Walsh i in., 1995), to muszla tych organizmów została mniej zbadana, ale jest znakomitym przykładem wieloletniej biomineralizacji odzwierciedlającej zmiany środowiskowe (Zverkova, 2009; Andreello i in., 2010; Machado & Lopes-Lima, 2011).

Z toku uzyskanej analizy danych rysują się trzy kierunki dalszych badań, z których jeden można określić jako biologiczny, drugi paleontologiczny, a trzeci paleośrodowiskowy. Jeżeli badane mięczaki pod kątem obecności w nich metali ciężkich w tkankach miękkich i w przypadku współczynników koncentracji tychże metali (tkanki miękkie : muszle) rysują się grupą w miarę homogeniczną to należy prowadzić dalsze badania odnośnie możliwości biochemicznego rozdziału mięczaków na małże i ślimaki. W obserwacjach wymienionych metali ciężkich to się nie udało. Taki rozdział rysuje się w przypadku koncentracji sześciu badanych metali w muszlach. Idąc za tym stwierdzeniem dalej i przyjmując, że muszle są wytworem tkanek miękkich, to należy zbadać, jakie procesy powodują selektywne wchłanianie metali w muszlach i co za to odpowiada.

Ponadto – drugi kierunek dalszych badań – przeprowadzone wnioskowanie może być istotne w badaniach tak aktuopaleontologicznych, jak i paleontologicznych. W przypadku posiadania fragmentów muszli możemy pokusić się na podstawie analizy geochemicznej muszli o stwierdzenie, które fragmenty konchiologiczne należą do małży, a które do ślimaków. Z całą pewnością dociekania te wymagają jeszcze badań uzupełniających.

Trzeci kierunek dalszych prac to wnioskowanie paleośrodowiskowe. Jeżeli uda się powiązać geochemię muszli ze stanem środowisk współczesnych i określić jakie straty parametrów geochemicznych muszli zanotujemy przy jej przejściu do stanu fosylnego, to przez analogię będziemy mogli na podstawie zachowanych muszli lub ich fragmentów pokusić się o rekonstrukcję warunków paleośrodowisk. Wcześniej podjęto próbę wykorzystania muszli współczesnej *Dreissena polymorpha* do określenia warunków geochemicznych środowisk kopalnych (Borówka & Piotrowski, 2003). Wielu autorów wskazuje, że muszle bardziej wiarygodnie odzwierciedlają zmiany stężeń zanieczyszczeń w środowisku niż tkanki miękkie. Ponadto wykazują one mniejszą zmienność niż tkanki żywego organizmu i zapewniają historyczny zapis zawartości metali ciężkich w całym czasie życia organizmu i co ważniejsze zapis ten utrzymuje się po śmierci (Huanxin i in., 2000; Kesaran i in., 2013). Jeżeli uda się geochemicznie po-

wiązać skład muszli ze stanem tkanek miękkich to być może na podstawie kopalnych fragmentów lub całych muszli będziemy mogli wносить informację o geochemii tkanek miękkich w przeszłości geologicznej.

WNIOSKI

Koncentracje Cu, Zn, Pb, Co, Cd i Hg w tkankach miękkich pozwalają jedynie częściowo rozróżnić ślimaki od małży. Porównanie zawartości Cu, Zn, Pb, Co, Cd i Hg w tkankach miękkich względem koncentracji tych metali w muszlach ślimaków i małży wykazuje wyraźne różnice pomiędzy tymi grupami organizmów.

Analiza maksymalnych współczynników koncentracji badanych metali ciężkich w tkankach miękkich w odniesieniu do odpowiednich ich ilości w muszlach nie pozwala na odróżnienie ślimaków od małży.

Badania były finansowane przez KBN – grant Nr 6 PO4F 04 17, WFOŚiGW w Szczecinie – grant Nr 186/02/OP-PO/D oraz w ramach badań własnych Uniwersytetu Szczecińskiego – nr 504-231001-707. Dziękuję Recenzentom i Redaktorowi Naczelnemu za poświęcony czas i uwagi, które przyczyniły się do ulepszenia ostatecznej wersji tej publikacji. Artykuł dedykuję swoim córkom Natalii i Marioli.

LITERATURA

- AMIARD-TRIQUET C., METAYER C., AMIARD J.C. & BERTHET B. 1987 – In situ and experimental studies of the ecotoxicology of four metals (Cd, Pb, Cu, Zn) on algae grazing gastropod molluscs. *Water Air Soil Poll.*, 34: 11–30.
- ANDRELO A.C., LOPES F. & GALVAO T.D. 2010 – Mussel shell evaluation as bioindicator for heavy metals. [W:] Deppman A., Krug C., Zahn G.S., Lubian J., Added N. & Timoteo V.S. (red.), XXXII Brazilian Workshop on Nuclear Physics, AIP Conference Proceedings: 110–113.
- BERTHET B., AMIARD J.C., AMIARD-TRIQUET C., MARTOJA M. & JEANTET A.Y. 1992 – Bioaccumulation, toxicity and physicochemical speciation of silver in bivalve molluscs – ecotoxicological and health consequences. *Sci. Total Environ.*, 125: 97–122.
- BORÓWKA R.K. & PIOTROWSKI S. 2003 – Wykorzystanie muszli współczesnej *Dreissena polymorpha* do określania warunków geochemicznych środowisk kopalnych. [W:] Lessy i paleolit Naddniestrza Halickiego, XII ukraińsko-polskie seminarium terenowe „Stratygraficzna korelacja lessów i osadów lodowcowych Ukrainy i Polski”, 15–19 września 2003, Sokil, Ukraina: 8–9.
- BROOKS R.R. & RUMSBY M.G. 1965 – The biogeochemistry of trace elemental uptake by some New Zealand bivalves. *Limnol. Oceanogr.*, 10: 521–528.
- CASSINI A., TALLANDINI L., FAVERO N. & ALBERGONI V. 1986 – Cadmium bioaccumulation studies in the fresh water molluscs *Anodonta cygnea* and *Unio elongatulus*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 84C: 35–41.
- CIOCAN C.M., ROTCHELL J.M. 2004 – Cadmium induction of metallothionein isoforms in juvenile and adult mussel (*Mytilus edulis*). *Environ. Sci. Technol.*, 38: 1073–1078.
- CORTET J., GOMOT-DE VAUFLEURY A., POINSOT-BALAGUER N., GOMOT L., TEXIER C. & CLUZEAU D. 1999 – The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. *Eur. J. Soil Biol.*, 35: 115–134.
- DAKA E.R. & HAWKINS S.J. 2004 – Tolerance of heavy metals in *Littorina saxatilis* from a metal contaminated estuary in the Isle of Man. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, 84: 393–400.
- DEL PIERO S., MASIERO L. & CASELLATO S. 2012 – Influence of temperature on fluoride toxicity and bioaccumulation in the nonindigenous freshwater mollusk *Dreissena polymorpha* Pallas, 1769. *Environ. Toxicol. Chem.*, 31: 2567–2571.
- EL-SIKAILY A., KHALED A. & EL-NEMR A. 2004 – Heavy Metals Monitoring using Bivalves from Mediterranean Sea and Red Sea. *Environ. Monitor. Assess.*, 98 (1/3): 41–58.
- FRANK H. & GERSTMANN S. 2007 – Declining populations of freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera*) are burdened with heavy metals and DDT/DDE. *Ambio*, 36: 571–574.
- GUNDACKER C. 1999 – Tissue-specific heavy metal (Cd, Pb, Cu, Zn) deposition in a natural population of the zebra mussel *Dreissena polymorpha* Pallas. *Chemosphere*, 38: 3339–3356.

- GUNDAKER C. 2000 – Comparison of heavy metal bioaccumulation in freshwater molluscs of urban river habitats in Vienna. *Environ. Poll.*, 110 (1): 61–71.
- HELLWIG Z. 1968 – Zastosowanie metody taksonomicznej do typologicznego podziału krajów ze względu na poziom ich rozwoju oraz zasoby i strukturę wykwalifikowanych kadr. *Prz. Statystyczny*, 15 (4).
- HUNAXIN W., LEJUN Z. & PRESLEY B.J. 2000 – Bioaccumulation of heavy metals in hydrocarbon and artificial radionuclide data. *Environ. Sci. Technol.*, 17: 490–496.
- JIA X.W., ZHANG Z.P., WANG G.D., ZOU Z.H., WANG S.H., HUANG B.Q. & WANG Y.L. 2009 – Expressed sequence tag analysis for identification and characterization of genes related to tributyltin (TBT) exposure in the abalone *Haliotis diversicolor supertexta*. *Comp. Biochem. Physiol.*, D4: 255–262.
- KESARAN K., MURUGAN A., VENKATESAN V. & VIJAY KUMAR B.S. 2013 – Heavy metal accumulation in Molluscs and sediment from Uppnar estuary, Southeast Coast of India. *Thalassas*, 29 (2): 15–21.
- LE PENNEC G. & LE PENNEC M. 2001 – Evaluation of the toxicity of chemical compounds using digestive acini of the bivalve mollusc *Pecten maximus* L. maintained alive in vitro. *Aquat. Toxicol.*, 53: 1–7.
- LINDE A.R., ARRIBAS P., SANCHEZ-GALAN S. & GARCIA-VAZQUEZ F. 1996 – Eel (*Anguilla anguilla*) and brown trout (*Salmo trutta*) target species to assess the biological impact of trace metal pollution in freshwater ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 31: 297–302.
- MACHADO J. & LOPES-LIMA M. 2011 – Calcification mechanism in freshwater mussels: potential targets for cadmium. *Toxicol. Environ. Chem.*, 93: 1778–1787.
- MANLY R. & GEORGE W.O. 1977 – The occurrence of some heavy metals in populations of the freshwater mussel *Anodonta anatina* (L.) from the river Thames. *Environ. Poll.*, 14: 139–154.
- MCGEER J.C., BRIX K.V., SKEAFF J.M., DEFORES D.K., BRIGHAM S.L., ADAMS W.J. & GREEN A. 2007 – Inverse relationship between bioconcentration factor and exposure concentration for metals: Implication for hazard assessment of metals in the aquatic environment. *Environ. Toxicol. Chem.*, 22 (5): 1017–1037.
- MIRAMAND P. & BENTLEY D. 1992 – Concentration and distribution of heavy metals in tissues of two cephalopods, *Eledone cirrhosa* and *Sepia officinalis*, from the French coast of the English Channel. *Mar. Biol.*, 114: 407–414. Doi:10.1007/BF00350031.
- MUHINEZA F., ANDREANI G., FERRARESI M., GELATI A., ISANI G. & CARPENE E. 1998 – Concentrazione di metalli pesanti (Zn,Cu,Cd) ed effetti dell'esposizione al cadmio in esemplari di *Anodonta cygnea*, *Unio elongatulus*, *Viviparus viviparus*. *Laguna*: 44–49.
- OSUNA-MASCARO A., CRUZ-BUSTOS T., MARIE B., CHECA G. & MARIN F. 2015 – Heavy metals in molluscs shells: a quick method for their detection. *Key Engineering Materials*, 672: 340–345.
- PARLEMAN H. & MEILI M. 1993 – Mercury in macroinvertebrates from Swedish forest lakes: influence of lake type, habitat, life cycle and food quality. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50: 521–534.
- PARSONS T.R., BAWDEN C.A. & HEATH W.A. 1973 – Preliminary survey of mercury and other metals contained in animals from the Fraser River mudflats. *J. Fish. Res. Board Can.*, 30: 1014–1016.
- PHILLIPS D.J.H. 1979 – The role of oyster *Saccostrea glomerata* as an indicator of trace metals in Hong Kong. *Mar. Biol.*, 53: 353–360.
- PIOTROWSKI S. 2003 – Zasoby metali ciężkich w wybranych elementach ekosystemów Jeziora Dąbie, Domiaży i Roztoki Odrzańskiej. [W:] II Ogólnopolskie Sympozjum „Dynamika zmian środowiska geograficznego pod wpływem antropopresji”, Kraków–Sanok, 25–27 września 2003.
- PIOTROWSKI S. 2009 – Stopień akumulacji metali w tkankach miękkich mięczaków ujścia Odry i wybranych jezior Pomorza Zachodniego. *Gosp. Wod.*, 1/2009: 34–38.
- PIOTROWSKI S. 2010a – *Viviparus viviparus* (L.) jako organizm wskaźnikowy odzwierciedlający poziomy metali ciężkich w wodzie i osadach dennych. *Gosp. Wod.*, 4/2010: 163–170.
- PIOTROWSKI S. 2010b – Relacje pomiędzy koncentracjami metali ciężkich w tkankach mięczaków słodkowodnych a stężeniami tych metali w wodzie i osadach dennych w obszarze estuarium Odry i wybranych jezior Pomorza Zachodniego. *Gosp. Wod.*, 11/2010: 454–468.
- PIOTROWSKI S. 2010c – Przydatność *Anodonta anatina* (L.) jako organizmu wskaźnikowego odzwierciedlającego poziomy metali ciężkich (Cu, Zn, Pb, Co, Cd, Hg) w wodzie i osadach dennych. *Inż. Ochrona Środ.*, 13 (4): 259–277.
- PLUTA G. 1977 – Wielowymiarowa analiza porównawcza w badaniach ekonomicznych, PWE, Warszawa.
- RAVERA R.C., BEONE G.M., DANTAS M. & LODIGIANI P. 2003 – Trace element concentrations in freshwater mussels and macrophytes as related to those in their environment. *J. Limnol.*, 62 (1): 61–70.
- SALANKI J. & VAN-BALOGH K. 1989 – Physiological background for using freshwater mussels in monitoring copper and lead pollution. *Hydrobiologia*, 188/189: 445–454.
- SALAZAR M.H. 1997 – Critical evaluation of bivalve molluscs as a bio-monitoring tool for the mining industry in Canada. [W:] Stewart R. & Malley D.F. (red.), Technical evaluation of molluscs as a biomonitoring tool for the Canadian mining industry. CANMET-Aquatic Effects Technology Evaluation (AETE) Program, Project 2.3.1., Part II: 164–248.
- SALAZAR M.H. & SALAZAR S.M. 1997 – Using caged bivalves to characterize exposure and effects associated with pulp and paper mill effluents. *Water Sci. Technol.*, 35 (2/3): 213–220.
- TRAUNSPURGER W. & DREWS C. 1996 – Toxicity analysis of freshwater and marine sediments with meio- and macrobenthic organisms: a review. *Hydrobiologia*, 328: 215–261.
- VALLEE B.L. & FALCUC K.E. 1993 – The biochemical basis of the zinc physiology. *Physiol. Rev.*, 73: 79–118.
- VAN-BALOGH K. 1988 – Comparison of mussels and crustacean plankton to monitor heavy metal pollution. *Water Air Soil Poll.*, 37: 281–292.
- WALSH P.M., HALLEY D.J., HARRIS M.P., DEL NEVO A., SIM I.M.W. & TASKER M.L. 1995 – Seabird monitoring handbook for Britain and Ireland. JNCC / RSPB / ITE / Seabird Group, Peterborough.
- WIESNER L., GUNTHER B. & FENSKE C. 2001 – Temporal and spatial variability in the heavy metal content of *Dreissena polymorpha* (Pallas) (Mollusca: Bivalvia) from the Kleines Haff (northeastern Germany). *Hydrobiologia*, 443 (1/3): 137–145.
- ZVERKOVA Y. S. 2009 – Use of freshwater mollusc shells for monitoring heavy metal pollution of the Dniepr ecosystem on the territory of Smolensk oblast. *Russian J. Ecol.*, 40: 443–447.

Praca wpłynęła do redakcji 15.11.2014 r.
Akceptowano do druku 11.02.2017 r.