

SZKODLIWOŚĆ NADMIERNEGO STEŻENIA METALI CIĘŻKICH W ŚRODOWISKU BIOLOGICZNYM

Alina Kabata-Pendias, Henryk Pendias

WSTĘP

Współczesna techniczna aktywność człowieka wpływa na rozwój przemysłu, komunikacji, urbanizacji oraz na intensyfikację rolnictwa. Wynikiem wymienionej działalności jest ingerencja człowieka w naturalne układy ekologiczne, powodująca między innymi zachwianie równowagi chemicznej określonych środowisk przyrodniczych na skutek zanieczyszczenia ich pierwiastkami chemicznymi lub ich związkami.

Metale ciężkie stanowią zanieczyszczenia szczególnie niebezpieczne ze względu na swoje specyficzne właściwości biologiczne. Każde niekontrolowane wprowadzenie ich do biosfery (np. do powietrza, wód lub gleby) powoduje jednoczesne włączenie ich do ogólnego cyklu biogeochemicznego, a przede wszystkim do łańcucha zależności pokarmowej, której ostatnim ogniwem jest człowiek [7].

Metale ciężkie są stałymi składnikami różnych odpadów przemysłowych, ścieków miejskich, a także wielu preparatów chemicznych, głównie pestycydów stosowanych w ochronie roślin. Niektóre z tych metali nazywane są mikroelementami lub pierwiastkami śladowymi, ponieważ występują w śladowych ilościach w organizmach żywych (tab. 1, 2) i są niezbędne dla ich prawidłowego rozwoju i funkcjonowania. Jednakże mikroelementy w większym stężeniu mogą być silnie toksyczne dla wszystkich organizmów, a zwłaszcza dla zwierząt i człowieka. Na ogół wszystkie metale ciężkie w dużych stężeniach działają szkodliwie. Stopień ich toksyczności jest jednak różny, zależnie od odporności określonych organizmów. Przykładem może być miedź, która stanowi niezbędny składnik większości organizmów żywych, a zarazem działa silnie toksycznie na glony i grzyby, dzięki czemu znalazła szerokie zastosowanie w produkcji pestycydów.

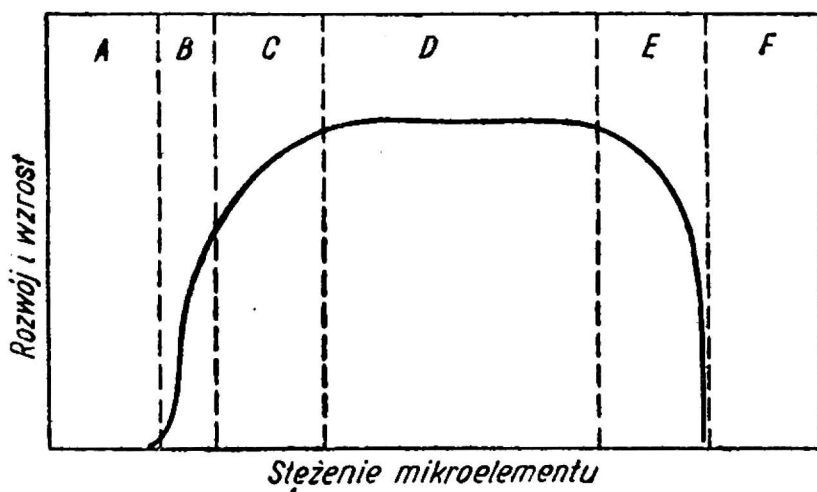
Schematyczny wykres podany na rys. 1 przedstawia zależność rozwoju żywego organizmu od zmian stężenia określonego mikroelementu w pożywieniu. Ilościowy zakres tych stężeń w odniesieniu do danego

organizmu jest różny dla każdego pierwiastka. W każdym jednak wypadku mogą występować stężenia: małe — *A*, *B*, *C*, niewystarczające do normalnego wzrostu i rozwoju organizmu; *D* — optymalne z punktu widzenia potrzeb organizmu; *E* — toksyczne, hamujące rozwój i wreszcie *F* — letalne, powodujące jego zniszczenie.

Tabela 1
Średnia zawartość metali ciężkich w roślinach

Pierwiastek	Stężenie ppm*
Be	0,01- 0,1
Co	0,01- 1
Cd	0,1 - 1
Cr	0,1 - 1
Mo	0,1 - 10
Ni	0,1 - 10
Pb	0,1 - 10
V	0,1 - 10
Cu	1 - 100
Zn	1 - 100
Mn	1 - 1000
Fe	10 - 1000

* ppm = 0,0001% = mg/kg.



Rys. 1. Uproszczony diagram zależności rozwoju i wzrostu organizmu od stężenia mikroelementów w pożywieniu *A* — zupełny brak, *B* — silny niedobór, *C* — średni niedobór, *D* — zawartość optymalna, *E* — stężenie toksyczne, *F* — stężenie letalne

Zwierzęta pobierają metale ciężkie z pokarmem oraz wchłaniając zanieczyszczone powietrze (tab. 3 i 4). W wielu przypadkach metale ciężkie wprowadzane do organizmu wraz z powietrzem są bardziej szkodliwe niż przy pobieraniu ich z pokarmem. Stopień toksyczności metali określa się w przybliżeniu w mg na 1 kg ciała. Do grupy metali naj-

bardziej toksycznych przy pobieraniu doustnym należą: As, Pb i Tl; natomiast przy wprowadzeniu przez układ oddechowy: Be, Cd, Cr, Hg i V. Prawie wszystkie pozostałe metale ciężkie zalicza się do średnio toksycznych, przy czym stopień ich szkodliwości dla różnych organizmów zależy od szeregu dodatkowych czynników.

Tabela 2

Zawartość metali ciężkich w różnych organach zwierzęcych wg Bowena [2] (w ppm)

Pierwiastek	Mózg	Serce	Nerki	Wątroba	Mięśnie	Krew
As	0,08	0,01	0,34	0,5	0,16	0,49
Ba	0,012	0,08	0,06	0,01	0,01	0,07
Be	0,002	0,002	0,002	0,07	0,08	0,0001
Cd	3	0,05	130	6,7	0,06	0,007
Co	0,006	0,05	0,05	0,23	0,02	0,0003
Cr	0,12	0,025	0,05	0,026	0,62	0,026
Cu	22	14	12	19	3,1	1,1
Fe	200	190	290	520	140	475
Hg		0,17	0,25	0,022	0,02	0,007
Mn	1,1	0,8	3,8	3,7	0,21	0,026
Mo	0,2	0,2	1,4	2,8	0,2	0,0041
Ni	0,3	0,2	0,2	0,2	0,01	0,038
Pb	0,24	0,2	4,5	4,8	0,2	0,27
Sn	2	0,2	0,74	0,85	0,2	0,13
Tl	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,02
V	0,3	0,04	0,05	0,04	0,04	0,017
Zn	46	110	210	130	180	6,5

Na ogół zwierzęta, podobnie jak człowiek, pobierają w warunkach normalnych w codziennej dawce pokarmowej wystarczające ilości metali potrzebnych do ich normalnego metabolizmu. Zaburzenia w rozwoju organizmów na tle niedoboru mikroelementów powodowane są najczęściej brakiem jakiegoś określonego pierwiastka lub też zachwianiem równowagi składu chemicznego pożywienia. Dawki metali ciężkich przedstawione w tab. 3 określają ich toksyczność dla człowieka przy pobieraniu doustnym. Duże zróżnicowanie pomiędzy dawkami normalnymi a toksycznymi wynika z tego, że jednorazowe zwiększenie dawki danego metalu nie zawsze powoduje zauważalne objawy jego szkodliwości. Specyficzną właściwością większości metali ciężkich jest ich kumulowanie się w różnych organach zwierząt (tab. 2). Dlatego często zachodzą zjawiska nadmiernej koncentracji danego metalu przy pobieraniu go przez dłuższy okres czasu — nawet w dawkach nieszkodliwych.

Tabela 3

Dawki metali ciężkich w pożywieniu człowieka
(mg na dzień)

Pierwiastek	Dawka dzienna		
	dopuszczalna	toksyczna	letalna
Cd	0,1	3	
Co	0,0002	500	
Cr	0,05*	200	3000
Cu	5	500	
Fe	15		
Hg	0,002		300
Mn	9		
Mo	0,7*		
Ni	0,5		
Pb	0,4		1000
Sn	45	2000	
Sr	5		
Tl	0,1*		600
V	0,3		
Zn	15		

* Wartość przybliżona.

Tabela 4

Metale ciężkie w powietrzu miast uprzemysłowionych*
(w $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Pierwiastek	Zakres stężenia
As	0,01 - 0,02
Be	0,0001- 0,001
Cd	0,001 - 0,092
Co	0,0007- 0,004
Cr	0,002 - 0,02
Cu	0,02 - 0,9
Fe	3 - 15
Mn	0,01 - 0,3
Mo	0,0005- 0,006
Ni	0,002 - 0,2
Pb	0,2 - 1,6
Sb	0,004 - 0,25
Sn	0,01 - 0,03
Ti	0,01 - 1
V	0,001 - 0,1
Zn	0,07 - 2

* Zakresy stężenia wszystkich pierwiastków — z wyjątkiem kadmu i ołowiu oznaczonych w powietrzu Katowic — podane są dla miast amerykańskich i brytyjskich. Zestawienie według danych z literatury [2, 4, 5, 9].

ZANIECZYSZCZENIE POWIĘTRZA

Metale ciężkie dostają się do powietrza z pyłami i dymami przemysłowymi. Występują w nim w różnych związkach, stosunkowo szybko opadających na powierzchnię ziemi (czas opadu wynosi przeciętnie 20 godz.). Dlatego zanieczyszczenie powietrza jest najczęściej lokalne, związane z określonymi emitorami. Powietrze miast i ośrodków przemysłowych zawiera pył — przeciętnie w ilości 50-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Również w powietrzu ośrodków nie uprzemysłowionych występują pyły różnego pochodzenia, w skład których wchodzi metale ciężkie. Opad ich na powierzchnię gleby jest w skali rocznej wielokrotnie mniejszy niż w rejonach przemysłowych (tab. 5).

Tabela 5

Ilość metali ciężkich wprowadzanych do gleby z opadem zanieczyszczeń atmosferycznych

Pierwiastek	Zapylenie w kg/ha/rok	
	normalne*	przemysłowe**
Al	12	567
Cd	0,007	
Mg	8	
Fe	1-2	224
Pb	0,5	28
V	0,20	
Mn	0,22	46
Cu	0,08	3
Cr	0,13	
Co	0,003	
Ni	0,12	
Mo	0,01	0,05
Zn	0,6	18

* Dane wg Adamsa [1] i Bowena [2].

** Dane wg Czyża i in. [15] dla rejonu Mikołowa (kopalnia węgla oraz zakłady — energetyczny i metalurgiczny).

Zanieczyszczenie metalami ciężkimi powietrza okręgów przemysłowych oraz dużych miast może stanowić bezpośrednie zagrożenie dla zdrowia ludzi. W tabeli 4 podano zakresy stężeń tych pierwiastków w powietrzu miejskim. Maksymalne zawartości, jak np. w wypadku kadmu oznaczonego w Katowicach, znajdują się często na pograniczu norm dopuszczalnych [4, 5, 9].

Dotychczasowe badania prowadzone za granicą wykazały, że istnieje duża zależność pomiędzy występowaniem chorób układu oddechowego u ludzi a stopniem zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, szczególnie zawierającego As, Be, Mo, V i Zn [2; 16].

Metale ciężkie, opadające na powierzchnię gleby pobierane są nie tylko przez system korzeniowy roślin, ale również i bezpośrednio przez ich blaszki liściowe lub inne tkanki. Ponieważ mchy nie mają korzeni i pobierają składniki pokarmowe głównie z atmosfery, wykorzystano je w badaniach szwedzkich jako wskaźnik zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi (tab. 6). Okazało się, że w okresie 100-letnim zawartość niektórych metali w mchach stale wzrastała, przy czym najbardziej zwiększyło się w nich stężenie ołowiu [11, 12].

ZANIECZYSZCZENIE GLEBY

Wzrost zawartości metali ciężkich w powietrzu jest bezpośrednią przyczyną opadania zwiększonych ilości tych składników na powierzchnię gleby. Pozostałymi źródłami zanieczyszczenia metalami ciężkimi są ścieki przemysłowe, pył wywiewany z hałd górniczych i przemysłowych, nawożenie odpadami przemysłowymi i wreszcie wieloletnie stosowanie pestycydów zawierających te składniki.

Wszystkie metale ciężkie — występujące zarówno w formie związków stałych, jak i roztworów glebowych — pobierane są przez rośliny.

Tabela 6

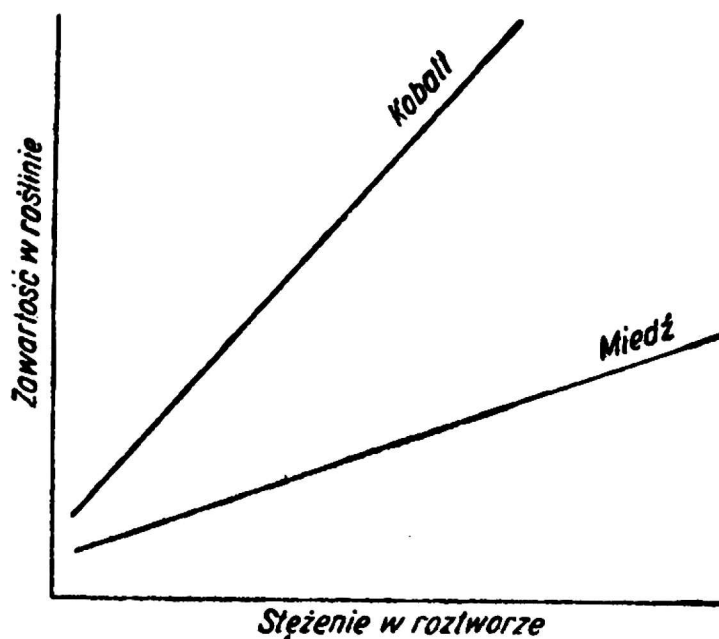
Srednia zawartość niektórych metali ciężkich w mchu rosnącym w Szwecji w różnych latach wg Rühlinga i Tylera [11, 12]
(w ppm)

Pierwiastek	Próbki mchu zbierane w latach			
	1870-1899	1900-1919	1920-1943	1969
Cu	10,2	13,0	13,5	13,9
Cr	5,8	5,5	6,5	7,7
Ni	4,0	3,7	5,5	9,1
Pb	20	45	50	88
Zn	66	94	103	109

Ilość pierwiastka pobranego przez rośliny zależy, obok wielu innych czynników, od jego stężenia w roztworze glebowym. Wykresy zamieszczone na rysunku 2 ilustrują wpływ stężenia kobaltu i miedzi w pożywce wodnej na zawartość tych pierwiastków w koniczynie [6]. Rośliny mogą pobierać wielokrotnie większe ilości metali ciężkich niż to jest potrzebne do zapewnienia ich prawidłowego rozwoju. Tolerancja roślin na toksyczne stężenia metali ciężkich jest na ogół znacznie większa niż zwierząt.

Zdolność kumulowania przez rośliny metali ciężkich pobranych z gleby jest bardzo zróżnicowana, przy czym zależy ona zarówno od specyficznych właściwości środowiska glebowego, jak i od właściwości roś-

liny oraz samego pierwiastka. Istnieją określone gatunki roślin, a także ich odmiany odznaczające się zwiększoną energią pobierania niektórych metali ciężkich. Zależność średniej zawartości tych pierwiastków w roślinie od ich zawartości w glebie ilustruje tab. 7. Wartość tego stosunku, określana jako współczynnik koncentracji, wskazuje na podatność danego pierwiastka do kumulacji biologicznej. Pierwiastki, dla których wartość



Rys. 2. Wpływ stężenia kobaltu i miedzi w roztworze wodnym na ich zawartość w koniczynie

Tabela 7

Współczynniki koncentracji metali ciężkich w roślinach w stosunku do ich zawartości w glebie, w roztworze glebowym oraz w wodzie

Pierwiastek	Współczynnik koncentracji*		
	gleba	roztwór glebowy	woda
Cd	10		1620
Co	0,1	120	4425
Cr	0,02		695
Cu	0,45	275	
Fe	0,008	120	4935
Hg	0,01		5915
Mn	0,065	460	
Mo	0,5	100	
Ni	0,045		
Pb	0,45		
Sr	0,25		475
V	0,01		
Zn	0,6	41	6230

* Współczynnik koncentracji wyrażony jest stosunkiem zawartości metalu w tkance roślinnej do jego stężenia w glebie lub w wymienionych roztworach.

tego współczynnika wynosi powyżej 0,45 są bardzo łatwo pobierane przez rośliny z podłoża i każdy wzrost ich zawartości w glebie może powodować ich toksyczne — z punktu widzenia żywienia zwierząt — stężenie w roślinie.

Współczynniki koncentracji niektórych metali ciężkich — pobieranych z roztworu glebowego oraz ze zbiorników wód otwartych — wykazują, że rośliny odznaczają się zdolnością kumulowania tych składników w tkankach, bez względu na stopień rozproszenia w środowisku (tab. 7).

BIOLOGICZNE I GEOCHEMICZNE WŁAŚCIWOŚCI NIEKTÓRYCH METALI CIĘŻKICH

Ustalono dotychczas, że spośród metali ciężkich, niezbędne w śladowych ilościach do normalnego rozwoju zwierząt i roślin są następujące pierwiastki: Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Mn, V, Zn. Przymuszczalnie pozostałe metale występujące w organizmach (tab. 1 i 2) również spełniają jakieś, jeszcze nie poznane funkcje biologiczne. Natomiast wszystkie metale ciężkie stanowią w większych stężeniach niebezpieczeństwo dla organizmów żywych, a zwłaszcza dla zwierząt, ponieważ mogą ograniczać pewne procesy metabolizmu lub powodować ogólne zaburzenia, wywołane zmianą równowagi składu chemicznego.

Biologiczne oddziaływanie metali ciężkich, wprowadzanych wraz z zanieczyszczeniami do środowiska przyrodniczego, nie jest jeszcze w pełni poznane, podobnie jak ich właściwości geochemiczne, decydujące o sposobach rozproszenia względnie koncentracji w określonych układach ekologicznych. Niemniej na podstawie dotychczasowych badań można w przybliżeniu ustalić ogólny zakres szkodliwości metali ciężkich dla organizmów żywych.

Arsen (As) występuje zarówno w różnych skałach jak i w glebach w dużym rozproszeniu (1-6 ppm). W warunkach naturalnych przy karmieniu zwierząt roślinami pochodzącymi z gleb o wyższej zawartości arsenu (15 ppm), przypadki zatrucia tym pierwiastkiem występują rzadko.

Arsen podlega większej koncentracji w niektórych glonach, mięczakach i skorupiakach oraz we włosach i paznokciach (lub w sierści i tkance rogowej). Jest on składnikiem od dawna dodawanym do insektycydów. Ostatnio jego stosowanie ogranicza się ze względu na to, że często powoduje on zatrucia zwierzyny łownej.

Arsen jest średnio toksyczny dla roślin, a bardzo szkodliwy dla ssaków, zwłaszcza w formach mało utlenionych. Jest on uważany za czynnik rakotwórczy.

Źródłami zanieczyszczeń środowiska przyrodniczego arsenem są pyły kopalniane, dymy ze spalania węgla oraz insektycydy.

B a r (Ba) występuje w glebach w stosunkowo dużych ilościach, średnio ok. 500 ppm. Większa zawartość tego pierwiastka w glebie występuje w rejonach niektórych kopalń i może być toksyczna dla roślin. Bar w roślinach lądowych występuje przeciętnie w ilości 50 ppm, natomiast w glonach przekracza 100 ppm. Jest to pierwiastek o średniej toksyczności zarówno dla roślin, jak i dla zwierząt. Źródła zanieczyszczeń barem mogą być lokalne, związane z występowaniem tego pierwiastka w surowcach mineralnych.

B e r y l (Be) jest metalem silnie rozproszonym w utworach geologicznych; często występuje w węglu kamiennym oraz w ropie naftowej. W glebach przeciętna jego zawartość wynosi 6 ppm, w roślinach poniżej 0,1 ppm. W organizmach zwierzęcych beryl jest bardzo rozproszony i podlega kumulacji głównie w kościach (tab. 2). Działa on toksycznie na rośliny i zwierzęta. Wdychanie pyłów zawierających ten pierwiastek uważa się za jedną z przyczyn raka płuc.

Źródło zanieczyszczeń berylem stanowią dymy i pyły przemysłowe.

K a d m (Cd) jest silnie rozproszony w utworach geologicznych; często towarzyszy złożom rud cynku, miedzi i ołowiu. Przeciętne jego stężenie w glebie wynosi 0,06 ppm, a w roślinach 0,6 ppm. Rośliny wyższe wyjątkowo silnie kumulują ten pierwiastek (tab. 7). W ryżu uprawianym w Japonii, na polach zalewanych wodami zanieczyszczonymi odpadami z kopalni metali nieżelaznych, stwierdzono zawartość kadmu dochodzącą do 3,4 ppm (10).

Kadm koncentruje się w przewodzie pokarmowym mięczaków oraz w nerkach i częściowo w wątrobie ssaków (tab. 2). W nerkach dorosłego człowieka znajduje się ok. 10 mg kadmu, a w wątrobie 4 mg. Ponieważ zdolność wydzielenia kadmu przez człowieka maleje z wiekiem, ulega on nagromadzeniu w starszych organizmach, stając się przyczyną różnych schorzeń.

Toksyczność kadmu dla organizmów zwierzęcych jest stosunkowo duża. Pierwiastek ten uszkadza przede wszystkim nerki, jest przyczyną chorób nadciśnieniowych, a w stadium silnego zatrucia powoduje porażenie niektórych nerwów oraz dekalcyfikację kości.

Zanieczyszczenia kadmem związane są przede wszystkim z odpadami hutniczymi oraz z pyłami miejskimi i ośrodków energetycznych.

Kadm nie jest stosowany w krajowych preparatach, służących do ochrony roślin, jest on natomiast dodawany do fungicydów używanych przy opryskiwaniu specjalnych upraw, jak np. tytoniu i herbaty.

K o b a l t (Co) jest również pierwiastkiem silnie rozproszonym w przyrodzie, a większa jego zawartość występuje jedynie w skałach zasadowych. Przeciętna jego zawartość w glebie nie przekracza 10 ppm, a w roślinach 0,5 ppm.

Kobalt jest składnikiem niezbędnym do normalnego rozwoju organizmów zwierzęcych oraz do metabolizmu niektórych gatunków roślin. W naturalnych warunkach nie zdarzają się przypadki zatrucia kobaltem, natomiast dosyć rozpowszechnione są objawy niedoboru tego pierwiastka, zwłaszcza u zwierząt i ludzi. Jednak wzrost zawartości kobaltu w roślinach do ok. 100 ppm powoduje zatrucia zwierząt.

Zanieczyszczenia kobaltem mogą występować lokalnie w określonych rejonach górniczych lub hutniczych.

Chrom (Cr) jest dosyć rozpowszechniony w utworach geologicznych. Przeciętna jego zawartość w glebie jest rzędu 100 ppm, chociaż bardzo często przekracza tę liczbę, co jest związane z wpływem skały macierzystej lub lokalnego okruszczenia.

Średnie stężenie chromu w roślinach wynosi 0,25 ppm. W organizmie zwierzęcym pierwiastek ten jest silnie rozproszony. Dopiero niedawno ustalono, że odgrywa on istotną rolę, polegającą na regulowaniu przemiany węglowodanów.

Objawy typowego zatrucia chromem nie są znane. Przyjmuje się jednak, że zawartość tego pierwiastka w roślinie wynosząca ok. 100 ppm może być szkodliwa dla zwierząt.

Źródła zanieczyszczenia chromem są związane z kopalnictwem tego metalu.

Miedź (Cu) jest metalem rozpowszechnionym w przyrodzie i podlegającym silnej kumulacji biologicznej (tab. 7). Zawartość miedzi w glebach waha się w granicach od 1 do 100 ppm. W związku z intensywnym wiązaniem miedzi w glebie, zarówno przez substancję organiczną, jak i przez niektóre minerały ilaste, w określonych warunkach ekologicznych może ona nie być dostępna dla roślin. Niedobór miedzi w dużym stopniu ogranicza rozwój roślin oraz zwierząt.

Rośliny odznaczają się wyjątkowo silną tolerancją na wysokie stężenia miedzi. Również ssaki są odporne na zwiększone jej pobieranie. Natomiast niektóre owady (np. pszczoły), ryby, mięczaki oraz grzyby i glony są bardzo podatne na toksyczne działanie tego metalu.

Miedź jest stosowana od szeregu lat jako preparat grzybobójczy w ochronie roślin oraz do dezynfekcji zbiorników wodnych. W związku z tym nastąpiło duże nagromadzenie miedzi w poziomach powierzchniowych niektórych gleb (np. w sadach, ogrodach), co w dużym stopniu wpływa na aktywność i skład mikroflory glebowej [16]. Nadmierne stężenie miedzi w roślinach, a w następstwie w organizmach zwierzęcych powoduje zachwianie równowagi pomiędzy poszczególnymi metalami, co ujemnie odbija się na niektórych procesach metabolizmu.

Ze względu na wysoki stopień toksyczności w stosunku do określonych organizmów, niekontrolowane wprowadzanie miedzi do środowiska przy-

rodniczego może być przyczyną istotnych zmian w układach ekologicznych.

Obok powszechnego stosowania miedzi w rolnictwie, niebezpieczeństwo zanieczyszczenia tym pierwiastkiem związane jest z pyłami i ściekami przemysłowymi, a także górniczymi.

Żelazo (Fe) jest metalem bardzo rozpowszechnionym w przyrodzie, a w organizmach żywych spełnia szereg ważnych funkcji metabolicznych. Rozpiętość jego zawartości zarówno w glebie, jak w roślinie jest duża (gleby: 0,1-1%, rośliny 10-1000 ppm).

Tolerancja organizmów żywych na wysokie stężenie żelaza jest bardzo duża i na ogół nie znane są przypadki szkodliwego wpływu tego metalu. W naturalnych warunkach występują natomiast jego niedobory, zarówno u roślin (przede wszystkim na niektórych glebach alkalicznych), jak i u zwierząt.

Rtęć (Hg) jest silnie rozproszona we wszystkich utworach geologicznych. Maksymalna zawartość rtęci w glebach dochodzi do 0,8 ppm. Zawartość w roślinach wynosi przeciętnie 0,02 ppm, jednak istnieją rośliny kumulujące ten pierwiastek. Rtęć podlega koncentracji w mięsie ryb i mięczaków oraz w nerkach i mózgu ssaków, a poza tym w jajach.

Wykazuje ona silne właściwości grzybobójcze i jest podstawowym składnikiem zapraw nasiennych. W środowisku glebowym podlega ona metylacji i w takiej formie odznacza się dużą aktywnością i toksycznością. W krajach, gdzie rtęć była powszechnie stosowana do zapraw nasiennych nastąpiło silne obniżenie populacji dzikich ptaków, zarówno w wyniku bezpośredniego zatrucia, jak też na skutek zmniejszonego wylęgu z jaj. Przykładem opisanych zjawisk może być pomór bażantów w Szwecji, kuropatw w Kanadzie oraz dzikich kaczek w USA [8]. Zwiększoną zawartość rtęci stwierdzono również w jajach kurzych w niektórych fermach hodowlanych, jednak źródła zanieczyszczenia nie udało się ustalić [3].

Rtęć doprowadzona do zbiorników wodnych z wodami drenarskimi lub w wyniku zanieczyszczeń przemysłowych jest wchłaniana przez ryby; spożywanie takich ryb powoduje poważne zatrucia ludzi — Japonia, Szwecja, Kanada, USA — [16].

Stosowanie rtęciowych zapraw nasiennych powoduje wzrost zawartości w artykułach spożywczych tego pierwiastka, który w pośredni lub bezpośredni sposób podlega końcowej kumulacji w organizmie człowieka. Znane są przypadki śmiertelnych zatruczeń chlebem wypiekanym z ziarna siewnego traktowanego chlorkiem etylortęciowym lub też w wyniku spożycia mięsa zwierząt karmionych ziarnem zaprawionym do siewu [8].

Obok wprowadzenia rtęci do środowiska ekologicznego w wyniku nieracjonalnego stosowania w rolnictwie preparatów zawierających ten

metal, poważnym źródłem zanieczyszczeń rtęcią są odpady przemysłu papierniczego i elektrotechnicznego oraz ścieki miejskie.

M a n g a n (Mn) jest metalem rozpowszechnionym w przyrodzie. Zawartość jego w glebie waha się w granicach od 10 do 1000 ppm. Również w roślinach występuje on w dużych ilościach (10-1000 ppm), a w organizmach zwierzęcych koncentruje się głównie w nerkach i wątrobie (tab. 2).

Mangan spełnia szereg podstawowych funkcji w metabolizmie roślin i zwierząt. Niedobór tego pierwiastka — związany najczęściej nie z rzeczywistym jego brakiem, lecz z trudną przyswajalnością przez rośliny w niektórych warunkach — powoduje różne zaburzenia w normalnym rozwoju organizmów żywych. W naturalnych warunkach rzadko występują przypadki zatrucia manganem roślin lub zwierząt.

Na ogół wszystkie organizmy żywe wykazują tolerancję na zwiększenie stężenia manganu w środowisku. Dlatego mangan stosowany jest rzadko do produkcji pestycydów. Nie znane są dotychczas przykłady zatrucia się zwierząt tym metalem na skutek stosowania do ochrony roślin preparatów manganowych, czy też w wyniku zanieczyszczeń przemysłowych.

M o l i b d e n (Mo) jest na ogół silnie rozproszony w utworach geologicznych i większe jego stężenia związane są tylko z określonymi skałami. Przeciętna zawartość tego pierwiastka w glebach nie przekracza 2 ppm. Wyjątek stanowią gleby wytworzone ze skał zasobnych w molibden. Roślinność pochodząca z tych gleb może być silnie toksyczna dla zwierząt, które są bardzo wrażliwe na zmianę ilościowego stosunku tego pierwiastka do miedzi i siarki.

Średnia zawartość molibdenu w roślinach nie przekracza 1 ppm, jednak stężenie przekraczające 10 ppm może już być toksyczne dla zwierząt karmionych tylko takimi roślinami. Obniżenie zawartości molibdenu powoduje występowanie schorzeń niedoborowych zarówno u roślin, jak i u zwierząt.

Organizmy zwierzęce kumulują molibden w nerkach i wątrobie (tab. 2). Pierwiastek ten wprowadzony do układu oddechowego wykazuje większą toksyczność niż w przewodzie pokarmowym.

Zanieczyszczenie atmosfery molibdenem związane jest głównie z dymami hutniczymi.

N i k i e l (Ni) jest pierwiastkiem dosyć rozpowszechnionym w różnych utworach geologicznych (przeciętna zawartość 50 ppm). Natomiast w roślinach, z wyjątkiem specjalnych gatunków, występuje średnio w ilości 5 ppm. Nikiel rozmieszczony jest raczej równomiernie w różnych organach zwierzęcych. Nie określono dotychczas fizjologicznej roli tego

metal. Działa on silnie toksycznie na niektóre grzyby, ale również na rośliny wyższe, w związku z czym jego zastosowanie przy produkcji fungicydów jest ograniczone.

Nikiel jest powszechnym składnikiem zanieczyszczającym powietrze w okolicach, w których zlokalizowane są zakłady przemysłu ciężkiego. Niektóre związki niklu uważane są za wyjątkowo toksyczne i rakotwórcze dla ssaków [2].

Ołów (Pb) należy do metali średnio rozproszonych w utworach geologicznych; większa jego zawartość związana jest głównie z okruszcowaniem. Przeciętne stężenie ołowiu w glebach wynosi 10 ppm, a w roślinach 5 ppm.

Współczynnik koncentracji ołowiu w roślinach jest stosunkowo wysoki (tab. 7), dlatego wzrost zawartości tego metalu w powietrzu, a w następstwie i w glebie powoduje zwiększenie jego stężenia w roślinach. Zawartość ołowiu w paszy powyżej 30 ppm może powodować zatrucia zwierząt. Ołów jest silnie kumulowany w kościach oraz w nerkach i wątrobie. Szkodliwość tego metalu dla organizmów zwierzęcych jest szczególnie silna, gdyż nie jest on wydalany z ustroju.

Ostatnio obserwuje się wyraźny wzrost zawartości ołowiu zarówno w roślinach (tab. 6), jak i w zwierzętach. Stwierdzono, że w kościach człowieka współczesnego zawartość tego pierwiastka jest około 100-krotnie większa niż w kościach człowieka pierwotnego [16].

Przypadki zatrucia człowieka ołowiem (ołowica) były dosyć rozpowszechnione na początku naszego stulecia. Przyczyną tego było lekceważenie wymagań higieny pracy w przemyśle i górnictwie, jak również nieracjonalne stosowanie wyrobów z ołowiu, np. do urządzeń wodociągowych. Ze względu na dużą rozpuszczalność tego metalu pod wpływem działania małych ilości kwasu węglowego — występujących zawsze w wodzie — pierwiastek ten dostawał się do pożywienia i powodował zatrucia różnego stopnia u ludzi i zwierząt.

Głównym źródłem zanieczyszczenia ołowiem powietrza są kopalnie rud różnych metali oraz przemysł ciężki i energetyczny. Poza tym gazy z silników spalinowych zawierają ołów i dlatego w rejonach wielkich miast oraz przy drogach o dużym nasileniu ruchu jest on istotnym czynnikiem toksycznym.

Cyna (Sn) należy do pierwiastków rozproszonych w przyrodzie. Przeciętna jej zawartość w glebie wynosi 10 ppm, a w roślinach 0,2 ppm. Jest ona silnie sorbowana przez substancję organiczną gleby oraz kumulowana przez niektóre rośliny i niższe zwierzęta morskie.

Cyna wykazuje dużą toksyczność w stosunku do roślin, a zwłaszcza grzybów. W Polsce nie jest stosowana do produkcji pestycydów, natomiast w niektórych krajach zachodnioeuropejskich przewiduje się sze-

rokie wprowadzanie preparatów cynowych, przy jednoczesnym ograniczeniu stosowania pestycydów zawierających aktywne związki miedzi, ołowiu, arsenu i talu.

Przypadki toksycznego działania cyny na ssaki są dotychczas nieznane; uważa się, że jest to metal o średnim stopniu szkodliwości (z wyjątkiem niektórych związków chemicznych).

Niebezpieczeństwo zanieczyszczenia cyną środowiska przyrodniczego może wystąpić lokalnie — w rejonach górniczych i hutniczych.

Tal (Tl) należy do rzadkich pierwiastków w przyrodzie. Zawartość jego w glebach (0,1 ppm) i w roślinach jest oznaczana nieczęsto, a skutki wprowadzenia tego metalu do środowiska przyrodniczego są zupełnie nieznane.

Tal jest dla roślin metalem średnio toksycznym, natomiast dla ssaków jest on szczególnie szkodliwy. Powszechne stosowanie siarczanu talowego jako trutki na szczury powodowało lokalne wytrucie zwierząt, a także zatrucia ludności. W Polsce nasilenie przypadków zatrucia ludzi talem wystąpiło w latach 1954-1956 [14].

Wanad (V) jest pierwiastkiem powszechnie występującym we wszystkich utworach geologicznych. Średnia jego zawartość w glebie wynosi 100 ppm, a w roślinach 2 ppm. Na ogół wanad łatwo podlega kumulacji organicznej; jest on koncentrowany przez niektóre gatunki roślin oraz mięczaki.

Fizjologiczna rola wanadu jest jeszcze mało znana. Ustalono jedynie, że reguluje on poziom cholesterolu we krwi człowieka oraz zapobiega próchnicy zębów. Mimo to ssaki są wyjątkowo wrażliwe na podwyższenie stężenia wanadu spowodowane wprowadzeniem go bezpośrednio do organizmu (dożylnie) lub do układu oddechowego [2].

Zwiększone stężenie wanadu w powietrzu rejonów przemysłowych jest szkodliwe dla zdrowia zwierząt.

Cynk (Zn) jest metalem powszechnie występującym w przyrodzie. Przeciętna jego zawartość wynosi w glebie 50 ppm, a w roślinach 25 ppm. Wiele gatunków roślin kumuluje jednak znacznie większe ilości tego pierwiastka.

Cynk bierze udział w szeregu procesów metabolizmu roślin i zwierząt. Rośliny, w których stężenie cynku przekracza 100 ppm są dla zwierząt trujące. Poza tym ważnym czynnikiem z punktu widzenia zdrowotności człowieka jest stosunek zawartości miedzi do cynku w pożywieniu. Przeprowadzone obserwacje wskazują, że wzrost zawartości cynku w żywności powoduje nowotworowe schorzenia przewodu pokarmowego [13].

Cynk jest średnio toksyczny dla grzybów i jest rzadko stosowany

przy produkcji fungicydów. Natomiast fosforek cynku, często używany jako trucizna na szczury, był niejednokrotnie przyczyną dużej śmiertelności zwierzyny łownej oraz zwierząt gospodarskich. W latach 1956-1960 ponad 90% przypadków zatruc drobiu w Polsce było spowodowane fosforem cynku [14].

Cynk jest składnikiem zanieczyszczającym powietrze w rejonach przemysłowych, zwłaszcza hutniczych i jest uważany za jeden z czynników wywołujących schorzenia układu oddechowego. Metal ten występuje również często w ściekach i odpadach przemysłu chemicznego (farbiarstwo, tworzywa sztuczne).

ZAKOŃCZENIE

Nawet pobieżny przegląd biologicznych i geochemicznych właściwości niektórych metali ciężkich wskazuje na ryzyko niekontrolowanego ich wprowadzania do środowiska przyrodniczego. Metale te mogą ulec nadmiernej koncentracji w biosferze, powodując różne niekorzystne zmiany w układach ekologicznych.

Duże ilości metali ciężkich, które są wprowadzane na powierzchnię gleby mogą między innymi ograniczyć aktywność bakterii nitrifikacyjnych, co w następstwie będzie miało szkodliwy wpływ na skład powietrza atmosferycznego [16].

Ponieważ większość metali ciężkich podlega stałej kumulacji w roślinach oraz w organizmach zwierzęcych, człowiek jest narażony na przyjmowanie stopniowo coraz większych dawek tych składników. W zależności od stopnia toksyczności metalu oraz okresu i sposobu jego oddziaływania na człowieka (przez układ oddechowy lub pokarmowy) mogą występować u niego różne zmiany chorobowe, które często nie objawiają się w formie ostrej, ale w tzw. postaci podklinicznej, co może opóźnić wykrycie i leczenie choroby.

Ogólny rozwój techniki wiąże się ze wzrostem zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi, dlatego konieczne jest zwiększenie ilości badań oraz rozszerzenie systemu kontroli zmierzającej do zmniejszenia stopnia jego skażenia.

LITERATURA

1. Adams W. A.: Deposition of trace elements from atmospheric contamination. Rep. Welsh Soil Disc. Rep. 1968, 9, s. 89-97
2. Bowen H. J. M.: Trace elements in biochemistry. London 1966 s. 241
3. Hordyńska S., Degatowa B.: Oznaczanie submikrogramowych ilości rtęci w mieszkankach paszowych dla kur. Roczn. Państw. Zakł. Hig. 1971 s. 317-319
4. Just J., Kelus J.: Beryl w powietrzu atmosferycznym w 5 wybranych miastach w Polsce. Roczn. Państw. Zakł. Hig. 1969 s. 631-635
5. Just J., Kelus J.: Kadm w powietrzu atmosferycznym 10 wybranych miast w Polsce. Roczn. Państw. Zakł. Hig. 1971 s. 249-256

6. Kabata-Pendias A.: Uptake of copper and cobalt by clover from minerals impregnated by these cations (w druku)
7. Kabata-Pendias A., Pendias H.: Geochemia a przyrodnicze środowisko człowieka. Kwart. geol. 1970 s. 259-270
8. Löfroth G.: Methylmercury — A review of health hazards and side effects associated with the emission of mercury compounds into natural system. Ecol. Res. Com. Bul. 1969, 4, s. 1-29
9. Maziarska S., Strusińska A., Wyszynska H.: Związki ołowiu w powietrzu atmosferycznym miast polskich. Roczn. Państw. Zakł. Hig. 1971 s. 399-406
10. Nilsson R.: Cadmium effect. Ecol. Res. Com. Bul. 1969, 5, s. 56-63
11. Rühling A., Tyler G.: An ecological approach to the lead problem. Bot. Not. 1968, 121, s. 321-342
12. Rühling A., Tyler G.: Ecology of heavy metals a regional and historical study. Bot. Not. 1969, 122, s. 248-269
13. Stocks P., Davies R. I.: Zinc and copper content of soils associated with the incidence of cancer of the stomach and other organs. Brit. J. Cancer. 1964, 18, s. 14-24
14. Szuber T.: O zagrożeniu toksykologicznym zwierząt domowych i dzikich. Zesz. Probl. Post. Nauk. rol. 1964, 51, s. 125-130
15. Wpływ przemysłowych zanieczyszczeń powietrza na glebę i lasy w wybranym rejonie woj. katowickiego. Oprac. A. Czyż i in. Ochr. Przyr. 1968, 33, s. 309-338
16. Young G.: Pollution, threat to Man's only home. Geogr. Mg. 1970, 138, s. 738-781