

KRYSPINA ŚMIERZCHALSKA

*Rolnicza Pracownia Izotopowa PAN*

## NIEKTÓRE ASPEKTY BADAŃ NAD SKAŻENIEM ŚRODOWISKA RADIONUKLIDAMI ORAZ PIERWIASTKAMI METALI CIĘŻKICH \*)

Ochrona środowiska znajduje się obecnie w centrum zainteresowania badawczego w dążeniu do przeciwdziałania jego dalszej dewastacji i skażeniu oraz poprawy zanieczyszczenia powietrza, wód czy gleb.

Zagadnienia te coraz częściej wychodzą poza zasięg lokalny czy regionalny urastając do problemów o charakterze krajowym, międzynarodowym czy ogólnoswiatowym. Znajduje to wyraz w licznych konferencjach i naradach, organizowanych na różnych szczeblach. W skali międzynarodowej zagadnienia ochrony środowiska znalazły się na forum Organizacji Narodów Zjednoczonych. Przedmiotem tych konferencji jest zarówno problematyka badań jak i praktyczne przedsięwzięcia zmierzające do poprawy istniejącego stanu.

Główne przyczyny niszczenia środowiska są konsekwencją nieprzemysłanej i nieplanowej działalności ludzkiej — olbrzymiej industrializacji i urbanizacji, a także niekiedy nowoczesnej techniki jak np. technika nuklearna. Niektóre skutki tej działalności to wzrastające zaśmiecanie odpadami stałymi, olbrzymie zadymienie lub zapylenie wielu okręgów przemysłowych, zanieczyszczanie wód ściekami przemysłowymi czy miejskimi, wyniszczanie środowiska biologicznego — roślinności i zwierzyny.

Nie wnikając w to niesłychanie obszerne zagadnienie różnorodnych widocznych skutków niewłaściwej gospodarki człowieka, w niniejszym artykule szczególna uwaga będzie poświęcona zagadnieniu tzw. „niewidocznego” skażenia środowiska, jakie mogą stanowić występujące w bardzo małych koncentracjach niektóre radionuklidy oraz pierwiastki metali ciężkich.

---

\*) Materiały do opracowania niniejszego artykułu zostały zaczerpnięte z prac opublikowanych, a także referatów nie publikowanych i dyskusji, będących przedmiotem zebrań Europejskiego Stowarzyszenia Metod Izotopowych w Rolnictwie (ESNA) oraz posiedzeń jego Grupy Roboczej „Skażenie Środowiska” (Environmental Pollution), w których autorka uczestniczyła w Wageningen (1969), Wenecji (1971), Hanowerze (1971), Isprze (1972) oraz Budapeszcie (1972).

### *Skażenie środowiska niektórymi radionuklidami*

Skażenie radionuklidami pochodzącymi z wybuchów nuklearnych poruszyło przed kilkunastu laty świat nauki, mobilizując do podjęcia na szeroką skalę zakrojonych badań, prowadzonych w specjalnie dla tych celów wybudowanych i wyposażonych laboratoriach a nawet instytutach. Badania te obejmują: a) systematyczną kontrolę zawartości szczególnie groźnych dla zdrowia człowieka radionuklidów w różnych materiałach i produktach rolniczych, stanowiących podstawę wyżywienia człowieka, b) zachowanie się najbardziej groźnych radionuklidów w łańcuchu żywieniowym, c) sposoby obniżania zawartości radionuklidów w produktach rolniczych na wypadek, gdyby przekraczała ona poziom uznany jako zagrażający zdrowiu człowieka.

Badania nad skażeniami początkowo obejmowały głównie trzy groźne radionuklidy falloutu, a mianowicie: Sr-90, I-131 oraz Cs-137. Z czasem rozszerzono je również na inne, których udział w opadzie radioaktywnym jest stosunkowo duży, a ostatnio także na radionuklidy, które mogą być również wyzwalone do środowiska (atmosfery, zbiorników wodnych) przy pokojowym wykorzystywaniu energii jądrowej (8, 23, 28, 29, 30, 31, 33). Wiąże się to z planowanym w skali światowej dużym wzrostem liczby reaktorów i elektrowni atomowych. Jako najbardziej groźne uważane są następujące radionuklidy: Zn-65, Co-60, H-3, Cr-51, Mn-54, Ru-106, Ce-144, P-32, Fe-55, a także Kr-85, Pu-239, U-235. Stwierdzenie wielu groźnych skutków działalności ludzkiej już po fakcie spowodowało, że podejmuje się coraz więcej badań o charakterze przyszłościowym, które w założeniach swych często wyprzedzają znacznie zamierzone poczynania tak, aby wcześniej można było przewidzieć ewentualne niebezpieczeństwo i odpowiednio jemu przeciwdziałać. Taki właśnie charakter mają niektóre z badań przytoczonych w niniejszym artykule.

Przegląd badań dotyczących skażenia radionuklidami Sr-90 i Cs-137 był przedmiotem oddzielnych opracowań (38, 39).

Do radionuklidów, które wzbudziły duże zainteresowanie w ostatnich latach, należy tryt H-3. Problem skażenia tym radionuklidem uznany został jako jeden z ważniejszych i obszerne badania w tej dziedzinie podjęto w szeregu krajów. W roku 1971 odbyło się w Las Vegas specjalne sympozjum poświęcone badaniom nad trytem (26). Uczestniczyło w nim 270 naukowców z 12 krajów. Dyskutowana tematyka dotyczyła źródeł skażenia trytem (broń nuklearna, reaktory atomowe), zachowania się trytu w atmosferze, wodach, glebach oraz materiale biologicznym. Ogólnie ocenia się, że w wyniku wybuchów bomb atomowych zawartość trytu przewyższa 45-krotnie poziom zawartości naturalnej. Najwięcej trytu jest zakumulowanego w oceanach (90%), podczas gdy w wodach pitnych i atmosferze znajduje się znacznie mniej (10%). Ocena ta nie dotyczy lokalnego ska-

żenia tym radionuklidem — okolic wybuchów bomb, a także reaktorów czy elektrowni atomowych.

Tryt charakteryzuje się bardzo miękkim promieniowaniem beta i nie stanowi niebezpieczeństwa jako źródło promieniowania zewnętrznego. Niebezpieczeństwo skażenia tym radionuklidem może wynikać z faktu włączania go do biomasy. Stwierdzono obecność trytu w białkach wątroby, tłuszczach i kwasach nukleinowych. Istnieją obawy ewentualnego wystąpienia genetycznego efektu trytu. Ponieważ może być on włączony do DNA istnieje obawa powstawania mutacji punktowych. Sygnalizowane są obecnie obserwacje szkodliwego wpływu znakowanej trytem tymidyny oraz innych prekursorów znakowanych tym radionuklidem. Biologiczne efekty trytu były rozważane zarówno w aspekcie zmian genetycznych jak i czynnika kancerogennego. Nie dysponowano jednak odpowiednimi materiałami eksperymentalnymi na ten temat, a wyjaśnienie tych kwestii wymaga bardzo obszernych badań.

Badania nad zachowaniem się trytu w łańcuchu żywieniowym były prowadzone w USA, Belgii, Holandii, Francji (4, 6, 22, 26, 27). W USA (26) w doświadczeniach z małymi zwierzętami żywionymi karmą znakowaną trytem badano między innymi biologiczny okres półtrwania, a także współczynnik przechodzenia trytu. Stwierdzono wzbogacenie w tryt wody występującej w badanych produktach przy przechodzeniu w łańcuchu żywieniowym od wody glebowej przez substancję organiczną — roślinną do organizmu zwierzęcego.

Doświadczenia nad przyswajalnością trytu i jego przechodzeniem z karmy do organizmów zwierzęcych były również przedmiotem badań prowadzonych w Centrum Badań Nuklearnych w Mol, w Belgii (27). Wykazały one, że u krów pojonych wodą trytowaną w ciągu jednego miesiąca, współczynnik przechodzenia trytu do mleka wynosił 0,037, natomiast w przypadku karmienia krów w tym samym czasie karmą znakowaną trytem współczynnik ten był dziesięciokrotnie większy. Akumulacja trytu w obydwu przypadkach była nieduża. Podane wartości obrazują procent wykorzystania trytu w porównaniu z ogólną jego zawartością w pokarmie. Jednakże wskazują na duże różnice w przyswajalności radionuklidu w zależności od rodzaju połączeń będących jego źródłem.

Zachowanie się trytu w łańcuchu żywieniowym środowisk wodnych było przedmiotem badań (4), uwzględniających jego mobilność oraz procesy wymiany z jonami wodoru związanymi w połączeniach organicznych.

Z innych badań nad trytem należy wymienić prace metodyczne nad oznaczaniem trytu w produktach rolniczych (mleko, przetwory mleczne) oraz niektórych artykułach żywnościowych. Badania w tej dziedzinie są prowadzone na szeroką skalę w Instytucie Technologii Żywności w Karls-



ruhe, centralnej placówce NRF dla badań skażenia radioaktywnego żywności (11, 12).

Oprócz wyżej podanej tematyki prowadzone są również badania nad zachowaniem się trytu w glebach, zarówno w formie gazowej jak i występującego w wodzie, jego migracją w profilu glebowym a także pobieraniem przez rośliny wody znakowanej trytem z gleb nawadnianych HTO. Badania Masona i wsp. (28) przeprowadzone w Stanie Nevada nad rozmieszczeniem trytu w profilu glebowym wykazały największą jego koncentrację na głębokości 70 cm, odpowiadającej maksymalnej przesiąkalności opadów w tych rejonach. Koncentracja trytu w warstwie ornej badanych gleb (do głębokości 25 cm) wahała się w granicach 11,4—26,5 pCi/ml wody glebowej, co w przeliczeniu na powietrznie suchą masę gleby dawało 0,21—0,42 pCi/g. Oznaczono również zawartość trytu w wielu roślinach (ziemniaki, kukurydza, fasola, cebula, melony i inne). Wynosiła ona 2,0—3,0 pCi/g suchej masy roślinnej. Rośliny z rejonów nie objętych próbami nuklearnymi nie wykazywały wykrywalnych zawartości trytu.

Z innych radionuklidów opadu radioaktywnego, którym ostatnio poświęcono więcej uwagi można wymienić ruten Ru-106. Obszerny program badań realizowany w Centrum Euratomu w Mol (2, 7, 24, 25) miał na celu bliższe naświetlenie zachowania się tego radionuklidu w glebach i roślinach, a także układach biologicznych. Wyniki tych badań (24, 25) wykazały między innymi, że ruten-106 występując w formie kationowej był silnie sorbowany przez frakcję organiczną oraz mineralną frakcję koloidalną gleb i zatrzymywany w warstwie do 5 cm (przy wniesieniu powierzchniowym). Forma anionowa Ru-106 była bardzo ruchliwa, powodując jego przemieszczanie się w ciągu 2 miesięcy do głębokości 25 cm.

Doświadczenia polowe nad skażeniem roślinności łąkowej i przechodzeniem radionuklidu z karmy do mleka wykazały bardzo małą jego przyswajalność, znacznie mniejszą niż Sr-90 lub Cs-137. W przypadku Ru-106 większe znaczenie ma skażenie bezpośrednio części nadziemnych roślin niż pośrednie poprzez glebę. Pobierany przez rośliny z gleby ruten-106 był silnie wiązany w korzeniach i tylko w małym procencie odprowadzany do części nadziemnych. Przedmiotem badań była również akumulacja Ru-106 przez organizmy słodkowodne oraz wpływ różnych czynników środowiska (temperatury, koncentracji oraz jego występowania w różnych połączeniach) na pobieranie i akumulację radionuklidu (7).

Inne radionuklidy falloutu, a także wyzwalone przy pokojowym wykorzystywaniu energii jądrowej są również przedmiotem badań prowadzonych w zależności od sytuacji lokalnych czy regionalnych. Wiele z nich dotyczy środowisk wodnych, gdzie kumulacja radionuklidów może mieć znaczenie w skażeniu fito czy zooplanktonu, a także małż i ryb. Tego rodzaju badania prowadzone w Anglii (29) obejmują szereg radionuklidów



jak Zn-65, Co-60, Fe-55, Ru-106, Ce-144, Ag-110, P-32, a także podstawowe jak Sr-90 i Cs-137. W Japonii (21), oprócz trzech powszechnie objętych badaniami Sr-90, Cs-137 oraz I-131, również szeroko uwzględniane są radionuklidy: Zn-65, Ce-144, Cd-115, Ru-106.

W badaniach Prestona i Jefferies (33) nad pobieraniem i wydzieleniem radionuklidów przez różne organizmy wodne, a także ich akumulacją w niektórych organach stwierdzono dużą zawartość w rybach oprócz Cs-137 również Co-60, Mn-54 oraz Fe-55.

### *Skażenie środowisk pierwiastkami metali ciężkich*

Źródłem skażenia pierwiastkami metali ciężkich mogą być odpady przemysłowe zawarte w pyłach czy dymach, ściekach odprowadzanych do zbiorników wodnych, a także ściekach miejskich, które w wielu rejonach są używane do nawadniania upraw rolniczych. Poważnym źródłem skażenia tego rodzaju metalami mogą być także niektóre środki ochrony roślin, stosowane przez rolnictwo w coraz większych ilościach.

Z metali ciężkich, których zawartość przekraczając koncentracje dopuszczalne może stanowić duże niebezpieczeństwo dla organizmów żywych należy wymienić przede wszystkim: Hg, Co, Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, Fe. Studia prowadzone nad ich szkodliwością, podobnie jak wszystkie tego typu badania, idą w następujących kierunkach.

1. Opracowania najbardziej przydatnych metod masowego ich oznaczania, a więc odpowiednio czułych, szybkich i tanich. Są to głównie metody fizyczne, a między innymi metoda analizy aktywacyjnej oraz absorpcji atomowej (9, 14, 18, 34). Ta ostatnia jest często technicznie łatwiejsza od metody aktywacyjnej. Trudności stosowania na szerszą skalę analizy aktywacyjnej wynikają nie tylko z konieczności posiadania odpowiednio czułej aparatury pomiarowej (wielokanałowych analizatorów), ale także dysponowania źródłem neutronów, a więc możliwości operatywnego korzystania z reaktora o odpowiednio dużej mocy, czy innego źródła cząstek elementarnych jak np. cyklotronu. Wyższość metody aktywacyjnej występuje w przypadku równoczesnego oznaczania kilku pierwiastków zawartych w ilościach śladowych, a także w przypadku dysponowania bardzo małymi próbkami. Opracowanie i udostępnienie laboratoryjnych generatorów neutronów może być dużym krokiem do szerszego upowszechnienia metody radioaktywacyjnej.

2. Określenia poziomu zawartości metali ciężkich w materiałach biologicznych, a także ich zachowania się w łańcuchu żywnościowym — kumulacji w organizmach żywych i najbardziej krytycznych organach. Określenie poziomu zawartości metali ciężkich w różnych materiałach, a także organach krytycznych stanowi podstawę kontroli ich toksyczności.

Dla szeregu metali ciężkich prowadzone są na szeroką skalę zakrojone badania środowiskowe, mające na celu poznanie zachowania się ich w układach: gleba—roślina—zwierzę, czy też środowisko wodne—fito i zooplankton—organizmy zwierzęce wyższych rzędów. Badania te mają na celu ustalenie stopnia kumulacji poszczególnych metali w różnych organizmach i przewidywania ewentualnego niebezpieczeństwa mimo niezbyt dużej zawartości w środowisku np. wodnym, a dużej zdolności niektórych organizmów (czy organów) do ich kumulowania.

3. Obniżenia toksyczności produktów zawierających metale ciężkie przez zastosowanie skutecznych środków i sposobów zmniejszania ich zawartości lub przyswajalności w niektórych ogniwach łańcucha żywieniowego.

W badaniach środowiskowych nad przechodzeniem metali ciężkich ze środowiska do konsumenta niezwykle cenną jest metoda izotopowa, pozwalająca na znakowanie badanych pierwiastków ich radioaktywnymi izotopami. Jest to jedyna metoda, która pozwala na dokładne śledzenie szybkości pobierania, transportu, kumulacji czy wydalania badanego pierwiastka z organizmu.

#### *Badania nad skażeniem środowisk rtęcią (Hg)*

Skażenie rtęcią może być jednym z groźniejszych, wynikających z faktu, że przekroczenie dopuszczalnej koncentracji bardzo silnie hamuje aktywność biologiczną organizmów.

Dopuszczalna zawartość rtęci (zatwierdzona przez FAO/WHO w Rzymie 1963 r.) została określona na 0,05 ppm/kg wszystkich produktów żywnościowych z wyjątkiem ryb oraz skorupiaków.

W wyniku zatrucia wód rtęcią może bardzo wzrosnąć jej zawartość w rybach, które odznaczają się właściwością dużej kumulacji tego pierwiastka. Może to stanowić groźne niebezpieczeństwo dla ludności spożywającej dużo ryb. Ten fakt skłonił szereg placówek do podjęcia na szeroko zakrojoną skalę doświadczeń nad zachowaniem się rtęci w różnych środowiskach. Jednym z krajów prowadzących tego rodzaju badania jest Holandia, gdzie na skutek stosowania dużych ilości środków ochrony roślin zawierających rtęć istniała obawa toksycznej jej kumulacji w niektórych organizmach czy produktach rolniczych. Badania są prowadzone w szeregu placówek naukowych. W Instytucie Zastosowań Energii Atomowej w Rolnictwie (ITAL), w Wageningen, zajmowano się aktywacyjną metodą oznaczania rtęci w materiale biologicznym a także metodą absorpcji atomowej. Badano także losy rtęci w glebach, jej przemieszczanie się, procesy adsorpcji i migracji oraz rozmieszczenie w profilu glebowym. Jedne

z najwcześniej podjętych badań nad rtęcią miały na celu określenie jaka jej część z ogólnej ilości wprowadzonej do gleby ze środkami ochrony roślin może dostawać się do wód powierzchniowych oraz do wód gruntowych stanowiących rezerwę wód pitnych (10, 15). Całokształt badań nad rtęcią zaprogramowano uwzględniając technikę komputerową i najnowszy system najbardziej dostosowany do badań biologiczno-rolniczych „Simulation technique, CSMP-360” (36). W doświadczeniach laboratoryjnych śledzono zachowanie się organicznych i mineralnych połączeń rtęci ( $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ ,  $\text{CH}_3\text{HgCl}$ ,  $\text{HgCl}_2$  w trzech fazach glebowych — gazowej, płynnej i stałej. W kolumnach glebowych profilów gleb pobranych w naturalnych warunkach, stosując połączenia rtęci znakowane radioaktywnym izotopem Hg-103, badano ich przemiany i procesy migracji. Wyniki tych badań pozwoliły na wyciągnięcie wniosków, co do możliwości przemian różnych połączeń rtęci, a między innymi przemiany  $\text{CH}_3\text{HgCl}$  do chlorku rtęci, a następnie możliwości redukcji  $\text{HgCl}_2$  za pomocą substancji organicznej do rtęci metalicznej, która z kolei może ulatniać się do fazy gazowej gleby.

W naturalnych warunkach polowych (32) badano rozmieszczenie rtęci w warstwach profilu gleb o różnym użytkowaniu rolniczym. Analizowano profile do głębokości jednego metra pobierając z warstwy ornej (30 cm) próbki co 5 cm, a z głębszych co 10 cm. Z przebadanych w ten sposób dziesięciu gleb wydzielono trzy grupy o różnych możliwościach skażenia rtęcią. Gleby pochodzące z terenów często zalewanych w okresie zimowym przez wody Renu wykazywały wyraźnie większą niż pozostałe zawartość rtęci. W jednej z takich gleb stwierdzono w warstwie górnej aż 10,5 ppm Hg, podczas gdy przeciętna zawartość w pozostałych glebach wahała się w granicach 0,1—0,16 ppm. Drugą grupę stanowiły gleby spod upraw kwiatowych, na których od szeregu lat stosowano preparaty rtęciowe, w celu zapobiegania chorobom grzybkowym. W profilach tych gleb nie stwierdzono dużo większej zawartości Hg niż w profilach gleb trzeciej grupy, które stanowiły pastwiska, nie zalewane wodami rzek, i na których nigdy nie były stosowane żadne preparaty rtęciowe. Wszystkie profile badanych gleb wykazywały zawartość rtęci malejącą z głębokością. W oparciu o wyniki tych badań autorzy wnioskuje, że rtęć nie jest akumulowana. Przy rocznym stosowaniu 50 g Hg na hektar wprowadza się do gleby — warstwy ornej 0,02 ppm, stąd zawartość jej przy długoletnim stosowaniu mogłaby znacznie wzrastać. Autorzy sugerują „obieg rtęci” polegający na tym, że część rtęci wprowadzonej do gleby wyparuje dostając się do powietrza glebowego, a następnie atmosferycznego. Ponownie jest wprowadzana do gleb z opadami atmosferycznymi stano-



wiąc źródło rtęci w glebach, na których nigdy nie była stosowana w postaci środków ochrony roślin. Z opadami atmosferycznymi dostawać się może również rtęć pochodząca z odpadów przemysłowych. Oznaczenia zawartości rtęci w roślinach wykazywały bardzo małą jej koncentrację.

W podobnego typu badaniach prowadzonych w Austrii (20), w glebach wysoko próchnicznych stwierdzono większą zawartość rtęci niż w glebach o mniejszej zawartości próchnicy. I tak np. przy zawartości związków próchnicznych 10,2% zawartość Hg wynosiła 0,170 ppm, a przy poziomie 4,8 czy 3,0% zawartość rtęci wynosiła około 0,07 ppm. W oparciu o te wyniki autorzy wnioskuje o silniejszym wiązaniu i zatrzymywaniu rtęci przez związki próchniczne. Poza tymi badaniami oznaczono zawartość rtęci naturalnie występującej w różnych typach gleb Austrii. Wyniki dotyczące 33 gleb wykazują wahania w zawartości Hg od 0,008 do 0,340 ppm (ng/g sm). Średnia zawartość obliczona przy tych wahanach wynosiła 0,1 ppm. W profilach dwóch gleb oznaczono zawartość rtęci w różnych poziomach. Uzyskano wyniki podobne do wyników badaczy holenderskich, wskazujące, że zawartość rtęci maleje z głębokością, o ile nie wchodzi w grę zawartość w skale macierzystej.

W doświadczeniach wazonowych (20) badano przyswajalność Hg dla roślin na różnych glebach, przy różnym poziomie sztucznego skażenia rtęcią. Objęte doświadczeniami gleby stanowiły: czarnoziem, dwie gleby piaskowe (o pH 5,8 i 7,8) oraz dwie gleby gliniaste (o pH 4,6 oraz 7,5). Poziom skażenia rtęcią wynosił 0,05, 1,0 oraz 10,0 ppm. Wyniki doświadczeń przeprowadzonych z pszenicą wykazały, że pobieranie Hg przez rośliny wzrastało wraz ze wzrostem jej koncentracji w glebie. Zawartość w ziarnie była znacznie niższa niż w słomie. Niska koncentracja Hg w ziarnie utrzymywała się nawet przy wysokiej zawartości w glebie, natomiast zawartość Hg w słomie silniej wzrastała. I tak np. na glebie piaszczystej, przy najwyższym poziomie skażenia rtęcią, zawartość Hg w słomie wynosiła 5,7 ppm a w ziarnie tylko 0,01 ppm. Nawet przy tak wysokim poziomie skażenia rtęcią (10,0 ppm) jej zawartość w ziarnie pszenicy nie przekraczała dawki tolerancyjnej określonej przez FAO/WHO. Wyniki tych badań wskazują, że pszenica posiada dwie skuteczne bariery — jedną w ogniwie gleba-roślina, drugą nawet bardziej skuteczną jaką istnieje przy transporcie wewnątrz rośliny, gdzie z części wegetatywnych tylko mały procent przechodzi do nasion.

W Centrum Reaktorowym w Delft (18) w latach 1968/70 przebadano ponad 2 000 próbek materiałów biologicznych na zawartość rtęci. Były to między innymi osady wodne, organa i tkanki zwierząt (ssaków, ptaków, ryb), produkty żywnościowe (zboża, konserwy rybne, herbata, mleko), niektóre środki farmaceutyczne (aspiryna, tran) materiały roślinne (trawy pastwiskowe, wodorosty, plankton) oraz wody różnych zbiorników.

W związku z dużą zawartością Hg w osadach Renu, przy współpracy z Instytutem Żywności Gleb (Haren-Groningen), badano przechodzenie rtęci w łańcuchu żywnościowym: woda i osady rzeczne Renu — roślinność trawiasta pastwisk okresowo zalewanych — bydło (mleko). Wyniki tych badań wykazały bardzo dużą kumulację Hg w osadach rzecznych, a brak kumulacyjnego efektu w dalszym przechodzeniu rtęci do organizmów zwierzęcych i produkowanego mleka. Stosunkowo największą zawartość Hg stwierdzono w wątrobie krów (0,01—0,015 ppm), mniejszą w tkance mięsnej i mózgu (0,001—0,003 ppm), a najmniejszą w mleku (0,0005 ppm). Małą kumulację rtęci w badanych organach krów, przy stosunkowo dużej jej zawartości w skarmianej trawie (0,1—0,2 ppm) tłumaczono tym, że rtęć znajdująca się w postaci nieorganicznych połączeń może być wytrącana w przewodzie pokarmowym przeżuwaczy w postaci sulfidów. Inny obraz akumulacji rtęci uzyskano w badaniach przeprowadzonych na ptakach drapieżnych. Martwe ptaki znalezione zimą 1968/69 roku w różnych okolicach Holandii przeanalizowano między innymi również na zawartość rtęci. Stwierdzono bardzo wysoki jej poziom w wątrobie (1000 ppm). Dodatkowe badania prowadzone w laboratoriach nad żywieniem ptaków drapieżnych zatrutymi rtęcią myszami, wykazały zawartości rtęci zbliżone do występujących w wątrobie martwego ptactwa znalezionego na polach. To pozwoliło wnioskować, że przyczyną zatruć mogły być gryzonie żywiące się ziarnem zaprawianym środkami rtęciowymi. W wyniku tych badań w Holandii ograniczono stosowanie środków rtęciowych w ochronie roślin.

Inne badania z ptakami drapieżnymi (37) przeprowadzono uwzględniając kolekcję niektórych gatunków z okresu 1925—1967. U ptactwa kolekcji ostatnich lat stwierdzono wyższy poziom rtęci (materiałem na którym wykonywano oznaczenia były pióra).

W badaniach toksyczności rtęci — podobnie jak i innych metali ciężkich — olbrzymie znaczenie mają doświadczenia nad kumulacją w organizmach środowisk wodnych. Obszerny program tego rodzaju badań jest realizowany w wielu ośrodkach, między innymi w Centrum Badań Nuklearnych Euratomu w Ispra. Została też specjalnie przystosowana aparatura pomiarowa do oznaczania *in vivo* koncentracji emitatorów gamma w różnych organach ryb (17). Szczególnie duża może być jej przydatność przy określaniu pobierania i akumulacji pierwiastka, a także jego wydalania z organizmu, które można prowadzić na tych samych osobnikach w różnych okresach ich wzrostu. W dotychczasowych doświadczeniach aparatura ta znalazła zastosowanie przy badaniu akumulacji i wydalania różnych form rtęci w zależności od jej koncentracji w wodzie. Kumulację rtęci oznaczono po 14 dniowym okresie przebywania ryb w wodzie zawierającej 0,23 ppm Hg znakowanej radioaktywnym izotopem Hg-203. Izotop

ten charakteryzuje się korzystnym dla badań półokresem rozpadu  $T_{\frac{1}{2}} = 46,5$  dnia oraz promieniowaniem gamma o energii 0,279 MeV. Po umieszczeniu ryby w kamerze pomiarowej, specjalnie przystosowanym detektorem oznacza się aktywność Hg-203 w miejscach odpowiadających usytuowaniu poszczególnych organów. Taką „mapę aktywności ryby” można otrzymać w ciągu 20 minut, obliczając następnie na jej podstawie zawartość rtęci w poszczególnych organach. Odpowiednia aparatura rejestracyjna pozwala na zaprogramowanie obliczeń i otrzymanie wyników w najbardziej przydatnej formie.

W Centrum Badań Nuklearnych we Francji (Grenoble), prowadzone są prace nad zawartością Hg w łańcuchu żywnościowym człowieka (13). Wstępne badania obejmowały oznaczenie rtęci w pokarmach ludzi dorosłych i dzieci, a także badania porównawcze dotyczące zawartości Hg w konserwach rybnych pochodzących z różnych krajów, a właściwie łowisk np. wybrzeży Japonii i Afryki, jak również niektórych produktów rolniczych, np. pszenic pochodzących z różnych rejonów upraw.

#### *Badania toksyczności innych metali ciężkich*

Szereg problemów dotyczących toksyczności pierwiastków innych poza rtęcią, rozwiązywanych w wielu placówkach, ma również charakter doświadczeń środowiskowych i obejmuje ich kumulację i przechodzenie w łańcuchu żywnościowym. Między innymi, tego typu badania są prowadzone we Francji (5) i obejmują oprócz rtęci również Zn, Cu, Pb, Cr. Jako przykład mogą posłużyć badania w środowisku wodnym z miedzią, która jest bardzo silnie kumulowana przez plankton (1000-krotnie) oraz przez ryby (100-krotnie) w porównaniu do koncentracji w wodzie. Badania prowadzono przy koncentracji miedzi zwiększonej z przeciętnej spotykanej 0,005 ppm do 0,2 ppm. Prowadzono je również w aspekcie obniżenia przyswajalności miedzi przez zastosowanie substancji kompleksujących jak EDTA, kwas glutaminowy oraz kwasy humusowe. Z badanych związków, EDTA najsilniej obniżał przyswajalność miedzi dla planktonu i ryb. W doświadczeniach badano również stopień przyswajalności miedzi występującej w organizmach zwierzęcych — rybach, dla następnego konsumenta myszy jako przedstawiciela ssaków.

Problem toksyczności niektórych metali ciężkich w układach gleba-roślina urasta do jednego z ważniejszych w rejonach, w których ścieki miejskie znajdują zastosowanie do nawadniania upraw warzywnych czy rolniczych. Niektóre ścieki stosowane do nawodnień w NRF wykazywały bardzo dużą koncentrację Zn, Cu, Pb, Mo, Cr, Ni, Hg (1).

W dotychczasowej praktyce nawadniania ściekami nie obserwowano na ogół fizjologicznej ich toksyczności dla roślin. Przypadki podwyższonej koncentracji wymienionych metali, a także możliwość ich kumulacji w gle-



bach stwarza potrzebę wyjaśnienia zachowania się wprowadzanych ze ściekami pierwiastków i ich przyswajalności dla roślin. Badania podjęte w Instytucie w Brunszwiku przewidują zarówno doświadczenia polowe jak i laboratoryjne, prowadzone w kolumnach glebowych nad migracją jonów, procesami sorpcji i akumulacji w profilu glebowym a także przyswajalnością dla roślin.

Koncentracja pierwiastków metali ciężkich w rzekach szczególnie dużych (Ren, Dunaj) stanowi problem o charakterze międzynarodowym. Duża kumulacja tych pierwiastków następuje w osadach rzecznych, głównie cząstkach o średnicy poniżej 50  $\mu\text{m}$ , a namuły rzeczne osadzane podczas wylewów jak i w deltach rzek mogą stanowić poważne niebezpieczeństwo wzrostu koncentracji aż do toksycznej. Stosując metodę analizy aktywacyjnej (19) badano koncentrację i rozmieszczenie w deltach niektórych rzek, między innymi Renu i Emsu, następujących pierwiastków: Fe, Co, Cu, Mn, Zn, Hg, Cr. W osadach Renu stwierdzono dużą zawartość Zn, Cr, Cu, Hg oraz As. Stwierdzono też różnice w koncentracji tych pierwiastków w różnych miejscach delty w zależności od ich usytuowania w stosunku do ujścia rzeki. Osady rzeczne Emsu zawierały więcej Fe i Mn w porównaniu z Renem.

Badania nad zanieczyszczeniem wód Dunaju prowadzone są między innymi w Jugosławii i obejmują nie tylko koncentrację metali ciężkich, ale również skażenia pierwiastkami radioaktywnymi (35, 40).

W ostatnich latach duże zainteresowanie budzi skażenie ołowiem, które urasta do poważnego problemu w krajach o dużym nasileniu ruchu samochodowego. Wydzielający się z gazami spalinowymi ołów stanowi zagrożenie skażenia nie tylko powietrza, ale i roślinności upraw przylegających do autostrad, a także dalszych, na które przenoszony jest przez wiatr. Badania na ten temat prowadzone są między innymi we Francji, Włoszech, Belgii.

Przytoczona powyżej tematyka badań nad skażeniem środowiska pierwiastkami metali ciężkich, czy niektórymi radionuklidami obrazuje problemy istotne dla wielu krajów o wysoko rozwiniętej industrializacji i technice łącznie z techniką nuklearną (elektrownie atomowe czy reaktory).

Obszerna problematyka dotycząca ochrony środowiska w Polsce, wyłaniana i dyskutowana ostatnio na licznych konferencjach, w małym stopniu obejmuje zagadnienia poruszone w niniejszym artykule. Stosunkowo słabe uprzemysłowienie naszego kraju w minionych latach jak również niski do niedawna poziom chemizacji rolnictwa — ilości stosowanych nawozów i środków ochrony roślin, nie powodowały na ogół ujemnych skutków wynikających z toksyczności niektórych związków czy pierwiastków. Jedynie lokalnie, w rejonach silnie uprzemysłowionych, czy o wyjątkowo

intensywnej gospodarce ogrodniczej zagadnienia te mogły występować. Znaczny wzrost uprzemysłowienia w Polsce w ostatnich latach, podobnie jak wzrost chemizacji rolnictwa wyłoniły i wyłaniają nadal szereg problemów związanych z toksycznością ich odpadów wydzielanych do powietrza czy odprowadzanych do zbiorników wodnych, podobnie jak wysokie dawki niektórych nawozów oraz stosowane środki ochrony roślin lub zwierząt, wyłaniają problematykę związaną z ich toksycznością. Badania środowiskowe dotyczące toksyczności metali ciężkich nie są u nas prowadzone na szerszą skalę.

Również na niewielką skalę prowadzi się badania nad radionuklidami omawianymi w artykule. Kontrola skażenia środowiska (powietrza, wód, gleb, produktów rolniczych) radionuklidami Sr-90 oraz Cs-137, jak również badania nad ich zachowaniem się w niektórych ogniwach łańcucha żywniowego są u nas potraktowane dość szeroko. Natomiast niektóre radionuklidy jak np. tryt nie są objęte badaniami. W stosunkowo niewielkim zakresie prowadzone są też badania nad radionuklidami: Ru-106, Ce-144, Pm-147 czy I-131 i dotyczą głównie skażenia nimi gleb i roślin.

#### LITERATURA

1. Bassam El N.: Heavy metals in sewage irrigation water nad method for studying their pollution to ground water. Abstr. of Papers. ESNA „Environmental Pollution” Meeting, Hannover, 1971.
2. Bequé H.: Environmental pollution by ruthenium-compounds. Abstr. of Papers, ESNA „Environ. Pollution” Meeting, Mol, 1971.
3. Berg A.: Uptake of radionuclides by freshwater fishes as influenced by pollutants with special references to Zn. Referat na konf. ESNA „Environ. Pollution”, Ispra 1972.
4. Bittel R.: Remarques relatives au transfert du tritium dans les chaines alimentaires. Abstr. of Papers ESNA „Environ. Pollution”, Mol, 1971.
5. Bittel R. et al.: Investigations on the transfers of heavy metals in marine trophodynamic chains. Abstr. of Papers ESNA „Environ. Pollution”, Hannover 1971.
6. Bonotto S.: Incorporation of tritium in biological material. Referat na konf. ESNA „Environmental Pollution” Ispra, 1972.
7. Borcht von der O.: Biological aspects of Ru accumulation by fresh water fish and mollusc under controlled conditions. Abtr. of Papers, ESNA „Environ. Pollution”, Mol, 1971.
8. Comar C. L.: Some thoughts about radioactive contamination of the environment from peacetime applications of atomic energy. Proc. of Seminar „Environmental metal contamination by radioactiv materials”, FAO/IAEA/WHO, Vienna, 91—97, 1969.
9. Ekman R.: Factors influecing the distribution and retention of methylradio-mercury in pigs. Ref. na konf. ESNA, Ispra, 1972.
10. Faassen von H. G., Frissel M. J., Polstra P., Reiniger P.: Contamination of the soil with mercury. Abstr. of Papers. ESNA, „Environ. Pollution”, Mol, 1971.

11. Fischer E.: Quantitative determination of tritium in foods. Abstr. of Papers, ESNA „Environ. Pollution”, Mol, 1971.
12. Fischer E.: Application of neutron activation analysis for the determination of minor elements in foods. Abstr. of Papers, ESNA „Environmental Pollution”, Mol, 1971.
13. Fourcy A., Neuburger M.: The analysis of mercury and other elements in food chains. Abstr. of Papers, ESNA „Environmental Pollution”, Hannover, 1971.
14. Fourcy A.: Determination of some heavy metals in the food. Referat na konferencji ESNA, Ispra, 1972.
15. Frissel M. J., Poelstra P.: Contamination of the soil with mercury. Abstr. of Papers, ESNA „Environ. Pollution”, Hannover, 1971.
16. Frissel M. J.: Mercury transport in soils. Referat na konferencji ESNA, „Environ. Pollution”, Ispra, 1972.
17. Givardi F. et al: A radiotracer technique for the study *in vivo* of the biological pathway of heavy metals in aquatic organisms. Proc. of Symp. „Nuclear techniques in environmental pollutions”, 721—733, 1971.
18. Goeij de J. J.: Utilization of activation analysis as a detection technique for mercury. Abstr. of Papers, ESNA „Environ. Pollution”, Mol, 1971.
19. Groot de A. J.: Pollution of sediments from the Rhine delta with heavy elements. Abstr. of Papers, ESNA „Environ. Pollution”, Mol, 1971.
20. Haunold E.: Studies on the uptake of  $^{103}\text{Hg}$  by spring wheat from different soils. Referat na konferencji ESNA „Environ. Pollution” Ispra, 1972.
21. Hiyama J., Shimizu M.: Uptake of radioactive nuclides by aquatic organisms: the application of the exponential model. Proc. of Seminar „Environmental contamination by radioactive materials”. FAO/IAEA/WHO, Vienna, 463—476, 1969.
22. Hoek van der J.: Problems in the determination of tritium activity in milk and milk constituents. Abstr. of Papers ESNA „Environ. Pollution”, Mol, 1971.
23. Keeny A. W.: Radioactive contamination arising from the peaceful uses of atomic energy: past, present and foreseeable future. Proc. of Seminar „Environmental contamination by radioactive”.
24. Kirchmann R., D'Souza T. J.: Behaviour of ruthenium in an established pasture soil and its uptake by grasses. Symposium on the use of isotopes and radiation in research on soil-plant relationships including applications in forestry. Vienna 1971.
25. Kirchmann R., D'Souza T. J.: Studies on the movement of radioruthenium in the food chain: soil-grass-milk. Abstr. of Papers ESNA „Environ. Pollution” Hannover, 1971.
26. Kirchmann R.: Raport on the „Tritium Symposium” Las Vegas. Abstr. of Papers ESNA „Environ. Pollution”, Hannover, 1971.
27. Kirchmann R., van den Hoek J., Koch G., Adam V.: Studies on the food chain contamination by tritium. Abstr. of Papers, ESNA „Environ. Pollution” Meeting, Mol, 1971.
28. Mason B. J., Wipper W. J., Leavitt V. D.: Tritium uptake following a thehmonuclear test. Proc. of Seminar „Environmental contamination by radioactive materials” FAO/IAEA/WHO, Vienna, 167—174, 1969.
29. Mitchell N. T.: Monitoring of the aquatic environment of the United Kingdom and its application to hazard assessment. Proc. of Seminar „Environmental contamination by radioactive materials” FAO/IAEA/WHO, Vienna, 449—462, 1969.



30. Peterson H. T., Martin J. E., Weaver C. L., Harward E. D.: Environmental tritium contamination from increasing utilization of nuclear energy sources. Proc. of Seminar "Environmental contamination by radioactive materials" FAO/IAEA/WHO, Vienna, 35—60, 1969.
31. Peeters E.: Mise en place d'un dispositif pour l'étude des pollutions marines en Belgique (eau de mer, sédiments, organismes marins). Proc. of Seminar „Environmental contamination by radioactive materials" FAO/IAEA/WHO, Vienna, 503—519, 1969.
32. Poelstra P., Frissel M. J., van der Klugt N.: The mercury content of some Dutch soils. Referat na konf. ESNA, Budapeszt, 1972.
33. Preston A., Jefferies D. F.: Aquatic aspects in chronic and acute contamination situations. Proc. of Seminar „Environmental contamination by radioactive materials" FAO/IAEA/WHO, Vienna 183—211, 1969.
34. Puybroeck van S.: Use of atomic absorption spectrometry for the determination of metals in biological samples. Abstr. of Papers ESNA „Environmental Pollution" Meeting, Mol, 1971.
35. Radosavljević R.: Concentration factors of Cr in the Danube and maximum permissible concentration levels. Referat na konferencji ESNA „Pollution Environmental", Ispra, 1972.
36. Reiniger P., Frissel M. J., Poelstra P., Beck H.: A hierarchy of models for the behaviour of mercury in the ecosystem. Proc. of Symp. „Nuclear techniques in environmental pollution", 407—414, 1971.
37. Spronk N.: Mercury in animal tissues. Abstr. of Papers. ESNA „Environ. Pollution", Hannover, 1971.
38. Śmierzchalska K.: Stront-90 i cez-137 jako groźne składniki skażenia radioaktywnego w łańcuchu żywnościowym (gleba-roślina-zwierzę-człowiek). Postępy Nauk Rolniczych, Nr 5 (72) 1972 (w druku).
39. Śmierzchalska K.: Zachowanie się cezu-137 w glebach i układach gleba-roślina. Postępy Nauk Rolniczych (w druku).
40. Tasovac T., Radosavljević R.: Investigation on the radioactivity of the Danube. Proc. of Seminar „Environmental contamination by radioactive materials". FAO/IAEA/WHO, Vienna, 427—433, 1969.