

ANDRZEJ GROSSMAN  
Katedra Technologii Wody i Ścieków

JERZY MAKOWSKI  
Instytut Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku

JANINA KOŃPACKA  
PAN - Zakład Badań Naukowych  
Górn. Okręgu Przem. w Zabrze

#### ZMIANY RADIOAKTYWNOŚCI WODY OPADOWEJ POD WPLYWEM PYŁÓW PRZEMYSŁOWYCH

Od kilkunastu lat przedmiotem dużego zainteresowania jest radioaktywność opadów atmosferycznych wywołana przede wszystkim wybuchami bomb jądrowych. Szczególnie podczas wybuchów powietrznych i naziemnych, znaczna ilość substancji silnie promieniotwórczych uległa zasysaniu do obłoków wybuchu wznoszących się na dużą wysokość i rozprzestrzeniających się na bardzo nawet znaczne odległości. Wśród tych substancji są produkty reakcji rozszczepienia, nieprzereagowany ładunek jądrowy, rozpylone resztki konstrukcji bomby oraz porwana i odparowana powierzchnia ziemi. Powodują one wzrost radioaktywności powietrza i opadów atmosferycznych. Opadanie tych substancji i ich wyplukiwanie następuje bardzo powoli, toteż wciąż jeszcze odczuwa się skutki dawniejszych wybuchów, mimo zaprzestania dalszych prób z bronią jądrową z wyjątkiem wybuchów podziemnych.

Podczas prowadzonych wspólnie w naszych trzech pracowniach badań porównawczych nad oznaczaniem radioaktywności rozmaitych wód, zajmowano się między innymi również wodą opadową. Poczyniono ubocznie pewne obserwacje, które zdawały się zasługiwać na pogłębienie. Obserwacje te dotyczyły udziału obu faz wody opadowej jako nośników promieniotwórczości.

Wiadomo, że woda opadowa stanowi układ dwufazowy, w którym fazą ciekłą jest wodny roztwór substancji rozpuszczalnych i gazów, zaś fazą stałą - zawiesina pyłów będących zarodkami kondensującej się pary wodnej lub wyplukanych z powietrza atmosferycznego przez opad. Pyły te są rozmaitego pochodzenia.

Niektóre wśród nich pochodzą ze źródeł naturalnych jak pyły kosmiczne, wulkaniczne, erozyjne, a także bakterie, zarodniki, pyłki roślinne itp. Inne powstają w procesach sztucznych wywołanych działalnością ludzką; są to rozmaite pyły przemysłowe włącznie z dymami kominowymi, starte powierzchnie dróg i szereg innych - w tym także pozostałości po wybuchach jądrowych.

Wydawało się interesującym przekonać się, która z obu faz wody opadowej (zawiesina lub ciecz) jest głównym źródłem jej radioaktywności. Jakkolwiek w dostępnej literaturze naukowej brak jest dokładniejszych informacji na ten temat, nie należy wątpić, że zwłaszcza podczas wybuchów w powietrzu oraz na powierzchni lądów i mórz istnieją warunki sprzyjające występowaniu substancji promieniotwórczych w postaci tlenków. Przegląd chemicznych własności długożyciowych radioizotopów powstających podczas wybuchów jądrowych wskazuje, że większość z nich tworzy tlenki trudnorozpuszczalne, które w zasadzie powinny zostawać w wodzie opadowej jako zawiesina.

Nie można jednak pominąć faktu, na który zwrócili uwagę badacze francuscy [1, 2], że podczas wybuchu jądrowego tworzą się znaczne ilości kwasu azotowego z tlenu i azotu wchodzących w skład powietrza. Według A. DEBIERNE [2] wybuch bomby o mocy 20 Mt może być źródłem  $5 \cdot 10^5$  t NO, który nadaje czerwona barwę charakterystycznemu "grzybowi" unoszącemu się nad miejscem wybuchu, następnie zaś utlenia się w powietrzu do NO<sub>2</sub> i reagując z wodą atmosferyczną - tworzy kwas azotowy. Istotnie po wybuchach jądrowych obserwowano na setkach km<sup>2</sup> spadek pH wody deszczowej do poniżej 5.

Można przeto sądzić, że już w środowisku wybuchu, część pyłów radioaktywnych ulega przemianie w przeważnie łatwo rozpuszczalne azotany i że rozpuszczalność tych pyłów w wodach opadowych zwiększa się z biegiem czasu pod wpływem kwasu azotowego i węglowego, występujących normalnie w atmosferze.

Jedynie znane nam badania z tej dziedziny [3] zawierają dane potwierdzające powyższe rozumowanie. Cytowani autorzy niemieccy wykonali próby modelowe na zachowanie się radioaktywności faz opadu deszczu w zależności od odczynu. W tym celu próbki świeżo spadłej wody deszczowej, wraz z zawartą w niej zawiesiną, nastawiano sztucznie na określone wartości pH, po czym filtrowano je i oznaczano oddzielnie aktywnościem rozdzielonych faz: wody i pyłu. Stwierdzono, że ze spadkiem pH cieczy wzrasta jej aktywność, co niewątpliwie należy tłumaczyć częściowym rozpuszczaniem się promieniotwórczej zawiesiny.

Celem wstępnych oznaczeń, które stały się punktem wyjścia dla poniżej zreferowanych badań, nie było sprawdzanie wpływu pH, gdyż ten parametr uważano za dostatecznie wyjaśniony, lecz ustalenie - czy i w jakim stopniu warunki charakterystyczne dla obszarów silnie uprzemysłowionych wpływają na metodykę oznaczania radioaktywności opadów atmosferycznych. Pobrano

przeto próbki wód opadowych z kilku miejscowości położonych w centrum górnośląskiej niecki węglowej, gdzie zanieczyszczenie powietrza przez przemysł jest szczególnie duże. Dla przykładu można podać, że w 1 litrze wody opadowej w niektórych dzielnicach Zabrze stwierdzano obecność 3 do 4 g pyłów o stosunkowo dużej (40 do 50%) zawartości substancji palnych. Dla porównania pobrano również próby wód opadowych w Beskidzie Śląskim, gdzie powietrze można uważać za czyste. W próbkach tych oddzielono zawieszinę pyłów od cieczy i oznaczone oddzielnie ich globalne aktywności beta. Zestawiając wyniki (tablica I) zwrócono uwagę na niewątpliwą związek między globalną aktywnością beta właściwą (odniesioną do 1 litra opadu), a charakterem miejsc, w których pobierano próbki. W próbkach pochodzących z terenów uprzemysłowionych aktywność cieczy była stosunkowo znacznie niższa od aktywności pyłów wydzielonych z takiej samej objętości wody opadowej - niż to obserwowano poza zasięgiem oddziaływania przemysłu. Taki stosunek aktywności obu faz nie zależał napewno od całkowitej aktywności poszczególnych opadów, ulegającej znacznym wahaniom (np. od 80 do 1360 pC/l) bez względu na stopień uprzemysłowienia terenu. Warto zresztą zaznaczyć, że wahania te są obecnie słabsze niż w poprzednich latach, kiedy obserwowano bardzo raptowne i silne skoki poziomu radioaktywności atmosfery wywołane przejściem chmur promieniotwórczych.

Tablica I

## Globalna aktywność beta opadów

| Lp.   | Miejscowość   | Ilość próbek | Pozostałość po odparowaniu i spaleniu średnio<br>mg/l | Aktywność właściwa opadu             |                                    |                                   |
|---|---------------|--------------|---|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
|   |               |              |   | średnio<br>(A <sub>0</sub> )<br>pC/l | W tym przypadku na                 |                                   |
|   |               |              |   |                                      | fazę ciekłą (A <sub>0</sub> )<br>% | zawieszinę (A <sub>p</sub> )<br>% |
| <b>A. Górnośląski Okręg Przemysłowy - powietrze silnie i bardzo silnie zanieczyszczone pyłami przemysłowymi</b> |               |              |   |                                      |                                    |                                   |
| 1   | Zabrze        | 5            | 765   | 649                                  | 13                                 | 87                                |
| 2   | Gliwice       | 2            | 411   | 515                                  | 23                                 | 77                                |
| 3   | Chorzów       | 2            | 642   | 380                                  | 15                                 | 85                                |
| <b>B. Beskid Śląski - powietrze wolne od pyłów przemysłowych</b>  |               |              |   |                                      |                                    |                                   |
| 4   | Wisła-Malinka | 3            | 45  | 756                                  | 31                                 | 69                                |
| 5   | Szyndzielnia  | 1            | 54  | 274                                  | 55                                 | 45                                |
| 6   | Skrzyczne     | 2            | 34  | 437                                  | 42                                 | 58                                |

Poczynione obserwacje nie zgadzały się z przedstawionymi poprzednio wnioskami dotyczącymi wpływu pH: nie oznaczano wprawdzie odczynu badanych próbek, wydawało się jednak, że znacznie bardziej kwaśne są wody opadowe na terenach uprzemysłowlonych, i że z tego względu właśnie one powinny były wykazywać stosunkowo wyższą aktywność fazy ciekłej. Było więc oczywistym, że w obserwowanych przypadkach decydujące znaczenie musiał mieć inny czynnik, górujący nad wpływem odczynu. Nasuwało się przypuszczenie, że czynnikiem tym może być obecność pyłów przemysłowych silnie zanieczyszczających powietrze, a tym samym i opady atmosferyczne, w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym, w przeciwieństwie do powietrza w Beskidzie Śląskim. Wydawało się prawdopodobne, że pyły przemysłowe zawieszane w wodzie opadowej działają sorbująco na roztwór stanowiący jej fazę ciekłą i w ten sposób obniżają jego aktywność.

Oczywiście nie można przypisywać jednakowych własności rozmaitym pyłom przemysłowym. Nie tylko pyły z różnych procesów technologicznych, występujące przeważnie w pobliżu poszczególnych zakładów wytwórczych, różnią się między sobą w sposób zasadniczy. Znaczne różnice wykazują również powszechnie spotykane pyły paleniskowe zawierające produkty spalania paliw stałych. Różnice te zależą przede wszystkim od jakości paliw i prawidłowości spalania. Pyły z palenisk zasilanych paliwem o dużej zawartości substancji mineralnych, lecz spalanego z dostatecznym nadmiarem powietrza, składają się niemal wyłącznie z popiołu, natomiast niepełne spalanie i piroliza produktów odgazowania wywołują emisję sadzy i tzw. lotnego koksiku. Ilość tego koksiku wzrasta również przy zbyt silnym ciągu kominowym, wysysającym z przestrzeni paleniskowej drobne, nie spalone ziarenka paliwa.

Różnorodność tę uwzględniono w próbach mających na celu wykazanie sorbującego wpływu pyłów przemysłowych. Do doświadczeń użyto mianowicie kilku rodzajów pyłów paleniskowych (tablica II): obejmują one różne stadia mineralizacji od popiołu nie zawierającego prawie wcale części palnych, do sadzy z nieznaczną tylko zawartością substancji mineralnych. Do porównania użyto również bardzo drobno zmielony piasek.

Tablica II

Zawartość popiołu w pyłach użytych do prób dezaktywacji wody opadowej

| Symbol próbki | Rodzaj pyłu                     | Zawartość popiołu % |
|---------------|---------------------------------|---------------------|
| a             | Pył piaskowy                    | 99,92               |
| b             | Pył z elektrofiltru kotłowni H  | 98,26               |
| c             | Ciężki pył paleniskowy z Zb     | 83,82               |
| d             | Lekki pył paleniskowy z Za      | 15,14               |
| e             | Sadza z przewodów kominowych Za | 2,50                |

Doświadczenia polegały na zebraniu dostatecznej ilości fazy ciekłej opadów nie narażonych poprzednio na działanie pyłów przemysłowych. Pochodziły one dlatego z górskich miejscowości beskidzkich. Po podzieleniu zebranej wody opadowej na równoległe porcje, wytrząsano każdą z nich z jednakową dawką innego pyłu paleniskowego. Z różnicy aktywności fazy ciekłej przed i po zadaniu jej pyłami, wnioskowano o zachodzącej sorpcji. Upewniono się oczywiście zawczasu, że użyte pyły nie wykazywały żadnej własnej promieniotwórczości, mogącej zakłócić pomiary. Warto wspomnieć, że odrzucono tylko jeden spośród wstępnie selekcjonowanych pyłów paleniskowych, który wykazywał słabą radioaktywność; była ona zapewne wywołana obecnością śladów substancji promieniotwórczych w paliwie.

Uzyskane wyniki (tablica III) wskazują, że pyły paleniskowe istotnie - choć w rozmaitym stopniu - dezaktywują fazę ciekłą. Najsilniejsze działanie sorpcyjne wykazała (jak to zresztą można było przewidzieć m.in. ze względu na jej największy stopień rozdrobienia) sadza, która w warunkach doświadczenia całkowicie pozbawiła fazę ciekłą własności promieniotwórczych. Znacznie słabsze, choć zawsze wyraźne, było oddziaływanie popiołów paleniskowych. Natomiast użyty do porównania pył piaskowy nie wywierał praktycznie żadnego wpływu na radioaktywność próbek wody opadowej.

Tablica III

## Dezaktywacja wody opadowej przez pyły

| Lp. | Woda opadowa wytrząsana z:     | % dezaktywacji fazy ciekłej <sup>x)</sup> |
|-----|--------------------------------|---|
| 1   | pyłem piaskowym "a"            | 0   |
| 2   | pyłem z elektrofiltra "b"      | 31  |
| 3   | ciężkim pyłem paleniskowym "c" | 36  |
| 4   | lekkim pyłem paleniskowym "d"  | 62  |
| 5   | sadzą "e"                      | 100                                       |

x) Średnia z dwóch serii pomiarów.

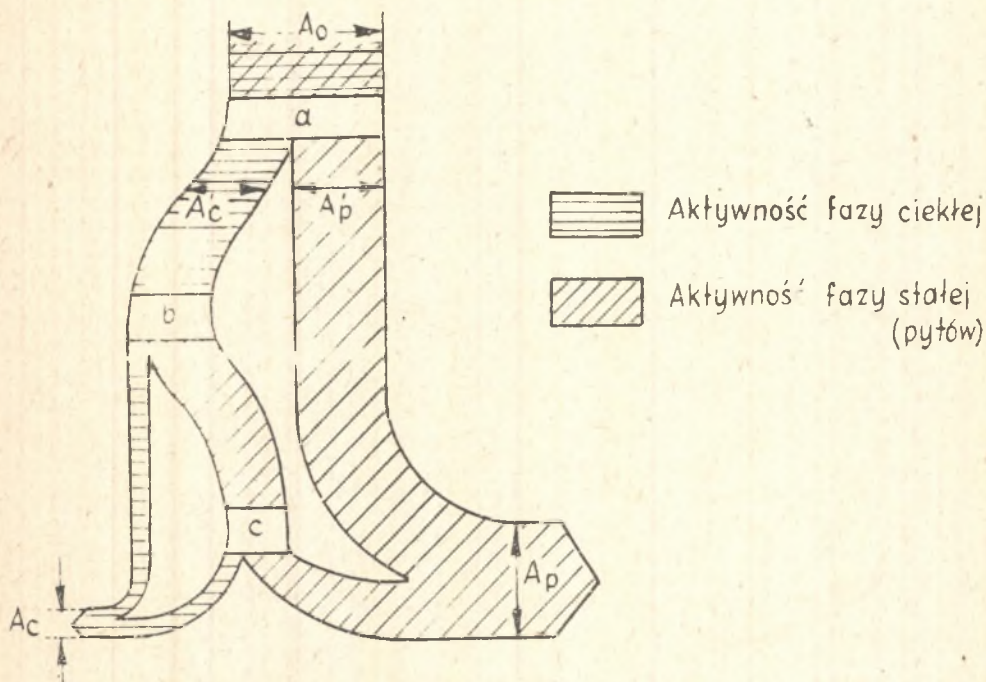
Zjawisko wykazane tu w skali laboratoryjnej zachodzi również niąwątpliwie w warunkach naturalnych. Pyły przemysłowe wypłukiwane z powietrza przez wodę opadową działają dezaktywująco na jej fazę ciekłą, sorbując z roztworu część rozpuszczonych substancji promieniotwórczych. Oczywiście całkowita aktywność opadu nie ulega przez to zmianie: następuje tylko przemieszczanie się aktywności z fazy ciekłej na pyły. Dlatego omawiane tu zjawisko nie zasługiwałoby na uwagę, gdyby nie zachodziło samoczynnie rozdzielanie się obu faz, np. wskutek filtrującego działania gleby, do której wsiąka faza ciekła opadu, pozostawiając na powierzchni fazy stałą. Jeżeli więc - o czym należało się przekonać - substancje promieniotwórcze są adsorbowane przez pyły na tyle silnie, by nie ulegały łatwo

ponownemu wypłukaniu przez następne porcje opadu, wówczas silne zapylenie powietrza nad obszarami przemysłowymi może istotnie wywierać pewien wpływ na krążenie substancji promieniotwórczych.

Wykonano doświadczenia polegające na ługowaniu wodą pyłów paleniskowych, którymi uprzednio dezaktywowano wodę opadową i które dzięki temu stały się promieniotwórcze. Uzyskane wyniki były obciążone zbyt dużym błędem, by na ich podstawie można było zestawić liczbowo bilans aktywności w układzie woda opadowa - pyły - woda płuczająca. Napotkane przeszkody wynikały z małej aktywności badanych próbek, co w warunkach pomiarowych, jakimi dysponowano, było przyczyną nadmiernego błędu statystycznego. Następowaly również duże straty aktywności podczas doświadczenia, wywołane prawdopodobnie przez jej sorpcję na ściankach naczyń i zjawiska pokrewne. Tym niemniej poczynione obserwacje nie pozostawiały ogólnie wątpliwości co do stosunkowo trwałego oharakteru aktywności nabytej przez pyły: woda używana do płukania tych pyłów stawała się promieniotwórcza tylko w nieznacznym stopniu. Przebieg obserwowanych przemian radioaktywności układu woda opadowa - pyły przedstawiono na rys. 1, zastrzegając się, że ma on charakter wyłącznie orientacyjny z dowolnie przykładowo przyjętymi proporcjami ilościowymi.

Spróbowano potwierdzić przebieg omawianych przemian w sposób pośredni poprzez pomiar w terenie ich ewentualnych skutków. Wiadomo, że pobieranie substancji odżywczych przez korzenie roślin odbywa się w zasadzie tylko z roztworów rzeczywistych, polega bowiem na dyfuzji poprzez błonę komórkową. Jeśli więc rezultatem dużej zawartości pyłów przemysłowych w opadzie jest istotnie oszczędzająca jego fazy ciekłej (roztworu), to rośliny w terenach silnie uprzemysłowionych powinny przyswajać sobie mniej substancji promieniotwórczych, niż analogiczne rośliny w miejscowościach gdzie opady są wolne od pyłów.

Wykonano badania wzorowane na pracy SZEPKERgo [4], który uważa, że "jako roślinny materiał kontrolny skażenia terenu w Polsce nadają się jednoroczne igły sosny...". Pobrano odpowiednie próbki igieł sosnowych z miejscowości o powietrzu silnie i bardzo silnie zanieczyszczonym pyłami przemysłowymi oraz z miejscowości bez porównania mniej narażonych na pyłace działanie przemysłu (rys. 2). Przy wyborze miejscowości z tej drugiej grupy uwzględniano zarówno czystość powietrza jak i położenie w pobliżu Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, chciało bowiem w ten sposób możliwie zmniejszyć wpływ różnic innych czynników jak gleba, klimat, wysokość n.p.m. itp. W związku z tym pobrano próbki igieł sosnowych z kilku miejscowości położonych w pasie lasów ciągnących się na północny-zachód, zachód i południowy-zachód w sąsiedztwie GOP; z tych bowiem kierunków (a przede wszystkim z zachodu) wieją przeważnie wiatry na tych terenach [5, 6], chroniąc je przed dymami z sąsiednich obszarów uprzemysłowionych. Przyjętym kryterium położenia geograficznego nie odpowiada szczyt Magurki w Beskidzie



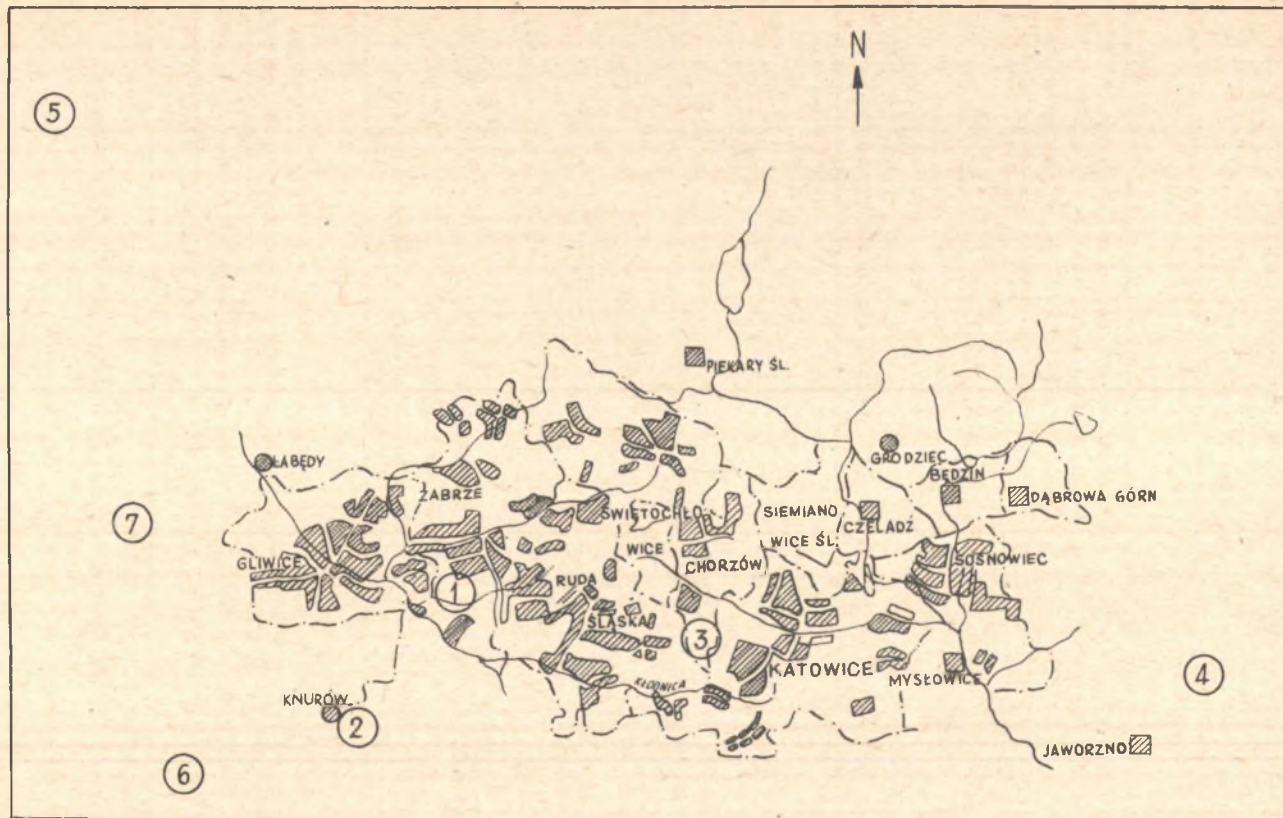
Rys. 1. Przemieszczanie się radioaktywności w układzie: woda opadowa - pyły

$$A_0 = A'_c + A'_p = A_c + A_p$$

$$A_c < A'_c$$

$A_0$  - aktywność opadu,  $A'_c$  - aktywność fazy ciekłej przed dod. pyłów,  $A_c$  - aktywność fazy ciekłej po dod. pyłów,  $A'_p$  - aktywność fazy stałej przed dod. pyłów,  $A_p$  - aktywność fazy stałej po dod. pyłów

a - rozdzielanie pierwotnych faz wody opadowej, b - dodanie pyłów, c - desorpcja dodanych pyłów



Rys. 2. Miejsca pobrania próbek igieł sosnowych. Liczby wskazujące miejsce pobierania próbek igieł sosnowych odpowiadają numeracji w tablicy IV



Małym, ponieważ leży on stosunkowo daleko (ok. 60 km) i znacznie wyżej (o około 700 m) od GOP. Dlatego uzyskanego stamtąd wyniku nie uwzględniono przy obliczaniu średniej z terenów niezapylnych, podano go jednak w zestawieniu, ponieważ stanowi nawiązanie do dalszej serii badań, które zostaną opisane oddzielnie [7].

Sposób zbierania i spopielenia igieł sosnowych oraz pomiar aktywności sporządzonych popiołów omówiono dokładniej w drugiej części artykułu. Całość uzyskanych wyników zebrano w tabelicy IV. Potwierdziły one wyrażone poprzednio przypuszczenie: popiół z igieł sosnowych zebranych na terenach silnie zanieczyszczonych pyłami przemysłowymi okazał się wyraźnie mniej aktywny, niż analogiczne próbki pobrane z miejscowości nie narażonych na pyły.

Tabela IV

Globalna aktywność beta popiołu igieł sosny zwozajnej

| Lp. x)  | Miejscowość                                    | Ilość próbek | Aktywność właściwa uśrednionych próbek<br>pC/g |
|---|--|--------------|--|
| <b>A. Górnośląski Okręg Przemysłowy</b>                               |  |              |  |
| powietrze silnie i bardzo silnie zanieczyszczone pyłami przemysłowymi |  |              |  |
| 1   | Zabrze, las komunalny koło koksowni Makoszowy  | 11           | 845  |
| 2   | Knurów, lasek na pd-zachód od koksowni         | 8            | 688  |
| 3   | Panewniki-Radoszowy, lasek w kierunku Chorzowa | 8            | 854  |
| 4   | Szczakowa-Cieźkowice                           | 12           | 960  |
|   | Srednia z poz. 1-4                             |              | 837  |
| <b>B. Tereny leśne - powietrze czyste i bardzo czyste</b>             |  |              |  |
| 5   | Dabówka koło Toszka                            | 14           | 1554   |
| 6   | Wilcza - Nieborowice                           | 7            | 1341   |
| 7   | Rachowice - Brzezinka                          | 11           | 1036   |
| 8   | Magurka koło Bielska                           | 10           | 2029   |
|   | Srednia z poz. 5-7                             |              | 1310   |

x) Stanowiska na mapce (rys. 2) oznaczono tymi samymi liczbami.

Zgodne wyniki wszystkich serii wykonanych pomiarów (aktywność fazy ciekłej opadów, sorbujące działanie pyłów paleniskowych, aktywność porównywanych próbek roślinnych) upoważniają do wyodżgnięcia następujących wniosków:

1. Wody opadowe na terenach silnie uprzemysłowionych zawierają znaczne ilości pyłów przemysłowych. Pyły te mogą działać sorbująco na fazę ciekłą opadu, zmniejszając jej radioaktywność.
2. Konsekwencją zmniejszenia zawartości substancji promieniotwórczych rozpuszozonych w wodzie opadowej jest mniejsze skażenie radioaktywne roślin rosnących na takich obszarach.

Dzięki pomyślnym skutkom układu o częściowym zaprzestaniu prób z bronią jądrową, można przewidywać, że znaczenie praktyczne poczynionych obserwacji będzie znikome. Wydaje się jednak, że nadają się one do uogólnienia, nie ma bowiem żadnych powodów, aby uważać je za specyficzne tylko dla substancji radioaktywnych. Nie ulega wątpliwości, że te same pyły, które działają dezaktywująco na wodę opadową - mogą także sorbować inne, nieradioaktywne substancje w niej rozpuszczone.

Dotychczas przypisywano szkodliwy wpływ pyłów na roślinność, bądź ich działaniu toksycznemu, jeżeli stanowiły je związki mające własności trujące, bądź rozpraszaniu i absorpcji światła słonecznego oraz zatykaniu porów oddechowych. Poczynione spostrzeżenia wskazują, że należy liczyć się także z działaniem fizykochemicznym pyłów, polegającym na zubożaniu przez nie wód przynajmniej w niektóre mikroelementy niezbędne dla prawidłowego rozwoju roślin.

## O b j a ś n i e n i a   m e t o d y c z n e

### Nomenklatura

W niniejszej pracy nazwą "woda opadowa" określano stopiony śnieg wraz z całą zawartością zawiesziny. Wodę tę po uwolnieniu od zawieszonych w niej ciał stałych nazywano "fazą ciekłą" lub "roztworem". Pyły, zarówno zawarte pierwotnie w wodzie opadowej, jak i dodane do niej celowo podczas doświadczenia - nazywano "zawiesiną" lub "pyłami".

Określenie "aktywność" oznacza w tej pracy zawsze globalną aktywność beta (poprawki potasowej nie stosowano), natomiast jako "aktywność właściwą" należy rozumieć globalną aktywność beta przeliczoną na jednostkę objętości (1 liter wody opadowej) lub jednostkę masy (1 g popiołu igieł sosnowych), analogicznie do stosowanych powszechnie określeń "gęstość właściwa" lub "opór właściwy".

### Pobieranie próbek wody opadowej

Przedmiotem badań była woda otrzymana przez stopienie świeżo spadłego śniegu. W nielicznych przypadkach był to mokry śnieg z deszczem. próbki pobierano w lutym i marcu 1964 r. W Zabrzu i Gliwicach zbierano padający śnieg do prostokątnych kuwet winidurowych o powierzchni 3000 cm<sup>2</sup> i głębokości 8 cm ze szczelną pokrywą, zdejmowaną tylko na czas opadu. Kuetę przemywano za każdym razem 5% roztworem kwasu cytrynowego, który następnie dokładnie spłukiwano. W innych miejscowościach, a także gdy potrzebowano większych ilości wody, zbierano śnieg w sposób uproszczony, zagarniając go deseczką z powierzchni kilku metrów kwadratowych, po odrzuceniu górnej warstewki. Zebrany śnieg topiono, a otrzymaną wodę zbierano wraz z zawartą w niej zawiesiną do butelek polietylenowych.

### Przygotowywanie próbek wody

Wodę pochodzącą z jednego poboru uśredniano przez mieszanie i dzielono na potrzebną ilość porcji o objętości po 1000 ml, stanowiących jednostkowe próbki do dalszych badań. W przypadku mniejszej objętości - nie mniej jednak niż 750 ml - odpowiednio przeliczano wyniki pomiarów.

Odparowanie próbki w płaskodennej parownicy porcelanowej wyścielanej bibułą filtracyjną, prażenie w piecu muflowym ogrzewanym stopniowo do 550°C i przeniesienie pozostałości do miseczki aluminiowej oraz utrwalenie roztworem celulozid w acetonie (50:1) - wykonywano zgodnie z zaleceniami Centralnego Ośrodka Pomiarów Skażeń Promieniotwórczych [8].

### Rozdzielanie faz

Rozdział osadów i oleozy odbywał się przez wirowanie. Wybierając ten sposób postępowania miano na celu ograniczenie ubocznych sorpcji mogących zaistnieć w większym stopniu podczas sączenia. próbki przeznaczone do wirowania zagęszczano przez odparowanie do objętości do około 300 ml, taka bowiem objętość mieściła się w próbkach wirówki. Następnie próbki wirowano przez 10 minut z szybkością 3500-4000 obr/min. Wyniki tych doświadczeń ustalono na podstawie wstępnych prób, które wykazały, że dalsze przedłużanie czasu wirowania lub zwiększenie ilości obrotów na minutę pozostaje już bez wpływu na wynik, czyli że nie obniża aktywności odwirowanej cieczy. Odwirowaną ciecz odciągano pipetą z próbek wirówki, po czym

postępowano z nią zgodnie z podaną metodyką preparowania próbek wody.

Pozostałe w próbkach pyły splukiwano starannie wodą destylowaną do płaskiej parownicy wyłożonej bibułą filtracyjną, a następnie poddawano opisanym czynnościom przygotowawczym.

### Dezaktywacja fazy ciekłej

1000 ml próbki wody opadowej zadawano 4 g odpowiedniego pyłu i intensywnie wytrząsano przez 2 godziny. Po dalszych 4 godzinach próbki ponownie wytrząsano, po czym rozdzielano zawieszynę od cieczy przez wirowanie.

Aktywność każdej z tak przygotowanych próbek porównywano z aktywnością próbki wzorcowej, którą stanowiła faza ciekła pochodząca z 1 litra wody opadowej nie poddanej próbie dezaktywacji.

W każdej serii doświadczeń stosowano wodę opadową pochodzącą z tego samego poboru. Pobory próbek miały miejsce w Wiśle-Malinie i na Skrzyżnym, jako miejscowościach w zasadzie wolnych od pyłów przemysłowych.

### Pobieranie próbek igieł sosnowych

Zbiór igieł odbywał się pod koniec maja i na początku czerwca 1964 r. W każdej z ustalonych miejscowości zrywano po jednej gałązce z kilku (7 do 14, przeważnie 8 do 10) drzewek sosny zwyczajnej (Pinus silvestris L.). Były to na ogół sosny około 10-letnie, wysokości 3 do 4 m. Starano się wybierać drzewa rosnące w dość znacznej odległości od siebie na przestrzeni kilku kilometrów, nie na skraju lasu, ani w zbitym gąszczu.

Wykonane wstępnie oznaczenia całkowicie potwierdziły zauważone poprzednio przez SZEPKĘgo [4] bardzo duże różnice aktywności popiołu igieł sosnowych, zależnie od ich wieku. Kilka przykładów podano w tablicy V, w której aktywność popiołu igieł sosnowych z przyrostu 1963 r. przyjęto jako równą 100 i porównano z aktywnością popiołu igieł starszych i młodszych, pochodzących z tych samych drzewek.

Zwiększanie się aktywności z wiekiem badanych próbek spowodowane jest zapewne zarówno akumulowaniem się substancji promieniotwórczych w materiale roślinnym, jak i większym stopniem skażenia opadów w poprzednich latach. Dokładniejsze rozeznanie będą mogły dać badania analogicznych próbek pobieranych ściśle w tych samych miejscach w następnych latach obserwacji.

Tablica V

Porównanie aktywności igieł sosnowych  
zbieranych w czerwcu 1964 r.

| Z p r z y r o s t u |      |      |
|---------------------|------|------|
| 1962                | 1963 | 1964 |
| 118                 | 100  | 39   |
| 122                 | 100  | 41   |
| 108                 | 100  | 48   |
| 136                 | 100  | 57   |

Za przykładem SZEPKĘgo i w oparciu o własne pomiary, przyjęto za przedmiot badań porównawczych igły sosnowe zeszłoroczne (z przyrostu 1963 r.). Z gałęzi zrywanych w miarę możliwości z górnej okółki głównego pędu, obrywano mniej więcej takie same ilości igieł zeszłorocznych po odrzuceniu igieł tegorocznych. Otrzymaną w ten sposób porcję uśredniano przez dokładne zmieszanie, po czym oalność pomniejszono przez kwartowanie tak, aby ostateczna próbka wypełniała wysoki tygiel porcelanowy używany do spopielenia igieł.

#### Przygotowanie próbek igieł sosnowych

Odbiegało ono od wskazówek zawartych w cytowanej pracy SZEPKĘgo tylko pod jednym względem, a mianowicie igły przeznaczone do spopielenia myto w ciepłej wodzie z detergentem, a następnie starannie przemywano czystą wodą. Zabieg ten miał na celu spłukanie pyłów osiadających na powierzchniach igieł, a mogących zawierać cząstki aktywne. Na wyrytkowo sporządzonych autoradiogramach popiołów igieł mytych nie stwierdzono "gorących" cząstek aktywnych, których przypadkowa obecność mogłaby zniekształcać wyniki pomiaru aktywności substancji roślinnej. Pozostałe czynności, do których nie wprowadzono już żadnych istotnych własnych modyfikacji, polegały na wysuszeniu igieł w temperaturze podnoszonej stopniowo do 180°C, a następnie ich dwustopniowym prażeniu w piecu muflowym początkowo w temperaturze 250 do 300°C, później zaś po przemieszaniu w temperaturze 550°C aż do całkowitego spopielenia. Po dokładnym wymieszaniu ochłodzonego w ekzykatorze popiołu, odważano 150 do 200 mg do miseczki aluminiowej i utrwalano roztworem celulozoidu w acetonie.

## Pomiary aktywności i obliczenia

Aktywność wszystkich próbek zarówno wód opadowych i ich zawieszin, jak i igieł sosnowych mierzono w sposób konwencjonalny licznikiem typu BAH-55. Zasilanie przelicznika LL1 wyposażonego w przystawkę PS1 odbywało się poprzez stabilizator Eltra typ SM201-A. Do kalibrowania aparatury używano wzorca potasowego (200 mg drobnoziarnistego KCl cz.d.a.). Czas pomiaru przeważnie 50, zaś w razie potrzeby nawet 100 minut, zapewniał - z nielicznymi wyjątkami, próbek o bardzo małej aktywności, z którymi spotykano się podczas prób desorpcji - utrzymanie błędu statystycznego w granicach  $\pm 3\%$  przy prawdopodobieństwie 0,95. Granic błędu statystycznego nie uwzględniano więc przy poszczególnych wynikach pomiarowych.

W tablicy I udziały procentowe aktywności fazy ciekłej ( $A_0$ ) i zawiesziny ( $A_p$ ) obliczono w stosunku do sumy  $A_0 + A_p$ , a nie w stosunku do zmierzonej aktywności opadu przed rozdzieleniem faz ( $A_0$ ). W ten sposób dla wypuklenia obserwacji wyeliminowano z zestawienia przypadkowe straty, które nie miały zresztą wpływu na interpretację wyników, nie przekraczały bowiem 15%  $A_0$ . Pomiary wykazujące większe straty odrzucano.

## S t r e s z c z e n i e

Pomierzono radioaktywność wody opadowej rozdzielając fazę ciekłą od zawieszonych w niej pyłów. Przekonano się, że stosunek liczbowy radioaktywności fazy ciekłej do radioaktywności pyłów wydzielonych z tej samej objętości wody opadowej jest przeważnie znacznie mniejszy w miejscowościach o powietrzu silnie zanieczyszczonym pyłami przemysłowymi, niż w miejscowościach o powietrzu czystym. Częściową dezaktywację fazy ciekłej opadów atmosferycznych przypisano sorbującemu działaniu pyłów przemysłowych. Przypuszczenie to sprawdzono wprowadzając do próbek wody opadowej porcje rozmaitych pyłów paleniskowych nie wykazujących własności radioaktywnych i obserwując wywołane w ten sposób zmniejszenie radioaktywności fazy ciekłej.

Ponieważ rośliny pobierają w zasadzie substancje odżywcze tylko w postaci roztworów rzeczywistych, należało oczekiwać, że roślinność na terenach silnie zanieczyszczonych pyłami przemysłowymi będzie mniej radioaktywna niż na terenach nieuprzemysłowionych. Pomiary globalnej aktywności beta próbek popiołów igieł sosnowych zbieranych z kilku miejscowości w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym i z sąsiednich terenów leśnych potwierdziły to przypuszczenie.

Sorbujące działanie pyłów przemysłowych nie ogranicza się oczywiście tylko do substancji radioaktywnych. Uogólniając poczynione obserwacje wyrażono pogląd, że zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego pyłami przemysłowymi może wpływać szkodliwie na roślinność między innymi również i dlatego, że zachodząca na tych pyłach sorpcja utrudnia pobieranie przez rośliny niektórych potrzebnych im mikroelementów.

## LITERATURA

- [1] MARTIN Ch.N.: Comptes rendus Ac.Sc. 239, 1287 (1954).
- [2] DEBIERNE A.: Comptes rendus Ac.Sc. 222, 1124 1 1352 (1946) oraz 224, 1220 (1947) i 226, 1302 (1948).
- [3] AURAND K., DELIUS I., SCHMIER H.: Schriftenreihe d. Vereines f. Wasser, Boden u. Lufthygiene 17, 24 (1960).
- [4] SZEPEKE R.: Rośliny jako wskaźnik radioaktywnego skażenia terenu - Warszawa, Raport CLOR-9 (1961).
- [5] MICHALCZEWSKI J.: Powtarzalność typów pogody na obszarze GOP w latach 1949-1954 - Warszawa (1961), Biuletyn nr 41 Komitetu dla spraw Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego PAN.
- [6] BARANOWSKA M., POŁOŃSKA M., WÓJCIKOWA A.: Wyniki pomiarów meteorologicznych na terenie GOP - Warszawa (1963), Biuletyn nr 67 Komitetu dla spraw Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego PAN.
- [7] GROSSMAN A., KONOPACKA J.: Wpływ niektórych czynników geofizycznych na radioaktywność drzew szpilkowych (w przygotowaniu).
- [8] COPSP: Metody pomiarów globalnej aktywności beta biosfery - Warszawa, SPSP nr 17 (1963).

ИЗМЕНЕНИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ ВОДЫ ИЗ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ  
ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЫЛИ

Р е з ю м е

Измерялась радиоактивность воды из атмосферных осадков, отделяя жидкую фазу от подвешенной в ней пыли. Убедились в том, что цифровое отношение радиоактивности жидкой фазы к радиоактивности выделенной пыли этого же объема воды из атмосферных осадков, в основном, значительно меньше в местностях с воздухом сильно загрязненным промышленной пылью, чем в местностях с чистым воздухом. Частичную деактивацию жидкой фазы атмосферных осадков отнесено в пользу сорбирующего действия промышленной пыли. Это предположение проверено, вводя в пробы воды из атмосферных осадков порции разнородной топочной пыли, не проявляющей радиоактивных свойств и наблюдая вызванное таким образом уменьшение радиоактивности жидкой фазы.

Так как растения абсорбируют, в основном, питательные субстанции только в виде истинных растворов, следовало бы ожидать, что растения в окрестностях сильно загрязненных промышленной пылью, будут менее радиоактивными, чем в не-промышленных районах. Измерения общей бета - активности проб золы иголок сосны, собираемых из нескольких местностей Верхнесилезского промышленного района и из смежных лесных районов подтвердили это предположение.

Сорбирующее действие промышленной пыли не ограничивается лишь только к радиоактивным субстанциям. Обобщая проведенные наблюдения выражено мнение, что загрязнение атмосферного воздуха промышленной пылью может вредительно влиять на растения между прочим, и потому, что производящаяся на этой пыли сорбция затрудняет забираемые растениями некоторых нужных для них микроэлементов.

CHANGES OF RADIOACTIVITY OF THE PRECIPITATION  
DUE TO INDUSTRIAL DUSTS

S u m m a r y

The measurements of radioactivity of the precipitation were performed with the separation of liquid phase and the dusts suspended therein. It was found that the ratio of the radioactivity of the liquid phase to the radioactivity of dusts separated from the same volume of precipitation in most cases was considerably less in area where the air was strongly polluted with industrial dusts, than in those where the air was clean. The partial desactivation of the liquid phase of the precipitations has been attributed to the sorption effect of the industrial dusts. This supposition was checked by introduction of the various furnace dusts without own radioactivity to the samples of precipitations and observing developed decrease of the liquid-phase radioactivity.



As the plants assimilate the nutrients only in form of solutions, it should be expected that the plant vegetation on soils strongly polluted with industrial dusts are less radioactive than that growing on the non industrialised area. The measurements of the total beta radioactivity of ashes of the pine needles collected from several locations in Upper Silesian industrial region and from the adjacent forests confirmed this opinion.

But the sorption effect of industrial dusts is not only limited to radioactive substances. The generalisation of the observations led to the supposition that the air pollution may also affect the plant vegetation by sorption of some important trace elements on industrial dusts.