

RYSZARD SZEPKA, DANUTA GRZYBOWSKA

ZAWARTOŚĆ STRONTU-90 W NIEKTÓRYCH
GLEBACH W POLSCE¹

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Jednym ze skutków przeprowadzanych na świecie prób z bronią jądrową jest skażenie gleby strontem-90. Sprawa ta posiada duże znaczenie z punktu widzenia produkcji środków żywnościowych. Stront bowiem, będąc homologiem wapnia, bierze udział w wielu przemianach metabolicznych na drodze od gleby do kości człowieka. Z produktów rozszczepienia stront-90 został uznany za najbardziej niebezpieczny dla człowieka. Nic więc dziwnego, że przedmiotem badań wielu instytutów naukowych na całym świecie są zagadnienia związane ze skażeniem biosfery strontem-90 [2, 5, 7, 8].

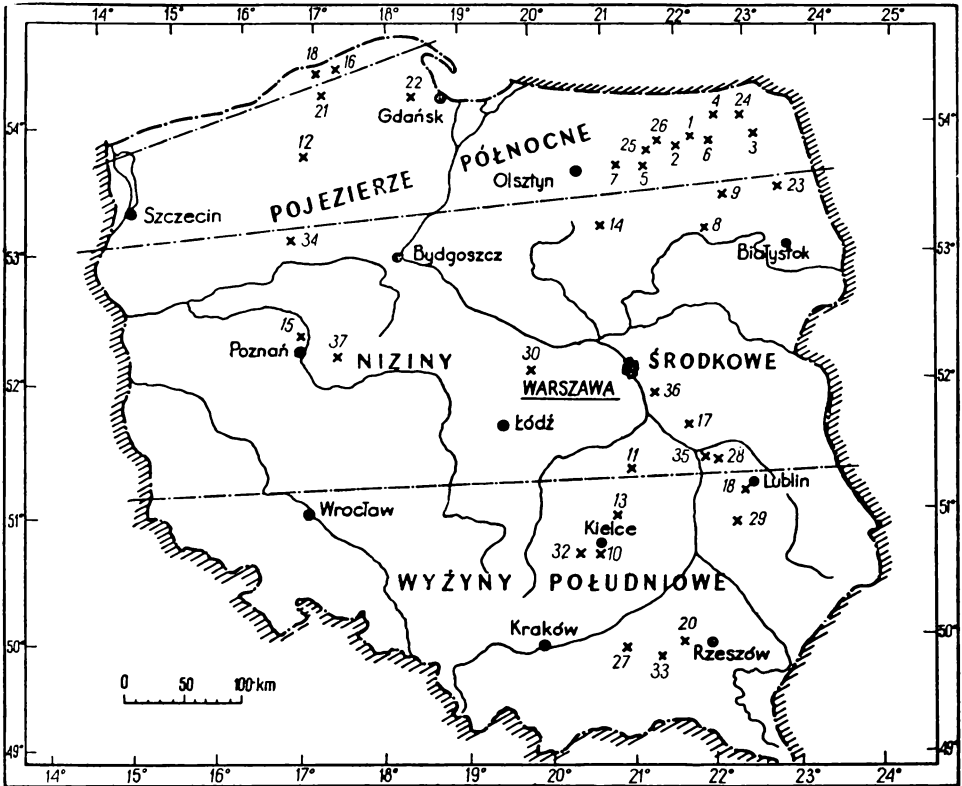
W celu zorientowania się co do stopnia skażenia gleb w Polsce jesienią 1960 r. pobrano próbki z terenu całego kraju (rys. 1). Wybierano gleby od lat nie uprawiane. Najczęściej były to pastwiska, łąki lub nieużytki częściowo wypasane. Badane tereny były przeważnie otwartą przestrzenią, nie zasłoniętą ścianą lasu czy budynkami. Teren wybrany nie był zmywany przez spływające wody opadowe, ani też zalewany przez rzeki w czasie powodzi. Omijano miejsca o większym nagromadzeniu żywych organizmów (dżdżownice, owady, krety), aby uniknąć komplikacji wywołanych ich działalnością. Miejsca, z których pobrano próby, charakteryzowały większość terenów rolniczych kraju. Zostały one podzielone na 4 grupy, odpowiadające w przybliżeniu czterem strefom opadów atmosferycznych; strefę pierwszą stanowi wąski pas wybrzeża, strefę drugą — pas Pojezierza Północnego, strefę trzecią — pas Niziny Środkowej, a strefę czwartą — pas Wyżyn Południowych (bez partii górskich).

Ilość opadów atmosferycznych dla strefy pierwszej i trzeciej jest zbli-

¹ Temat referowany na „I Krajowym Sympozjum Chemii Jądrowej” 10—12 lutego 1964 w Warszawie.

zona i wynosi przeciętnie 600 mm na rok. Ilość opadów dla strefy drugiej i czwartej jest wyższa i wynosi ponad 600 mm na rok.

Z każdego wybranego stanowiska wycinano 3 próbki wielkości 18×18 cm, głębokości 5 cm i ciężarze 3—7 kg. Zaraz na polu oznaczano pH gleby kwasomierzem polowym, a po wysuszeniu określano skład mechaniczny gleby. Pozostałość po rozraniu i dokładnym wymieszaniu



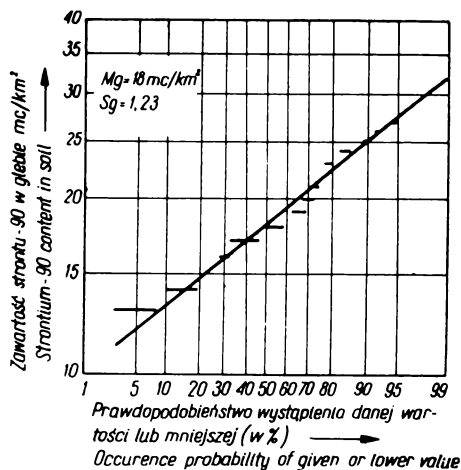
Rys. 1. Stanowiska pobierania prób glebowych. Numery oznaczają próbę
Sampling sites. Numbers identify samples

przesiewano przez sito 1 mm. Z frakcji przesianej odważono półkilogramowe próbki do analizy radiochemicznej. Analizę tę, wg Bryanta i współautorów [3], prowadzono stosownie do zaleceń Światowej Organizacji Zdrowia. Wymieniona metoda w skrócie przedstawia się następująco: 500 g gleby ługuje się 6n kwasem solnym. Po wytrąceniu szczyawianów praży się ją i rozpuszcza w kwasie azotowym, a z roztworu wytrąca wodorotlenki żelaza i glinu. Następnie wytrąca się węglany strontu i wapnia, które z kolei rozdziela się dymiącym kwasem azotowym. Po

oczyszczeniu węglan strontu odstawia się na 18 dni w celu osiągnięcia równowagi promieniotwórczej z itrem-90, po czym w oddzielnym szczawianie itru mierzy się promieniotwórczość pod okienkowym licznikiem Geigera-Müllera. W pozostałym po oddzieleniu strontu przesączu oznaczono wagowo wapń po wyparowaniu do sucha, wytrąceniu szczawianu i wyprażeniu jako tlenku.

Ogółem oznaczono Sr-90 w 37 próbkach gleby, wykonując od 1 do 4 oznaczeń dla każdej próbki (tab. 1).

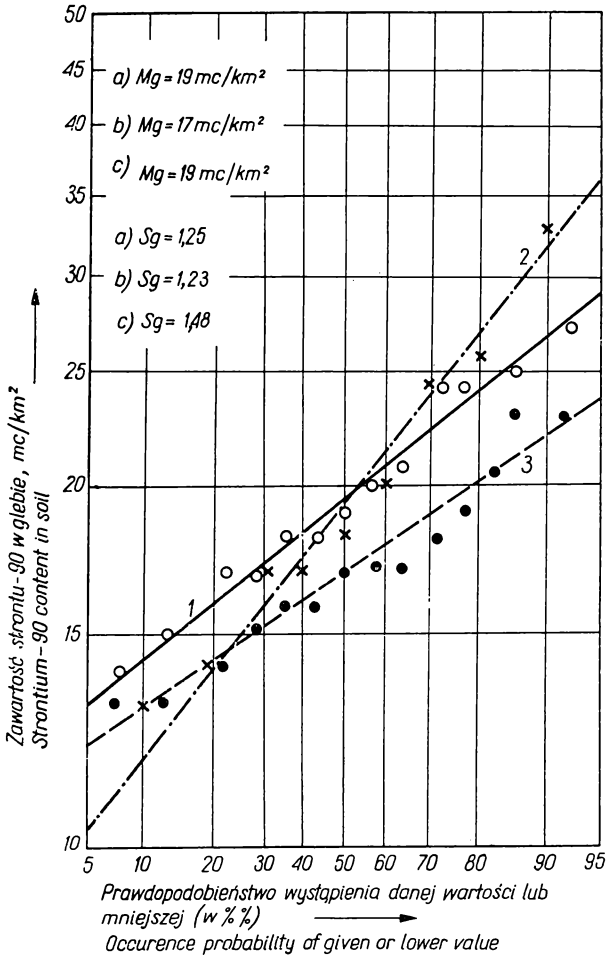
Do uzyskanych wyników zastosowano wykreślną analizę statystyczną wzorując się na pracach Velza [13] i Strauba [12]. Metoda ta polega na uporządkowaniu otrzymanych wyników w kolejności rosnącej,



Rys. 2. Analiza wykreślna przeprowadzona dla wszystkich wyników
Graphic analysis of all results

obliczeniu dla każdego wyniku tzw. dystrybuanty empirycznej i naniesieniu wartości na specjalnie sporządzoną do tego celu siatkę prawdopodobieństwa. Jeśli wyniki nakładały się na prostej, rozkład statystyczny badanego zbioru jest normalny i z przecięcia się prostej z dystrybuantą równą 50% można odczytać średnią. Analizę statystyczną wykonano dla wszystkich wyników razem (rys. 2) i osobno dla 3 stref pobierania próbek (rys. 3). Nie analizowano strefy wybrzeża z powodu zbyt małej ilości oznaczeń. Z rysunku 2 widać, że wartość skażenia badanych gleb w Polsce wynosi średnio 18 mc Sr-90 na km². Natomiast rys. 3 świadczy o tym, że aktywność dla strefy Południowych Wyzyn i Pojezierza Północnego jest podobna i wynosi średnio 19 mc/km². Promieniotwórczość ta jest nieco wyższa od aktywności Nizin Środkowej Polski i wy-

brzeża wynoszącej średnio 17 mc/km^2 . Jest to potwierdzeniem znanej zależności pomiędzy opadami atmosferycznymi a zawartością Sr-90 w glebie oraz przypuszczeń wielu autorów, że główną drogą skażenia gleby są radioaktywne opady atmosferyczne [1, 10]. Otrzymane średnie (tab. 2) są nieco niższe od wyników uzyskanych przez Domniczą i współpracowników [4] dla trzech próbek z Południowej Polski. Różnice



Rys. 3. Analiza wykresna przeprowadzona dla trzech stref geograficznych

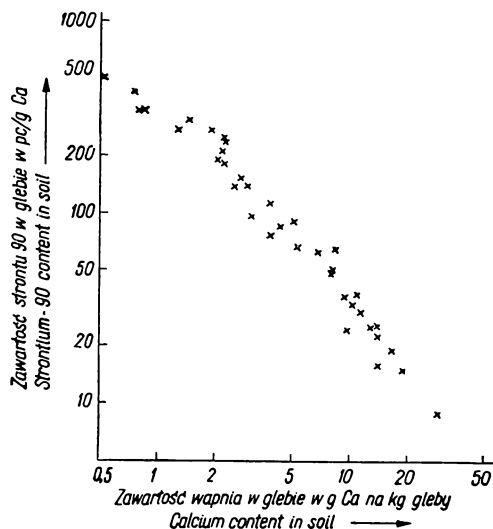
1 — Pojezierze Północne, 2 — Niziny Środkowe, 3 — Wyżyny Południowe

Graphic analysis for three geographical zones

1 — Northern lake zone, 2 — Southern highland zone, 3 — Central lowland zone

te są prawdopodobnie spowodowane ograniczeniem się cytowanych autorów do wykonania pomiarów tylko szczawianów wapniowców, bez wyodrębniania strontu-90.

Zależność aktywności Sr-90, przypadającej na 1 g wapnia, od zawartości wapnia w glebie, przedstawia wykres (rys. 4). Widać na nim wy-



Rys. 4. Zależność między radioaktywnością gleby a zawartością wapnia w glebie

Relation between soil radioactivity and calcium content in the soil

rażnie, że aktywność Sr-90 na 1 g Ca w glebie jest odwrotnie proporcjonalna do ilości wapnia w glebie.

Próbowano także powiązać otrzymane wyniki aktywności ze składem mechanicznym gleby, ale, niestety, do tego rodzaju zestawienia dysponowano zbyt małą ilością wyników. Dlatego ograniczono się jedynie do 3 najbardziej licznych grup wg klasyfikacji mechanicznej (tab. 3). Na podstawie tego zestawienia można by przypuszczać, że gleby o strukturze gruboziarnistej są mniej skażone strontem niż gleby o strukturze drobnoziarnistej. Wskazywałoby to, że stront w glebach gruboziarnistych jest bardziej wymywany i lepiej przenika do głębszych warstw gleby.

Istnieje zagadnienie, czy skażenie niektórych gleb w Polsce w 1960 r. było zagrożeniem dla ludności. Aby wyjaśnić tę sprawę, oprzemy się na zaleceniach Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej [11], które podają, że maksymalna dopuszczalna zawartość strontu-90 w kościach ludzkich nie może przekraczać 2/30 μC . Jak wspomniano na wstępie,

Tabela 1

Zawartość strontu-90 w niektórych glebach, rok 1960 - Strontium-90 content of some soils 1960

Nr próby Sample Nr.	Miejsce pobrania próby Site	Skład mechaniczny gleby Mechanical soil composition	Wapń w glebie Soil calcium g/kg	Odczyn gleby Soil pH	Skażenie gleby strontem - 90 Soil contamination by strontium - 90	
					mc/km ² mc/sq km	pc/g Ca
1	Wronki - nieużytek - barren	żwir piaszczysty - sandy gravel	0,84	6,0	19	344
2	Gawry Wielkie - nieużytek - barren	żwir piaszczysty - sandy gravel	6,68	6,5	17	39
3	Suwałki, Puszcza Augustowska pastwisko - pasture	piasek słabo gliniasty - slightly loamy sand	1,27	5,0	20	278
4	Guzów - pastwisko - pasture	piasek pylasty - silty sand	18,8	7,0	14	15
5	Kozin - łąka - meadow	piasek pylasty - silty sand	2,64	6,0	27	154
6	Dunajki - nieużytek - barren	piasek pylasty - silty sand	9,24	7,0	18	36
7	Mragów - nieużytek - barren	żwir piaszczysty - sandy gravel	29,4	7,0	15	9
8	Łomża - nieużytek - barren	piasek pylasty - silty sand	0,74	5,0	23	430
9	Grajewo - nieużytek - barren	piasek luźny - loose sand	0,78	5,0	18	344
10	Bolechowice - nieużytek - barren	piasek luźny - loose sand	1,86	> 5,0	33	268
11	Firlej k/Radomia - pastwisko - pasture	żwir piaszczysty - sandy gravel	-	-	23	-
12	Dzwonkowo - łąka - meadow	żwir piaszczysty - sandy gravel	2,86	6,0	18	139
13	Suchedniów - pastwisko - pasture	żwir piaszczysty - sandy gravel	13,7	6,0	18	26
14	Chorzelskie - pastwisko - pasture	piasek pylasty - silty sand	10,9	7,0	16	38
15	Piątkowo k.Poznań - pastwisko pasture	piasek luźny - loose sand	9,64	7,0	13	24
16	Bydliń k.Ustki - łąka - meadow	piasek pylasty - silty sand	1,42	> 4,0	19	307
17	Tronajów - pastwisko - pasture	piasek luźny z dodatkiem substan.organ. loose sand with admixture of org. matters	8,3	6,0	16	65

18	Grabno k.Ustki - pastwisko - pasture	żwir piaszczysty - sandy gravel	3,82	6,0	14	112
19	Konopnica - nieużytek - barren	glina lekka - light loam	5,22	6,0	24	67
20	Ropczyce - pastwisko - pasture	utwór pyłowy - silt (fine sand)	16,40	6,0	14	19
21	Kruszyna - łąka - meadow	piasek luźny z dodatkiem substan. organ. loose sand with admixture of org. matters	2,2	5,0	21	240
22	Kosowo k.Kartuz - łąka - meadow	piasek pylasty - silty sand	2,18	5,5	24	256
23	Sztabin - pastwisko - pasture	piasek luźny z dodatkiem substan. organ. loose sand with admixture of organ. matters	5,02	-	17	90
24	Jemieliste - pastwisko - pasture	żwir gliniasty - loamy gravel	4,24	-	25	86
25	Bogaczewo - łąka - meadow	piasek pylasty - silty sand	13,6	7,0	17	23
26	Wydminy - pastwisko - pasture	utwór pyłowy - silt (fine sand)	2,14	-	24	184
27	Łukanowice - pastwisko - pasture	utwór pyłowy - silt (fine sand)	3,06	>6,0	20	97
28	Puławy - łąka - meadow	utwór pyłowy - silt (fine sand)	3,82	6,0	17	76
29	Wilkołaz - pastwisko - pasture	utwór pyłowy - silt (fine sand)	2,11	5,0	26	216
30	Tarnów na trasie Kutno-Łowicz pastwisko - pasture	piasek luźny z dodat. substan. organicznej loose sand with admixture of organ. matters	13,9	7,0	13	16
31	Kamień - łąka - meadow	piasek luźny z dodat. substan. organicznej loose sand with admixture of organ. matters	2,48	-	13	136
32	Chęciny - nieużytek - barren	piasek pylasty - silty sand	8,0	6,0	17	49
33	Podgrodzie k.Pilzna - pastwisko pasture	utwór pyłowy - silt (fine sand)	12,7	-	17	25
34	Piła - pastwisko - pasture	żwir piaszczysty z dodat. substan. organicznej sandy gravel with admixture of organ. matter	11,2	<6,0	14	30
35	Michałówka k.Puław - nieużytek barren	piasek pylasty - silty sand	0,48	5,0	17	503
36	Piotrowice - łąka - meadow	żwir piaszczysty - sandy gravel	2,06	-	19	188
37	Brzeźno - łąka - meadow	piasek pylasty - silty sand	10,3	>7,0	15	33

T a b e l a 2

Skażenie strontem-90 różnych stref opadów atmosferycznych
Strontium-90 contamination in different atmospheric precipitation zones

Strefy - Zones *	Ilość prób Number of samples	Roczny opad Annual precipitation mm	Skażenie gleb Sr-90 Sr-90 soil contamination	
			rozstęp range	średnie mean
Wybrzeże - Sea coast zone	2	poniżej 600	14-19	16,5
Pojezierze Pół. - Northern lake zone	13	powyżej 600	15-24	19
Środkowe Równiny - Central lowland zone	13	poniżej 600	14-21	17
Południowe Wyżyny - Southern highland zone	9	powyżej 600	13-28	19

* Nazwy stref wprowadzone przez autorów tylko na użytek tego artykułu
Those zone names are used by the authors only in connection with the present study

T a b e l a 3

Wpływ rodzaju gleby na jej skażenie strontem-90
Effect of kind of soil on its contamination with strontium-90

Skład mechaniczny gleby * Mechanical soil composition	Ilość prób Number of samples	Skażenie gleby Sr-90 Sr-90 soil contamination mc/km ²		
		średnie mean	mediana median	rozstęp range
Żwir piaszczysty (0-10% części < 0,02 mm oraz około 50% części szkielet.) Sandy gravel (0-10% part. < 0.02 mm and abt. 50% skeletal parts)	7	17,8	18,0	14-23
Piasek pylasty (0-15% części < 0,02 mm oraz 25-40% części pyłowych) Silty sand (0-15% part. < 0,02 mm and 25-40% silt part.)	11	18,8	17,0	14-27
Utwór pyłowy (0-35% części < 0,02 mm oraz 25-40% części pyłowych) Silt (0-35% part. < 0,02 mm and 25-40% silt part.)	7	19,7	18,5	14-26
Wszystkie próby - All samples	37	18,8	18,0	13-33

* Oznaczenie rodzajów gleb stosownie do zaleceń Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego
Denotation of soil kinds to the recommendation of Polish Science Association

stront w procesach biochemicznych zachowuje się podobnie jak wapń. Dlatego korzystne jest w rozważaniach dotyczących strontu odnosić go do wapnia, którego przemiany poznano dokładnie. Ponieważ zawartość wapnia u dorosłego osobnika populacji ludzkiej wynosi średnio 1050 g, maksymalna zatem ilość strontu-90, przypadająca na 1 g wapnia w organizmie, wyniesie

$$\frac{2 \times 10^6 \text{ pc}}{30 \times 1050 \text{ g}} = 63,5 \text{ pc Sr-90/g Ca w kości.}$$

Stosunek Sr-90/Ca nie jest stały i ulega zmianie w poszczególnych członach łańcucha pokarmowego na drodze od gleby do kości, wskutek dyskryminacji strontu przez poszczególne ogniwa przemiany. W rezultacie, w zależności od sposobu odżywiania się ludności, można oszacować ogólny współczynnik dyskryminacji Sr/Ca. Langham i Anderson [9] określili go dla Polski na 0,091. Oznacza to, że stosunek Sr/Ca w kości stanowi 0,091 wartości początkowej, tj. wartości Sr/Ca w glebie. Korzystając ze współczynnika dyskryminacji można obliczyć stosunek Sr/Ca w glebie, odpowiadający maksymalnemu dopuszczalnemu stosunkowi Sr/Ca w kości:

$$\frac{63,5}{0,091} = 700 \text{ pc Sr-90/g Ca w glebie.}$$

Obserwowane przez nas wartości w 5-centymetrowej warstwie gleby zawierały się w granicach od około 10 do 500 pc Sr-90/g Ca (tab. 1), a więc w każdym przypadku poniżej maksymalnie dopuszczalnego skażenia gleby.

Opierając się na literaturze [6] zakładamy, że obserwowane wartości stanowiły $\frac{2}{3}$ całkowitej ilości strontu-90 w warstwie uprawnej gleby. Trzeba jednak uwzględnić wpływ rozcieńczenia strontu-90 przez wapń, zawarty w badanej warstwie uprawnej. Jeżeli np. przyjmiemy, że warstwa orna ma 20 cm, a badamy tylko warstwę grubości 5 cm, to poprawka, przez którą należy pomnożyć obserwowane wyniki skażenia gleb, wyniesie:

$$\frac{3}{2} \times \frac{5}{20} = 0,375.$$

Jeśli zastosować tę poprawkę, otrzymane wyniki obniżą się i znajdą się w granicach od około 4 do 190 pc Sr-90/g Ca. Stanowi to od około 0,5 do 27% maksymalnej wartości skażenia gleby.

Należy zaznaczyć, że wskutek wznowienia wybuchów jądrowych w latach 1961—1962 skażenie gleb polskich wzrosło dwu-, a może trzykrotnie w stosunku do wyżej dyskutowanych danych.

Autorzy dziękują Panu Prof. Dr. L. Jurkiewiczowi z Instytutu Badań Jądrowych za dyskusję i uwagi oraz PP. M. Wilkowi i H. Bartkiewicz za pomoc techniczną przy wykonaniu tematu.

LITERATURA

- [1] Agriculture Research Council. Strontium-90 in human diet in the United Kingdom, 1958. Radiological Laboratory Raport No. 1, HMSC, London 1959.
- [2] Agricultural Research Council Radiobiological Laboratory. Annual Raport 1962—1963, ARCRL 10, 1963.
- [3] Bryant F. J., Chamberlain A. C., Morgan A., Spicer G. G.: Radiostrontium Fallout in Biologicals in Brytain. World Health Organization. Technical Raport Series Nr. 173. Methods of Radiochemical Analysis, 1958.
- [4] Domnicz A., Jagielski A., Lityński T., Łazarska B., Łazarzski R.: Skażenie gleb polskich strontem-90. Nukleonika, 6, 1961, 135—138.
- [5] Guljakin I. W., Judincewa E. W.: Radioaktywne produkty dielenja w poczwie i rastienjach. Gos. Atom. Izdat. Moskwa 1962.
- [6] Hardy E. P., Klein S.: Strontium Program Quarterly Summary Raport HASL-65, 1959.
- [7] Hardy E. P., List, R. J., Machta Ł., Alexander L. T. et al.: Strontium-90 on the earth's surface. TID-17090, 1962.
- [8] Hugnet M., Delas M., Delmas M. et al.: Compte rendu d'periences de plusieurs années sur l'absorption du strontium et de censium radioactifs par des plantes cultives. CEA-2159, 1962.
- [9] Longham W., Anderson E. C.: Entry of radioactive fallout into the biosfere and man. Referat wygłoszony na Symposium on the Noxious Effects of Low Level Radiation. Lausanne, 27—29 marca 1958.
- [10] Machta Ł.: Discussion of meteorological factors and fallout distribution. HASL 42, 310—325, 1958.
- [11] Raport of International Commission on Radiological Protection Committe II on Permissible Doses for Internal Radiation. Pergamon Press, N. York—London 1959.
- [12] Straub C. P.: Statistical Evaluation of Packing House Waste Conference Purdue University Lafayette, Indiana. May, 5, 1953.
- [13] Velz C. J.: Graphical Approach to Statistics. Water and Sewage Works, 99 R-106-R-135, 1952.

Р. ШЕПКЭ, Д. ГЖЫБОВСКА

СОДЕРЖАНИЕ СТРОНЦИЯ-90 В НЕКОТОРЫХ ПОЧВАХ ПОЛЬШИ

Центральная Лаборатория Радиолгической Защиты

Резюме

В 37 местностях отбирали образцы с верхнего 5-см слоя необрабатываемых почв. Определили механический состав исследуемых почв, затем согласно методу Брианта образцы экстрагировали 6-нНСl. После осаждения оксалатов их про-

каливали и растворяли в азотной кислоте, чтобы из раствора выделить гидроокиси железа и алюминия, затем осаждали карбонаты стронция и кальция а далее резделяли их в дымящей азотной кислоте (5). После очистки карбоната стронция оставляли на 18 дней для достижения радиоактивного равновесия с иттрием-90, а в выделенном оксалате иттрия измеряли радиоактивность при помощи счётчика Гейгера-Мюллера.

Статистически обработанные результаты показывают, что в 1960 году среднее радиоактивное загрязнение 5-см слоя исследуемых почв составляло 18 мсSr-90/кв. км, т. е. около $\frac{2}{3}$ общего содержания стронция-90 в почве (13). Обнаружены некоторые различия в загрязнении почв из различных зон страны. Проявилась также зависимость между загрязнением, механическим составом почв и содержанием в них кальция. Наблюдаемое радиоактивное загрязнение почв по отношению к кальцию составляло от 10 до 500 пс Sr-90/г Ca в 5-см слое необрабатываемой почвы. Максимально допустимое загрязнение польских почв оценивается на около 700 пс Sr-90 в пахотном слое.

R. SZEPKA, D. GRZYBOWSKA

CONTENT OF STRONTIUM-90 IN SOME POLISH SOILS

Central Laboratory for Radiological Protection

Summary

In 37 Polish sites were taken samples from the upper 5-cm layer of uncultivated soils. Mechanical composition of the soils was determined and the samples treated with 6n HCl. After precipitation of the oxalates, the samples were calcinated and dissolved in nitric acid then ferrum and alluminum are eliminated from the solution as hydroxides. Subsequently were precipitated the carbonates of strontium and calcium which then were separated by fuming nitric acid [5]. After purification, the strontium carbonate was leaved for 18 days to obtain radioactive equilibrium with yttrium-90, then radioactivity of the separated yttrium was measured by means of a G.M. counter.

The statistically analysed results indicate that in 1960 contamination mean of the upper 5-cm layer of the investigated soils amounted to 18 мс Sr-90/sq km, which is about $\frac{2}{3}$ of the total strontium-90 content in soil [13]. Differences in contamination of soils from various zones of the country were found to be insignificant. A correlation between soil contamination and its mechanical composition and calcium content was noted. The observed rate of soil contamination in respect to calcium content varied in the 5-cm layers of uncultivated soils from 10 to 500 пс Sr-90/g Ca, as compared with a maximum permissible rate of approximately 700 пс Sr-90/g Ca considered for arable layers of Polish soils.

