

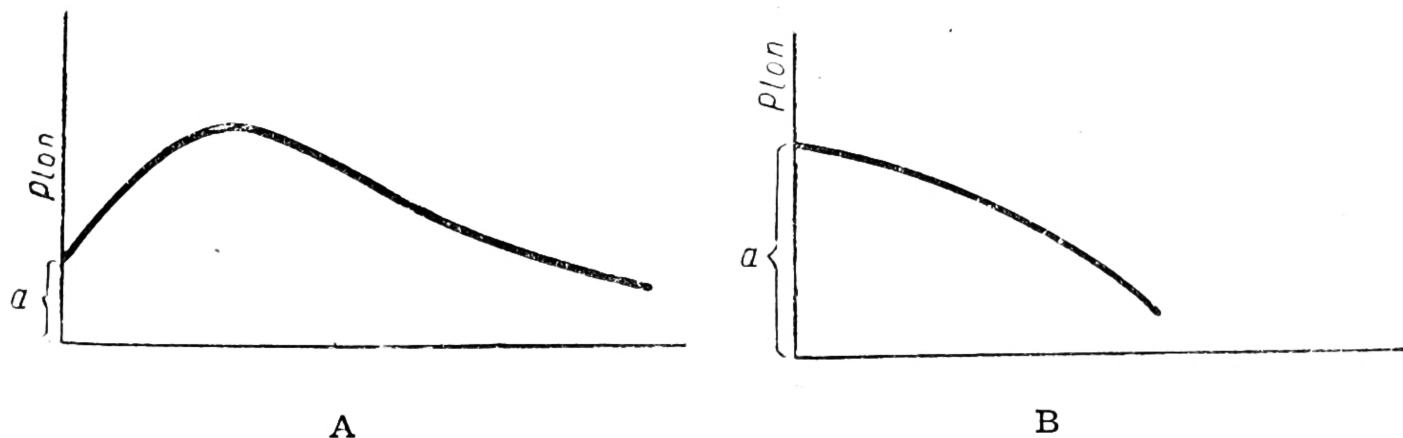
M. GÓRSKI, S. ZMYSŁOWSKA  
Rolnicza Pracownia Izotopowa PAN

## PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ NATURALNA NIEKTÓRYCH GLEB POLSKICH

Sprawa wpływu substancji promieniotwórczych na plon roślin była przedmiotem wielu badań. Już wkrótce po odkryciu radu przez Marię Curie-Skłodowską próbowano Stoklasa i inni wpłynąć na plon roślin poprzez nawożenie substancjami radioaktywnymi. Również wkrótce po tym próbowano produkować nawozy radioaktywne.

Aczkolwiek zagadnienie jest stare, to jednak dotychczas nie jest wyjaśnione. Jedni badacze otrzymywali dodatnie działanie „nawozów promieniotwórczych“, inni takiego działania nie otrzymali. Prawdopodobnie przyczyną niezgodności wyników jest nieodpowiednie dozowanie substancji radioaktywnych. Wiadomą jest rzeczą, że działanie każdego czynnika vegetacyjnego przebiega w ten sposób, że najpierw działa on dodatnio, ale przy zwiększonych dawkach jego działanie jest ujemne. (Rys. 1 A).

Jest również rzeczą ogólnie znaną, że działanie czynnika vegetacyjnego następuje wtedy, kiedy ten czynnik znajduje się w niewystarczającej ilości. Przy nadmiarze czynnika vegetacyjnego możemy nie obserwować jego dodatniego działania, jak to wynika z rys. 1 B.



Rys. 1. Krzywe zależności plonu od dodanego czynnika vegetacyjnego; *a* — plon bez dodatku czynnika vegetacyjnego

W każdym bądź razie należy zawsze liczyć się z zapasami w glebie studiowanego czynnika vegetacyjnego. Wynika z tego, że zagadnienie wprowadzenia izotopów promieniotwórczych do gleby i wpływ na plony wymaga kontroli promieniotwórczości badanej gleby.

Badanie promieniotwórczości naturalnej gleb polskich podjęto metodą klisz jądrowych, zastosowaną po raz pierwszy w Polsce do badania promieniotwórczości naturalnej skał przez prof. Stefana Pieńkowskiego i jego współpracowników (1, 2, 3, 4).

Za punkt wyjścia w pracy doświadczalnej wzięto fakt, że kłisza jądrowa notuje ślady przebiegu pojedynczych cząstek elektrycznie nałado-

wanych. Naturalne pierwiastki promieniotwórcze wysyłają dwa rodzaje takich cząstek: cząstki  $\alpha$  i cząstki  $\beta$ . Zawartość ciał promieniotwórczych w badanej próbce można wyznaczyć na podstawie rejestracji w kliszy śladów tych cząstek. Oparto się na rejestracji w kliszy torów cząstek  $\alpha$ , co pozwala wykryć w glebie zawartość uranu i toru (bez uwzględnienia promieniotwórczego potasu).

### Zarys teorii

Podstawy teoretyczne metody podane są w pracach I. Curie (5) oraz S. Milone Tamburino i A. Stella (6). Prowadzą one do następującego wyrażenia na zawartość uranu w źródle grubym (to jest o grubości przekraczającej maksymalny zasięg badanych cząstek):

$$C_U = \frac{k N}{S t (7,25 + 2,23 \frac{c_{Th}}{c_U})}$$

gdzie:

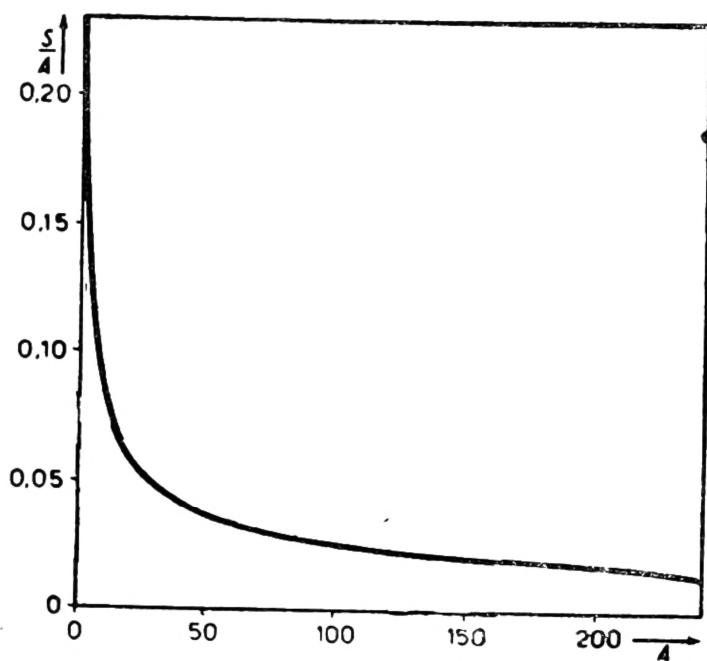
$c_U, c_{Th}$  — zawartość uranu i toru, podana w gramach na gram badanej próbki;

$k$  — współczynnik hamowania cząstek  $\alpha$  przez badaną próbkę;

$N$  — ogólna ilość śladów cząstek, zaobserwowanych pod mikroskopem, o długości  $\geq 3 \mu$ ;

$S$  — powierzchnia zbadana wyrażona w  $cm^2$ ;

$t$  — czas ekspozycji próbki badanej.



Rys. 2. Krzywa zależności  $S/A$  od  $A$ , wg S. Milone Tamburino i A. Stella (6)

Współczynnik  $k$  wyraża się wzorem:

$$k = \sum \frac{S c}{A}$$

$S$  — zdolność hamująca atomu o ciężarze atomowym  $A$ ;

$A$  — ciężar atomowy poszczególnych pierwiastków wchodzących w skład badanej próbki;

$c$  — ich zawartość wagowa wyrażona w g na gram badanej próbki.

Tamburino i Stella (6) podają w swojej pracy krzywą (rys. 2) pozwalającą wyznaczyć stosunek  $S/A$  dla poszczególnych pierwiastków wchodzących w skład badanej próbki, znany z analizy mineralogicznej czy chemicznej.

Stosunek zawartości wagowej toru do uranu według I. Curie (5):

$$\frac{c_{Th}}{c_U} = \frac{3,3}{\frac{v_2}{v_1} - 0,8}$$

$v_2$  — ilość śladów cząstek  $\alpha$  zaobserwowanych w emulsji jądrowej o długości  $l_2$  zawartej w granicach:  $32 \mu \leq l_2 \leq 39 \mu$ ;

$v_1$  — ilość śladów cząstek  $\alpha$  zaobserwowanych w emulsji jądrowej o długości  $l_1 \wedge 39 \mu$ .

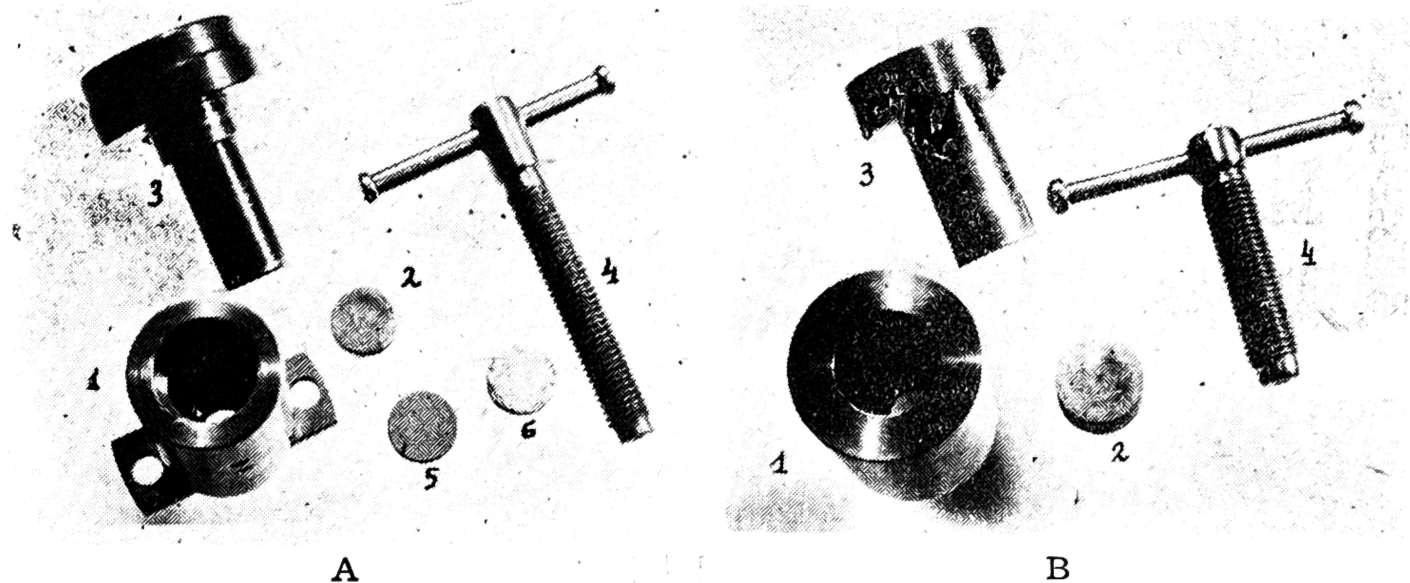
W celu wyznaczenia  $c_U$  i  $c_{Th}$  należy więc:

- 1) eksponować klisze na badanej próbce przez określoną ilość czasu;
- 2) po wywołaniu zbadać pod mikroskopem określoną powierzchnię, notując ilość śladów cząstek  $\alpha$  i mierząc ich długości;
- 3) znać skład chemiczny (mineralogiczny) badanej próbki.

### Metoda pracy

Pracowano na kliszach jądrowych M2, wykonywanych w Katedrze Fototechniki Politechniki Wrocławskiej przez mgr W. Markockiego<sup>1</sup>, odpowiadających kliszom Ilforda B2.

Zbadano 2 gleby bielcowe: bielica pyłowa na glinie zwałowej — Warszawa (gleba rakowiecka), pobrana z głębokości około 10 cm i około 50 cm; bielica średnia różnoziarnista — Wyszyny Kościelne, powiat Mława, pobrana z głębokości 5—10 cm i 27—33 cm.



Rys. 3. Praski do prasowania pastylek glebowych: A — o średnicy 18 mm; B — o średnicy 35 mm. 1 — forma do pastylek, 2 — metalowa podkładka, 3 — stempel, 4 — śruba do wypychania gotowych pastylek, 5, 6 — sprasowane pastylki glebowe

Próbki gleby prasowano w zwarte pastylki przy pomocy prasek podanych na rysunku 3 A, B; praski dociskano następnie w prasie hydraulicznej. Sprasowane pastylki glebowe umieszczano w zagłębieniach wydrążonych w podstawce drewnianej (rys. 4), tak by nieco wystawały ponad powierzchnię drewna. Klisze przykładano bezpośrednio do badanych próbek. Metalowe ramki dostosowane do rozmiarów klisz pozwalają umieścić klisze wywołane w takim samym położeniu, w jakim były eksponowane, co umożliwia oznaczenie na nich konturów powierzchni eksponowanych (rys. 5).

Wywoływanie klisz (z mechanicznym kołysaniem kuwet celem wprawienia w ruch cieczy w otoczeniu emulsji) odbywało się następująco: kąpiel 10 minut w wodzie destylowanej

<sup>1</sup> Mgr W. Markockiemu wyrażamy podziękowanie za dostarczone nam klisze jądrowe.

33 min. w wywoływaczu

10 „ w roztworze zatrzymującym proces wywoływania

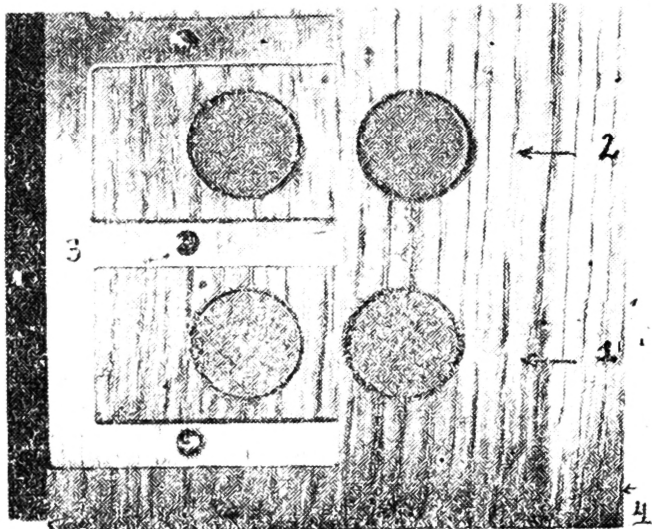
1 — 1,5 godziny w utrwalaczu.

Po utrwaleniu klisze płukano przez około 5 godzin w wodzie bieżącej.

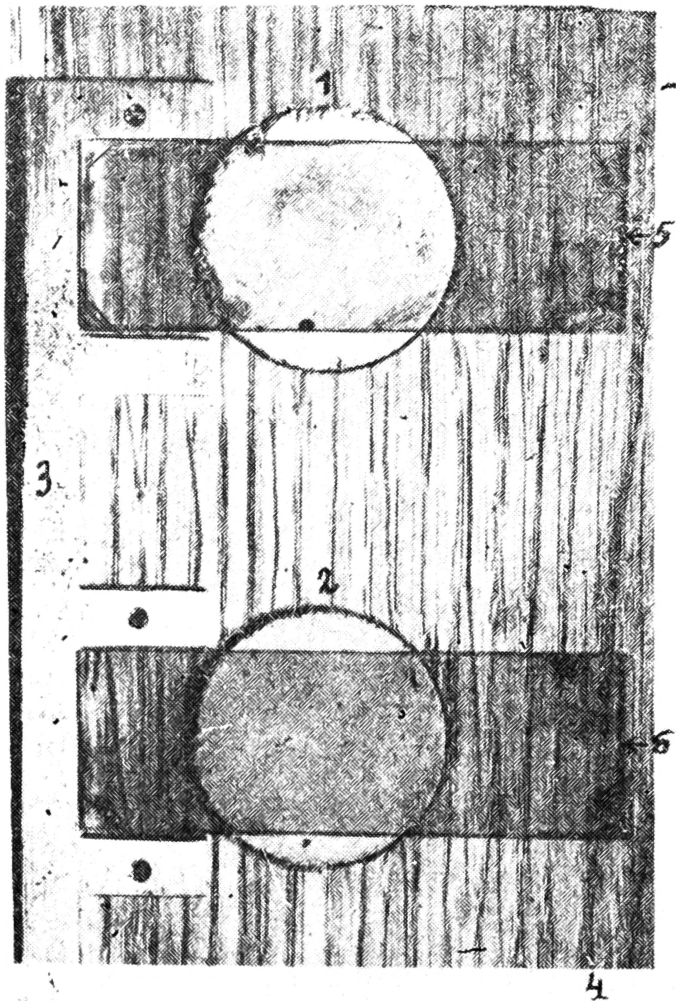
Do wywoływania stosowano wywoływacz do klisz jądrowych D19b o składzie podanym przez Powella i Occhialiniego (7): 0,5 l woda destylowana, 1,1 g metol, 36,0 g bezwodny siarczyn sodu, 4,4 g hydrochinon, 24,0 g bezwodny węglan sodu, 2,0 g bromek potasu.

Tak przyrządzony roztwór rozcieńcza się w stosunku objętościowym: 1 część wywoływacza na 3 części wody destylowanej.

Jako kąpiel zatrzymującą proces wywoływania stosowano jednoprotentowy roztwór lodowatego kwasu octowego.



Rys. 4. Urządzenie do ekspozycji klisz jądrowych na pastylkach glebowych. 1 — sprasowane pastylki gleby biellicowej pyłowej na glinie zwałowej (Warszawa, gleba rakowiecka), pobranej z głębokości około 50 cm, 2 — pobranej z głębokości około 10 cm., 3 — ramka metalowa umożliwiająca oznaczenie na wywołanej kliszy miejsc eksponowanych, 4 — podstawka drewniana



Rys. 5. Przyporządkowanie kliszom jądrowym powierzchni eksponowanych: 1 — sprasowana pastylka gleby biellicowej średniej różnoziarnistej (Wyszyny Kościelne, powiat Mława), pobranej z głębokości 27—33 cm, 2 — pobranej z głębokości 5—10 cm, 3 — ramka metalowa umożliwiająca oznaczenie na wywołanej kliszy miejsc eksponowanych, 4 — podstawka drewniana, 5 — klisza jądrowa numer 15, 6 — klisza jądrowa numer 14

Utrwalacz sporządzano następująco: 0,5 l wody destylowanej, 120 g tiosiarczanu sodu.

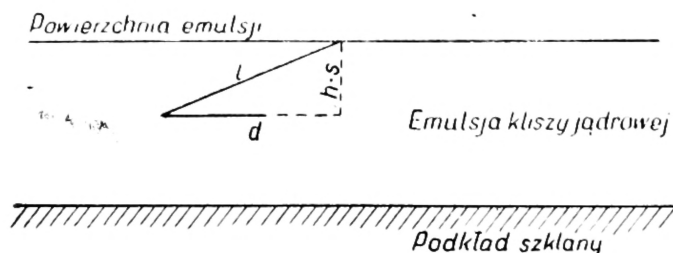
Po oznaczeniu konturu powierzchni eksponowanej na kliszy wybrano w obszarze eksponowanym dowolne pole do szczegółowej obserwacji pod mikroskopem. Pracowano na mikroskopie Lumipan - Zeiss binokularnym, z obiektywem imersyjnym  $90\times$  i okularami  $7\times$ . W jednym z okularów umieszczono skalę, którą wycechowano w mikronach przy pomocy skali mikrometrycznej: 1 działka skali okularu równa się  $0,84 \mu$ .

Za pole widzenia w mikroskopie przyjęto kwadrat skali okularu. Klisze badano rzędami poziomymi: pola widzenia przesuwano według nici kwadratu w okularze na długości 1 cm kliszy, po czym przesuwano kliszę w kierunku pionowym o 1 pole widzenia i przeprowadzano dalsze obserwacje w granicach tych samych współrzędnych poziomych.

Notowano tylko te ślady cząstek  $\alpha$ , które zaczynają się na powierzchni emulsji, gdyż tylko one mogą pochodzić od cząstek  $\alpha$  wysłanych z eksponowanej próbki gleby. Długości śladów cząstek  $\alpha$  wyznaczono na podstawie ich rzutu  $d$  mierzonego według skali okularu i zagłębienia  $h$  mierzonego przy pomocy śruby mikrometrycznej mikroskopu, która zaopatrzona jest w skalę o działkach co 2 mikrony (rys. 6). Zmierzone zagłębienie śladu cząstki  $\alpha$  nie może służyć bezpośrednio do obliczenia jego długości. W procesie wywoływania usunięte zostały kryształy nie rozłożonego bromku srebra, wskutek czego klisza wywołana ma emulsję około 2,5 razy cieńszą niż klisza przed wywołaniem. Liczba ta daje tak zwany skurcz emulsji, przez który musimy pomnożyć zmierzone  $h$ . Długość  $l$  śladu cząstki  $\alpha$  wyznacza się zatem z prostej zależności:

$$l = \sqrt{d^2 + (hs)^2},$$

gdzie: przez  $s$  oznaczamy skurcz emulsji (rys. 6).



Rys. 6. Schematyczne przedstawienie śladu cząstki  $\alpha$  w emulsji kliszy:  $l$  — długość śladu cząstki  $\alpha$ ,  $d$  — rzut śladu mierzony w okularze mikroskopu,  $h$  — zagłębienie śladu w emulsji,  $s$  — skurcz emulsji

Skurcz emulsji można wyznaczyć, dzieląc grubość emulsji podaną przez firmę dla kliszy nie wywołanej przez jej grubość po wywołaniu. Grubość tę mierzymy pod mikroskopem, nastawiając na ostrość widzenia pierwsze ziarna powierzchni emulsji i ostatnie — przy szkle. Skurcz emulsji badanych klisz wahał się w granicach 2,44 — 2,82, zależnie od zawartości wilgoci w powietrzu.

Po szczegółowym zbadaniu wycinka powierzchni eksponowanej w dużym powiększeniu zbadano całą powierzchnię eksponowaną z obiektywem  $10\times$  i okularami  $10\times$ , notując charakterystyczne zgrupowania cząstek o układzie centrycznym, tak zwane skupiska, i obliczając w nich ilość śladów cząstek  $\alpha$  bez mierzenia ich długości.

Ilość  $N$  zaobserwowanych śladów cząstek  $\alpha$ , która służy za podstawę obliczenia zawartości wagowej uranu i toru w glebach, powinna być poprawiona na tak zwane tło kliszy, czyli na ślady cząstek  $\alpha$ , które zaczynają

się na powierzchni emulsji, a mogą pochodzić od jej własnych zanieczyszczeń promieniotwórczych. Tło kliszy mierzono na jej częściach nieeksponowanych. Drugiej poprawki liczby  $N$  dokonano na podstawie ilości cząstek  $\alpha$  w skupiskach, uśredniając ją na całą powierzchnię eksponowaną i doliczając do  $N$  liczbę śladów przypadających na tę powierzchnię. Z liczby  $N$  wybrano następnie  $v_1$  — ilość cząstek  $\alpha$  o długości  $\geq 39 \mu$ , oraz  $v_2$  — ilość śladów o długości zawartej w granicach 32—39  $\mu$ , wyznaczając na ich podstawie  $c_{Tn}/c_U$ .

Współczynniki  $k$  obliczono na podstawie analizy chemicznej badanych gleb, wykonanej przez inż. Z. Barszczakową.

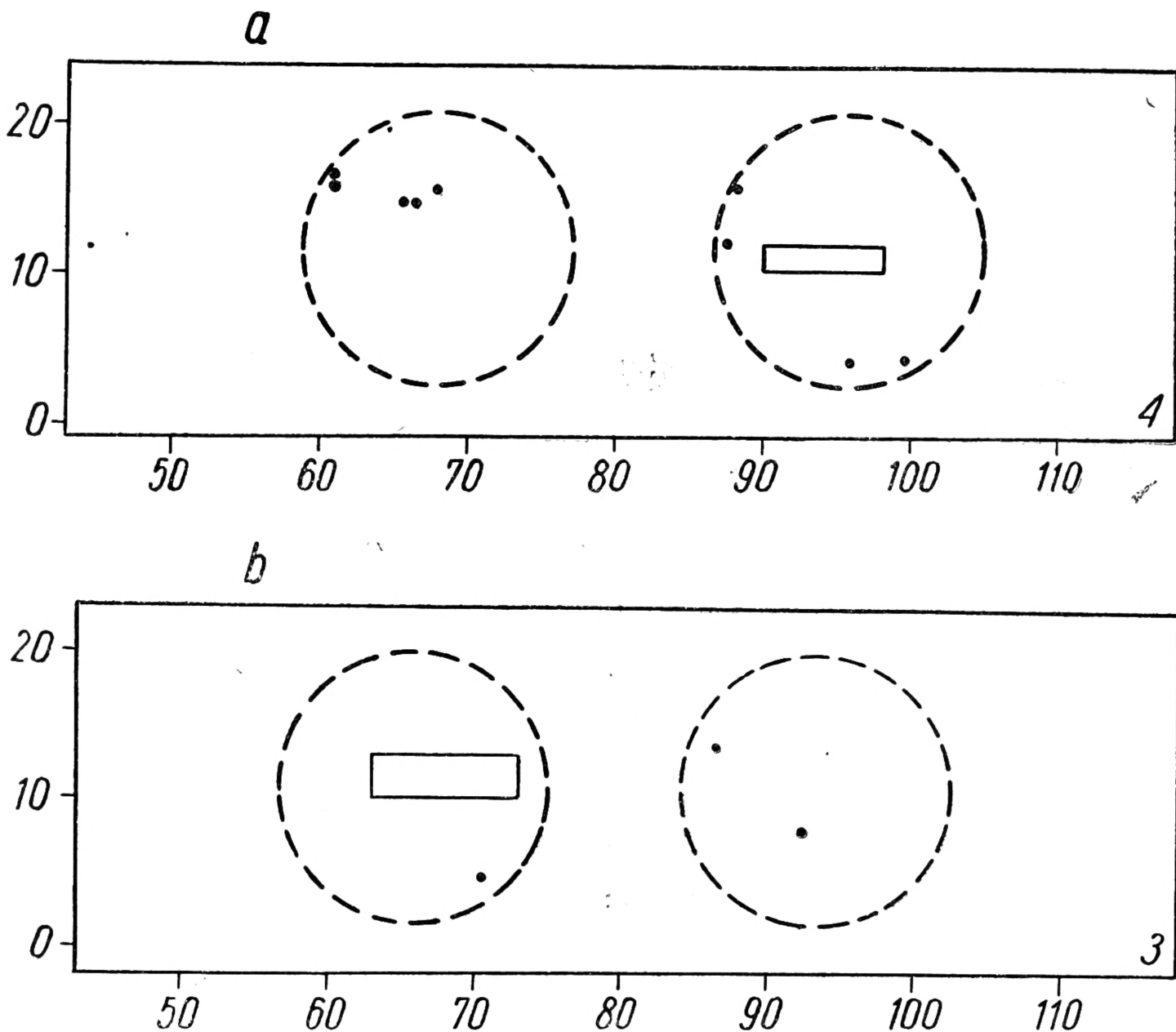
## Wyniki

Tabela 1

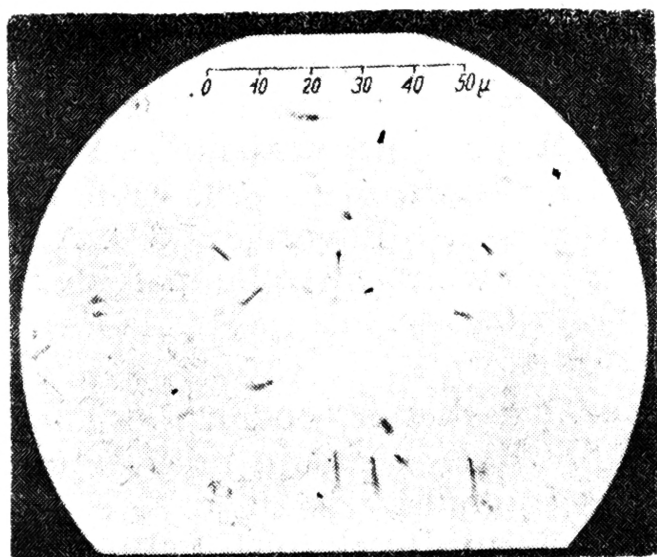
## Ogólny skład chemiczny badanych gleb

Składniki	Bielica pyłowa na glinie zwałowej. Warszawa (gleba rakowiecka)		Bielica średnia różnoziarnista Wyszyzny Kościelne, pow. Mława	
	głębokość 10 cm	głębokość 50 cm	głębok. 5–10 cm	głębok. 27–33 cm
	%	%	%	%
SiO <sub>2</sub>	81,73	80,54	87,62	88,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,12	5,54	3,81	3,85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,47	2,45	2,84	2,90
CaO	1,09	1,57	2,24	2,02
MgO	1,17	1,04	0,02	0,02
K <sub>2</sub> O	1,93	1,80	1,11	1,51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	0,08	0,10	0,12
CO <sub>2</sub>	0,77	2,12	ślady	ślady
H <sub>2</sub> O	0,15	0,08	0,40	0,20
Straty przy za- rzeniu	5,03	4,85	1,99	2,09
R a z e m	100,29%	100,06%	100,13%	100,78%

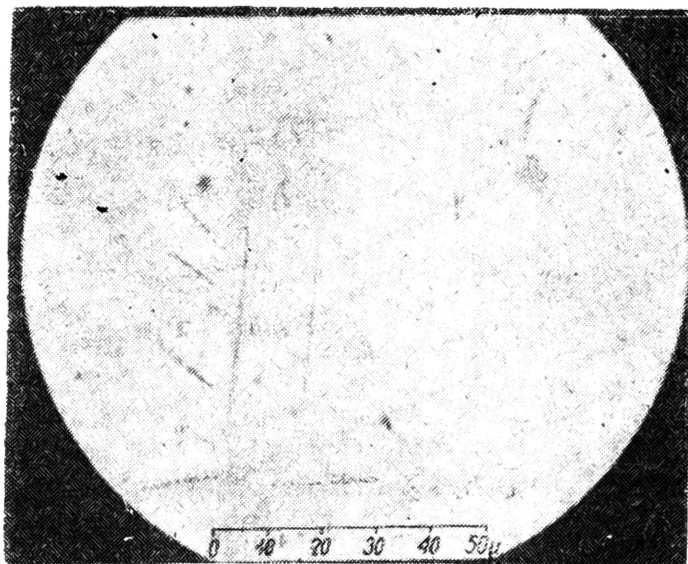
1. Bielica pyłowa na glinie zwałowej, Warszawa (gleba rakowiecka).  
 a. Głębokość około 10 cm. Klisza numer 4. 2 pastylki (rys. 4). Współczynnik hamowania  $k = 0,0576$ . Czas ekspozycji 25 dni, 23 godziny 39 minut. Zbadano szczegółowo powierzchnię 11,38 mm<sup>2</sup>. Zaobserwowano 134 ślady cząstek  $\alpha$  o długości  $\geq 3 \mu$ . Na powierzchni łącznej obu pastylek glebowych zaobserwowano 7 skupisk śladów cząstek  $\alpha$ . Rozkład skupisk podany jest na rys. 7. Powierzchnia zbadana szczegółowo oznaczona jest prostokątem. Rys. 8 podaje mikrofotografię części środkowej jednego ze skupisk. Łącznie ze skupisk przypada 150 śladów cząstek  $\alpha$  na powierzchnię 500 mm<sup>2</sup>. Tło kliszy 4 wynosi 18 śladów cząstek  $\alpha$  na 15 mm<sup>2</sup>. Po uwzględnieniu poprawek  $N = 124$ . Liczby torów długich wynoszą:  $v_2 = 9$ ,  $v_1 = 8$ ; stąd stosunek zawartości wagowej toru do uranu  $c_{Tn}/c_U = 10,1$ . Zawartość uranu i toru w glebie rakowieckiej wynosi na głębokości około 10 cm:  $c_U = 9,2 \cdot 10^{-7}$  g na gram gleby;  $c_T = 9,3 \cdot 10^{-6}$  g na gram gleby.



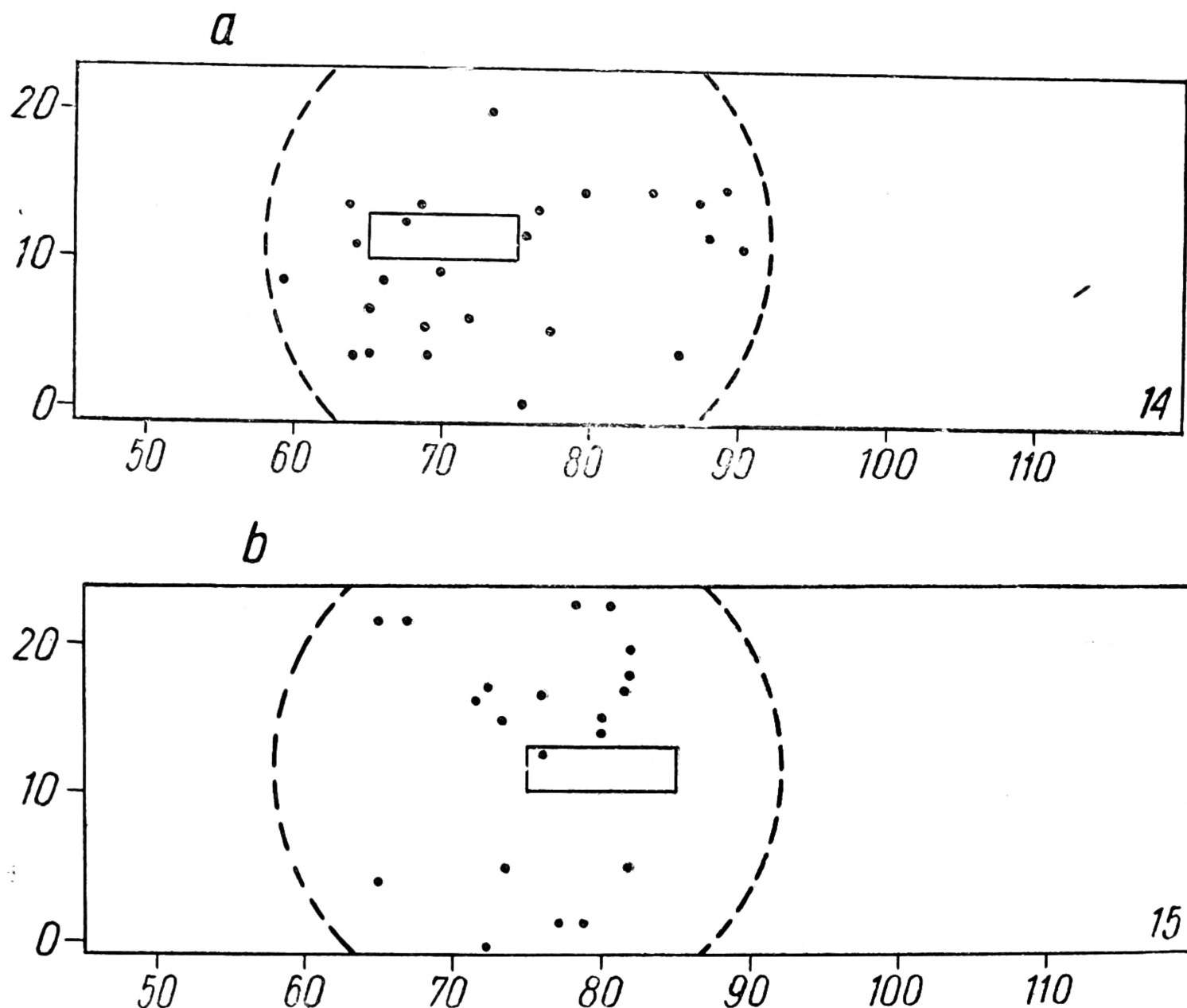
Rys. 7. Rozkład skupisk śladów cząstek  $\alpha$  według współrzędnych stolika mikroskopu w kliszach 3 i 4



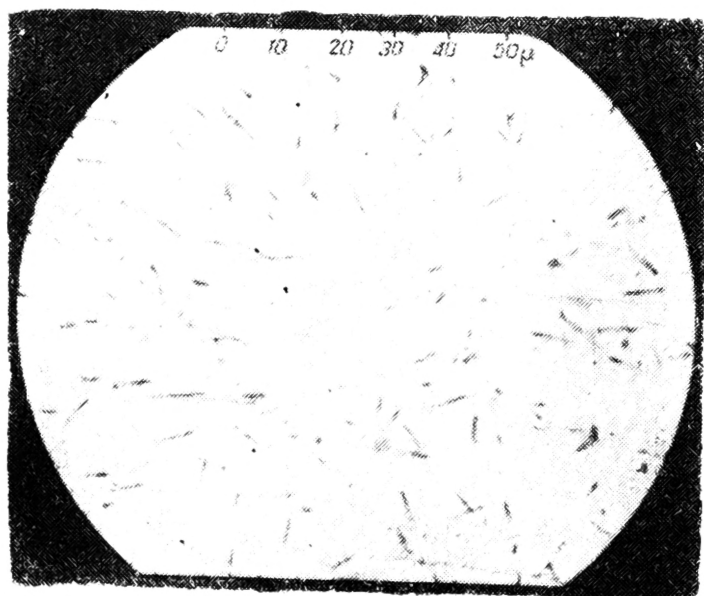
Rys. 8. Jedno ze skupisk śladów cząstek  $\alpha$  w kliszy 4



Rys. 9. Fragment skupiska śladów cząstek  $\alpha$  w kliszy 3



Rys. 10. Rozkład skupisk śladów cząstek  $\alpha$  według współrzędnych stolika mikroskopu w kliszach 14 i 15



Rys. 11. Fotografia środkowej części charakterystycznego skupiska cząstek  $\alpha$  w kliszy 14

b. Głębokość około 50 cm. Klisza numer 3. Dwie pastylki (rys. 4). Współczynnik hamowania  $k = 0,0572$ . Czas ekspozycji 25 dni, 23 godziny, 39 minut. Zbadano szczegółowo powierzchnię  $30,5 \text{ mm}^2$ . Zaobserwowano 295 śladów cząstek  $\alpha$  o długości  $\geq 3 \mu$ . Na łącznej powierzchni obu pastylek zaobserwowano 3 skupiska śladów cząstek  $\alpha$ .

Rozkład skupisk podany jest na rys. 7b. Rys. 9 podaje mikrofotografię fragmentu jednego ze skupisk. Łącznie ze skupisk przypada 120 śladów cząstek  $\alpha$  na powierzchnię  $500 \text{ mm}^2$ .



Tabela 2

Zestawienie wyników

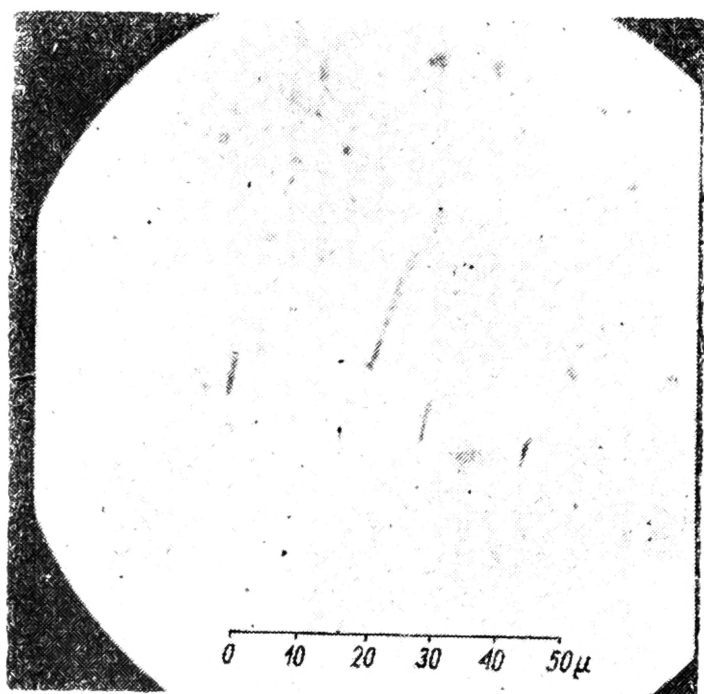
Rodzaj gleby	Głębokość	Współczynnik hamowania	Numer kliszy	Czas ekspozycji	Powierzchnia zbadana	Ilość skupisk śladów cząstek $\alpha$	$\frac{C_{Th}}{C_U}$	Zawartość w glebie	
								uranu	toru
Bielica pyłowa na glinie zwałowej Warszawa g-leba rakowiecka	około 10 cm	0,0576	4	25 dni 25 godz. 39 min.	0,114 cm <sup>2</sup>	7/5 cm <sup>2</sup>	10,1	$9,2 \cdot 10^{-7}$ g/g	$9,3 \cdot 10^{-6}$ g/g
	ok. 50 cm	0,0572	3		0,305 cm <sup>2</sup>	3/5 cm <sup>2</sup>	8,25	$8,6 \cdot 10^{-7}$ g/g	$8,6 \cdot 10^{-6}$ g/g
Bielica średnia różnoziarnista Wyszyny Kościelne powiat Mława	5–10 cm	0,0566	14	34 dni 13 min.	0,305 cm <sup>2</sup>	27/7,5 cm <sup>2</sup>	11,4	$9,7 \cdot 10^{-7}$ g/g	$11 \cdot 10^{-6}$ g/g
	27–33 cm	0,0569	15	„	0,305 cm <sup>2</sup>	19/7,5 cm <sup>2</sup>	14,3	$8,4 \cdot 10^{-7}$ g/g	$12 \cdot 10^{-6}$ g/g

Tło kliszy 3 wynosi 18 śladów cząstek  $\alpha$  na 15 mm<sup>2</sup>. Po uwzględnieniu poprawek  $N = 265$ . Liczby torów długich wynoszą:  $v_2 = 18$ ,  $v_1 = 15$ ; stąd stosunek zawartości toru do uranu  $C_{Th}/C_U = 8,25$ . Zawartość uranu i toru w glebie na głębokości około 50 cm wynosi odpowiednio:  $C_U = 8,6 \cdot 10^{-7}$  g na gram gleby,  $C_{Th} = 7,1 \cdot 10^{-6}$  g na gram gleby.

2. Bielica średnia różnoziarnista Wyszyny Kościelne, powiat Mława.

a. Głębokość 5–10 cm. Klisza numer 14. 1 pastylka (rys. 5). Współczynnik hamowania  $k = 0,0566$ . Czas ekspozycji 34 dni 13 minut. Zbadano szczegółowo powierzchnię 30,5 mm<sup>2</sup>. Zaobserwowano 907 śladów cząstek  $\alpha$ , z czego odrzucono 437 śladów cząstek  $\alpha$ , przypadających na jedno ze skupisk na rys. 10a w obrębie prostokąta oznaczającego powierzchnię zbadaną szczegółowo. Mikrofotografia części środkowej tego skupiska podana jest na rysunku 11. W kliszy 14 na całkowitej powierzchni ekspozowanej zaobserwowano 27 skupisk śladów cząstek  $\alpha$ , których rozkład podaje rys. 10a. Łącznie ze skupisk przypada 1600 śladów cząstek  $\alpha$  na powierzchnię 750 mm<sup>2</sup>. Tło kliszy wynosi 15 śladów cząstek  $\alpha$  na 15 mm<sup>2</sup>. Po uwzględnieniu poprawek  $N = 500$ . Liczby torów długich wynoszą:  $v_2 = 37$ ,  $v_1 = 34$ ; stąd stosunek zawartości wagowej toru do uranu  $C_{Th}/C_U = 11,4$ . Zawartość toru i uranu wynosi:  $C_U = 9,7 \cdot 10^{-7}$  g na gram gleby,  $C_{Th} = 11 \cdot 10^{-6}$  g na gram gleby.

b. Głębokość 27–33 cm. Klisza numer 15. 1 pastylka (rys. 5). Współczynnik hamowania  $k = 0,0569$ . Czas ekspozycji 34 dni 13 minut. Zbadano szczegółowo powierzchnię 30,5 mm<sup>2</sup>. Zaobserwowano 629 śladów cząstek  $\alpha$ , z czego odliczono na skupisko 112 śladów cząstek  $\alpha$ . Na całej powierzchni ekspozowanej zaobserwowano 19 skupisk cząstek  $\alpha$ . Rozkład skupisk



Rys. 12. Kilka śladów cząstek  $\alpha$  na skraju skupiska w kliszy 15

podany jest na rys. 10b. Fragment jednego z szeroko rozrzuconych skupisk podany jest na rys. 12. Łącznie ze skupisk przypada 810 śladów cząstek  $\alpha$  na powierzchnię  $750 \text{ mm}^2$ . Tło kliszy wynosi 15 śladów cząstek  $\alpha$  na  $15 \text{ mm}^2$ . Po uwzględnieniu poprawek  $N = 517$ . Liczby torów długich wynoszą:  $v_2 = 40$ ,  $v_1 = 39$ ; stąd stosunek zawartości wagowej toru do uranu  $c_{Th}/c_U = 14,3$ . Zawartość toru i uranu wynosi:  $c_U = 8,4 \cdot 10^{-7} \text{ g}$  na gram gleby,  $c_{Th} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ g}$  na gram gleby. Wyniki zestawiono w tabeli 2.

### Wnioski

1. Uran i tor w badanych próbkach glebowych rozsiane są mniej więcej równomiernie, o czym świadczy rozmieszczenie pojedynczych cząstek  $\alpha$  w emulsji jądrowej.
2. Oprócz tego występują cząstki glebowe o średnicy od kilku do kilkudziesięciu mikronów, zawierające uran i tor w większym stężeniu, co wnioskujemy z występowania skupisk cząstek  $\alpha$ .
3. Zawartość toru we wszystkich badanych próbkach jest około 10 razy większa od zawartości uranu.

### LITERATURA

1. Pięńkowski S., Rygierowa D., Szwacka C. J., Twarowska B., Zmysłowska S.: Typy rozmieszczenia substancji promieniotwórczych w skałach polskich, Arch. Mineral. 19 (1955), 1—8.
2. Szwacka C. J.: Analiza promieniotwórczości granitu z Karkonoszy. Arch. Mineral. 19, (1955), 9—16.
3. Twarowska B.: Localisation des substances radioactives dans une roche par l'application de la méthode des plaques transparentes de granit et des émulsions nucléaires. Acta Phys. Pol. 18 (1954) 231—234.
4. Zmysłowska S.: Analyse de la radioactivité des minéraux formés au contact d'une veine granitique avec une série calcaire. Acta Phys. Pol. 14, (1955) 159—171.
5. Curie I.: Sur la possibilité d'étudier l'activité des roches par l'observation des trajectoires des rayons  $\alpha$  dans l'émulsion photographique. Journ. Phys. Rad. 7, (1946), 313.
6. Milone-Tamburino S., Stella A.: Determinazione della radioattività di una pegmatite di Delianova mediante emulsioni nucleari esposte a strati di roccia polverizzata e compressa ed a sezioni sottili. Nuov. Cim. 9, (1952), 253.
7. Powell C. F. and Occhialini G. P. S.: Nuclear Physics in Photographs. 1947.