

## ROLNICTWO ZAGRANICĄ

N. CZURAJEW

### BADANIA WŁAŚCIWOŚCI WODNYCH, STRUKTURY I PROCESÓW PRZENOSZENIA WILGOCI W UKŁADACH DYSPERSYJNYCH ZA POMOCĄ METODY ATOMÓW ZNACZONYCH

Wykorzystanie izotopów promieniotwórczych w postaci atomów znaczonych odkrywa nowe drogi w badaniu właściwości wodnych, struktury i procesów przenoszenia wilgoci w układach dyspersyjnych. Opracowane do tego celu metody opierają się na zastosowaniu wody zawierającej rozpuszczony indykator radioaktywny, nie pochłaniany przez stałą fazę torfu. Umożliwia to prowadzenie obserwacji nad przenoszeniem znaczonej przez indykator wody i nad jej przekształceniem fazowym, jak również pozwala na przebadanie różnych postaci wody związanej za pomocą metod wypierania objętości nierozpuszczającej.

W charakterze indykatorów radioaktywnych nie pochłanianych przez rozproszoną fazę gleb, gruntów i torfu można stosować izotopy siarki  $S^{35}$  w związku  $NaSO_4$ , jodu- $^{131}$  w związku  $KJ$  lub  $NaJ$  oraz bromu- $^{82}$  w związku  $KB_2$  lub  $NaB_2$ . Ponieważ dwa ostatnie izotopy stanowią źródło przenikającego promieniowania gamma i odznaczają się niewielkimi okresami rozpadu połowicznego, w doświadczeniach laboratoryjnych wygodniej jest stosować izotop  $S^{35}$ , emanujący przy rozpadzie cząstki beta o energii 0,17 MeV. W tym przypadku dla pomiaru aktywności preparatów można stosować standardową instalację radiometryczną B-2 oraz licznik czołowy T-25-BFŁ (1).

Właściwości wodne torfu i jego struktura warunkują w znacznym stopniu charakter przebiegu podstawowych procesów technologicznych. Stąd zrozumiałe jest wykazywane poprzednio i obecnie zainteresowanie różnych badaczy sprawą poznania tych zagadnień (2—8).

Jak wiadomo, zawartość związanej fizycznie wody w torfie wynosi około 50—80% na gram suchej substancji. Ze względu na to, że według istniejących norm wilgotność kondycyjna torfu opałowego określana jest na 70—80%<sup>1</sup>, w technologii produkcji torfowej nie zachodzi, praktycznie, potrzeba usuwania wody związanej. Z tego też względu na specjalną uwagę zasługuje poznanie innych form wiązania się wilgoci ze stałą fazą torfu, zwłaszcza jeśli chodzi o wodę niedostępną. Do wody niedostępnej można zaliczyć wodę wewnątrzkomórkową, wypełniającą przestrzenie komórkowe resztek roślinnych torfu, oraz wodę utrzymywaną przez strukturę układu wewnątrz agregatów w zamkniętych, cienkich i ślepych porach.

Opracowanie metod oznaczania wody niedostępnej napotyka na trudności polegające na tym, że woda ta pod względem swych właściwości niewiele różni się od wody wolnej. Przy pracach z zastosowaniem metody objętości nierozpuszczającej (9) najsłabsze formy związku można, jak wiadomo, wykryć przez stosowanie niskich stężeń indykatora, wpływa to jednak w znacznym stopniu na zmniejszenie

1) Wszystkie oznaczenia dotyczące zawartości wilgoci w torfie podawane są w procentach w odniesieniu do suchej substancji.

dokładności oznaczeń. Tej ostatniej wady można uniknąć przez zastosowanie indykatorów radioaktywnych. W tym celu opracowano metodę opartą na zastosowaniu indykatora radioaktywnego  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  znaczonego przez izotop  $\text{S}^{35}$  (10). Możliwość określenia tą metodą wody niedostępnej w torfie da się wytłumaczyć nie tylko przez niskie stężenie indykatora, lecz i przez pobór próbek środowiska zdyspergowanego bezpośrednio po dodaniu indykatora oraz przemieszaniu zawiesiny. Podczas przemieszania indykator nie zdoła jeszcze przeniknąć przez ścianki komórek resztek roślinnych i przedostać się do cienkich porów, wskutek czego do nierozpuszczalnej objętości należy zaliczyć nie tylko wodę fizycznie związaną, lecz i wodę niedostępną w torfie.

Oznaczenie zawartości wody nie rozpuszczalnej soli, z wyeliminowaniem wody związanej i niedostępnej, odbywa się za pomocą wzoru:

$$W_s = W - \frac{M_o}{P_s} \left( \frac{N_o}{N} - 1 \right) 100\% \quad (1)$$

gdzie:  $P_s$  — ilość suchej substancji w próbce torfu;

$W$  — jego wilgotność początkowa;

$M_o$  — ilość dodawanego roztworu indykatora o aktywności właściwej  $N_o$ ;

$N$  — aktywność właściwa próbek środowiska zdyspergowanego pobranych bezpośrednio po przemieszaniu zawiesiny.

Środowisko zdyspergowane wyodrębnia się przez wirowanie i odsączenie. Próbkę roztworu wyjściowego i środowiska pobiera się mikropipetą (1 ml) i umieszcza w szalkach z folii, a następnie suszy<sup>2</sup> i umieszcza dla pomiaru aktywności właściwej pod licznikiem czołowym według ustalonej geometrii.

Określona tą metodą zawartość wody nie rozpuszczalnej soli wynosi dla różnych próbek torfu  $W_s = 300\text{—}400\%$  (11). Zakładając, że w zawieszynie torfowej przygotowywanej dla analizy woda wewnątrzkomórkowa  $W_{wk}$  stanowi podstawową część wody niedostępnej, można jej zawartość w torfie ocenić przez odjęcie z ogólnej ilości wody nie rozpuszczalnej wody fizycznie związanej  $W_{sw}$ :

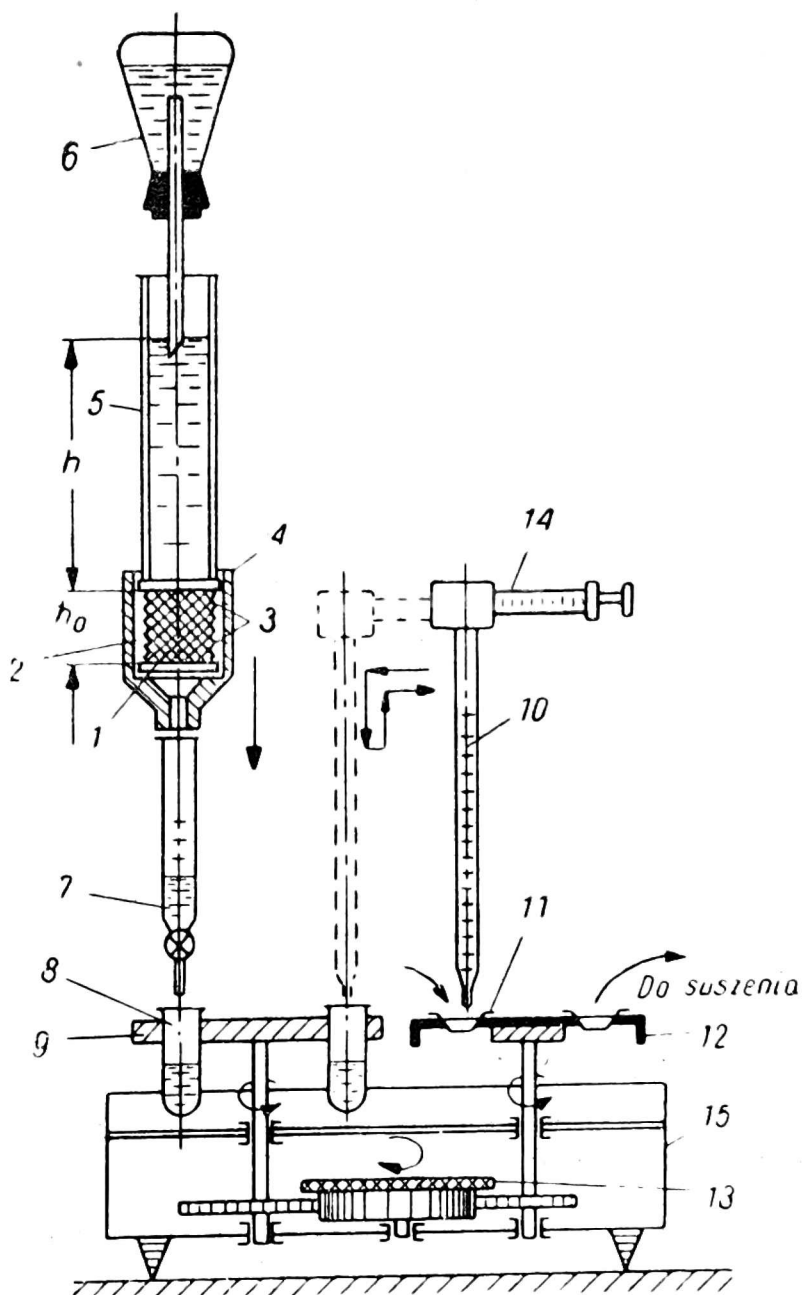
$$W_{wk} = W_s - W_{sw} \quad (2)$$

Drugi sposób badania postaci związania wilgoci w torfie polega na rozpatrzeniu wody ruchomej i nieruchomej. W tym celu stosuje się metodę przesączania przez próbki torfu wody z zawartością rozpuszczonego indykatora radioaktywnego (12). Metoda to polega na wyparciu wolnej wody torfu, wypełniającej jego pory wodonośne przez wodę znaczoną.

Schemat budowy przyrządu filtrującego dla prac badawczych z indykatorami radioaktywnymi przedstawiony jest na rys. 1. Próbkę torfu (1) wyciętą przy pomocy urządzenia do poboru prób z pokładu, względnie sztucznie sporządzoną ze zdyspergowanego torfu, umieszcza się w rozbieralnym cylindrze (2) z pleksiglasu. Dla zmniejszenia filtracji poprzez ścianki cylinder zaopatrzony jest od wewnątrz w nacięcia. Rozbieralność cylindra ułatwia wkładanie i wyjmowanie próbek umieszczanych między filtrami (3). Cylinder umieszcza się w korpusie (4) zakończonym od dołu lejkiem.

U góry nad torfem znajduje się szklana rurka (5), do której wlewa się przesączaną ciecz. Ciecz utrzymuje się na jednakowym poziomie za pomocą kolby wy-

<sup>2</sup>) Przy pracy z zastosowaniem  $\text{J}^{131}$  i  $\text{Br}^{82}$  próbek się nie suszy, pomiaru aktywności właściwej dokonuje się na wilgotnych próbkach.



Rys. 1. Schemat przyrządu filtracyjnego dla prac z indykatorami radioaktywnymi

równującej (6). Przesącz spływa do biurety z kranem (7), przy czym w miarę osiągnięcia określonej objętości zlewa się go do próbek (8) umieszczonych na obracalnej tarczy (9). Z próbek tych pobiera się za pomocą mikropipety (10) próbki przesączu o objętości 1 ml, które wlewa się do szalek z folii (11) umieszczonych w otworach podstawy (12). Podstawa i tarcza wprawiane są w ruch obrotowy za pomocą systemu kół zębatach przez obrót limbusa (13). Wsysanie cieczy do mikropipety odbywa się przy pomocy strzykawki tłokowej (14) o pojemności 5 ml. Podnoszenie, obrót i opuszczanie mikropipety następuje za pomocą manipulatora zamocowanego na pionowym statywie przyrządu.

Obrotowy mechanizm tarczy i podstawy osłonięty jest płaszczem (15), górna część którego jest wyścielona papierem filtracyjnym. Przednia część przyrządu dla ochrony przed promieniowaniem i odpryskami cieczy zaopatrzona jest w osłonę z pleksiglasu.

Próbkę torfu umieszcza się w rurce filtracyjnej i nasycza od dołu wodą destylowaną celem wyparcia powietrza i sprowadzenia układu do stanu dwufazowego. Następnie do rurki nad torfem i do kolby wyrównującej wlewa się roztwór indykatora radioaktywnego o aktywności właściwej 0,005--0,010 mikrocurie na ml. Prze-

sącz gromadzi się w biuretcie, z której zlewa się go okresowo do próbek, przy czym za pomocą sekundomierza oznacza się czas gromadzenia przesączu. Aktywność właściwa pobranych mikropipetą i wysuszonych próbek wyjściowego roztworu znaczonego oraz przesączu mierzy się w taki sam sposób na aparacie B-2.

Doświadczenie przerywa się, gdy aktywność właściwa przesączu będzie się równała aktywności właściwej wody znaczonej w rurce nad torfem. Następnie zdejmuje się kolbę i zlewa do niej wodę znaczoną z rurki. Ustawia się drugą kolbę wyrównującą z czystą wodą destylowaną i przeprowadza, analogicznie jak z wodą znaczoną, doświadczenie z przesączaniem czystej wody przez próbkę torfu, wypierając z porów wodonośnych wypełniającą je wodę znaczoną. Doświadczenie odwrotne z przesączaniem czystej wody powtarza się tak długo, dopóki aktywność właściwa próbek przesączu nie spadnie do zera. Następnie próbkę wyjmuje się z przyrządu, waży i określa jej wilgotność metodą suszenia w termostacie.

Ze względu na to, że przesącz uzyskany w czasie trwania doświadczenia zawiera oprócz wody znaczonej również całą wodę wolną wypartą z torfu przy przesączaniu, zawartość wody nieruchomej  $W_n$  w torfie, nie biorącej udziału w procesie przesączania, może być obliczona przy pomocy wzoru:

$$W_n = W - \frac{M_f}{P_s} \left( 1 - \frac{N_f}{N_o} \right) 100\% \quad (3)$$

gdzie:  $W$  — wilgotność próbki torfu;

$N_o$  — aktywność właściwa roztworu wyjściowego;

$N_f$  — średnia aktywność właściwa przesączu uzyskanego w ilości  $M_f$ ;

$P_s$  — ilość suchej substancji w badanej próbce.

W analogiczny sposób mogą być uzyskane dane odnośnie zawartości wody nieruchomej w torfie na podstawie doświadczeń odwrotnych. Ilość wody nieruchomej w próbce przy przesączaniu wody czystej a wypieraniu wody znaczonej określa się przy pomocy wzoru:

$$W_n = W - \frac{M_f \cdot N_f}{P_s \cdot N_o} \cdot 100\% \quad (4)$$

przy zachowaniu wyżej podanych oznaczeń. Zawartość wody nieruchomej określa się jako średnią z oznaczeń otrzymanych w doświadczeniu prostym i odwrotnym.

Ze względu na to, że określanie wody nieruchomej przeprowadzane jest przy użyciu próbek ze strukturą naturalną lub sztuczną, a pomiar objętości nierozpuszczającej przy użyciu zawiesiny z tegoż torfu — różnica między  $W_n$  i  $W_s$  oznacza zawartość wody związanej strukturalnie, a znajdującej się w zamkniętych, ślepych i cienkich porach:

$$W_{str} = W_n - W_s \quad (5)$$

Zawartość jej w różnych próbkach torfu waha się w granicach  $W_{str} = 60-170\%$  (11). Piaski, praktycznie biorąc, nie zawierają ani wody związanej strukturalnie, ani też nieruchomej.

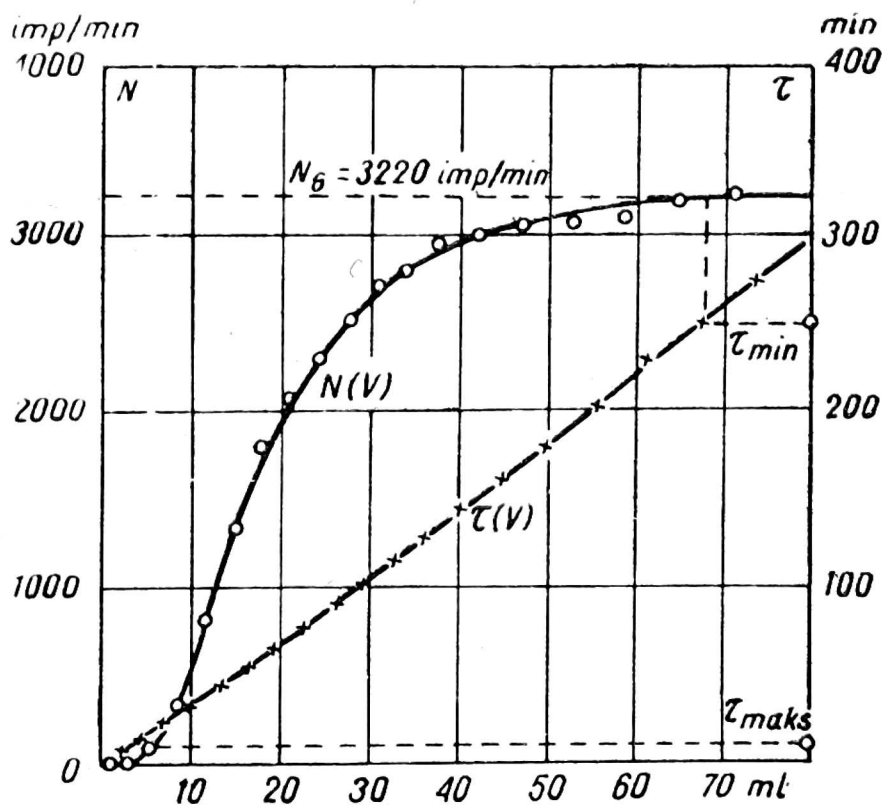
W ten sposób użycie metod polegających na wykorzystaniu indykatorów radioaktywnych daje możliwość przebadania ilościowego różnych form wiązania wilgoci w układach dyspersyjnych, a w szczególności w torfie. Uzyskiwane przy tym dane pozwalają na scharakteryzowanie właściwości wodnych różnych gatunków torfu oraz na prześledzenie ich zmian w trakcie różnych procesów technologicznych (11, 12).



Metodą objętości nie rozpuszczającej z indykatozem radioaktywnym NaJ (z  $J^{131}$ ) posługiwano się później do badania piasku (13). Dla przebadania procesów wypierania nafty przez wodę w środowisku porowatym (piasku), D. Lejpuskaja stosowała różne indykatory radioaktywne dla środowiska węglowodanowego i wodnego z wskaźnikami  $J^{131}$  i  $Rb^{86}$  (14).

Torf, jak wiadomo, jest układem w połowie zdyspergowanym (15), właściwości którego zależą w znacznej mierze od stopnia zdyspergowania jego części składowych, jak i od ich położenia i wzajemnego ustosunkowania, tj. od struktury torfu wykształconej w warunkach naturalnych, względnie stworzonej w sposób sztuczny.

Na podstawie tych samych doświadczeń z przesączaniem indykatora radioaktywnego w oparciu o kinetykę wypierania wolnej wody z porów torfu, można wykreślić krzywe rozmieszczenia, stosownie do wymiarów porów wodonośnych (16). Krzywe rozmieszczenia stosowane są często dla charakterystyki struktury różnych układów. Należy jednak pamiętać o tym, że efektywne wymiary porów, określane metodą wypierania, noszą charakter umowny i mogą się znacznie różnić od ich rzeczywistych wymiarów, odznaczających się nadzwyczaj skomplikowanymi i najróżnorodniej ukształtowanymi konturami. Stąd też celowe jest wykorzystywanie uzyskanych krzywych rozmieszczenia dla oznaczeń porównawczych.

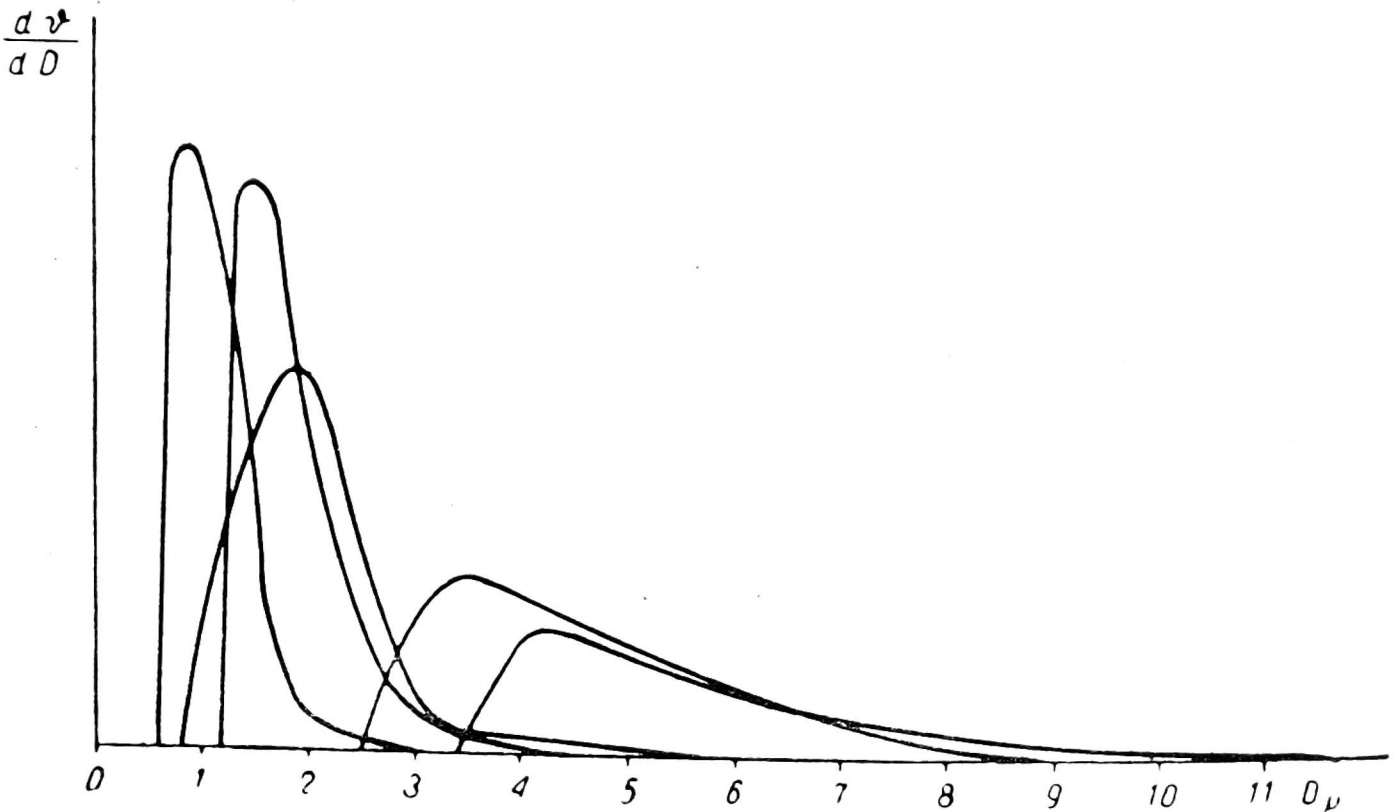


Rys. 2. Zmiany aktywności właściwej  $N$  w próbkach przesączu przy wypieraniu wody z porów układów dyspersyjnych przez roztwór indykatora radioaktywnego

Na rys. 2 przedstawione są krzywe charakteryzujące kinetykę wypierania wody z porów torfu przez roztwór indykatora radioaktywnego. Krzywe rozmieszczenia objętości porów, stosownie do ich wymiarów dla próbek rozmaitych gatunków torfu, przedstawione są na rys. 3.

Rozmieszczenie efektywnych wymiarów porów w piasku zbliża się do kształtu krzywej Gaussa, podczas gdy w torfie maksimum funkcji przesuwają się w kierunku mniejszych wymiarów porów. To ostatnie zjawisko można tłumaczyć udziałem

w filtracyjnym przenoszeniu wilgoci (przy małych gradientach ciśnienia) tylko względnie dużych porów wodonośnych ( $D > 0,1$  mikrona). Drobniejsze pory w tych warunkach nie są zdolne do przenoszenia wody.



Rys. 3. Krzywa rozmieszczenia objętości porów wodonośnych odpowiednio do ich wymiarów, uzyskana przy zastosowaniu metody indykatora radioaktywnego dla próbek różnych gatunków torfu

Jako inny parametr charakteryzujący strukturę układów dyspersyjnych może być wykorzystana wielkość kinetycznej powierzchni właściwej (17), różniącej się od całkowitej powierzchni właściwej tym, że nie uwzględnia powierzchni zamkniętych oraz porów ślepych, niezdolnych do przenoszenia wody. Dla określenia kinetycznej powierzchni właściwej nasyconych wodą próbek torfu stosuje się wzór Coseni-Carmana, który można przedstawić w następującej postaci:

$$S_o = 970 \sqrt{\frac{m^3 \cdot d^2 \cdot J}{Q}} \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3} \quad (6)$$

gdzie:  $m$  — porowatość aktywna próbki;  
 $d$  — gradient ciśnienia w przyrządzie filtracyjnym;  
 $Q$  — przepływ przesączu w  $\text{cm}^3/\text{min}$ .

Oznaczenia porowatości aktywnej, odpowiadającej stosunkowi objętości porów wodonośnych do objętości próbki, przeprowadza się na zasadzie wyżej opisanych doświadczeń z przesączaniem w następujący sposób:

$$m = \frac{V - V_n}{V_o} \quad (7)$$

gdzie:  $V$  — objętość całej wody w próbce;  
 $V_n$  — objętość zajmowana przez wodę nieruchomą;  
 $V_o$  — objętość próbki.

Należy zaznaczyć, że zastosowanie wzoru Coseni-Carmana stało się możliwe dopiero po opracowaniu metod oznaczania wody nieruchomej oraz porowatości aktywnej torfu. Posługiwanie się przy obliczeniach według wzoru (6) wielkością porowatości, określaną zazwyczaj jako  $n$ , a nie uwzględniającą wiązania wody przez siły cząsteczkowe i strukturę próbki, może prowadzić do znacznie większych błędów w oznaczaniu kinetycznej powierzchni właściwej.

W oparciu o oznaczenia  $S_o$  i  $m$  można obliczyć jeszcze jedną wielkość charakteryzującą strukturę badanej próbki, a mianowicie promień hydrauliczny porów:

$$\delta = \frac{m}{S_o} \quad (8)$$

Znaczenia  $S_o$ ,  $m$  i  $\delta$  służą dla charakterystyki struktury rozmaitych próbek i pozwalają na prześledzenie jej zmian przy przeróbce i deformacjach torfu (11, 12).

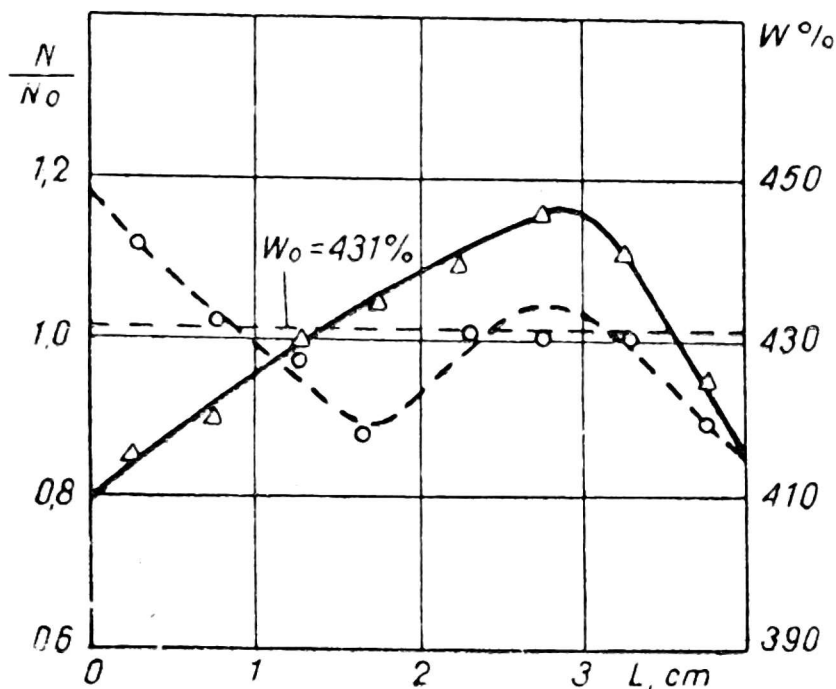
Aktualnym zadaniem technologii suszenia i odwadniania torfu, jak zresztą i szeregu innych układów dyspersyjnych, jest przebadanie zagadnień związanych z przenoszeniem wilgoci i wyjaśnienie mechanizmu tych procesów. W szeregu prac badawczych posługiwano się w tym celu metodami polegającymi na wykorzystaniu wskaźnika radioaktywnego dla przemieszczającej się cieczy lub pary (18—24).

W naszych pracach sposobem wskaźnika radioaktywnego posługiwano się dla przebadania procesów przewodnictwa ciepła i wilgoci, jak również wyjaśnienia suszenia izotermicznego oraz podsiąkania kapilarnego. Niżej zostaną opisane opracowane metody oraz podane niektóre przykłady ich konkretnego stosowania. Przy ocenie wyników otrzymanych przy stosowaniu tych metod należy mieć na względzie to, że indykator radioaktywny nie ulega rozpuszczeniu w wodzie fizycznie związanej, a zatem stanowi „wskaźnik” tylko dla wody wolnej torfu, jak i nie wyparowuje z wody przy jej przejściu fazowym, a wskutek tego nie może się przenosić wraz z parą.

Przy badaniu przewodnictwa cieplnego i wodnego z zastosowaniem metody indykatora radioaktywnego, doświadczenia przeprowadzano w następujący sposób: zdyspergowany torf poddawano przemieszaniu z roztworem indykatora radioaktywnego  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  i pozostawiono celem równomiernego rozmieszczenia indykatora na przeciąg 1—2 dni. Ilość dodawanego indykatora powinna wynosić mniej więcej 1 mikrocurie na gram wilgotnego torfu. Równomierność przemieszania sprawdzano przez pobieranie szeregu próbek oraz mierzenie ich aktywności właściwej i wilgotności.

Torf z wprowadzonym do niego indykatorem umieszcza się w rozbieralnym cylindrze, wykonanym z materiału izolującego ciepło. Szczelnie ułożony w cylindrze torf styka się z lewej strony z ekranem z folii mosiężnej, a z prawej strony z parafiną modelującą nawpół nieskończone środowisko. Ze względu na to, że torf jest dobrze odizolowany od otaczającego środowiska, znajdująca się w nim wilgoć pod działaniem dopływającego ciepła może przemieszczać się jedynie wzdłuż próbki. Próbkę podgrzewa się przy pomocy lampy z reflektorem, kierującym dopływ ciepła na mosiężny ekran. Po upływie określonego czasu podgrzewania próbkę wyjmuje się z przyrządu i rozcina na części, które umieszcza się w naczynkach wagowych oraz waży i suszy celem oznaczenia wilgotności. Suchą pozostałość rozciera się w moździerzu i poddaje analizie na zawartość indykatora radioaktywnego. Sproszkowane próbki torfu wsypuje się w znormalizowany sposób do szalek z folii i umieszcza celem pomiaru aktywności w ustalonym położeniu pod licznikiem. Ze względu na to, że pomiaru aktywności dokonuje się w „grubej” warstwie

(25), ważenie próbek nie jest konieczne. Z każdej części próbki sporządza się trzy równorzędne próbki dla pomiaru aktywności właściwej.



Rys. 4. Rozmieszczenie wilgoci (linia ciągła) oraz aktywności właściwej (linia kreskowana) wzdłuż podgrzewanej od strony lewej próbki zdyspergowanego torfu niskiego

Na rys. 4 pokazany jest przykład rozmieszczenia wilgoci  $W$  (linie ciągłe) oraz aktywności właściwej (linie przerywane) wzdłuż próbki. Linie poziome oznaczają ich wartość początkową:  $W = W_0$  oraz  $\frac{N}{N_0} = 1$ . Na osi odciętych wykazana jest odległość  $L$  od podgrzewanego wierzchołka próbki. W doświadczeniu użyto zdyspergowanego torfu niskiego, przy czym średnia temperatura próbki wynosiła  $+40^\circ\text{C}$ , a gradient temperatury  $3,5^\circ/\text{cm}$ .

Analiza uzyskiwanych wyników pozwala na prześledzenie mechanizmu przeniesienia wilgoci w torfie. Gdy wilgoć w próbce przenosi się w trakcie doświadczenia tylko w postaci cieczy, krzywe zmian wilgotności i aktywności właściwej wzdłuż próbki powinny mieć jednakowy charakter. Odchylenia od tej reguły mogą być związane z parowaniem wilgoci, względnie z jej kondensacją. Parowanie wilgoci powoduje zwiększenie stopnia stężenia indykatora, gdyż wskaźnik radioaktywny pozostaje w miejscu parowania i nie ulega przemieszczeniu wraz z parą. Przy kondensacji indykator rozcieńcza się kondensującą się czystą wodą, co przyczynia się do obniżenia aktywności właściwej poszczególnych odcinków próbki.

Porównanie otrzymanych wykresów wykazuje, że przy małej wilgotności próbek przewagę uzyskuje przemieszczenie wilgoci w postaci pary w kierunku strony chłodnej, czemu towarzyszy powrotny odpływ cieczy wywołany przez powstający przy tym gradient wilgotności. Pory materiału odznaczają się w tym przypadku znacznymi wymiarami, co ułatwia przemieszczenie pary wzdłuż całej próbki.

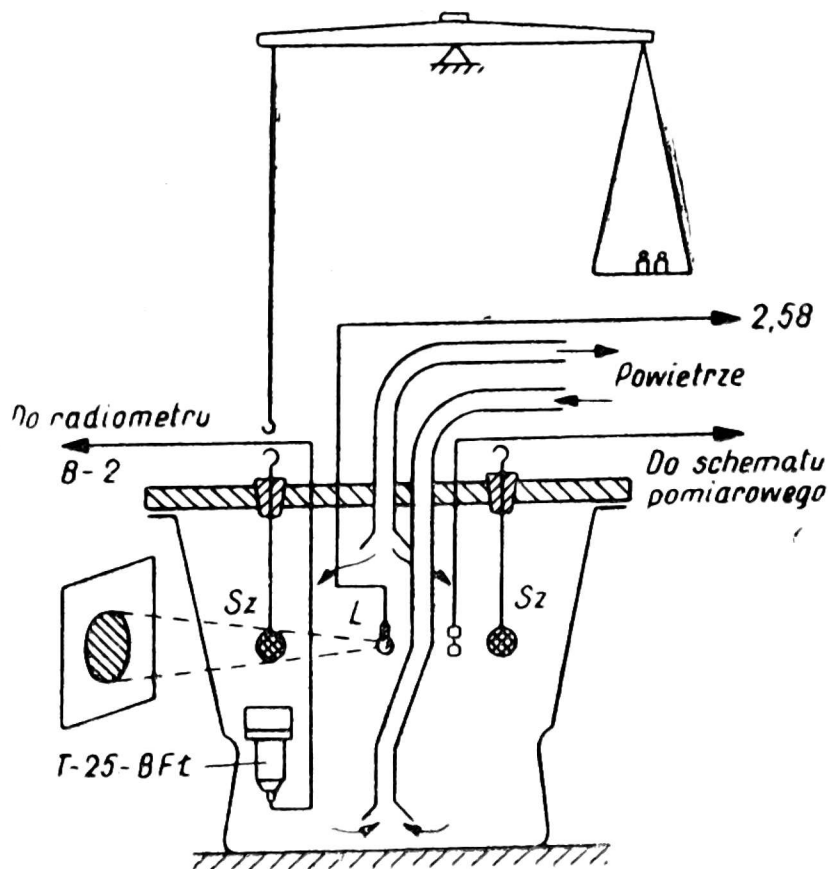
Przy zwiększeniu się wilgotności wymiary prowadzących powietrze kanałów porowych ulegają zmniejszeniu, jednakże przeniesienie pary jest jeszcze znaczne. Przy  $W > 300\%$  charakter przemieszczenia w torfie ulega zmianie. Odcinki z kondensacją zaznaczone występowaniem maksimum  $W$  i minimum  $\frac{N}{N_0}$ , zbliżają się do



stanu podgrzewanego wierzchołka. Wzrasta przenoszenie wilgoci w postaci cieczy, zaś przenoszenie wilgoci w postaci pary zmniejsza się wskutek zwięzienia i zatkania porów wodą. Przy  $W > 500\%$  krzywe zmian  $W$  i  $\frac{N}{N_0}$  są, praktycznie, jednakowe, co wskazuje na przewagę przemieszczania w postaci cieczy.

Wyżej opisana metodyka umożliwia rozróżnienie procesów przenoszenia wilgoci w postaci cieczy i w postaci pary. Jednakże w wielu przypadkach zachodzi potrzeba przebadania prądów cieczy w próbce, które mogą być kierowane zarówno do strony ciepłej (termoosmoza, podsiąkanie kapilarne), jak i do strony chłodnej (ruch termo-kapilarny). W tym celu można posłużyć się wskaźnikami dla poszczególnych odcinków próbki. W części środkowej czystej próbki umieszcza się 3—5 mm warstewkę torfu znaczonego o takiej samej wilgotności, względnie siatkę kapronową, uprzednio nasyconą roztworem indykatora radioaktywnego, a następnie wysuszoną. Przez pobieranie po zakończeniu doświadczenia próbek dla oznaczenia wilgotności i aktywności, można na zasadzie rozmieszczenia indykatora w tę lub inną stronę w stosunku do siatki lub warstewki znaczonej określać kierunek prądów cieczy powodujących przemieszczanie indykatora.

Celem przebadania procesów suszenia izotermicznego z wykorzystaniem metody indykatorów radioaktywnych, zbudowano specjalną komorę suszarkową, której schemat przedstawiony jest na rys. 5. Komorę tę tworzy umieszczony w termostacie



Rys. 5. Schemat suszarki do przeprowadzenia pomiaru ilości indykatora radioaktywnego wniesionego na powierzchnię próbki

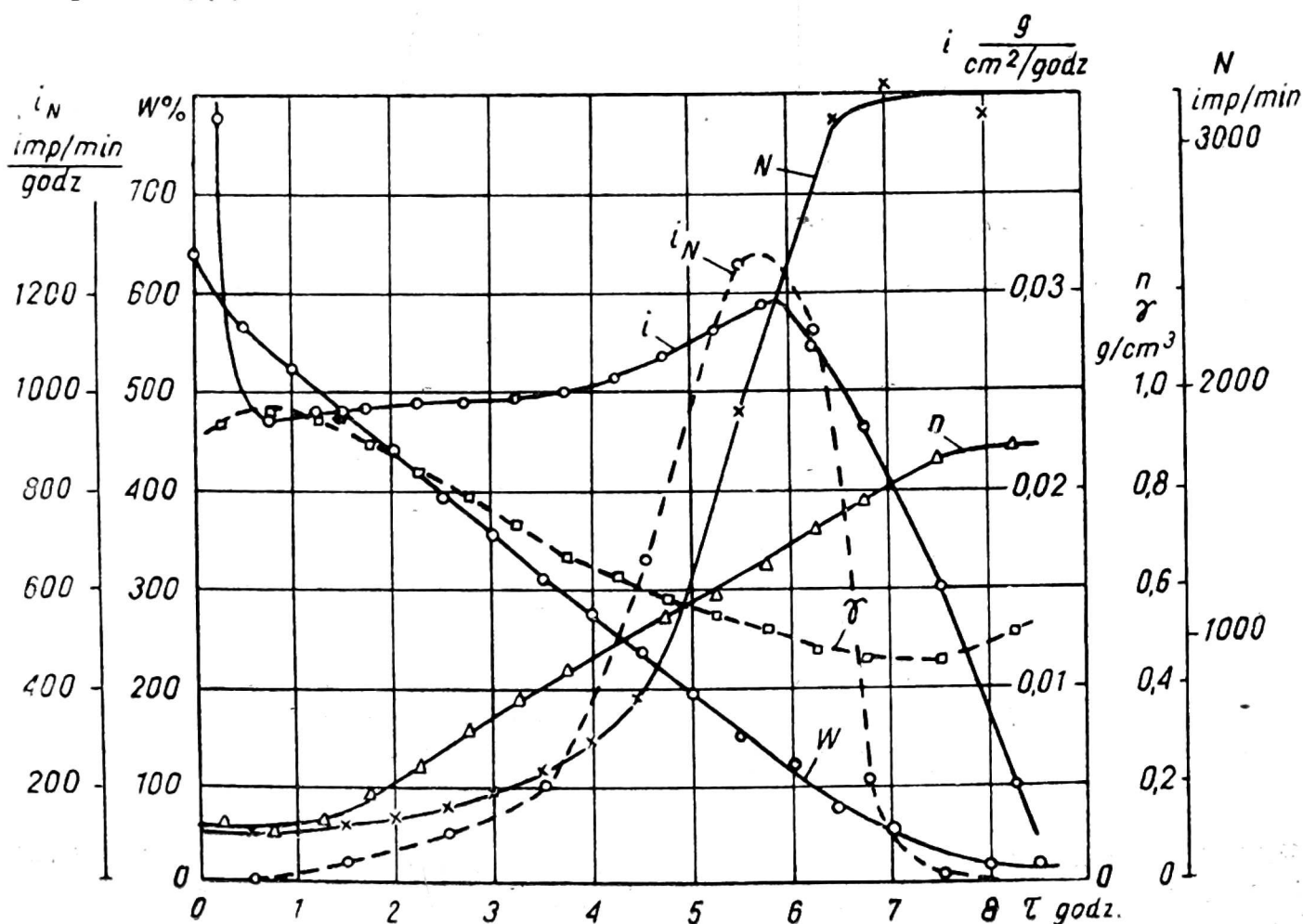
eksykator z pokrywą testolitową. Przez ekcykator przepompowuje się powietrze, które ulega podsuszeniu do określonej wilgotności za pomocą przepuszczania kwasu siarkowego przez roztwór. Względna wilgotność powietrza wpuszczanego do ekcykatora rejestrowana jest na pasku hygrografu samopiszącego, zainstalowanego

w komorze przechodniej. Przepływ powietrza przez eksykator określa się przy pomocy reometru.

Z wilgotnego torfu, uprzednio przemieszanego dokładnie z roztworem indykatora radioaktywnego, sporządza się kulki ( $S_z$ ) o średnicy 1–1,5 cm, które się podwiesza na nitkach pod próbkami umieszczonymi w pokrywie eksykatora. Suszenia torfu dokonuje się ustalonym sposobem w warunkach izotermicznych.

Zmiany wagi kulek określa się na wadze analitycznej. Obserwacje kurczenia się przeprowadzane są za pomocą pomiaru cienia kulki, rzutowanego na ekran od lampki ( $L$ ), włączanej tylko podczas prowadzenia obserwacji. Powierzchnię cienia nanosi się na kalkę i planimetruje. Pod kulką zainstalowany jest podłączony do radiometru B-2 licznik czołowy T-25-BFL określający aktywność właściwą powierzchni kulki. Od wpływów kulek sąsiednich licznik odizolowany jest cylindrem z folii nie przepuszczającej promieni  $S^{35}$ . Uzyskane z pomiaru dane, ze względu na samopochłanianie miękkiego promieniowania beta  $S^{35}$  w torfie, odnoszą się tylko do warstwy powierzchniowej kulki o grubości nie przekraczającej 0,1 mm.

W trakcie doświadczeń prowadzi się obserwacje zmian wilgotności torfu  $W$ , intensywności parowania wilgoci z jednostek powierzchni  $i$  oraz ciężaru objętościowego  $\gamma$  i ilości indykatora wyniesionego na powierzchnię kulki. Aktywność właściwą powierzchni określano na zasadzie prędkości rejestrowania impulsów  $N$  imp/min. Ze względu na to, że przy kurczeniu się kulki ulegają zmianie warunki geometryczne pomiarów aktywności, do uzyskanych danych dotyczących  $N$  wprowadza się poprawkę uwzględniającą zmianę objętości kulki w trakcie doświadczenia. Wielkość tej poprawki ustala się uprzednio przez przeprowadzenie szeregu pomiarów aktywności dla kulek sporządzonych z jednakowego torfu znaczonego, lecz posiadających różne średnice. W warunkach opisanego wyżej przyrządu po-



Rys. 6. Wyniki obserwacji nad suszeniem próbek z rozpuszczonym w ich wodzie wolnej indykatozem radioaktywnym. Zdyspergowany torf niski (turzycowy)

prawkę należało przyjmować w przypadku kulek o wymiarach przekraczających 14 mm. Przy mniejszych wymiarach kulki utrzymywała się prosta zależność między aktywnością właściwą jej powierzchni a prędkością rejestrowania impulsów.

Wyniki niektórych doświadczeń ze zdyspergowanym torfem turzycowym przedstawione są na rys. 6. Oprócz wymienionych wyżej parametrów, na wykresach pokazano zachodzące w trakcie doświadczenia zmiany współczynnika  $n$ , charakteryzującego stosunek objętości porów wypełnionych powietrzem do ogólnej objętości porów w próbce. Wartość  $i_N$  określa intensywność wynoszenia wskaźnika radioaktywnego na powierzchnię kulki.

Przy parowaniu wody wolnej z rozpuszczonym indykatoresm wskaźnik radioaktywny pozostaje w miejscu parowania. Stąd też mierzona licznikiem wartość aktywności właściwej  $N$  określa ilość wody, jaka wyparowała z powierzchni kulki. Prędkość rejestrowania impulsów nie będzie jednak się zmieniała, o ile parowanie wilgoci odbywać się będzie nie na powierzchni kulki, lecz w znajdujących się w jej wnętrzu porach. W ten sposób wskaźnik radioaktywny umożliwi wyodrębnienie: 1) procesów parowania wody wolnej z powierzchni kulki i wewnątrz porów, oraz 2) parowania wody wolnej (znaczanej) i wody związanej (nie znaczanej).

Jak wynika z wykresów, stosunek  $n$  wkrótce po rozpoczęciu doświadczeń zaczyna się zwiększać, co świadczy o cofaniu się frontu parowania do wnętrza kulki. W związku z tym aktywność właściwa powierzchni kulki z początkiem doświadczeń wykazuje niewielkie zmiany. Wynoszenie indykatora na powierzchnię następuje z pewnym opóźnieniem, a intensywność wynoszenia wskaźnika radioaktywnego na powierzchnię ( $i_N$ ) nie odpowiada intensywności parowania ( $i$ ). Zjawisko to można tłumaczyć zwiększeniem stężenia indykatora radioaktywnego przy parowaniu wewnątrz próbki z dalszym wyniesieniem roztworu stężonego na powierzchnię przy przemieszczaniu błonkowatym wskutek powstającego gradientu wilgoci.

Przy wilgotności próbki torfu  $W_{sw} = 70\%$  oraz wilgotności kaolinu  $W_{sw} = 5\%$ , wynoszenie indykatora na powierzchnię ulega przerwaniu. Ten stopień wilgotności odpowiada zawartości znajdującej się w próbkach wody związanej fizyko-chemicznie. Wykazuje on dobrą zgodność z wynikami jego określania za pomocą innych metod.

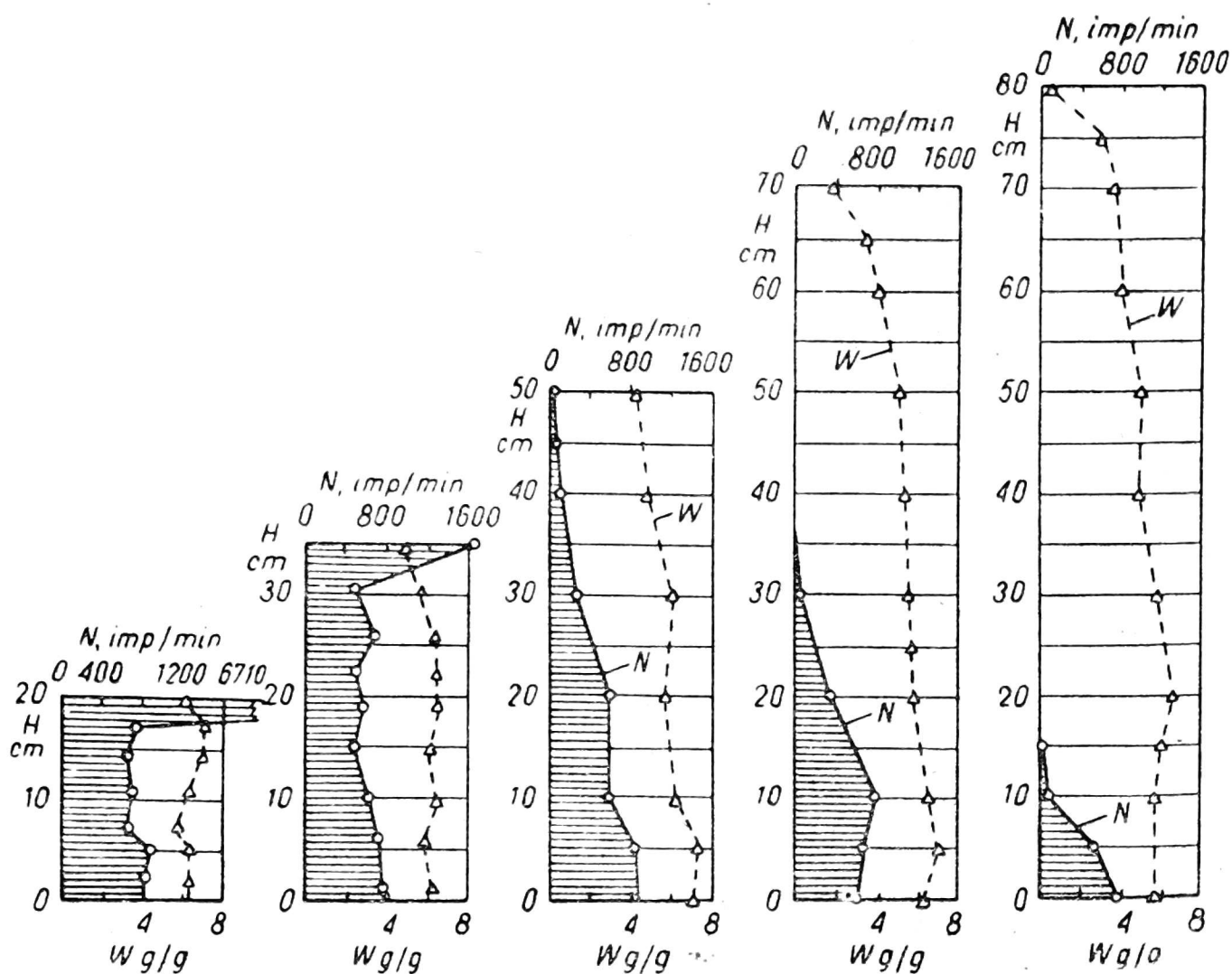
Po usunięciu wody wolnej mechanizm przemieszczania wilgoci zmienia się — intensywność parowania gwałtownie spada.

Przy badaniu tą metodą gruntów o małej zwięzłości (np. piasku), próbkę nasyconą uprzednio roztworem indykatora radioaktywnego umieszcza się w naczyniu cylindrycznym w warstwie 15 mm. Naczynie umieszcza się w komorze celem wysuszenia, przy czym licznik czołowy zainstalowuje się w danym przypadku ponad obsychającą powierzchnią i osłania przed wpływami sąsiednich odcinków za pomocą stożkowej nasadki blaszanej. Obserwacje nad suszeniem próbek prowadzone są przy pomocy okresowego ważenia naczynia z piaskiem.

Nieco inną metodykę stosuje się przy badaniu podsiąkania kapilarnego wody w monolitach torfu. W tym przypadku próbki wycięte z pokładu i umieszczone w rozbieralnych rurkach ustawia się pionowo i wpuszcza dolnym końcem na głębokość 1—2 cm do wody zawierającej roztwór indykatora radioaktywnego. Partie szczytowe monolitów nie są osłonięte i mogą wyparowywać wilgoć. Obserwacje nad parowaniem prowadzono według metodyki zaproponowanej przez P. Panfierową (26). Ilość wyparowanej wilgoci określa się przez ważenie próbek.

Rozmieszczenie wody w torfie oznacza się w odniesieniu do stopnia rozprze-strzenia się wskaźnika radioaktywnego wzdłuż wysokości próbek. W tym celu po upływie 10—12 dni monolity wyjmują się z przyrządu i rozcina na części w od-

stępach co 2—5 cm wzdłuż całej wysokości. Próbkę poddaje się badaniu na wilgotność, a następnie na zawartość indykatora radioaktywnego. Metodyka sporządzania suchych próbek sproszkowanych oraz pomiarów ich aktywności jest taka sama, jak opisana poprzednio.



Rys. 7. Rozmieszczenie wilgotności i aktywności właściwej (odcinki zakreskowane) wzdłuż wysokości monolitów torfu, z kapilarnym podsiąkaniem wody znaczonej

Wyniki jednego z doświadczeń przedstawione są na rys. 7. Na wykresie podaje się rozmieszczenie wilgoci i aktywności właściwej w próbkach (odcinki zakreskowane) wzdłuż wysokości monolitów po zakończeniu doświadczenia. Sposób rozmieszczenia wody znaczonej w monolitach różnej wysokości wiąże się z mechanizmem przemieszczania wilgoci w torfie. W próbkach 35 cm wysokości zachodzi przeważnie kapilarne podnoszenie wody do parującej powierzchni. Intensywność parowania nie wykazywała zmian w tym przypadku. Wyniesiony na parującą powierzchnię indykator gromadzi się na niej w znacznej ilości. Woda znaczonej wypełniająca pory wodonośne rozmieszcza się równomiernie wzdłuż wysokości próbki. Należy zaznaczyć, że wysokość 35 cm odpowiadała wysokości podsiąkania kapilarnego w badanym torfie (26).

Przy dużej wysokości próbek szybkość przemieszczania wody znaczonej ulega zmniejszeniu, co wyraża się przez osłabienie intensywności parowania. Zachodzące w górnych warstwach wysokich próbek błonkowe przemieszczenie wilgoci, następujące po procesie podnoszenia kapilarnego, zmniejsza prędkość ruchu wody w kierunku powierzchni torfu. W każdym razie ustala się konkretnie określona szybkość parowania, odpowiadająca warunkom błonkowego ruchu wody w gór-



nych warstwach torfu. Rozprzestrzenienie wskaźnika radioaktywnego wzdłuż wysokości próbek wskazuje na zmniejszenie z wyżej wymienionych przyczyn szybkości przemieszczania wody w torfie wraz ze zwiększeniem wysokości monolitów.

Opracowane metody, oparte na wykorzystaniu izotopów promieniotwórczych, mogą znaleźć zastosowanie przy badaniach nad mechanizmem przemieszczania wilgoci oraz przy określeniu właściwości wodnych różnych układów dyspersyjnych, jak również umożliwią bardziej szczegółowe poznanie procesów technologicznych zachodzących przy tworzeniu i przeróbce tych układów.

Tłumaczył W. Dąbrowski

#### LITERATURA

1. Sprawocznik po dozimetricznym, radiometricznym i elektronno-fizycznym priboram. Atomizdat, 1959.
2. N. S. Kurnakow i N. A. Pospiełowa: Trudy Inst. torfa, zesz. II, ONTI 1932.
3. A. W. Dumanski, M. W. Czapiak i in.: Kolloidnyj žurn., Nr. 2, 1936, Nr. 2, 1937.
4. G. J. Pokrowskij i S. I. Sinielszczikow: Poczwowiedjenje, nr 12, 65, 1939.
5. Kułakow, N. N.: Wwiedjenje w fiziku torfa. GEI, 1947.
6. S. S. Korczunow: Issledowanje fiziko-miechaniczeskich swojstw torfa. Tr. WNIITP, zesz. 12, GEI, 1953.
7. W. M. Naumowicz: Tr. In-ta torfa A. N. BSSR, 6, str. 344, Wyd. A. N. BSRR, 1957.
8. A. A. Bieriezin i J. D. Bielowidow: Tr. Mosk. Torf. In-ta, zesz. 8, str. 167, GEI, 1958.
9. A. W. Dumanski: Uczenie o kolloidach, Goschimizdat, 1946.
10. M. P. Wołarowicz, F. D. Sysojewa, W. W. Czerniawska i N. W. Czurajew: Kolloid. žurnał, 20, zesz. 1, 122, 1958.
11. M. P. Wołarowicz i N. W. Czurajew: Kolloid. žurn., 21, nr 2, 157, 1959.
12. M. P. Wołarowicz, N. I. Gamajunow, Z. A. Starikowa i N. W. Czurajew: Kolloidn. žurn., 21, nr 3, 1959.
13. T. G. Borodulina, M. A. Kajanow i A. F. Czudnowskij: Žurnał tieh. fiziki, t. 29, zesz. 3, 365, 1959.
14. D. I. Lejpunskaja i in.: Trudy Wsiesojuz. nieftiegazowowo nauczno-issl. in-ta, zesz. 12, 361, Gostoptiechizdat, 1958.
15. M. P. Wołarowicz i N. W. Czurajew: Kolloidn. žurn., 17, nr 3. 200, 1955, 16, nr 6, 241, 1954. Tr. Trietiej Wsiesojuz. Konfier. po kolloidn. chemii, str. 258, Wyd. A. N. ZSRR, 1956.
16. M. P. Wołarowicz, N. W. Czurajew i B. J. Minkow: Kolloidn. žurn., 19, zesz. 2, 159, 1957, Dokł. A. N. SSSR, 114, nr 5, 964, 1957.
17. B. W. Dieriagin, M. K. Mielnikowa i W. I. Kryłowa: Kolloidn. žurn. 14, 423, 1952; B. W. Dieriagin i F. J. Kolasiew — Gidrotiechn. i mie-lior. nr 2, 3, 1950.
18. W. A. Headly, R. Eisenstadt: Heating, Fip. a. Air Cond., III, 1953.
19. W. I. Briesław, G. A. Mielik-Szachnazarowa, I. M. Taksar: Izw. A. N. Łatw. SSR, nr 4 (92), 99, 1955.
20. B. Fries, D. Halley i S. Jones: Mieždun. nieftianoj kongriess, Rim, 1955, t. 6, str. 322, Gostoptiechizdat, 1956.

21. W. W. Raczinskij: Dokł. Mosk. s.-choz. akad. im. Timiriaziewa, zesz. 29, str. 89, 1957.
22. A. I. Wiejnik, A. S. Szubin: Trudy Mosk. tiechnoł. in-ta puszcz. prom., zesz. 8, 1957.
23. E. E. Finkiel: Izotopy i izłuczenja w chemii, str. 225, Wyd. A. N. ZSRR, 1958.
24. M. K. Mielnikowa, A. M. Głobus i A. P. Urbaniuk: Czetwiortaja Wsiesoj. konfier. po kolloidn. chemii. Tiezisy dokładow, str. 66, Wyd. A. N. ZSRR, 1958.
25. S. M. Rajscki i W. F. Smirnow: Fiziczeskije osnovy mietoda radioaktiwnych indikatorow, GITTL, 1956.
26. P. W. Panfierow: Trudy Kalininskowo torf. in-ta, zesz. 10, str. 90, GEI, 1959.