

ZBIGNIEW PRUSINKIEWICZ

KRÓTKI PRZEGLĄD WAŻNIEJSZYCH ELEKTROMETRYCZNYCH METOD OZNACZANIA WILGOTNOŚCI GLEB

(Z Katedry Gleboznawstwa WSR — Poznań)

Wiele problemów teoretycznego gleboznawstwa, jak również szereg zagadnień praktycznych związanych z produkcją roślin, wymaga dokładnej charakterystyki wodnych właściwości gleb. W tym celu niezbędne jest przeprowadzanie licznych i częstych pomiarów wilgotności gleb w warunkach terenowych. Wykonywanie takich pomiarów natrafia jednak niejednokrotnie na znaczne trudności metodyczne. Żadna bowiem z opracowanych dotychczas metod oznaczania zawartości wody w glebach nie jest pozbawiona wad, ograniczających w mniejszym lub większym stopniu jej polowe zastosowanie. W tym stanie rzeczy znajomość zalet i braków poszczególnych metod ułatwić może wybór tej spośród nich, która w konkretnym przypadku najlepiej i najszybciej prowadzi do rozwiązania postawionego zagadnienia.

Ważną pozycję wśród metod oznaczania wilgotności gleb zajmują tzw. metody elektrometryczne. Jest to obszerna grupa metod, których wspólną cechą stanowi dążenie do ustalenia wilgotności gleb w oparciu o pomiary elektrycznych właściwości (przewodnictwa elektrycznego, stałej dielektrycznej itd.) bądź samej masy glebowej, bądź też odpowiednich, bardziej jednorodnych substancji znajdujących się w ścisłym kontakcie z badaną glebą.

Niestety, prawie zupełny brak w polskiej literaturze gleboznawczej publikacji na temat tych metod powoduje, że są one u nas na ogół mało stosowane. Wydaje się jednak, że metody elektrometryczne zasługują na baczniejszą uwagę, bo chociaż jeszcze dalekie od doskonałości, mogą już obecnie ułatwić badania dynamiki wody w glebach.

W niniejszym artykule podjęto próbę najogólniejszej charakterystyki zasad, na których opierają się ważniejsze, elektrometryczne metody oznaczania wilgotności gleb.

Pierwsze usiłowania, zmierzające do znalezienia funkcjonalnej zależności między zawartością wody w glebie i przewodnictwem elektrycznym tej gleby, pojawiły się już w końcu ubiegłego stulecia. Wydawało się wówczas, że wystarczy umieścić w glebie dwie metalowe elektrody i zmierzyć opór elektryczny znajdującej się między nimi masy glebowej za pomocą np. mostka Kohlrauscha, aby wyliczyć wilgotność gleby według wzoru:

$$W = \frac{l}{Rq} \cdot \alpha,$$

gdzie:

- W — wilgotność gleby w procentach,
- l — odległość między elektrodami wyrażona w cm,
- R — zmierzony opór elektryczny wyrażony w omach,
- q — współczynnik zależny od kształtu elektrod,
- α — współczynnik proporcjonalności między wilgotnością gleby i jej przewodnictwem elektrycznym.

Jednak już wyniki pierwszych doświadczeń M. Whitneya, F. D. Gardnera i L. J. Briggsa (17) wykazały, że oznaczenie wilgotności gleb poprzez pomiar przewodnictwa elektrycznego nie jest łatwe. Okazało się, że na wielkość współczynnika α wpływają obok wilgotności również skład mineralny i mechaniczny oraz tekstura masy glebowej, zawartość i jakość próchnicy, jakość i koncentracja rozpuszczalnych soli, bądź też kwasów lub zasad, stopień ich dysocjacji, temperatura itd.

Wpływ tych ubocznych czynników, oddziaływających ujemnie na wyniki elektrometrycznych oznaczeń zawartości wody w glebach usiłowano wyeliminować w następnych badaniach rozmaitymi mniej lub bardziej pomysłowymi sposobami.

Przykładem ilustrującym te usiłowania może być metoda G. Görza (12). Autor ten starał się w pierwszym rzędzie usunąć ujemny wpływ różnic tekstury gleby przez poddanie badanych próbek ścisłaniu siłą około 4—5 kG/cm². Stwierdził on mianowicie, że przy ścisłaniu próbki glebowej jej przewodnictwo elektryczne początkowo wzrasta, lecz już przy sile nacisku większej od 3 kG/cm² przyjmuje wartość stałą, niezależną od ewentualnych dalszych zmian tekstury. Jeśli chodzi o parametr związany ze stężeniem substancji rozpuszczonych w roztworze glebowym, to Görz proponował ustalanie tego parametru przez wyliczanie ilorazu z wielkości oporów stawianych przez badaną glebę przepływowi prądu stałego i zmiennego ¹. Róż-

¹ Według A. A. Baturina (3) gleba między elektrodami ulega pod wpływem stałego prądu elektrycznego następującym zmianom: wilgotność gleby wzrasta w pobliżu katody a maleje przy anodzie; wymienne zasady wędrują ku katodzie; struktura gleby ulega w pobliżu anody zniszczeniu; przy katodzie gromadzą się koloidy obdarzone ładunkiem dodatnim.

nica między tymi oporami, wywołana zjawiskami polaryzacji elektrolicyjnej, wzrastać ma wg G ö r z a proporcjonalnie do koncentracji soli w roztworze glebowym.

Przyznać należy, że przedstawiony przez G ö r z a pomysł był interesujący. Jednakże G ö r z nie podał w swej opublikowanej pracy żadnych konkretnych materiałów, potwierdzających ścisłość przyjętych przez niego założeń teoretycznych. O tym, że metoda Görza nie była pozbawiona braków, świadczyłby jednak fakt, iż nie znalazła ona nigdzie szerszego rozpowszechnienia, mimo że skonstruowana przez G ö r z a aparatura była już produkowana seryjnie.

Także liczne nowsze badania nad zależnością przewodnictwa elektrycznego masy glebowej od jej wilgotności nie umożliwiły zadowalających rozwiązań w dziedzinie metodyki pomiaru wilgotności gleb. Ostatnio np. H. B u s c h m a n n (6) wykazał na podstawie pomiarów wykonanych za pomocą specjalnie skonstruowanej elektrody, że między logarytmem wilgotności badanej przez niego gleby a logarytmem wielkości oporu elektrycznego tej gleby istnieje prosta zależność liniowa typu:

$$y = ax + b,$$

gdzie:

y — logarytm wielkości oporu elektrycznego masy glebowej,

x — logarytm procentowej zawartości wody w glebie,

a, b — empiryczne współczynniki.

Niestety — współczynniki a i b muszą być ustalane indywidualnie dla każdej gleby. Należy więc wątpić, czy metoda Buschmanna zyska sobie szersze uznanie.

Jak widać z przytoczonych przykładów, dotychczasowe badania nad możliwością oznaczania wilgotności gleb w oparciu o pomiary przewodnictwa elektrycznego masy glebowej nie zostały uwieńczone większym powodzeniem. Niemniej jednak metody wykorzystujące prosty pomiar przewodnictwa elektrycznego masy glebowej mogą oddać duże usługi np. przy badaniach nad ruchami wody w glebach. W pracach, w których nie chodzi o ilościowe oznaczenia wilgotności, lecz dajmy na to o uchwycenie czasu, potrzebnego dla przesiąknięcia wody od powierzchni gleby do pewnej określonej głębokości, można posługiwać się prostym pomiarem przewodnictwa elektrycznego. Zmiana tego przewodnictwa sygnalizuje moment dotarcia przesiąkającej wody do poziomu, w którym umieszczono elektrody pomiarowe.

L. S t a n i e w i c z (15) opracowując w roku 1939 sposób, który by umożliwił „nie tylko sygnalizowanie dojścia wody do jakiejś warstwy, lecz także otrzymywanie ilościowych danych”, oparł się na pomiarach stałej dielektrycznej masy glebowej metodą rezonansową, stosując w tym celu

skonstruowany przez siebie przyrząd, który nazwał później (16) „hydrometrem elektrycznym rezonansowym”. Aparatura L. Staniewicza składa się, jak zresztą wszystkie aparaty tego typu z trzech obwodów: oscylacyjnego, rezonansowego i detektorowego. Istotną częścią obwodu rezonansowego jest kondensator glebowy, którego pojemność ma zmieniać się pod wpływem uwilgotnienia gleby. Jednakże podany przez L. Staniewicza (15) opis kondensatora glebowego nie jest jasny i nie łatwo można sobie wyobrazić sposób zastosowania tego kondensatora zwłaszcza w warunkach polowych, o których wspomina autor w publikacji z roku 1952 (16).

Jeśli chodzi o określanie za pomocą hydrometru „stopnia wilgotności gleby” to eksperymentalne dane uzyskane przez samego autora doprowadziły go do wniosku, że „istnieje różna zależność zmiany pojemności elektrycznej warstewki gleby od zawartości w niej wody...” i że tylko „... dla piasku te dwie wielkości są do siebie proporcjonalne” (15).

Ponieważ hydrometr L. Staniewicza nie dał zadowalających wyników przy próbach mierzenia zawartości wody w glebach, rodzi się wątpliwość, czy metody, oparte na pomiarach pojemności elektrycznej kondensatorów z dielektrykiem w postaci badanej gleby między okładkami, mają w ogóle widoki powodzenia przy badaniach wilgotności gleb.

Od roku 1932, kiedy to W. Balls (2) po raz pierwszy zaproponował metodę tego rodzaju, wielu badaczy zajmowało się sprawą wykrycia ściślejszej zależności między zawartością wody w glebie i pojemnością elektryczną kondensatorów glebowych.

Pojemność elektryczną kondensatorów można, jak wiadomo, wyrazić wzorem:

$$C = \frac{P}{4\pi r} \cdot \frac{1}{9 \cdot 10^{11}} \cdot \epsilon,$$

gdzie:

- C — pojemność elektryczna kondensatora w faradach,
- P — powierzchnia okładek kondensatora w cm^2 ,
- r — odległość między okładkami kondensatora w cm,
- ϵ — stała dielektryczna substancji znajdującej się między okładkami kondensatora.

Stać dielektryczna określona jest za pomocą następującego wzoru:

$$\epsilon = \frac{C_0}{C},$$

gdzie:

- C_0 — pojemność elektryczna kondensatora powietrznego,
- C — pojemność elektryczna tego samego kondensatora z dielektrykiem o stałej ϵ zamiast powietrza.

Istnieje dość duża różnica pomiędzy wielkością stałej dielektrycznej suchej substancji glebowej a wielkością stałej dielektrycznej wody:

- ϵ suchej substancji glebowej waha się najczęściej w granicach od około 4 do około 10, natomiast,
 ϵ wody w temperaturze 15°C wynosi 82,22.

Z powyższych danych wynika, że każde zwiększenie wilgotności powinno pociągnąć za sobą wzrost stałej dielektrycznej gleby, a tym samym wzrost pojemności elektrycznej kondensatora z daną glebą jako dielektrykiem między okładkami. Ten właśnie fakt starają się wykorzystać metody nawiązujące do pomiaru pojemności elektrycznej.

Jednakże niektórzy badacze, jak np. J. E. Fletcher (10), stwierdzają, że pojemność kondensatorów glebowych zależy nie tylko od wilgotności gleb, ale między innymi również od temperatury, ilości koloidów, a także od stężenia soli w roztworze glebowym. Dopiero koncentracje soli większej od 0,1 g na 10 cm³ wody nie zakłócają już pomiarów, natomiast wahania stężeń poniżej tej granicy wywołują błędy.

Okazuje się więc, że również metody pojemnościowe nie zdołały na razie całkowicie wyeliminować ujemnego wpływu tych samych ubocznych czynników, które były przyczyną niepowodzenia metod opartych na pomiarach przewodnictwa elektrycznego. Wobec niezbyt jeszcze licznych danych eksperymentalnych trudno dziś ostatecznie przewidzieć, czy i w jakim stopniu metody pojemnościowe przezwyciężą te trudności. Nie jest jednak przekonujące wysuwane niekiedy a priori twierdzenie, że duża różnica między stałymi dielektrycznymi suchej substancji glebowej i wody wystarcza dla uzyskania pozytywnych wyników, bo jeszcze większe różnice między przewodnictwem elektrycznym suchej i wilgotnej gleby nie umożliwiły mimo wszystko dokładnych pomiarów.

Metody oparte na pomiarach przewodnictwa lub stałej dielektrycznej nie wyczerpują jeszcze wszystkich koncepcji zastosowanych dla określania wilgotności gleb na drodze elektrometrycznej. Za jedną z najbardziej pomysłowych prób rozwiązania tego problemu należy uznać metodę elektrotermiczną, zaproponowaną przez B. T. Shaw a i L. D. Baveera (13). Przewodnik towarzyszy wydzielanie ciepła w myśl prawa Joulea:

Metody oparte na pomiarach przewodnictwa lub stałej dielektrycznej nie wyczerpują jeszcze wszystkich koncepcji zastosowanych dla określania wilgotności gleb na drodze elektrometrycznej. Za jedną z najbardziej pomysłowych prób rozwiązania tego problemu należy uznać metodę elektrotermiczną, zaproponowaną przez B. T. Shaw a i L. D. Baveera (13)

Autorzy ci wykorzystali znane zjawisko, że przepływowi prądu przez przewodnik towarzyszy wydzielanie ciepła w myśl prawa Joulea:

$$K = U^2 \cdot \frac{1}{R} \cdot t \cdot 0,24 ,$$

gdzie:

- K — ilość ciepła w kaloriach,
- U — napięcie elektryczne w woltach,
- R — opór elektryczny przewodnika w omach,
- t — czas w sekundach.

Jeśli metalowy przewodnik, przez który przepływa prąd, umieszczony jest w glebie, to pewna część wydzielonego ciepła powoduje wzrost temperatury tego przewodnika, a pozostała część odprowadzana jest przez glebę. Im więcej wody zawiera gleba, tym lepiej odprowadza ona ciepło i tym wolniej nagrzewa się przewodnik.

Z drugiej strony wiadomo, że opór elektryczny metalowego przewodnika wzrasta wraz z temperaturą według wzoru:

$$R_{t_0} = R_{15^{\circ}} (1 + \alpha/t^{\circ} - 15),$$

gdzie:

- $R_{t^{\circ}}$ — opór elektryczny w omach przewodnika o temperaturze t° ,
- $R_{15^{\circ}}$ — opór elektryczny w omach tego samego przewodnika o temperaturze 15°C ,
- t° — aktualna temperatura przewodnika,
- α — współczynnik wynoszący np. dla miedzi 0,00381.

Wzrost oporu rozgrzewającego się przewodnika można śledzić na włączonym w obwód czułym miliamperomierzu, obserwując spadek natężenia prądu płynącego przez ten przewodnik. Suche glebie odpowiada szybki spadek wskazań miliamperomierza, podczas gdy w glebie wilgotnej spadek ten jest powolny. Różnica wskazań miliamperomierza w określonym interwale czasu pozwala więc określić wilgotność gleby.

Dokładność opisanej metody elektrotermicznej sprawdzali między innymi R. V. Cummings i R. F. Chandler (7). Stwierdzili oni, że metoda ta daje zadowalające wyniki w warunkach laboratoryjnych, lecz nie nadaje się do badań terenowych z powodu trudności związanych z zapewnieniem dobrego kontaktu między glebą i rozgrzewającym się drutem. Należy jednak zaznaczyć, że nawet gdyby udało się uzyskać zadowalający kontakt przewodnika z glebą, to i tak metoda elektrotermiczna — mimo swej całej pomysłowości — nie stałaby się metodą uniwersalną dla bezpośredniego oznaczania procentowej zawartości wody we wszystkich glebach, gdyż zależność przewodnictwa ciepła od wilgotności jest odmienna w różnych glebach.

Jak to słusznie podkreśla W. N. Dimo (9), przewodnictwo cieplne gleby zwiększa się wprawdzie ze wzrostem zawartości wody, ale mechanizm tego zjawiska jest skomplikowany, gdyż wiąże się z formami wody i mechanizmem jej przemieszczania w glebie. Decydujące znaczenie posiada tu oczywiście nie tylko zastąpienie słabo przewodzącego ciepło po-

wietrza dobrze przewodzącą wodą, lecz także charakter więzi tej wody z glebą. Przy identycznej zawartości wody, wynoszącej np. 4%, charakter tej więzi w glebie piaszczystej jest — jak wiadomo — zupełnie inny niż np. w glebie ilastej.

Wobec niepowodzenia tylu metod, opracowanych na zupełnie odrębnych podstawach teoretycznych, powstaje pytanie — czy jest w ogóle realne dążenie do skonstruowania aparatury, która by po jednorazowym wyskalowaniu umożliwiała bezbłędne elektrometryczne oznaczenia procentowej zawartości wody bezpośrednio w masie glebowej?

Wydaje się, że na to pytanie należy odpowiedzieć przecząco. Podobnie jak w metodzie elektrotermicznej, skomplikowany charakter sił działających na wodę w glebie uniemożliwi prawdopodobnie również uniwersalne wyskalowanie aparatów przeznaczonych do bezpośrednich pomiarów wilgotności masy glebowej, choćby nawet udało się całkowicie wyeliminować ujemny wpływ koncentracji soli, zawartości związków organicznych i niektórych innych czynników zakłócających pomiary.

Wrażliwość metod elektrometrycznych nie tylko na ilość wody, ale również na siły utrzymujące tę wodę w glebie, nie jest jednak zjawiskiem niepożądanym, pomimo że przy pomiarach utrudnia uzyskiwanie dokładnych wyników procentowych. W rozwoju roślin ważna jest przecież nie tyle ogólna ilość wody w glebie, lecz zawartość wody łatwo dostępnej dla korzeni.

Z tych założeń wyszli G. J. Bouyoucos i A. H. Mick (5) opracowując w roku 1940 nową metodę określania wilgotności gleb przez pomiar przewodnictwa elektrycznego. Jak wspomniano wyżej, próby w tym kierunku były przeprowadzane już znacznie wcześniej, lecz zawodziły one, gdyż przewodnictwo gleb nie zależy wyłącznie od wilgotności. Bouyoucos i Mick przezwyciężyli te trudności, umieszczając elektrody pomiarowe nie bezpośrednio w glebie, lecz w bloku gipsowym, który zakopuje się do gleby. Po pewnym czasie następuje równowaga między siłami utrzymującymi wodę w glebie a siłami ssącymi porowatego bloku gipsowego. Jednocześnie w bloku znajduje się stale nasycony roztwór gipsu o określonej koncentracji jonów, która jest tak wysoka, że do minimum redukuje zakłócenia wywołane przez jony roztworu glebowego. Dzięki temu, przewodnictwo bloku zależy prawie wyłącznie¹ od zawartości w nim wody, a ta z kolei od wielkości sił utrzymujących wodę w glebie.

Dopóki gleba zawiera nadmiar wody grawitacyjnej, opór bloku gipsowego utrzymuje się na stałym, dość niskim poziomie (450—650 omów). Je-

¹ Wpływ temperatury można łatwo uwzględnić wnosząc odpowiednie poprawki. Przy badaniach wilgotności w głębszych warstwach gleby, gdzie wahania temperatury są na ogół małe, można błąd spowodowany temperaturą pominąć.

śli wilgotność gleby maleje, to — począwszy od zawartości wody odpowiadającej maksymalnej wodzie zawieszanej — opór bloku gipsowego zaczyna wzrastać najpierw powoli, a następnie coraz szybciej. Przy oporze wynoszącym około 2800 omów gleba zawiera jeszcze tylko połowę dostępnej dla roślin wody zawieszanej. Przy 10 000 omów zaczynają rośliny uprawne wyraźnie cierpieć na brak wody. 75 000 omów odpowiada współczynnikowi trwałego wędnięcia roślin. Przy jeszcze mniejszych wilgotnościach krzywa zależności między wilgotnością i oporem elektrycznym bloku przyjmuje kierunek prawie pionowy tak, że dalszy pomiar staje się niemożliwy.

Metoda bloku gipsowego okazała się bardzo użyteczna np. przy normowaniu dawek wody na polach sztucznie zraszanych. Wzrost oporu bloku do około 10 000 omów sygnalizował konieczność rozpoczęcia nawadniania. Zraszanie nie powinno jednak zmniejszać oporu bloku poniżej 600 omów, ponieważ występują wtedy bezużyteczne straty wody i pogarsza się aeracja gleby.

Przydatność metody bloku gipsowego do wykonywania pomiarów tego rodzaju w różnych glebach bez konieczności oddzielnego skalowania jest niewątpliwie jej podstawową zaletą. Jako wady tej metody należy natomiast wymienić dość małą trwałość elementów gipsowych, zwłaszcza umieszczonych w glebach wilgotnych, niezbyt szybkie przystosowywanie się bloku do zmian wilgotności gleby oraz ograniczony zakres pomiarowy bloku, który nie obejmuje zarówno zbyt wielkich jak też całkiem niskich wilgotności gleby.

Poszukując materiałów, które by pod tymi względami przewyższały gips, G. J. Bouyoucos (4) skonstruował jeszcze inny element pomiarowy — tzw. „opornik nylonowy”. Zasada działania tego opornika jest w ogólnych zarysach analogiczna jak w bloku gipsowym. Elektrody pomiarowe są tu jednak pokryte nie gipsem, lecz tkaniną nylonową. Okazało się, że opornik nylonowy posiada w stosunku do bloku gipsowego większą trwałość (nawet w glebach silnie wilgotnych opornik zachowuje sprawność co najmniej 5 lat), obejmuje znacznie szerszy zakres wilgotności (od pełnej pojemności wodnej aż do stanu powietrznej suchości) oraz znacznie szybciej reaguje na zmiany wilgotności. Nylonowy opornik nie posiada jednak niestety takiego jak blok gipsowy działania buforującego i silnie reaguje na stężenie soli w roztworze glebowym. Zmusza to znów do specjalnego skalowania aparatury dla każdej gleby z osobna. O przewadze zalet opornika nylonowego nad blokiem gipsowym można by więc mówić na razie jedynie w przypadku gleb bardzo wilgotnych z bliskim poziomem wody gruntowej.

Zastosowanie bloku gipsowego do pomiarów zawartości wody w gle-

bach pobudziło szereg badaczy do nowych poszukiwań we wskazanym przez B o u y o u c o s a i M i c k a kierunku. Przykładem nowszych prac idących po linii wytyczonej przez B o u y o u c o s a i M i c k a mogą być między innymi badania W. M. A l d o o s a i W. L. W a l t o n a (1), którzy usiłują opisaną wyżej elektrotermiczną metodę B. T. Shawa i L. D. Bavera udoskonalić przez otoczenie rozgrzewającego się przewodnika jakąś odpowiednią masą ceramiczną.

Bardzo ciekawy jest również opublikowany niedawno pomysł S. S p a u s z u s a (14). Autor ten opracował metodę, która jego zdaniem pozwala na dokonywanie szybkich oznaczeń wilgotności gleby przez pomiar stałej dielektrycznej wyciągu glebowego wykonanego dioksanem z 10% dodatkiem kwasu octowego. S p a u s z u s stwierdza jednak, że obecność próchnicy ujemnie wpływa na dokładność oznaczeń.

Niezależnie od tych czy innych braków, jakie posiadają jeszcze na razie metody opracowywane na podstawie stworzonej przez B o u y o u c o s a i M i c k a koncepcji elektrometrycznych oznaczeń wilgotności nie w samej masie glebowej, lecz za pośrednictwem jakiejś odpowiedniej, bardziej jednorodnej substancji — sama idea stanowi bez wątpienia ogromny krok naprzód i zdaje się otwierać drogę dla dalszego doskonalenia techniki polowych pomiarów zawartości wody w glebach.

Na zakończenie warto jeszcze krótko wspomnieć, że niezależnie od metod elektrometrycznych rozwija się ostatnio całkowicie nowa technika pomiarów wilgotności gleb oparta na próbach wykorzystania w tym celu właściwości neutronów i promieni γ .

Zaproponowana przez W. G a r d n e r a i D. K i r g h a m a (11) metoda neutronowa opiera się na założeniu, że wódór jest praktycznie jedynym pierwiastkiem, który może zwalniać bieg szybkich neutronów, i że w glebach mineralnych pierwiastek ten występuje prawie wyłącznie jako składnik wody. Źródłem szybkich neutronów jest mieszanina polonu i berylu, którą umieszcza się w glebie. Licznik powolnych neutronów napełnia się fluorkiem boru (BF_3). Zmierzona w jednostce czasu ilość powolnych neutronów ma być wskaźnikiem wilgotności gleby.

Jak widać — powyższa metoda nie nadaje się do pomiaru wilgotności gleb próchnicznych, gdyż glebowe związki organiczne zawierają także wódór zwalniający bieg szybkich neutronów. Natomiast metoda ta ma według autorów uniezależniać pomiary wilgotności od wpływu tekstury gleby, koncentracji soli i temperatury.

Na nieco innych zasadach oparta jest metoda A. I. Danilina (8), posługująca się promieniowaniem γ przy oznaczaniu zawartości wody w glebach. Źródłem promieni γ ma być umieszczony w glebie radioaktywny izotop kobaltu Co^{60} . Podstawowe założenia są tu następujące: przejście przez jakąkolwiek substancję osłabia natężenie promieni γ ; stopień osłabienia

zależy od energii promieni γ , a także od charakteru i grubości warstwy prześwietlanego ciała. Jeśli się przyjmie, że warstwa pewnej suchej gleby osłabia przechodzące przez nią promienie γ w określonym stopniu, to dalsze osłabienie promieniowania, spowodowane dodaniem wody do tej gleby, może być wskaźnikiem jej wilgotności.

Najbliższa przyszłość pokaże zapewne, czy metoda promieni γ zda egzamin w praktyce oraz jak rozwiną się inne metody. Wydaje się, że można oczekiwać szybkich postępów w tej dziedzinie.

LITERATURA

1. Aldoos W. M. and Walton W. L. — Frost action in soils, A symposium, Washington (1952).
2. Balls W. L. — Rapid Estimation of Water-Content in Undisturbed Soil and in Bales of Cotton, *Nature*, t. 129 (1932).
3. Baturin A. A. — Cyt. wg Melville R. — Das Verhalten des Bodens gegen Luft, Wärme, Elektrizität und Radioaktivität, Blanck E. — Handbuch der Bodenlehre, Erster Ergänzungsband, Berlin (1939) str. 585.
4. Bouyocous G. J. — A nylon electrical resistance unit for making continuous measurement of soil moisture in the field, *Soil Sci.*, t. 67 (1949).
5. Bouyocous G. J. and Mick A. H. — Improvements in the plaster of Paris absorption block electrical resistance method for measuring soil moisture under field conditions, *Soil Sci.*, t. 63 (1947).
6. Buschmann H. — Die Bestimmung der Bodenfeuchte mit einer V2A-Stahl-Plexiglaselektrode, *Z. Pflanzenernähr., Düng. Bodenkunde* t. 72 (1956).
7. Cummins R. V. and Chandler R. F. — Cyt. wg Baver L. D. — *Soil Physics*, New York, London (1948).
8. Danilin A. I. — Izmerenije wlaźnosti poczwj pri pomoszczj gamma kuczrej. *Poczwowiedenije* 7 (1955).
9. Dimo W. N. — K woprosu o zawisomosti mieźdu temperaturoprowodnostju i wlaźnostju poczw. *Poczwowiedenije* 12 (1948).
10. Fletcher J. E. — Cyt. wg Baver L. D. — *Soil Physics*, New York — London (1948).
11. Gardner W. and Kirkham D. — Determination of soil moisture by neutron scattering. *Soil Sci.*, t. 73 (1952) str. 391—401.
12. Görz G. — Über ein tragbares Gerät zur elektrischen Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit im Felde, *Intern. Mitt. f. Bodenkunde* t. 14 (1924).
13. Shaw B. T., Baver L. D. — An electrothermal method for following moisture changes of the soil in situ, *Soil Sci.*, t. 48 (1939).
14. Spauszus S. — Eine Schnellbestimmung der Bodenfeuchtigkeit durch Messung der Dielektrizitätskonstanten, *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde*, t. 70 (1955).
15. Staniewicz L. (jun.) — Badania na monolitach glebowych ruchu wody przesiąkającej za pomocą metody rezonansowej; *Przegląd Melioracyjny*, t. 3 (1939).
16. Staniewicz L. (jun.) — Zastosowanie hydrometru elektrycznego rezonansowego do badania ruchów wody w glebach. *Biuletyn CIR* 2 (4) (1952).
17. Whitney M., Gardner F. D., Briggs L. J. — An electrical method of determining the moisture content of avable soils, *U. S. Dept. Agr. Bur. Soils Bull.* 6 (1897).