

вклад деятельности человека в деградацию морских берегов. Самодетельная защита береговой линии на отдельных ее участках, вне учета общей схемы динамики наносов, ведет к деградации соседних участков побережья, при этом огромные материальные средства расходуются нерационально. Поэтому, на наш взгляд, назрел вопрос о разработке и принятии на государственном уровне научно обоснованной программы “Морские берега Украины”.

1. *Горячкин Ю. Н., Иванов В. А.* Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – 210 с.
2. *Coastal Evolution: Late Quaternary shoreline and morphodynamics* / R.W.G. Carter, C.D. Woodroffe (eds.). – Cambridge, UK: Cambridge univ. press, 1997. – 517 p.
3. *Иванов В. А., Ястреб В. П., Горячкин Ю. Н., Зима В. В., Прусов А. В., Фомин В. В.* Природопользование на Черноморском побережье Западного Крыма: современное состояние и перспектива развития. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – 324 с.
4. *Романюк О. С., Луцик А. В., Морозов В. И.* Условия формирования и динамика морского побережья в районе Сакской курортной зоны // Гос. ин-т минер. ресурсов. – 1992. – 1. – С. 12–17. – [Сб.].
5. *Каплин П. А., Селиванов А. О.* Глобальное потепление климата и его влияние на уровень морей и береговые процессы // Современные глобальные изменения природной среды. Т. 2. – Москва: Науч. мир, 2006. – 776 с.
6. *Выхованец Г. В.* Эоловый процесс на морском берегу. – Одесса: Астропринт, 2003. – 368 с.

*Морской гидрофизический институт
НАН Украины, Севастополь*

Поступило в редакцию 26.02.2008

УДК 550.835

© 2008

А. Ю. Кетов, С. Т. Звольський

Сукупне визначення вологості та засоленості ґрунтів зрощувального землеробства за допомогою нейтронних методів

(Представлено членом-кореспондентом НАН України В. І. Ляльком)

A way to determine the moisture of salted soil and the content of NaCl in it by means of neutron methods is developed and tested.

Гідромеліоративні та екологічні дослідження ґрунтів зрощувального землеробства потребують масових вимірювань їх вологості й засоленості. Визначення вологості незасолених ґрунтів в умовах *in situ* ефективно та оперативно виконуються нейтрон-нейтронними методами з реєстрацією повільних нейтронів (ННМ-П) [1, 2]. Поширеною апаратурою, за допомогою якої реалізується метод ННМ-П у гідрогеологічних та інженерно-геологічних дослідженнях на теренах бувшого СРСР, є прилади типу ВПГР-1 (вологомір поверхнево-глибинний радіоізотопний), виготовлений у м. Полтава.

В аридних районах, зокрема на півдні України, де поширене зрощувальне землеробство, ґрунти здебільшого характеризуються підвищеною NaCl мінералізацією, зазнають вторинне засолення. Застосування ННМ-П на основі однозондового приладу тут утруднене. Зв'язано

це зі значним впливом хлору на показання детектора повільних нейтронів. Хлор — аномальний поглинач теплових нейтронів, які при вимірюваннях у вологих ґрунтах є переважаючою складовою повільних нейтронів. Швидкість лічби вологоміром останніх $I_{\text{п}}$ є функцією (f) об'ємної вологості ґрунту та мірою його засоленості:

$$I_{\text{п}} = f(W_V, M_V), \quad (1)$$

де W_V — об'ємна вологість ґрунту, %; M_V — об'ємна маса хлору в ґрунті, мг/дм³.

При використанні приладів типу ВПГР-1, які працюють в області прямої залежності між швидкістю лічби нейтронів і вологістю ґрунту (довжина зонда приладу ВПГР-1 умовно прийнята дорівнюючою нулю), виміряна вологість буде зміщена на величину ΔW_V у бік її зменшення. Це неконтрольоване зміщення, що є ґрунтовою складовою похибки вимірювання W_V , буде тим більшим, чим вища хлорна мінералізація ґрунту.

За показанням зміщення значення ΔW_V у геологічному розрізі досліджуваного ґрунту від дійсного значення W_V можна судити про рівень і розподіл його хлорної мінералізації. Отже, щоб оцінити величину цього зміщення, потрібно знати дійсний розподіл W_V (за відсутності впливу аномального поглинача). Такий розподіл можна отримати за допомогою ННМ-П, скориставшись двозондовим нейтронним вологоміром.

Двозондові вимірювання вологості (водонасиченої пористості) гірських порід широко практикуються у промисловій геофізиці [3]. У гідромеліоративних дослідженнях двозондовий нейтронний вимірювач вологості ґрунту випробуваний науковцями Л. І. Бескіним, В. О. Ємельяновим, Ю. К. Євсєєвим із Всесоюзного науково-дослідного інституту гідротехніки і меліорації.

Інтерпретація двозондових вимірювань нейтронними вологомірами здійснюється за відношенням швидкості лічби повільних нейтронів меншим (коротшим) зондом $I_{\text{п}}^{\text{м}}$ до швидкості лічби таких самих нейтронів більшим зондом $I_{\text{п}}^{\text{б}}$. За цих умов існує тісна функціональна залежність [3]:

$$A_{\text{п}} = \frac{I_{\text{п}}^{\text{м}}}{I_{\text{п}}^{\text{б}}} = f(W_V), \quad (2)$$

де $A_{\text{п}}$ — відношення показань повільних нейтронів двох зондів.

Спосіб визначення W_V ґрунту за відношенням показань пари зондів різної довжини вирізняється тим, що він практично не залежить від об'ємної маси хлору в ґрунті. Строго, теоретично й експериментально, обґрунтовано незалежність співвідношення (2) від поглинальних властивостей ґрунту в роботі [4].

Одно- і двозондові вимірювання W_V нами виконані за допомогою серійного приладу ВПГР-1. При цьому довжина зондів фіксувалася: $L^{\text{м}} = 0$ см і $L^{\text{б}} = 19$ см. Більший зонд був реалізований шляхом розміщення між блоками детектора і джерела нейтронів пустотілого дюралюмінієвого циліндра.

Вимірюваннями охоплено важкі суглинки, що з глибини 145 см плавно переходять у супіски, а з глибини 190 см — у дрібнозернисті щільно складені піски. Засолення ґрунту відбулося наприкінці березня 2007 р. На експериментальній ділянці розміром 2×2 м, що розташована на території Інституту геофізики НАН України, було вилито 200 л розчину солі NaCl, концентрація якої дорівнювала 238 г/л (хлору — 144,5 г/л). Ваговий шар солі на поверхні ґрунту становив 119 г/дм².

Влітку та восени сіль разом з інфільтраційними водами атмосферних опадів мігрувала у нижні шари ґрунту. Наприкінці листопада 2007 р. ці шари були розкриті необсадженою

свердловиною діаметром 50 мм. У розрізі цієї свердловини за допомогою радіоізотопних методів було виміряно розподіли об'ємної маси та дійсної об'ємної вологості, а також розподіл природної радіоактивності за гамма-випромінюванням, що корелює з літологічним складом ґрунту. Результати вимірювань природної радіоактивності, об'ємної маси та об'ємної вологості разом з лабораторними визначеннями об'ємної маси хлору в ґрунті наведені в табл. 1.

Залежності розподілу вологості вздовж розрізу засоленого ґрунту, виміряні приладом ВПГР-1 ($L^M = 0$ см) та модифікованим на його основі приладом ($L^{\delta} = 19$ см), ілюструє рис. 1. З рисунку видно, що розподіл вологості W_V , побудований за показанням приладу з меншим зондом, значно зміщений (у бік менших значень W_V) відносно розподілу, побудованого за відношенням показань меншого до більшого зондів, яке дає дійсне значення вологості.

За величиною зміщення ΔW_V на кожному досліджуваному горизонті нами визначено той вміст хлору, який спричиняв це зміщення. Для цього було побудовано залежність між вмістом хлору і зміщенням ΔW_V , знайдено чутливість (S , мг/%) ННМ-П до аномального поглинача нейтронів, яким є хлор, $S = M_V / \Delta W_V$.

Залежність будувано в такій послідовності. При проходженні свердловини у засоленому ґрунті відбирали через кожні 0,1 м проби ґрунту на соляні (хлорні) витяжки. Витяжки робили зі 100 г ґрунту природної вологості, в який додавали 100 мл дистильованої води. За фільтратом з цієї витяжки методом титрування визначали вміст хлор-іонів (мг/л); об'ємну масу хлору в ґрунті (мг/дм³) — за формулою [5]:

$$M_V = (1 + 2W_m)\rho_{ск}C, \quad (3)$$

Таблиця 1. Фізичні показники ґрунту дослідної ділянки

Глибина залягання, см	Природна радіоактивність, γ -квантів/100 с	Об'ємна маса, кг/дм ³	Об'ємна вологість, %	Вміст Cl, мг/дм ³
Суглинок				
80	2780	1,81	27,7	7386
90	2730	1,81	26,1	3252
100	2850	1,85	25,5	1667
110	2950	1,86	22,7	1013
120	2930	1,82	20,8	848
130	3070	1,84	19,0	571
140	2920	1,83	20,9	401
Супісок				
150	2930	1,84	18,2	425
160	2860	1,81	14,1	336
170	2740	1,81	10,3	120
180	2520	1,81	8,4	157
Пісок				
190	1970	1,78	8,4	90
210	1480	1,74	9,1	74
230	1490	1,72	9,6	76
250	1390	1,68	9,3	85
270	1330	1,64	10,1	89
290	1340	1,64	11,6	166
310	1250	1,62	10,3	73
330	1260	1,72	9,1	83

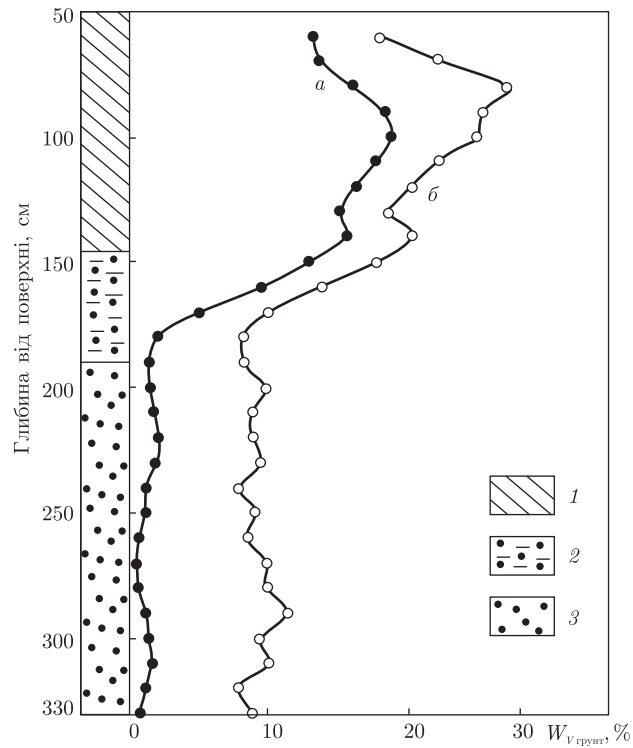


Рис. 1. Розподіл вологості засоленого ґрунту на дослідній ділянці: вимірювання приладом ВПГР-1 ($L^6 = 0$ см) (а) та модифікованим приладом ВПГР-1 ($L^6 = 19$ см) (б).
Умовні позначення: 1 — суглинок, 2 — супісок, 3 — пісок

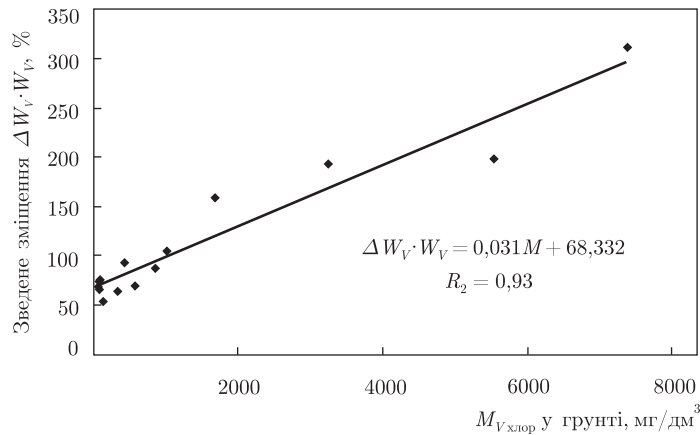


Рис. 2. Залежність зведеного зміщення показань приладу від об'ємної маси хлору в ґрунті

де C — концентрація хлору в сольовій витяжці 100 г дистильованої води зі 100 г проби ґрунту природної вологості, мг/л; W_m — масова вологість ґрунту в пробі, ч. о.; $\rho_{ск}$ — об'ємна маса скелета ґрунту, кг/дм³. Параметри $\rho_{ск}$ й W_m з формули (3) визначали за радіоізотопними вимірюваннями, параметр C — за результатами лабораторного аналізу.

Залежність об'ємної маси хлору в ґрунті від зведеного зміщення $\Delta W_V \cdot W_V$ зображено на рис. 2, де ΔW_V є зміщення значення об'ємної вологості ґрунту, вимірюваної меншим зондом на заданому горизонті; W_V — дійсне (виміряне за відношенням показань меншого зонда

до більшого) значення вологості на тому самому горизонті ґрунту. Зумовлено це тим, що зміщення показань вимірювання вологості меншим зондом від показань її дійсних значень залежить і від об'ємної маси хлору в ґрунті, і від дійсної вологості цього ґрунту. Тому на рис. 2 спостерігаємо більші відхилення ΔW_V при меншому вмісті у менш вологому ґрунті аномального поглинача нейтронів.

Чутливість сукупних показань одно- й двозондових вимірювань W_V до вмісту в ґрунті хлору ($S = M_V/\Delta W_V$) залежить від значення W_V ґрунту. В наших дослідах при $W_V = 28\%$ значення S становило 657 мг/%, а при $W_V = 10\%$ — 23,3 мг/%.

Статистична складова похибки визначення M_i хлору в ґрунті радіоізотопними вимірюваннями ΔM_i залежить в основному від статистичної складової похибки визначення зміщення ΔW_V . Остання складається з відносної похибки ε^M вимірювань I_{Π}^M і відносної похибки ε^A вимірювань A_{Π} .

На заданому горизонті (у точці i) оцінимо M_i :

$$\Delta M_i = (\varepsilon^M + \varepsilon^A)M_i. \quad (4)$$

У наших дослідженнях у необсаджений свердловині діаметром 2": значення $W_{V\text{ґрунт}} = 19\%$, $I_{\Pi}^M = 250$ імп/с; $I_{\Pi}^6 = 155$ імп/с; експозиція вимірювань $t = 100$ с, похибка ε^M становила 0,0063 ч.о., а похибка $\varepsilon^A = 0,008$ ч.о. Статистична складова відносної похибки вимірювання зміщення ΔW_{Vi} , а отже, і M_i становила 0,0143. Виміряне значення $M_i = 572$ мг/дм³ хлору. Зміщення ΔW_{Vi} значень I_{Π}^M становило 4,95%. Чутливість до хлору — $S_i = 115$ мг/%. Статистична складова похибки вимірювання M_i на заданому горизонті, згідно з формулою (4), $\Delta M_V = 8,1$ мг/дм³. Статистична складова відносної похибки вимірювання M_i — $\Delta M_i/M_i$ дорівнює 0,0143. Практично такою вона буде для всього діапазону виміряних дійсних значень W_V ґрунту.

Таким чином, описаним способом можна визначати вміст у ґрунті та в інших геологічних середовищах таких аномальних поглиначів нейтронів, наприклад, як бор, літій, марганець.

1. Звольський С. Т. Радиоизотопные методы исследования физико-механических свойств донных осадков. — Киев: Наук. думка, 1984. — 216 с.
2. Звольський С. Т., Кулик В. В. Вимірювання вологості і засоленості ґрунтів за допомогою стаціонарних нейтронних методів // Доп. НАН України. — 2002. — № 1. — С. 128–134.
3. Семенов В. В., Крутова Т. Е. Многозондовый нейтронный каротаж: перспективы использования в практике геофизических исследований скважин // Геофизика 2000. — 2000. — Спец. выпуск. — С. 33–35.
4. Пат. 64413. Україна, ІГФ НАНУ. Спосіб багатозондового нейтронного каротажу для визначення пористості і характеру насичення порід-колекторів та пристрій для його здійснення / Кулик В. В., Звольський С. Т. — Опубл. 2005. — Бюл. № 12.
5. Шестопалов В. М., Звольський С. Т., Бублясь В. М., Кулик В. В. Визначення показників інфільтрації в гірських породах зони аерації за допомогою хлорного індикатора // Доп. НАН України. — 2002. — № 9. — С. 130–136.

Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна
НАН України, Київ

Надійшло до редакції 29.02.2008