

УДК 550.83

С.І. Шепель, д-р геол. наук,
П.О. Буртний, наук. співроб.,
В.Г. Максимов, канд. техн. наук,
Н.І. Галайчук, канд. техн. наук,
О.С. Нех, провід. інж.,
А.В. Сухорада, канд. геол.-мінералог. наук

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТІВ ПОЛІГОНУ "СВЯТОШИН"

Проаналізовано тенденції зміни питомого електричного опору та діелектричної проникності в ґрунтах та осадових породах при їх забрудненні нафтопродуктами.

The main features of distribution of the electric resistance and dielectric permeability of the soils and sedimentary rocks polluted with mineral oil are considered.

В останні десятиліття інтенсивний розвиток промисловості поставив перед людською спільнотою нову проблему, пов'язану зі збереженням довкілля, моніторингом екологічно небезпечних змін навколишнього середовища. Однією з головних проблем є забруднення ґрунтів вуглеводнями та продуктами їх розпаду,

у тому числі в районах інтенсивної людської життєдіяльності. Такі забруднені ділянки досить поширені на територіях складів паливно-мастильних матеріалів, аеродромів, уздовж нафто- та газопроводів і займають великі площі на родючих землях такої індустріально розвиненої держави, як Україна. Актуальною пробле-

© С.І.Шепель, П.О.Буртний, В.Г.Максимов, Н.І.Галайчук, О.С.Нех, А.В.Сухорада, 2005

мою є картування, реєстрація і прогноз динаміки нафтового і нафтопродуктового забруднення ґрунтів, що надзвичайно важливо в місцях компактного проживання людей. Геофізичні методи досліджень мають велику перспективу при розв'язанні низки екологічних проблем, зокрема при аналізі вуглеводневого забруднення, але в даний час використовуються обмежено. Найпоширенішими серед геофізичних методів при дослідженнях вуглеводневого забруднення територій є електрофізичні методи.

У роботі [1] було створено фізико-геологічну модель ділянки вуглеводневого забруднення верхньої частини розрізу з довгоіснуючою лінзою рідких нафтопродуктів, проведено лабораторні дослідження фізичних властивостей ґрунтів кількох об'єктів. У результаті комплексних лабораторних і польових робіт встановлено, що такий високоомний діелектрик, як нафта і нафтопродукти, зумовлює помітне зростання питомого електричного опору (ρ) тільки в тонких лінзах рідких незруйнованих нафтопродуктів. Так, для лінз, представлених дизельним паливом, ρ в середньому становить 10^4 Ом·м, а для лінз, сформованих бензином, підвищується до $1-2 \cdot 10^5$ Ом·м. Основна проблема виділення таких лінз електрометричними методами пов'язана з їх незначною потужністю і її розв'язання вимагає використання додаткової інформації. З другого боку, внаслідок міграції нафтопродуктів та їх розпаду утворюються навколо цих лінз ореоли забруднення, що характеризуються пониженими значеннями електричного опору. У зоні аерації в результаті вуглеводневого забруднення ρ знижується в 6–8 разів, у водонасному горизонті в 1,5–2 рази, в корінній породі в 4–5 разів. Фізичне моделювання процесу розпаду вуглеводнів у лабораторних умовах виявило початок інтенсивного окиснення нафтопродуктів після кількох десятків годин їх перебування у відповідних умовах [1]. Зменшення електричного опору внаслідок забруднення ґрунтів нафтопродуктами відмічено також у роботах [2; 3].

Принципово інший характер впливу забруднення вуглеводнями на електроопір ґрунтів встановлений у роботі [4]. У цій статті відмічається зростання питомого електричного опору порід четвертинного віку від 4,5–7,0 Ом·м до 12–170 Ом·м. У цьому випадку досліджувався шар, що залягає нижче рівня ґрунтових вод. Ефект зростання ρ у результаті вуглеводневого забруднення встановлено також у роботах [5; 6]. Таким чином, аналіз наявної незначної кількості друкованих матеріалів про електрометрію забруднених вуглеводнями ділянок дозволяє зробити висновки про неоднозначність і складність розв'язання цієї проблеми. На нашу думку, роботи, в яких зафіксовано підвищення електроопору, проводились на ділянках, забруднених незруйнованими нафтою та її продуктами, а роботи з констатацією зменшення цього параметра виконувались на територіях з розкладеними вуглеводнями.

Нами був досліджений комплекс електрофізичних характеристик ґрунтів полігону "Святошин", який розташований у межах складу паливно-мастильних матеріалів. Склад існує вже більше 50 років, тому забруднені вуглеводнями ділянки тут займають значні площі. Ділянка, на якій проводились дослідження, розташована на схилі древньої балки. Схил балки покритий ґрунтовим шаром товщиною від 0,1 до 0,5 м, що перекриває осадові утворення верхньочетвертинного віку, які втримуються по всій площі об'єкта. Основою, на якій залягають четвертинні відклади, є поверхня неогенових відкладів, складених пісками, алевролітами, пісковиками та горизонтами строкатих і бурих глин. Основні літологічні різновиди ґрунтів, що беруть участь у будові

осадової товщі, розкриті бурінням, представлені, крім гумусного шару, пісками, супісками, суглинками. Верхню частину розрізу складають піщані відклади. Поширені вони повсюдно. Потужність їх непостійна, коливається від 1,2–1,5 до 8,7–11,0 м і залежить від рельєфу покривлі нижчезалягаючих осадів (рис. 1).

Аналіз розрізів, складених за даними буріння, дозволяє виявити деякі особливості в будові осадової товщі, що залягає нижче піщаних відкладів. Відмітимо перш за все, що поверхні як супісків, так і суглинків нерівні. Крім протяжних горизонтів відклади супісків зустрічаються у вигляді лінз різної величини, що збереглися в заглиблених ділянках покривлі суглинків. Одночасно з цим у розрізах деяких свердловин суглинки, у свою чергу, підстилаються відкладами супісків. При цьому на деяких розрізах можна спостерігати виклинювання зазначених відкладів по латералі, що також може говорити про лінзоподібну форму їх тіл. Таке співвідношення між горизонтами відзначених літологічних різновидів ґрунтів, нерівність поверхонь, зміна потужності в межах одного шару вказують не тільки на складні умови, які існували в період осадкоутворення, але й значною мірою впливають на розподіл і концентрацію забруднюючих речовин в осадовій товщі досліджуваної ділянки.

У комплекс вимірювань у лабораторних умовах електрофізичних параметрів входили питомий електричний опір (на частоті електромагнітного поля рівній 1 кГц), відносна діелектрична проникність на частотах 1 та 700 кГц (ϵ_1 , ϵ_7). Визначались також польова вологість (W) термобарометричним методом у вагових відсотках і концентрація нафтопродуктів. Досліджені зразки були відібрані з дев'яти свердловин, пробурених до глибини 13 м на різних ділянках складу паливно-мастильних матеріалів як забруднених вуглеводнями, так і на відносно чистих. Вони відбирались з інтервалом 1 м по глибині і відразу ж для збереження польової вологості ретельно герметизувались.

Межі змін та середні значення електрофізичних параметрів та польової вологості наведено в табл. 1.

З гумусного горизонту були відібрані одиничні зразки, що не дозволило отримати середні значення електричних параметрів цього горизонту, а лише зафіксувати певні тенденції їх змін. Досить чітко фіксується пониження питомого електричного опору гумусного горизонту та підвищення його діелектричної проникності порівняно з нижчезалягаючими пісками. Збільшення електроопору при переході від гумусного горизонту до пісків принципово відрізняється від основної тенденції зменшення цього параметра з глибиною при переході від пісків до супісків, а потім і до суглинків. Отже, зі збільшенням глинистої компоненти в складі осадів фіксується зниження електроопору та підвищення діелектричної проникності. Для прикладу наведемо числові характеристики таких змін електрофізичних та геофізичних характеристик за кількома свердловинами. При зміні пісків на супісок у свердловині 30 питомий електричний опір знижується від 145 до 68 Ом·м, низькочастотна діелектрична проникність (1 кГц) збільшується від 534 до 3726 одиниць, а високочастотна ϵ , виміряна при 700 кГц, зростає від 69 до 131 (вагова вологість змінюється в межах 7,5–7,9 %). Зміна супіску на суглинок, що відбувається нижче по розрізу, зумовлює зменшення електроопору до 55 Ом·м, ріст діелектричної проникності (1 кГц) від 1022 до 1318, а визначеної на частоті 700 кГц – в інтервалі 60–153. Вологість зростає від 5,4 до 12,8 %. У свердловині 32 перехід від пісків до супіску описується зменшенням ρ в діапазоні 1540–336 Ом·м, зростанням ϵ_1 від 98 до 954, ϵ_7 збільшується в межах 30–48 одиниць, що зумовлено зміною вологості від 5,9

до 12,6 %. Поява в розрізі цієї свердловини суглинково-го горизонту пов'язана з подальшим зниженням електроопору майже на порядок до десятків омметрів, діелектрична проникність, виміряна на частоті 1 кГц збільшується до тисяч одиниць, а відносно височастотна ϵ (700 кГц) підвищується до сотень одиниць. Відмінною

особливістю свердловини 21 є наявність жорстви з глибини 6 м, що виявляється в суттєвому зростанні електричного опору (приблизно на 300 %, від 37 до 108 Ом · м) і зниженні діелектричної проникності, пов'язаному зі зменшенням вологості жорстви.

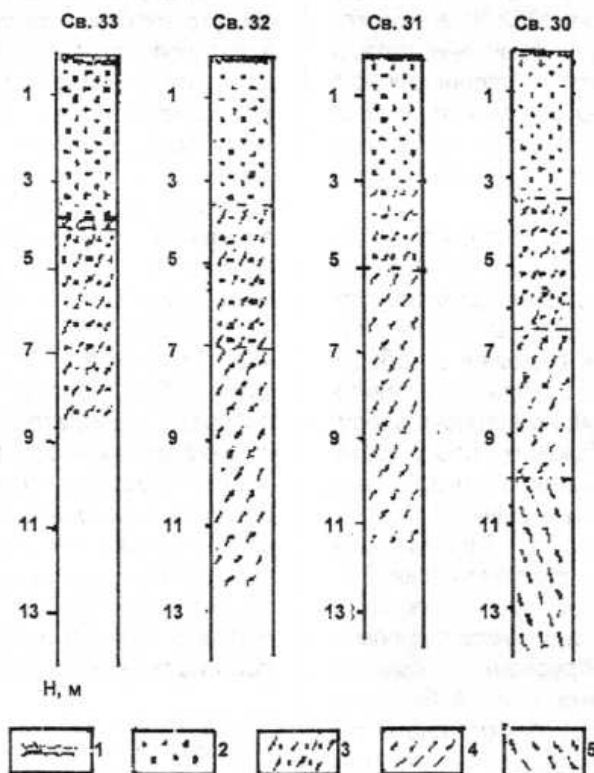


Рис. 1. Літологічні колонки за свердловинами полігону "Святошин".
1 – гумусний горизонт; 2 – пісок; 3 – супісок; 5 – суглинок щільної консистенції

Таблиця 1. Середні значення та межі змін вологості та електричних параметрів ґрунтів

Порода	К-ть зраз.	W	W _{ср}	ρ	$\rho_{ср}$	ϵ_1	ϵ_1 ср	ϵ_7	ϵ_7 ср
Піски (чисті)	22	2,6-6,52	5,11	349-7380	2199	34,7-493	180	22,0-63,1	37,0
Піски (забруднені)	6	3,7-11,2	7,29	718-3340	1816	33,7-602	153	23,6-67,2	37,2
Супіски (чисті)	20	3,77-15,9	8,98	67,6-662	262	238-3726	1042	31,7-130	73
Супіски (забруднені)	6	8,2-14,0	13,0	56,9-282	151	756-2025	1359	62,2-159	95,7
Суглинки (чисті)	20	12,0-25,7	15,9	23,1-127	54,1	692-5637	2453	82,1-313,5	181
Суглинки (забруднені)	5	12,9-25,8	17,8	37,6-49,3	42,4	736-5008	3239	163-208	189

На відміну від установленого характеру змін електричних параметрів при зміні літології з глибиною по стовбуру свердловин у межах однотипних літологічних горизонтів збільшення глибини зумовлює протилежну тенденцію змін електроопору і діелектричної проникності: збільшення ρ і зменшення ϵ в різних діапазонах частот електромагнітного поля. Так, для свердловини 30 при збільшенні глибини від покрівлі до підшови горизонту супіску фіксується ріст електричного опору від 68 до 179 Ом · м та зниження ϵ_1 від 3726 до 1022, ϵ_7 зменшується в інтервалі 131–61. Ці закономірності зумовлені зниженнями вологості в межах шарів порід при збільшенні глибини. Отже, достатньо однозначно виявляється обернено пропорційний зв'язок між електричним опором ґрунтів і їх вологістю та прямо-пропорційний – між діелектричною проникністю та вологістю. Такі ж закономірності змін електрофізичних і воднофізичних характеристик при змінах

літології і в межах однотипних літологічних горизонтів встановлені і для інших свердловин.

Аналіз середніх електричних параметрів для горизонтів різного літологічного складу дозволяє зробити такі висновки. Як видно з таблиці, описані вище закономірності зв'язків літології та електричних параметрів досліджених осадів підтверджуються також середніми їх величинами, розрахованими за всіма свердловинами та межами їх змін. Найбільш високоомними є піски, середнє значення їх питомого електричного опору становить 2199 Ом · м, помітно менший цей параметр для супісків (162 Ом · м). Мінімальним середнім електроопором, рівним 54 Ом · м, характеризуються суглинки. Отже, загальне зменшення електроопору при заміні пісків на суглинки становить приблизно 1,5 порядку, що є досить значною величиною. Середні величини діелектричної проникності цих утворень також достатньо

диференційовані і перебувають в обернено пропорційній залежності з питомим електричним опором. У ряду піски – супіски – суглинки більш інтенсивним зростанням характеризується низькочастотна діелектрична проникність (1 кГц), відповідно 180 – 1042 – 2453, порівняно з високочастотною ϵ , для якої цей параметр становить 37,0; 73,0 і 181 відповідно. У першому випадку діелектрична проникність зростає на 1262 %, а в другому лише на 389 %. Таки чином, при вирішенні питань диференціації літологічного розрізу за діелектричною проникністю більш інформативною є відносно низькочастотна область електромагнітного поля, тобто при зменшенні частоти поля різниця між ϵ для різних осадових порід помітно зростає.

Електрофізичні та воднофізичні характеристики забруднених нафтопродуктами пісків, супісків і суглинків також наведені в таблиці. Концентрація нафтопродуктів змінюється від одиниць до сотень міліграм на грам сухого залишку. Ці результати також отримані в лабораторних умовах на зразках ґрунтів, відібраних з певних глибин у свердловинах, пробурених на відносно забруднених територіях. Кількість досліджених проб у цьому випадку дещо менша, ніж для чистих різновидів, але ступінь їх диференційованості досить значний, що дозволяє зробити однозначні висновки. Порівняльний аналіз даних таблиці дозволяє констатувати таке. Насичення пісків, супісків і суглинків дослідженого полігону вуглеводнями і продуктами їх розпаду зумовлює помітне зниження їх електроопору. Забруднені піски характеризуються середніми значеннями $\rho = 1816 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, супіски – $151 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, суглинки – $42,4$. Таким чином, при переході від чистих до забруднених ґрунтів зменшення електроопору пісків, супісків і суглинків дослідженої нами території становить відповідно 17,4; 42,4 та 21,6 %, що набагато менше, ніж при змінах літологічного складу цих осадових порід.

Помітне зростання діелектричної проникності при забрудненні вуглеводнями зафіксовано лише для супісків і суглинків: для перших ϵ_1 зростає на 30,4 %, ϵ_7 – на 31,1 %; для других на 32,0 і 4,4 % відповідно. Ці зміни абсолютних значень діелектричної проникності також є набагато меншими, ніж при варіаціях літології полігону "Святошин". Зменшення електроопору ґрунтів при забрудненні вуглеводнями і продуктами їх розпаду пов'язується з тим, що вуглеводні руйнують подвійний елек-

тричний шар і заміщують на поверхні твердої фази іони, які, у свою чергу, переходячи в розчин, зменшують його ρ і відповідно ρ насиченої цим флюїдом осадової породи [2; 3]. Зменшення електричного опору забруднених нафтопродуктами ґрунтів пов'язують також з руйнівною дією бактерій природної води, які розкладають молекули вуглеводнів, і в результаті хімічних реакцій утворюються кислоти та метали, що понижують електроопір флюїдів і порід.

Таким чином, основний характер електричного розрізу в межах перших 13 м полігону "Святошин" визначається особливостями літологічної будови цієї території, вологістю і ступенем забруднення нафтопродуктами ґрунтових горизонтів. Відхилення електричних параметрів ґрунтів, насичених вуглеводнями та продуктами їх розпаду від аналогічних характеристик чистих зразків може служити основою для застосування електрометричних методів при картуванні забруднених ділянок, у тому числі і при складній літологічній будові. Для проведення таких робіт (особливо в останньому випадку) необхідні попередні лабораторні дослідження електрофізичних і воднофізичних властивостей на зразках з польовою вологістю, створення літологоелектричних моделей району досліджень на опорних свердловинах, що дасть можливість оптимізувати вибір методик і параметри електророзвідувальних установок. Такого роду комплексний підхід дозволить зменшити неоднозначність в інтерпретації польової електрометрії при проведенні картувальних робіт на територіях, забруднених нафтопродуктами.

1. Пустозеров М.Г. Комплекс геофизических методов для изучения водородного загрязнения геологической среды // Геозкология. – М., 2001. – № 4. – С. 375–384.
2. Vanhala H., Soininen H., Kikkonen I. Detecting organic chemical contamination by spectral-induced polarization method on glacial till environment // Geophysics. – 1992. – Vol. 57. – P. 1014–1017.
3. Vanhala H. Mapping oil contaminated sand and till with spectral induced polarization (SIP) method // Geophys. Prosp. – 1997. – Vol. 45. – P. 303–326.
4. Задорожная Ю.В., Бессонов А.Д. Эффекты вызванной поляризации как показатель загрязнения грунтовых вод // Геология и геофизика. – Новосибирск, 2002. – Т. 43. – № 12. – С. 1124–1136.
5. Tezhan D., Gregorescu P. Detection of a hydrocarbon contaminated layer near the refinery Brazil/Romania by using EM techniques // Abstract 15-th Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth. – Cabo Frio, Brazil. – 2000. – P. 3.
6. Peztes M., Nikiforov I., Saraev A. Prospects of RMF boatborne survey using IPI-1000 Device when studying water contamination // Abstract 15-th Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth. – Cabo Frio, Brazil. – 2000. – P. 8.

Надійшла до редколегії 21.12.04