

вуться більш безпосередня схема, ніж в інших відомих способах відновлення дійсного руху об'єкта.

1. Аранович З.И., Василькович Е.В., Долгополов Д.В. Амплитудные характеристики сейсмографа при нестационарных сигналах и оценка погрешностей, связанных с применением амплитудных характеристик для стационарных гармонических колебаний // Вычислительная сейсмология. – Вып. 1. – М.: Наука, 1966. 2. Гласко В.Б. Обратные задачи математической физики. – М.: Изд. МГУ, 1984. – 112 с. 3. Егулов В.К., Егулов К.В., Лукаш Э.П. Практические методы расчета зданий на сейсмостойкость. – Киев: Будівельник, 1982. – 144 с. 4. Хургин Я.И., Яковлев В.П. Фinitные функции в физике и технике. – М.: Наука, 1971. – 408 с. 5. Бузавевский Г.Н. Проблемы сейсмостойкости и СНиП. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр., вып. 6. Симферополь, КАПКС, 2002, с. 29-32. 6. Бузавевский Г.Н. Экспериментальное изучение реакции сооружения на механическое воздействие. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр. – Вып. 9. Симферополь, КАПКС, 2005, с.44-51. 7. Бузавевский Г.Н., Белов В.П., Смертенко З.Я., Балашов А.В., Герасченко А.А. Стенд для испытаний и калибровки сейсмометрической аппаратуры // Доповіді науково-технічної конференції "Будівництво в сейсмічних районах України". – Ялта. – 1999. – С. 221–226. 8. Бузавевский Г.Н., Ковалев В.Я. Комплексная научная основа устойчивого функционирования и развития курортных зон. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр., вып. 10. Симферополь, КАПКС, 2005. 9. Бузавевский Г.Н., Литвинова Э.В. Проверка устойчивости алгоритма решения обратной задачи сейсмометрии по методу Линза // Строительство и техногенная безопасность. – КАПКС, Симферополь. – 2002. – Вып. 7. – С. 121–125. 10. Бузавевский Г.Н., Литвинова Э.В. Универсальный метод решения обратной

задачи сейсмометрии // Геофизический журнал. – Киев. – 2002. – № 1. – Т. 24. – С. 120–123. 11. Геофизические и физико-математические основы анализа сейсмостойкости и сейсмозащиты сооружений // Отчет о научно-исследовательской работе (госбюджетное финансирование). – Симферополь, 1999. – 72 с. 12. Государственные строительные нормы и правила // Строительство в сейсмических районах Украины. – Киев, 2004. 13. Литвинова Э.В. Инструментальный анализ задачи восстановления входного сигнала // Строительство и техногенная безопасность. – КАПКС, Симферополь. – 2003. – Вып. 8. – С. 75–77. 14. Литвинова Э.В. Математическое решение обратной задачи сейсмометрии // Доповіді науково-технічної конференції "Будівництво в сейсмічних районах України". – Ялта. – 1999. – С. 221–226. 15. Литвинова Э.В. Разработка обоснованной сейсмометрической методики анализа сейсмических записей // Строительство и техногенная безопасность. – КАПКС, Симферополь. – 2002. – Вып. 6. – С. 249–259. 16. Шульбаев А.Н. Алгоритмы решения обратной задачи сейсмометрии. Диссертация канд. физ.-мат. наук: 01.04.12. – Южно-Сахалинск, 1980. – 110 с. 17. Шульбаев А.Н. Восстановление входного сейсмического сигнала с помощью интегрального уравнения Вольтера // Сейсмичность и глубинное строение Сибири и Дальнего Востока. – Владивосток, 1976. – С. 151–161. 18. Шульбаев А.Н. Решение обратной задачи сейсмометрии с помощью интегральных уравнений Вольтера // Физика сейсмических волн и внутреннее строение Земли. – М.: Наука, 1983. – С. 27–37. 19. Linz P. Numerical methods for Volterra integral equations of the first kind // The comp. j. – 1969. – V. 12, №4. 20. Linz P. Product integration methods for Volterra integral equations of the first kind // BIT. – 1971. – B. 11, №3.

Надійшла до редколегії 23.01.07

УДК 550.83

С.І. Шепель, д-р геол. наук,

А.В. Сухорада, канд. геол.-мін. наук, М.В. Кравчук, інж.

ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ ТА ЇХ ЗВ'ЯЗОК З МАГНІТНОЮ СПРИЙНЯТЛИВІСТЮ

На основі статистичного аналізу електричних параметрів ґрунтів України встановлені особливості їх змін. Визначено характер кореляційних зв'язків електричних та магнітних параметрів ґрунтів.

Based on statistical analysis of electrical parameters of Ukrainian soils is definite peculiarity its change. The character of correlation connections between electrical and magnetic parameters was determined.

Вступ. При комплексних дослідженнях фізичних властивостей ґрунтів важливе значення набувають не тільки результати лабораторних досліджень конкретних характеристик певних типів ґрунтів, але й матеріали всебічних досліджень кореляційних залежностей, що дає можливість виконувати якісний аналіз природи їх змін, в залежності від природних факторів.

На даному етапі агрогеофізичних досліджень отримано певний фактичний матеріал по електричних та магнітних параметрах основних типів ґрунтів (почв) України. В роботі [2] встановлена наявність чіткої електричної диференціації генетичних горизонтів лучно-болотного ґрунту поліської зони Київської області. При переході від гумусного горизонту до глеєвого фіксується зменшення питомого електричного опору (ρ) приблизно на півтора порядки, що являється досить суттєвою величиною. Значних змін зазнає також діелектрична проникність (ϵ), виміряна на різних частотах електромагнітного поля. Для чорноземів Харківської області по результатах лабораторних вимірювань були побудовані педоелектричні та воднофізичні моделі ґрунтових розрізів по шурфах з різними потужностями гумусного горизонту [8]. Польова електрометрія цих чорноземів показала можливість її використання для визначення потужності гумусного горизонту, що може бути використано при моніторингу ерозії родючого шару. Суттєва різниця в значеннях питомого електричного опору, та відносної діелектричної проникності встановлена для основних типів ґрунтів (почв) України [7]. Різниця між екстремальними значеннями як ρ так і ϵ складає декілька порядків, що дає можливість рекомендувати польову електрометрію в якості експресного методу при картуванні ґрунтів. Виділено групи низькоомних (чорноземів),

середньоомних (лугові, лісові) та високоомних (дерново-підзолисті, лучно-болотні) ґрунтів України. Встановлена помітна географічна зональність електрофізичних параметрів досліджених ґрунтів. З півночі на південь зменшується електроопір та збільшується діелектрична проникність. Відмічено значну диференційованість педоелектричних характеристик вздовж вертикального профілю. Для всіх типів ґрунтів досить чітко виділяється гумусний горизонт, що найбільш помітно проявляється для високоомних утворень. В роботі [6] наведені результати польової електрометрії ґрунтів різних регіонів України, що виявили успішність використання даного методу при вирішенні задач агрогеофізики. Результати досліджень магнітних параметрів ґрунтів України приведені в роботах [3–5]. Виявлено зростання з півночі на південь магнітної сприйнятливості, природної залишкової намагніченості та зменшення фактора Кенігсберга.

Аналіз гістограм та статистичних оцінок розподілу. Статистичний аналіз результатів лабораторних вимірювань електричних параметрів ґрунтів дав можливість виявити деякі особливості в розподілі фізичних характеристик ґрунтів України. Пункти відбору ґрунтів та їх опис приведений в роботах [2, 6–8]. По результатах вимірювань комплексу електрофізичних та воднофізичних властивостей, а також магнітної сприйнятливості побудовані гістограми (110) для дерново-підзолистого, сірого лісового, лугового та чорноземного ґрунтів при польовій і максимальньо-гігроскопічній вологості. В якості прикладу на рис. 1,2 показані гістограми розподілу, а в таблиці 1 статистичні оцінки розподілу фізичних параметрів. Аналіз гістограм дав можливість зробити наступні висновки.

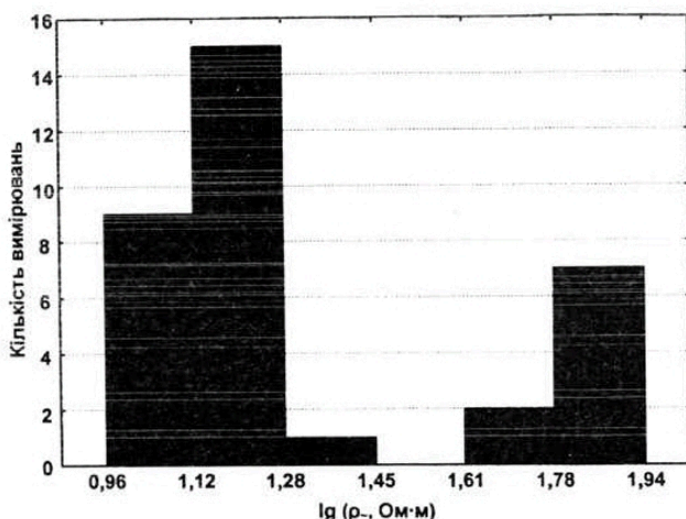


Рис. 1. Гістограма розподілу логарифму електричного опору (змінний струм, польова вологість) чорноземів гумусного горизонту

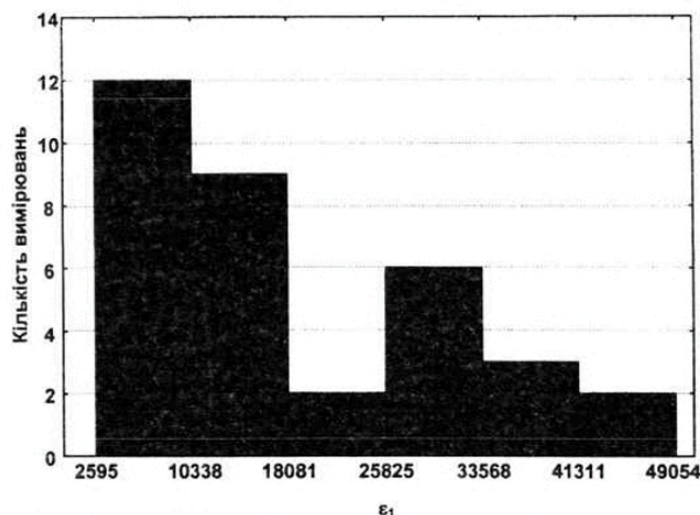


Рис. 2. Гістограма розподілу діелектричної проникності (1 кГц, польова вологість) чорноземів гумусного горизонту

Таблиця 1. Статистичні оцінки розподілу фізичних параметрів

Статистична оцінка	W, %	lg(ρ-, Ом*м)	ε ₁	lg(ρ-, Ом*м)	ε ₁	МГ, %	lg(ρ-, Ом*м)	ε ₁	lg(ρ-, Ом*м)	ε ₁	Хлітома (х*10 ⁹ М ³ /кг)
Чорноземи (весь розріз)											
кількість зразків	64	64	64	64	64	64	55	55	55	55	61
сер. значення	14,7	1,33	360	1,32	19121	5,18	2,26	130	1,92	12536	483
макс. значення	20,8	1,94	750	1,94	49054	9,54	3,02	296	2,98	38092	3279
мін. значення	2,76	0,93	94,9	0,87	2102	1,31	1,83	16,5	1,32	80,1	114
коэф. варіацій	24,6	22,6	47,4	23,1	66,7	30,3	12,0	51,3	23,1	85,3	89,9
стандартне відхилення	3,61	0,30	171	0,30	12762	1,57	0,27	66,9	0,44	10691	434
ексцес	2,34	-0,79	-0,71	-0,80	-0,57	0,94	0,68	-0,59	-0,29	-0,32	28,7
асиметрія	-1,32	0,86	-0,02	0,83	0,49	-0,18	0,96	0,17	0,85	0,70	4,36
Чорноземи (гумусний горизонт)											
Кіл. зразків	34	34	34	34	34	34	28	28	28	28	32
сер. значення	16,2	1,34	351	1,33	18169	5,01	2,33	104	2,09	7353	622
макс. значення	20,8	1,94	715	1,94	49054	6,73	3,02	165	2,98	16121	866
мін. значення	11,0	0,96	101	0,96	2595	2,54	1,83	16,5	1,58	80,1	387
коэф. варіацій	15,0	22,0	46,3	22,2	71,5	27,4	13,9	45,8	22,0	78,6	27,4
стандартне відхилення	2,42	0,29	163	0,30	12996	1,37	0,32	47,7	0,46	5780	170
ексцес	-0,46	-0,69	-0,75	-0,71	-0,65	-0,86	-0,36	-1,23	-1,00	-1,54	-1,59
асиметрія	-0,40	0,84	0,01	0,82	0,60	-0,83	0,54	-0,51	0,73	0,04	-0,01

Закінчення табл. 1

Статистична оцінка	W, %	Ig (ρ _г , Ом*м)	ε _г	Ig (ρ _г , Ом*м)	ε _г	МГ, %	Ig (ρ _г , Ом*м)	ε _г	Ig (ρ _г , Ом*м)	ε _г	Хлітома (γ*10 ⁻³ М/кг)
Лугові ґрунти (весь розріз)											
кіль. зразків	34	34	34	34	34	24	24	24	24	24	32
сер. значення	13,2	1,82	133	1,72	3815	2,98	2,63	72,7	2,41	1022	82,5
макс. значення	17,2	2,57	269	2,39	7539	4,57	4,35	305	4,32	3097	254
мін. значення	8,87	1,42	38,7	1,38	21,7	1,62	2,06	16,5	1,68	57,9	4,71
коэф. варіацій	21,9	19,5	50,1	15,9	50,3	32,0	23,5	82,5	30,2	85,5	80,2
стандартне відхилення	2,88	0,35	66,8	0,27	1918	0,96	0,62	60,0	0,73	873	66,2
ексцес	-1,60	-0,59	-0,50	0,37	-0,04	-1,52	2,34	9,52	1,29	-0,09	0,96
асиметрія	0,13	0,79	0,45	0,90	-0,14	0,10	1,52	2,37	1,17	0,85	1,13
Дерново-підзолисті ґрунти (весь розріз)											
кількість зразків	98	107	107	107	107	103	100	100	99	100	104
сер. значення	6,59	2,55	94,7	2,41	4301	1,46	3,44	52,7	3,40	6562	112
макс. значення	23,4	3,66	743	3,50	62336	4,66	6,76	265	6,35	67870	473
мін. значення	0,37	1,72	17,1	1,44	23,7	0,49	1,45	10,8	1,92	18,0	-8,24
коэф. варіацій	64,9	16,2	134	19,7	248	45,6	31,1	95,7	31,2	218	60,8
стандартне відхилення	4,28	0,41	127	0,48	10666	0,67	1,07	50,4	1,06	14277	68,3
ексцес	1,50	-0,21	11,2	-0,48	16,4	5,58	-0,33	5,68	-0,74	6,49	6,11
асиметрія	0,88	0,37	3,13	-0,02	3,95	1,77	0,57	2,27	0,44	2,58	1,38
Дерново-підзолисті ґрунти (гумусний горизонт)											
кількість зразків	32	35	35	35	35	34	33	33	32	33	31
сер. значення	6,35	2,70	63,3	2,60	1596	1,38	4,40	27,0	4,33	179	143
макс. значення	14,4	3,53	270	3,50	7282	2,18	6,76	89,2	6,35	1345	473
мін. значення	1,20	1,89	28,4	1,44	111	0,65	2,31	10,8	2,06	18	17
коэф. варіацій	57,5	15,4	96,3	20,0	113	34,5	22,4	63,0	22,9	174	52,7
стандартне відхилення	3,65	0,41	60,9	0,52	1810	0,48	0,99	17,0	0,99	312	75,3
ексцес	-0,61	-0,58	7,18	0,04	5,74	-1,30	0,50	6,74	0,47	7,03	12,3
асиметрія	0,24	0,09	2,61	-0,42	2,31	-0,14	-0,24	2,38	-0,58	2,43	2,57
Сірі-лісові ґрунти (весь розріз)											
кількість зразків	23	29	29	29	29	23	18	18	18	18	23
сер. значення	12,7	1,71	307	1,41	14596	4,42	2,30	148	2,12	6858	291
макс. значення	19,8	2,93	583	1,86	50475	6,80	2,93	281	2,92	20348	739
мін. значення	1,90	1,13	123	1,00	2213	2,47	1,75	65,6	1,33	282	149
коэф. варіацій	35,1	22,2	44,8	18,7	88,9	29,5	16,8	48,3	25,0	105	40,6
стандартне відхилення	4,44	0,38	138	0,26	12968	1,30	0,39	71,4	0,53	7205	118
ексцес	0,13	2,34	-1,09	-1,35	2,09	-0,56	-1,38	-1,10	-1,55	-0,91	9,42
асиметрія	-0,50	0,74	0,38	0,16	1,43	0,26	0,12	0,53	-0,04	0,63	2,35
Сірі-лісові ґрунти (гумусний горизонт)											
Кіль. зразків	15	19	19	19	19	15	8	8	8	8	18
сер. значення	13,0	1,67	252	1,49	12729	4,59	2,66	88,7	2,61	1081	296
макс. значення	19,8	2,93	464	1,86	50475	6,80	2,93	113	2,92	2382	739
мін. значення	1,90	1,13	123	1,12	2213	2,47	2,41	65,6	2,32	282	149
коэф. варіацій	41,5	27,7	40,6	16,3	112	34,5	7,22	15,9	8,40	69,3	45,1
стандартне відхилення	5,38	0,46	102	0,24	14241	1,58	0,19	14,1	0,22	749	134
ексцес	-0,57	1,43	-0,69	-1,47	3,90	-1,41	-1,46	0,74	-1,40	-0,62	7,06
асиметрія	-0,56	0,89	0,59	-0,04	1,85	-0,05	-0,03	0,06	-0,01	0,51	1,99

Основна кількість значень ρ (приблизно 85% всіх зразків) дерново-підзолистого ґрунту по всьому ґрунтовому профілю при польовій вологості (W) змінюється в межах 1,4 порядку (змінний струм), 1,6 порядку (постійний струм), а при максимальній гігроскопічній (МГ) вологості відповідно – 3,5 і 4,0 порядку. Гумусний горизонт дерново-підзолистого ґрунту описується змінами ρ в інтервалі 1,4 порядку при польовій вологості (змінний і постійний струм) та 2,5 порядку (змінний струм), 3,0 порядку (постійний) при МГ-вологості. Таким чином, при переході від МГ до польової вологості, тобто зі збільшенням вологості дерново-підзолистого ґрунту суттєво зменшується його диференційованість по величині питомого електричного опору. Діелектрична проникність, навпаки, характеризується більшою диференційованістю при польовій вологості і в порівняно низькочастотній області електромагнітного поля. Так, для гумусного горизонту основна кількість значень ϵ_7 (700 кГц) змінюється від 20 до 100 одиниць, ϵ_1 (1 кГц) – в межах 40-3000 для польової вологості, і відповідно 10-40 та 30-600 при максимальній гігроскопічній воло-

сті. Тобто при збільшенні ступеню зволоженості дерново-підзолистого ґрунту диференційованість діелектричної проникності збільшується. Середнє значення логарифма електричного опору гумусного горизонту дерново-підзолистого ґрунту складає 2,70 (постійний струм), 2,60 (змінний струм) при польовій вологості і відповідно 4,40 і 4,33 при МГ-вологості. Середнє значення діелектричної проникності на частоті 700 кГц дорівнює 63,2 (W) і 27,03 (МГ), а при 1 кГц відповідно 1596 і 179.

По електрофізичних і воднофізичних характеристиках чорноземів досить чітко виділяються дві групи: типові чорноземи Харківської області і опідзолені чорноземи Київської області. Перші характеризуються підвищеними значеннями електричного опору та пониженими значеннями діелектричної проникності. Більш надійно ці два типи ґрунтів розділяються по ρ , ϵ , МГ, W гумусного горизонту. Середнє значення питомого електричного опору гумусного горизонту чорнозему опідзоленого перевищує аналогічний параметр чорнозему типового приблизно на 0,7 порядки (польова вологість) і 1,1 порядки (МГ-вологість). Діелектрична проникність

також є параметром, по якому досить чітко розділяються чорноземи типові та чорноземи опідзолені. Перші з них описуються суттєво більшими значеннями ϵ , вимірними в різних діапазонах частот електромагнітного поля. При польовій вологості різниця між ϵ_7 цих двох типів чорноземів складає 207%, ϵ_1 – 220%, при максимальній гігроскопічній вологості відповідно 238 і 970%. Така диференціація обумовлена різними величинами як МГ, так і польової вологості. Для чорноземів опідзолених МГ-вологість гумусного горизонту змінюється в межах 2,54-3,59%, польова вологість – 11-14,3%, а чорноземи типові характеризуються відповідно 4,63-6,73% та 15,9-20,8%. По магнітній сприйнятливості ці два типи чорноземів диференціюються як по всьому генетичному профілю, так і тільки по гумусному горизонту. Отже процес опідзолення чорноземів обумовлює збільшення ρ та зменшення ϵ і χ .

Встановлено менший інтервал змін ρ при польовій вологості порівняно зі значеннями цього параметру при максимальній гігроскопічній вологості. В першому випадку різниця між екстремальними значеннями ρ складає приблизно один порядок, а в другому 1,2-1,6 порядки. Отже, при збільшенні вологості чорноземів, тобто при переході від МГ до W ступінь електричної диференціації чорноземів по електроопору зменшується, що в принципі аналогічно дерново-підзолистому ґрунту. Середнє значення I_{gr} гумусного горизонту чорнозему дорівнює 1,34, I_{gr} дорівнює 1,33 при польовій вологості, а при МГ-вологісті відповідно 2,33 і 2,09. Середні значення діелектричної проникності на частоті 700 кГц дорівнюють 351,5 (W) і 104,3 (МГ), а при частоті електромагнітного поля 1 кГц відповідно 18169 і 7352.

Сірі лісові та лугові ґрунти по електрофізичних параметрах займають проміжне положення між найбільш високоомними з мінімальною діелектричною проникністю дерново-підзолистими ґрунтами та найменш високоомними з максимальною ϵ чорноземами.

Аналіз гістограм розподілу дав можливість встановити, що електроопір переважно розподіляється за логнормальним законом, а діелектрична проникність за експоненціальним і частково логнормальним. В деяких випадках не встановлено чіткого характеру розподілу фізичних параметрів. Магнітна сприйнятливість має переважно логнормальний і експоненціальний характер розподілу. Асиметрія логарифму ρ змінюється від -0,42 до 0,90 при польовій вологості та від -0,58 до 1,52 при МГ-вологісті. Асиметрія діелектричної проникності змінюється в межах -0,58 до 5,46 (W) і від -0,51 до 3,89 (МГ), що дещо пере-

вищує аналогічну характеристику електричного опору. Коефіцієнт варіації I_{gr} як при W так і при МГ не перевищує 20-35% для всіх типів ґрунтів і дещо збільшується (до 40 %) для всієї сукупності зразків. Такі значення коефіцієнтів варіації електричного опору свідчать про достатню стабільність цього фізичного параметру ґрунтів. Коефіцієнти варіації діелектричної проникності в основному в 2-3 рази перевищують аналогічний параметр електричного опору, що свідчить про більшу варіабельність ϵ порівняно з ρ . Причому у всіх випадках ця характеристика високочастотної діелектричної проникності (ϵ_7) менша ніж для ϵ_1 . Найбільш неоднорідними по діелектричній проникності являються дерново-підзолисті ґрунти, для яких зафіксоване максимальне значення коефіцієнта варіації (248). Встановлені по коефіцієнту варіації закономірності підтверджуються також значеннями стандартного відхилення (табл. 1).

Таким чином, статистична обробка результатів лабораторних вимірювань електричних параметрів основних типів ґрунтів України (дерново-підзолисті, лугові, сірі лісові, чорноземи) підтверджує їх суттєву електричну диференційованість. Різниця в значеннях електроопору між дерново-підзолистими ґрунтами і чорноземами складає 1,3-1,4 порядки при польовій вологості і суттєво зростає при максимальній гігроскопічній вологості (2,1-2,2 порядки). Отже при картуванні ґрунтів може бути з успіхом використана електрометрія як ефективний та експресний метод їх кадастрової оцінки.

Кореляційні зв'язки електричних та магнітних параметрів. Розуміння природи змін фізичних властивостей ґрунтів в залежності від їх складу, будови, генетичних особливостей горизонтів вимагає також детального дослідження кореляційних взаємозалежностей між цими параметрами. На прикладі вивчених ґрунтів України були проаналізовані кореляційні зв'язки між питомим електричним опором, відносною діелектричною проникністю, магнітною сприйнятливістю для зразків, відібраних з гумусних горизонтів чорнозему, дерново-підзолистого та сірого лісового ґрунтів. Розраховані коефіцієнти кореляцій (r), а також коефіцієнти a , b , m , n в лінійних рівняннях регресії ($y=ax+b$) та степеневих рівняннях ($y=m \cdot x^n$). Результати представлені в таблиці 2 та на рис. 3-5. В цій таблиці приведені також кількість зразків (n), та критерій Романовського ($k=|r|(n-1)/2$). Останній параметр дає можливість визначити достовірність отриманих кореляційних взаємозалежностей, які вважаються достатньо достовірними при $k>3$.

Таблиця 2. Коефіцієнти a , b рівнянь лінійної і m , n степеневі регресії та коефіцієнти кореляції r

Коефіцієнти	$I_{gr} \rho = F(\chi), W$	$I_{gr} \rho = F(\chi), МГ$	$\epsilon_7 = F(\chi), W$	$\epsilon_1 = F(\chi), W$	$I_{gr} \rho = F(\epsilon_7), W$	$I_{gr} \rho = F(\epsilon_1), W$
лінійна						
Гумусний горизонт, всі зразки						
N	112	97	109	112	109	124
a	0,0005	-0,001	0,25		-0,002	-2,00E-05
b	1,66	2,66	195,66		1,903	1,59
r	-0,57	-0,66	0,45	0,18	-0,93	-0,72
k	6,0	6,47	4,68	1,9	9,7	7,98
степенева						
m	6,48	12,08	4,39	81,64	11,52	9,31
n	-0,25	-0,28	0,67	0,8	-0,38	-0,21
r	-0,66	-0,75	0,67	0,49	-0,99	-0,86
k	6,95	7,35	6,96	5,16	10,3	9,54
лінійна						
Чорноземи, гумусний горизонт						
N	32	28	32	32	33	33
a	-0,0012	-0,002	0,56	26,39	-0,0017	-2,00E-05
b	2,1148	3,2112	12,79	2429,2	1,94	1,64
r	-0,71	-0,71	0,58	0,34	-0,94	-0,73
k	3,95	3,68	3,23	1,89	5,32	4,13

Закінчення табл. 2

Коефіцієнти	$\lg \rho = F(\chi), W$	$\lg \rho = F(\chi), MГ$	$\epsilon_7 = F(\chi), W$	$\epsilon_7 = F(\chi), W$	$\lg \rho = F(\epsilon_7), W$	$\lg \rho = F(\epsilon_7), W$
ступенева						
m	43,73	66,08	0,044	0,33	10,715	10,55
n	-0,55	-0,55	1,39	1,66	-0,37	-0,22
r	-0,75	-0,75	0,7	0,56	-0,99	-0,88
k	4,18	3,9	3,9	3,12	5,6	4,98
лінійна	Дерново-підзолистий, гумусний горизонт					
N	26	26	26	26	35	35
a	-0,0017	-0,011	0,043	4,60	-0,0059	-0,0002
b	2,80	5,96	45,7	669	2,9758	2,9565
r	-0,2	-0,82	0,13	0,30	-0,69	-0,78
k	1,0	4,1	0,65	1,5	4,02	4,55
ступенева						
m	3,86	10,2	25,3	21,7	8,2819	9,9621
n	-0,086	-0,17	0,14	0,93	-0,301	-0,1962
r	-0,31	-0,69	0,27	0,67	-0,78	-0,81
k	1,55	3,45	1,35	3,35	4,55	4,72

Аналіз отриманих матеріалів дає можливість зробити висновок про існування певних взаємозалежностей між ρ , ϵ , χ зразків гумусних горизонтів чорнозему, дерново-підзолистого та сірого лісового ґрунтів. Найбільш тісні залежності зафіксовані між електроопором та діелектричною проникністю (рис. 3, табл. 2). В обернено-пропорційних залежностях між цими електричними характеристиками коефіцієнти кореляції змінюються від $-0,51$ до $-0,99$. В переважній більшості випадків більш високого значення r встановлені для зв'язків між $\lg \rho$ та більш висо-

кочастотною діелектричною проникністю (ϵ_7) порівняно з $\lg \rho = F(\epsilon_7)$, а також для ступеневих залежностей порівняно з лінійними. В ряду дерново-підзолистий ґрунт – чорнозем, тобто при переході з півночі на південь, в лінійних рівняннях регресії збільшується коефіцієнт a ($-0,0059$; $-0,0023$; $-0,0017$) та зменшуються коефіцієнти b ($2,98$; $2,05$; $1,94$) для залежності $\lg \rho = F(\epsilon_7)$. Така ж тенденція намічається і для зв'язку електроопору з низькочастотною діелектричною проникністю.

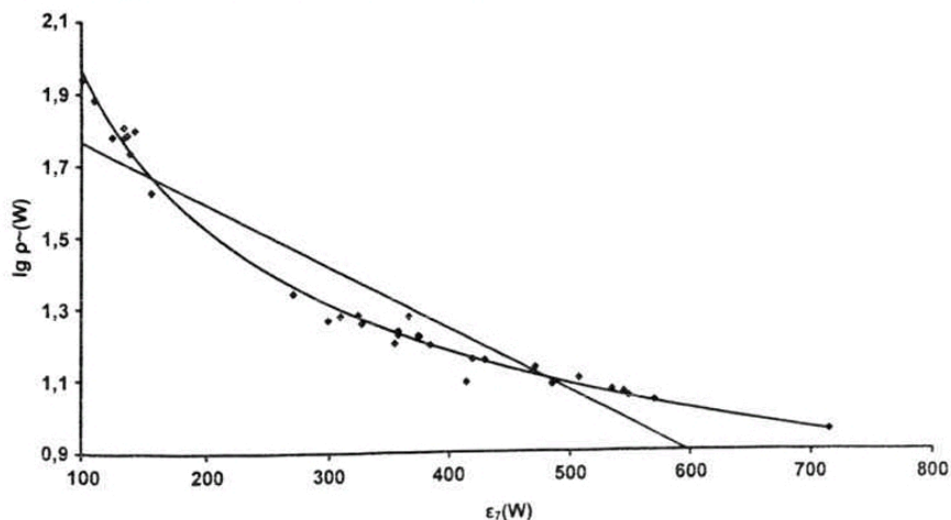


Рис. 3. Залежність $\lg \rho$ від ϵ_7 гумусного горизонту чорноземів при польовій вологості (ступенева та лінійна апроксимації)

Фізична природа тісної обернено-пропорційної залежності між питомим електричним опором та відносною діелектричною проникністю ґрунтів обумовлена наступним. Теоретично показано [1], що поляризація діелектриків веде до зменшення енергії кристалічної решітки і енергія, яка необхідна для переміщення струмоносіїв суттєво зменшується. Виграш енергії, обумовлений поляризацією решітки біля вакансії та міжвузлового іону, визначається виразом:

$$W = q / 2R(1 - 1/\epsilon),$$

де q – заряд, R – радіус аніону або катіону. Таким чином, чим більша діелектрична проникність, тим менша енергія активації струмоносіїв і менший електроопір. Збільшення діелектричної проникності за рахунок збільшення поляризації зразків приводить до зменшення енергії кристалічної решітки і відповідно до зменшення сили зв'язку струмоутворюючих іонів. Зразки з більшою

поляризацією характеризуються більшим числом легко рухомих іонів, що приймають участь у формуванні електропровідності, що в кінцевому результаті понижують величину питомого електричного опору.

Був проаналізований також характер взаємозалежностей між електричними (питомий електричний опір, відносна діелектрична проникність) параметрами ґрунтів та їх магнітною сприйнятливістю (табл. 2, рис. 4, 5). Для гумусного горизонту всіх типів досліджених ґрунтів встановлена досить однозначна обернено-пропорційна залежність між логарифмами питомого електричного опору, виміряного при польовій та максимальній гігроскопічній вологості, та магнітною сприйнятливістю. При збільшенні $\lg \rho$ досить надійно фіксується зменшення χ . Збільшення електроопору в межах $1,0 - 1,5$ порядку пов'язані зі змінами магнітної сприйнятливості приблизно від 1200 до 200 кг/м^3 (всі зразки).

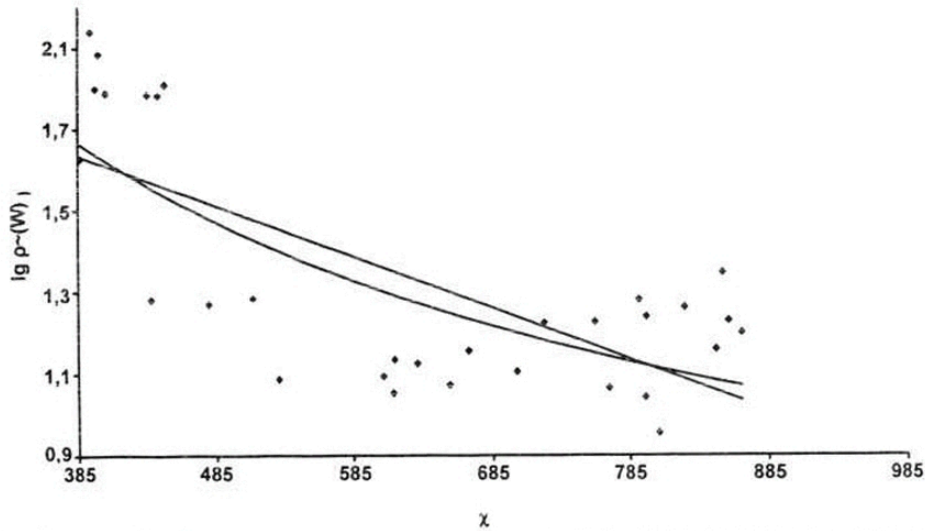


Рис. 4. Залежність $\lg \rho$ від χ гумусного горизонту чорноземів (степенева та лінійна апроксимації)

Досить високі коефіцієнти кореляції для залежностей $\lg \rho = F(\chi)$ дали можливість розрахувати рівняння регресії по лінійних та степеневих залежностях. Коефіцієнти кореляції для лінійних залежностей рівняються -0,57 (всі зразки, W), -0,71 (чорноземи, W), -0,66, -0,71 (МГ), а для степеневих -0,66, -0,75 (W), -0,75, -0,75 (МГ). Таким чином, більш тісні взаємозалежності між питомим електричним опором та магнітною сприйнятливістю фіксуються для степеневих рівнянь.

Виділяються два інтервали χ , в яких електроопір змінюється з різними градієнтами. В початковому інтервалі магнітної сприйнятливості (200 – 530 для всіх зразків, $380 - 530 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$ для чорнозему) ρ зменшується з більшим градієнтом ніж при більш високих значеннях χ . В другому інтервалі χ зв'язок між електроопором, вимірюваним на зразках з польовою вологістю, та магнітною

сприйнятливістю практично відсутній. При МГ-вологості обернено пропорційний зв'язок ρ і χ зберігається. Обернено-пропорційний характер взаємозалежності між електроопором і магнітною сприйнятливістю, вірогідно, обумовлений впливом гумусної компоненти в складі ґрунтів, збільшення якої приводить до зменшення ρ і зростання χ , формуючи таким чином встановлений вид зв'язку між цими параметрами.

Відносна діелектрична проникність зразків гумусного горизонту всієї дослідженої колекції ґрунтів і чорнозему також досить тісно пов'язана з їх магнітною сприйнятливістю. Як видно з рис. 5 та таблиці 2 фіксується пряма пропорційна залежність між ϵ_7 і χ . Зі збільшенням діелектричної проникності ґрунтів відмічається ріст магнітної сприйнятливості. Однак, коефіцієнти кореляції в рівняннях $\epsilon = F(\chi)$ помітно менші ніж для $\lg \rho = F(\chi)$ (табл. 2).

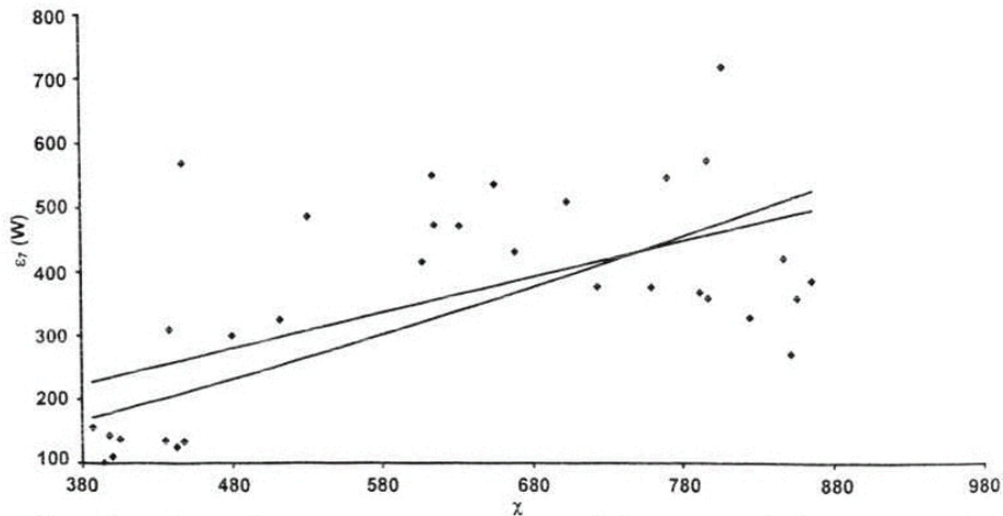


Рис. 5. Залежність ϵ_7 від χ гумусного горизонту чорноземів (степенева та лінійна апроксимації)

Таким чином, більш тісний зв'язок встановлюється між питомим електричним опором і магнітною сприйнятливістю, ніж між діелектричною проникністю і χ . Сила зв'язку між ϵ та χ залежить також від частоти електромагнітного поля при якій виконувалось вимірювання даного електричного параметру: в більш високочастотній області вимірювання ϵ цей зв'язок помі-

тно тісніший, про що свідчать підвищені значення коефіцієнтів кореляції для залежностей $\epsilon_7 = F(\chi)$ порівняно з $\epsilon_1 = F(\chi)$. Як і для рівнянь електричного опору в залежності від магнітної сприйнятливості, так і для рівнянь ϵ в залежності від χ , більш тісний зв'язок виявлено для степеневих рівнянь порівняно з лінійними регресіями.

Дерново-підзолистий ґрунт описується, в основному, меншими коефіцієнтами кореляції в залежностях між електричними параметрами і магнітною сприйнятливістю порівняно з чорноземами, що свідчить про його більшу неоднорідність. З другого боку перший тип ґрунту є менш магнітним і характеризується меншим діапазоном змін χ (до $250 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$) порівняно з чорноземами і недостатньо значний діапазон варіації магнітної сприйнятливості обумовлює зниження коефіцієнтів кореляції і відносно сили взаємозв'язків між ρ , ϵ та χ . Принциповий характер взаємозв'язків між даними параметрами дерново-підзолистого ґрунту зберігається і є достатньо достовірним (табл. 2).

Найменш достовірними є зв'язки даних характеристик у сірого лісового ґрунту, що може бути пов'язано з недостатньою кількістю (17) досліджених зразків. Коефіцієнти кореляції залежностей $\lg \rho$, $\epsilon = F(\chi)$, для даного типу ґрунту складають лише 0,23-0,27, а критерії Романовського 0,92-1,08 і тому ці дані не приведені в табл. 2. В цьому випадку можна говорити про наявність тенденції обернено-пропорційної залежності між ρ та χ , та прямопропорційної між ϵ та χ .

Висновки. В результаті проведених робіт встановлена суттєва електрична диференційованість основних типів ґрунтів (почв) України. Найбільш високоомними з мінімальною діелектричною проникністю виявились дерново-підзолисті ґрунти, що мають переважне поширення на півночі України. Чорноземи, які поширені переважно в південних районах України, характеризуються мінімальними значеннями ρ і максимальними ϵ . Проміжне положення по електрофізичних параметрах займають сірі лісові ґрунти, що поширені переважно в лісостеповій зоні, а також лугові. Різниця між середніми значеннями електроопору основних типів ґрунтів (почв) України складає порядки (сотні і тисячі процентів), що дає можливість прогнозувати велику ефективність електрометрії при картуванні ґрунтів. Це є особ-

ливо актуальним в нинішній період для кадастрової оцінки ґрунтів України.

Аналіз гістограм розподілу дав можливість встановити, що електроопір переважно розподіляється за логнормальним законом, а діелектрична проникність за експоненціальним і частково логнормальним. В деяких випадках не встановлено чіткого характеру розподілу досліджених параметрів. Магнітна сприйнятливість має переважно логнормальний і експоненціальний характер розподілу. Встановлена наявність певних взаємозалежностей між ρ , ϵ та χ зразків гумусних горизонтів чорнозему, дерново-підзолистого та сірого лісового ґрунтів. Так, пряма пропорційна залежність надійно зафіксована між діелектричною проникністю і магнітною сприйнятливістю всіх зразків гумусного горизонту, гумусного горизонту чорноземів та дерново-підзолистого ґрунтів. Зі збільшенням ρ спостерігається зменшення χ і при польовій і при максимальній гігроскопічній вологості, що свідчить про наявність обернено-пропорційної залежності. Також обернено пропорційна залежність з високими коефіцієнтами кореляції фіксується для логарифму електричного опору та діелектричної проникності.

1. Лидьярд А. Ионная проводимость кристаллов // М.; ИЛ. – 1962. – 222 с.
2. Шель С.І., Сухорада А.В., Тютюнник Д.А. Про педофізичні особливості деяких зональних і пдроморфних ґрунтів України // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2001. – Вип. 19. – С.65-69.
3. Сухорада А.В., Круалов О.В. Родючість ґрунтів як предмет агрогеофізичних досліджень // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2004. – Вип. 29-30. – С.76-79.
4. Сухорада А.В., Круалов О.В. Системні дослідження магнітних властивостей орного шару деяких ґрунтів Лівобережжя України // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2005. – Вип. 34. – С.45-49.
5. Сухорада А.В., Тямна К.М. До питання про магнітні властивості ґрунтів України // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2003. – Вип. 26. – С.31-36.
6. Шель С.І., Рева М.В., Онищук І.І., Сухорада А.В. Електрометрія ґрунтів України // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2003. – Вип. 26. – С.36-39.
7. Шель С.І., Сухорада А.В. Про електричні властивості деяких ґрунтів України // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2003. – Вип. 26. – С.40-43.
8. Шель С.І., Сухорада А.В., Шель А.С., Електрометрія чорноземів Харківської області // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2002. – Вип. 23-24. – С.30-32.

Надійшла до редколегії 12.02.07

УДК 551.3:550.83

І.І. Онищук, канд. геол. наук

ЕКОГЕОФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ НАФТОПРОДУКТАМИ

Розглядаються особливості методики геофізичних досліджень при вивченні техногенного забруднення довкілля нафтопродуктами. Наведені геоелектричні параметри порід верхньої частини розрізу та їх зв'язок з формуванням забруднення нафтопродуктами.

Method of geophysical investigations of man-caused mineral oil' pollutions is considered in this paper. As well top-profile rocks' properties and their connection with mineral oil pollutions' forming are given.

Вступ. Вплив різних техногенних факторів спричинений господарською діяльністю людини досить часто приводить до забруднення та глибоких техногенних змін геологічного середовища, розвитку несприятливих та небезпечних інженерно-геологічних процесів і явищ. Техногенна дія на геологічне середовище різноманітна за своєю природою. При цьому техногенні зміни геологічного середовища досить часто викликають відповідні зміни існуючих природних геофізичних і геохімічних полів (фізичне та хімічне забруднення).

Широке використання нафтопродуктів в господарській діяльності, недоліки в технології їх видобування, переробки, зберігання та транспортування, а також аварії на об'єктах паливно-енергетичного комплексу, призводять до забруднення ними геологічного середовища. В залежності від кількості нафтопродуктів, які потрапили в довкілля, особливостей геолого-гідрогеологічної будови верхньої частини розрізу (ВЧР), вони можуть забруднювати ґрунти, породи, підземні та поверхневі води, або навіть утворювати "вторинні родовища". Типовим прикладом такого родовища є нафтове

забруднення в районі заводу "Фергананафтаоргсинтез" в Узбекистані, де на поверхні ґрунтових вод "плаває" більше мільйона тон нафтопродуктів. Площа забруднення складає 10 км², а товщина шару нафтопродуктів – до 2 м. Подібна ситуація спостерігається в довкіллі деяких техногенних об'єктів України (нафтопереробні заводи, військові аеродроми, крупні нафтобази) [1].

При геоекологічних дослідженнях об'єктом вивчення є верхня частина геологічного розрізу (ВЧР) – середовище, яке має особливу структуру, речовинно-літологічний склад, петрофізичні і водно-фізичні особливості. Тому комплексні екогеофізичні дослідження мають специфічні особливості методики польових вимірювань та камеральної обробки геофізичних матеріалів, основними ознаками, яких є широке застосування мікроустановок, нових геофізичних методів, статистичних способів обробки інформації та тісного узгодження даних різних методів досліджень [2-5].

Як показує досвід геоекологічних досліджень, вирішальний вплив на формування і розповсюдження нафтового забруднення мають особливості геолого-