

УДК 504.064.38+626.8

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.121.32>

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ТА АГРОГІДРОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ

Чушкіна І.В. – к.т.н.,

старший викладач кафедри цивільної інженерії,
технологій будівництва і захисту довкілля,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Макимова Н.М. – к.т.н.,

доцент кафедри екології та економіки довкілля,
Товариство з обмеженою відповідальністю
«Технічний університет “Метінвест Політехніка”»

Орлінська О.В. – д.геол.н.,

професор кафедри цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Коваленко В.В. – к.с.-г.н., доцент, доцент кафедри водогосподарської інженерії,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Мета роботи - дослідження залежності між агрогідрологічними та електрофізичними властивостями ґрунтів та оцінювання можливості їх застосування в якості підґрунтя експрес-діагностики сільськогосподарських угідь.

Методика дослідження полягає у застосуванні методів вимірювання агрогідрологічних та електрофізичних властивостей ґрунтів. За допомогою двоелектродної установки встановлювали електричний опір проб ґрунту за раніше визначеними вологістю і температурою. Вологість визначали термостатно-ваговим методом. Якість зрошувальної води оцінювали за вимогами національного стандарту України ДСТУ 2730:2015 «Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії».

Результати дослідження. Виконано дослідження залежності електрофізичних властивостей ґрунту від його агрогідрологічних властивостей. Унаслідок проведення експериментального дослідження отримано залежність від температури, вологості та концентрації добрив електричного опору проб ґрунтів, відібраних у Магдалинівському районі Дніпропетровської області. Встановлено, що для всіх залежностей характерною областю зміни електричного опору є зона зі значеннями 2-4 МОм.м, яка відповідає найсприятливішим умовам для розвитку рослин, а саме температурі ґрунту + 27-33°C, вологості 17-22%, концентрації добрив $N_{15}P_{15}K_{15} - 0,445-0,545\text{г/дм}^3$. Показано принципову можливість застосування цього методу для експрес-визначення вологості і засоленості ґрунтів. Виявлена можливість подальшого застосування двоелектродної установки задля експрес-виявлення додаткових точок спостереження під час діагностування технічного стану гідротехнічних споруд сільськогосподарського призначення комплексом геофізичних методів природного електромагнітного поля Землі та вертикального електричного зондування за умови відсутності попереднього поливу родючих ґрунтів сільськогосподарських угідь вологістю до 20%.

Наукова новизна. Установлено діапазон вологості і температури ґрунтового покриву, який обмежує можливість застосування експрес-контролю вологості ґрунтів сільськогосподарського призначення за допомогою двоелектродної установки.

Практичне значення. Встановлено оптимальні умови для застосування двоелектродної установки для експрес-виявлення точок зйомки методом вертикального електричного зондування під час діагностування технічного стану гідротехнічних споруд сільськогосподарського призначення.

Ключові слова: електричний опір, вертикальне електричне зондування, вологість, температура, ґрунти, засоленість ґрунтів.

Chushkina I.V., Maksymova N.M., Orlinska O.V., Kovalenko V.V. Investigation of electrophysical and agrohydrological properties of soils

Goal. Investigate the mineral composition of coal sludge and determine its effect on the properties, structural bonds and structure of dispersed systems from them.

The research technique consists in the application of methods for measuring the structural and mechanical properties of dispersed systems. To assess the characteristics of the mechanical properties of structured dispersed systems, the most rational methods are to determine their deformation properties: strength - ultimate shear stress, modulus of elasticity and relaxation characteristics. Macroscopic and optical methods were used to study the mineral composition of sludges from coal concentrators.

Results of the research. The study of coal industry waste as dispersed systems is performed. The factors and structured structure that influence the technological processes in the processing of coal sludge and the application of the method of electrokinetic lumping are analyzed. The mineral composition of waste - dispersed systems is determined. It is established that the main factors determining the structural and rheological properties of dispersed systems include: adhesion force in the contacts between particles, coordination number, concentration of the dispersed phase in the dispersion medium, dispersion and particle size distribution. It is proved that the main factor that determines the interaction of dispersed systems is the presence of adsorption balls of surfactants.

Scientific novelty. An inseparable connection between dispersed systems and surface phenomena, as well as the kinetics of electrochemical processes on interfacial surfaces, microheterogeneity, sorption and ion exchange processes in ultramicroporous systems have been established.

Practical meaning. Technological parameters of processes and ways of perspective treatment of wastes of coal concentrators as dispersed systems at their processing and use as additional power resources are substantiated.

Key words: dispersed systems, structural connections, waste, coal industry, processing, technological solutions, physical and mechanical properties, mineral composition.

Вступ. Діагностування технічного стану гідротехнічних споруд (ГТС) різного призначення, зокрема таких, як регулюючі басейни і магістральні канали зрошувальних систем, дамби ставків-накопичувачів і хвостосховищ тощо, за допомогою комплексу геофізичних методів природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) та вертикального електричного зондування (ВЕЗ) розглядалося детально у попередніх роботах [1]. Польова зйомка ГТС комплексом геофізичних методів передбачає локалізацію порушення цілісності, замочування чи нехарактерних екстремумів різного напруженого стану ґрунтових масивів за допомогою «якісного» методу ПЕМПЗ із подальшим виконанням деталізації параметрів, зокрема глибини залягання ділянок порушення, шляхом встановлення точок спостереження ВЕЗ.

У більшості випадків польова зйомка ГТС сільськогосподарського призначення комплексом геофізичних методів здійснюється в заповненому та в незаповненому станах. Зйомка ПЕМПЗ на укосах регулюючих басейнів та магістральних каналів крутизною 30-45° зазвичай не виконується. За даними польової зйомки будуються карти щільності потоку імпульсів ПЕМПЗ, на підставі інтерпретації яких уточнюється місце розташування точок спостереження ВЕЗ. Останній геофізичний метод відноситься до «кількісних» і є більш витратним за трудовитратами та матеріальними ресурсами, тому зменшення кількості точок спостережень ВЕЗ є пріоритетним науково-практичним завданням під час діагностування технічного стану ГТС сільськогосподарського призначення, фінансування огляду яких чи провадження ремонтно-відновлювальних робіт є незначним.

З метою експрес-локалізації ділянок підвищеного зволоження зовнішніх укосів ґрунтових ГТС, які зазвичай одерновуються багаторічними травами, та підніжжя споруд, яке у більшості випадків представлене сільськогосподарськими угіддями, розглянемо можливість застосування двоелектродної установки, орієнтованої на вимірювання електричного опору (провідності) ґрунтів.

Метою роботи є дослідження залежності електрофізичних властивостей родючих ґрунтів від їхніх агрогідрологічних властивостей задля обґрунтування можливості застосування двоелектродної установки з виміру електричного опору ґрунтів для подальшого уточнення місця розташування точок спостереження ВЕЗ під час оперативної діагностики технічного стану ГТС сільськогосподарського призначення за допомогою комплексу геофізичних методів ПЕМПЗ і ВЕЗ.

Постановка задачі і методика дослідження. Вода впливає на ґрунтоутворюючий процес, зумовлюючи істотні зміни фізичного стану ґрунту, сольового і повітряного режимів, теплових властивостей, хімічних і мікробіологічних процесів, темпів накопичення і розкладання органічних речовин у ґрунті.

Найточнішим методом визначення якості ґрунту, зокрема таких показників, як вологість, хімічний та органічний склад, є трудомісткі лабораторні методи. Такі аналізи зазвичай проводять на початку і в кінці поливного періоду. Але показники вологості і засоленості ґрунту бажано перевіряти частіше, тому що вони прямо впливають на врожайність і якість врожаю [2-9].

Методи визначення вологості і температури ґрунту поділяються на прямі (термостатно-ваговий, або термогравіметричний метод) і непрямі (опосередковані методи), засновані на вимірюванні фізичних властивостей ґрунтів, які певною мірою залежать від їхньої вологості. За даними Українського гідрометеорологічного інституту, поширені такі непрямі методи і засоби визначення та експрес-вимірювання вологості і температури ґрунту: нейтронний вологомір ВНП-1, прилад "Агротестер", вимірювач параметрів ґрунтів ВПП-1 (ІПП-1), вимірювач параметрів ґрунтів ВПП-4ц, стаціонарний датчик вологості ґрунту корпорації Sutron (США), надвисокочастотний вологомір ґрунтових зразків СВП-5, радіолокатор для визначення вологості ґрунту, фотооптичний вологомір ґрунтових зразків, переносний ІЧ-вологомір IRMM-106, вологомір "ВИМС-1" (для бетону, цегли, піску, деревини, зерна), цифровий вологомір для сіна і силосу WILE-25 і низка інших, а також аерокосмічні методи визначення вологості і температури ґрунту [2-9].

Досить часто оперативні результати отримують тензометричним методом, однак вони значною мірою залежать від механічного стану приладів. Окремі підприємства використовують стаціонарні прилади для моніторингу вологості ґрунтів (Diviner-2000, EnviroSCAN), принцип роботи яких заснований на вимірюванні електромагнітної ємності ґрунту. Прилади оснащені датчиками та мають програмне забезпечення [9].

Нині все частіше застосовуються методи, орієнтовані на вимірювання електричного опору (провідності) ґрунтів, величина якого знаходиться у прямій залежності від вологості, температури і сольового складу ґрунтів. Вони є міні-модифікацією відомого у геофізиці методу вертикального електричного зондування (ВЕЗ) [10]. Теоретичні основи ВЕЗ досить добре розроблені, вони застосовуються у різних варіантах для вивчення або вертикального розрізу в основній модифікації зі зміною відстаней між живлячими і приймаючими електродами чи за профілювання, тоді відстань між електродами залишається сталою. Для цього методу встановлено теоретичні залежності між електричним опором та вологістю, складом гірських порід [10].

Для визначення вологості і засоленості ґрунтів зазвичай використовується міні-модифікація у двоелектродному варіанті, іноді застосовують прилад із одним електродом. Основною перевагою цього методу є його оперативність, а недоліком є те, що теоретичні основи його слабо розроблені та для кожного типу ґрунтів

і виду добрив доводиться здійснювати експериментальні дослідження з вивчення залежностей між електричним опором і параметрами ґрунтів.

Такі експериментальні дослідження були проведені на чорноземах звичайних, відібраних в Магдалинівському районі (сmt. Приют). Маса проби становила 6 кг. Лабораторні аналізи відібраних проб ґрунту і води із Кільченської зрошувальної системи виконували за стандартними методиками. Вологість ґрунту визначали термостатно-ваговим методом за загальноприйнятою методикою відповідно до ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Якість зрошувальної води оцінювали за національним стандартом України ДСТУ 2730:2015 «Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії».

Основні результати. Експериментальні дослідження ми проводили задля визначення залежності величини електричного опору від зміни температури і вологості ґрунту, а також із урахуванням внесення різної концентрації азотно-фосфорно-калійного добрива (нітроамфос $N_{15}P_{15}K_{15}$) із поливною водою, відібраною за стандартною методикою із Кільченської зрошувальної системи поблизу насосної станції у сmt. Приют.

За результатами лабораторних аналізів ґрунти, відібрані на сільськогосподарських угіддях, характеризувалися середньою вологістю 32,21% і відносяться до нейтральних із дуже низьким умістом обмінного кальцію ($0 < 0,3 < 2,5$ мг-екв/100г ґрунту) і магнію ($0,1 < 0,5$ мг-екв/100г ґрунту) (табл. 1).

Таблиця 1

**Результати аналізу проб ґрунту
із сільськогосподарських угідь у районі сmt. Приют**

рН	HCO_3^-		Ca^{2+}		Mg^{2+}		SO_4^{2-}		Cl		Na^++K^+		Вологість %
	мг-екв/ 100г	%	мг-екв/ 100г	%	мг-екв/ 100г	%	мг-екв/ 100г	%	мг-екв/ 100г	%	мг-екв/ 100г	%	
7,18	1,0	0,06	0,3	0,006	0,1	0,001	0,2	0,001	0,17	0,006	0,97	0,024	28,6

У польових умовах для поливу сільськогосподарських угідь подається вода із Фрунзенського зрошувального каналу, якість якої оцінено за вимогами національного стандарту України ДСТУ 2730:2015 «Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії». У першому наближенні за загальним вмістом солей $1,0 < 2,41 < 3,0$ г/л вода небезпечна з погляду на вторинне засолення ґрунтів, а за тривалого зрошення відноситься до вод поганої якості з високою небезпечкою вторинного засолення ($2,41 > 1,92$ г/л) (табл. 2).

Води сульфатно-гідрокарбонатного натрієво-магнієвого типу зі значенням водневого показника рН 8,2.

Аніони хлору (Cl^-) у концентрації 5,5 мекв/л вважаються найтоксичнішими для сільськогосподарських культур. Уміст токсичних солей у зрошувальній воді в еквівалентах хлору визначають для співставлення загального впливу токсичних аніонів. Задля визначення вмісту токсичних іонів всі основні іони (в мекв/л)

потрібно зв'язати у гіпотетичні молекули токсичних і нейтральних солей за схемою, представленою на табл. 3.

Таблиця 2

Перерахунок іонів у різні форми

Показник	Аніони				Катіони			Сума		
	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻¹	Cl ⁻¹	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺ +K ⁺	аніонів	катионів	іонів
мг/л	-	502.6	195.3	1027.2	56	165.6	463.5			2410.2
Еквівалентна маса	30	61	35.5	48	20	12	23			
мекв/л	-	8.24	5.5	21.4	2.8	13.8	18.54	35.14	35.14	70.28
%-екв	-	23.45	15.65	60.9	7.97	39.27	52.76	100	100	

Таблиця 3

Схема зв'язування іонів у гіпотетичні молекули токсичних і нейтральних солей

Іони	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻¹	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻¹	Сума
Ca ⁺²	-	2,0	0,8	-	2,8
Mg ⁺²	-	3,2	10,6	-	13,8
Na ⁺ +K ⁺	-	3,04	10,0	5,5	18,54
Сума	-	8,24	21,4	5,5	35,14

Примітка: сполуки солей, розташовані нижче розділової лінії, є токсичними, а вище – нейтральними.

Розрахунок кількості токсичних іонів в еквівалентах хлору здійснюють за формулою:

$$eCl^{-1(\text{токс.})} = Cl^{-1} + 0,2SO_4^{-2(\text{токс.})} + 0,4HCO_3^{-1(\text{токс.})} + 10CO_3^{-2(\text{токс.})} \quad (1)$$

де $eCl^{-1(\text{токс.})}$ – сума токсичних солей в еквівалентах хлору, мекв/л; Cl^{-1} – сума хлоридів, мекв/л; $SO_4^{-2(\text{токс.})}$ – сума токсичних сульфатів, мекв/л; $HCO_3^{-1(\text{токс.})}$ – сума токсичних гідрокарбонатів, мекв/л; $CO_3^{-2(\text{токс.})}$ – сума токсичних карбонатів, мекв/л.

$$eCl^{-1(\text{токс.})} = 5,5 + 0,2 \cdot 20,6 + 0,4 \cdot 3,04 + 10 \cdot 0 = 10,836 \text{ мекв/л.}$$

Вміст загальної лужності оцінюється наявністю гідрокарбонат-іонів (HCO₃⁻¹). Для зазначеного прикладу вміст загальної лужності становить 8,24 мекв/л.

Оцінку небезпеки вторинного засолення здійснюють на підставі показника загальної концентрації токсичних іонів (в еквівалентах хлору) з урахуванням гранулометричного складу ґрунтів. Концентрація токсичних іонів в еквівалентах хлору становить 10,836 мекв/л, тоді вода відноситься до I класу якості, будучи «придатною без обмежень» для будь-яких ґрунтів, окрім глинистих.

Отже, під час поливу такою водою не повинно відбуватися вторинного засолення.

Оцінювання якості зрошувальної води за небезпекою підлучення ґрунту здійснюють на основі комплексної оцінки більшості показників: $pH = 8,2$; токсичної лужності ($HCO_3^{-1}-Ca^{+2} = 5,44$ мекв/л) і лужності від нормальних карбонатів ($HCO_3^{-2} = 8,24$ мекв/л).

За $HCO_3^{-1} = 3,5 - 8,5$ мекв/л вода обмежено придатна для зрошення (за тривалого зрошення спричинює процеси підлучення та осолонцювання).

З урахуванням низки показників якості води ($pH = 8,0 < 8,2 < 8,8$, CO_3^{-2} – відсутній, $HCO_3^{-1}-Ca^{+2} = 5,44$ мекв/л) зрошувальна вода у більшості випадків відповідає II класу («обмежено придатна» для зрошення) з небезпекою підлучення (група ґрунтів відноситься до нейтральних за реакцією середовища).

Зрошувальну воду можна віднести до II класу («обмежено придатна») за небезпекою її токсичного впливу на рослини (за показниками $pH = 8,2$, іони $Cl^{-1} = 5,5$), хоча за частиною показників (токсичні іони еквівалентів $eCl^{-1}(\text{мокс}) = 10,836$ мекв/л < 15 мекв/л, іони CO_3^{-2} відсутні) вона відповідає I класу («вода придатна без обмежень»).

Відношення іонів натрію до загальної суми катіонів становить 52,76%. У цьому прикладі відношення вмісту магнію до кальцію становить $Mg^{+2}/Ca^{+2} = 13,8/2,8 = 4,93$, що більше за 1, отже, солонцювату дію магнію слід урахувувати.

У цьому прикладі ґрунти віднесено до групи ґрунтів північного степу – чорнозему звичайного, в якого активність кальцію ґрунтового розчину становить 6,0-9,0 мекв/л, що відповідає середній буферності ґрунту. Тоді за співвідношення іонів натрію до суми всіх катіонів (52,76%) для чорноземних ґрунтів суглинкових середньобуферних і води II класу за небезпекою підлучення для зазначеного прикладу воду за небезпекою осолонцювання можна віднести до II класу якості води.

Отже, зрошувальні води, відібрані з Кільченського магістрального каналу, за якістю відносяться до II класу («обмежено придатні»), що зумовило доцільність виявлення залежності величини електричного опору не лише від вологості ґрунту під час його поливу дистильованою водою, але і з урахуванням натурних умов: вода із Кільченської зрошувальної системи і внесення добрив.

У першій серії експериментів визначалася залежність між електричним опором і температурою ґрунту. Для проведення досліду ґрунт щільністю $1,2$ г/см³ уміщували у контейнер розміром $10 \times 12 \times 8,5$ см. Температура ґрунту вимірювалася ртутним термометром, заглибленим на 2 см; електричний опір - двоелектродною установкою із відстанню між електродами 10 см. Максимальна глибина вимірювання електричного опору у цьому випадку дорівнювала 5 см [2]. Контейнер із пробєю ґрунту знаходився під прямими сонячними променями з 10 до 13 години дня. Усього проведено 2 експерименти, початкова вологість ґрунту у першому досліді становила 15,6%, у другому – 22,7%. Електричний опір ґрунту вимірювався за зміни температури на 1°C. За результатами експериментів побудований графік залежності зміни електричного опору від температури ґрунту (рис. 1).

У другій серії експериментів ми досліджували залежність між електричним опором і вологістю ґрунту. Для вивчення закономірностей зміни електричного опору від вологості використовувався контейнер розміром $54 \text{ см} \times 12 \text{ см} \times 11 \text{ см}$, висота ґрунтового шару у ньому становила 8 см, щільність ґрунту - $1,19$ г/см³. Електричний опір вимірювали двоелектродною установкою з відстанню між електродами 10 см. Усього проведено 3 експерименти, початкова вологість ґрунту у першому досліді становила 7%, у другому – 5,6%, у третьому – 8,3%; початкова

температура відповідно 25°C, 25°C і 26°C. Під час експерименту ґрунт у контейнері через кожні 10 хвилин рівномірно поливали дистильованою водою. Періодично відбирали зразки ґрунту для подальшого визначення його вологості термостатно-ваговим методом і фіксували показання приладу (рис. 2).

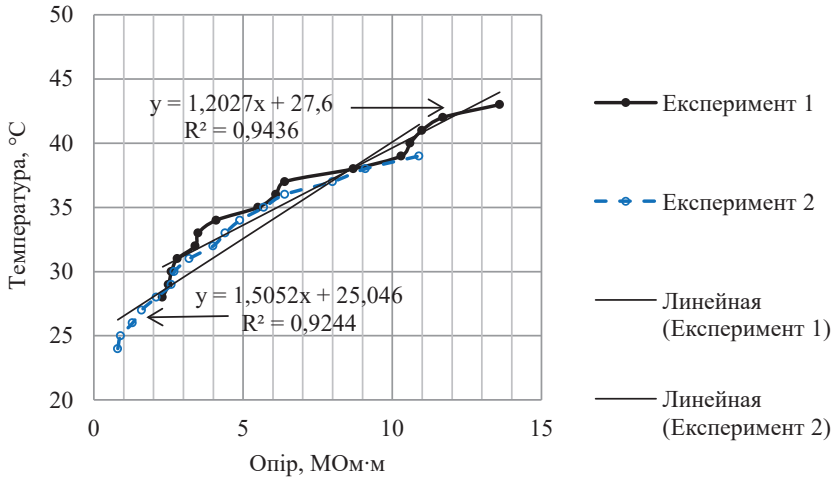


Рис. 1. Графік залежності електричного опору від температури ґрунту

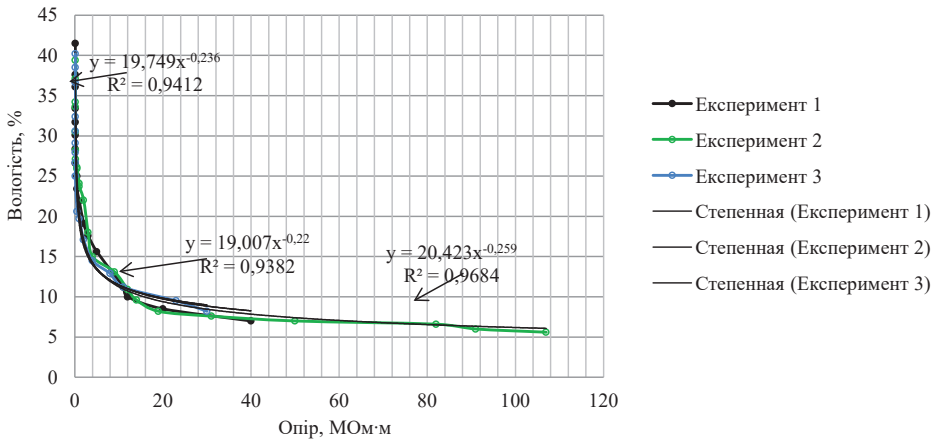


Рис. 2. Графік залежності електричного опору від вологості ґрунту

У третій серії експериментів досліджували динаміку електрофізичних властивостей за збільшення концентрації розчинних мінеральних сполук у ґрунтах. Для проведення дослідів використовували азотно-фосфорно-калійне добриво (нітроамофос $N_{15}P_{15}K_{15}$). Воду для розчинення добрива відбирали за стандартною

методикою з Фрунзенського зрошувального каналу поблизу насосної станції у смт. Приют. Хімічний аналіз сульфатно-гідрокарбонатного натрієво-магнієвого типу води представлений у табл. 3. Концентрація добрив у воді для внесення у ґрунт становила 5 г/дм^3 , температура ґрунту - 25°C . Електричний опір вимірювали двоелектродною установкою з відстанню між електродами 10 см і заглибленням їх на $1,5 \text{ см}$. Розміри контейнера становили $10\text{см} \times 12\text{см} \times 8,5 \text{ см}$. Чорноземи звичайні є типовими для північного степу, у природних умовах вони потребують високого рівня НПК і внесення мінеральних добрив.

Схема проведення експериментів така: у ґрунт вносили добрива по 20 мл кожного разу, через 10 хвилин вимірювали електричний опір. Експеримент припиняли у разі досягнення концентрації $\text{N}_{15}\text{P}_{15}\text{K}_{15}$ у ґрунті 3г/дм^3 , враховуючи лише концентрацію мінеральних добрив. Вологість ґрунту визначали термостатно-ваговим методом, яка на початку експерименту становила $8,1 \%$, у кінці – $36,3 \%$. На основі отриманих результатів побудовано графік залежності електричного опору від концентрації добрив у поливній воді (рис. 3).

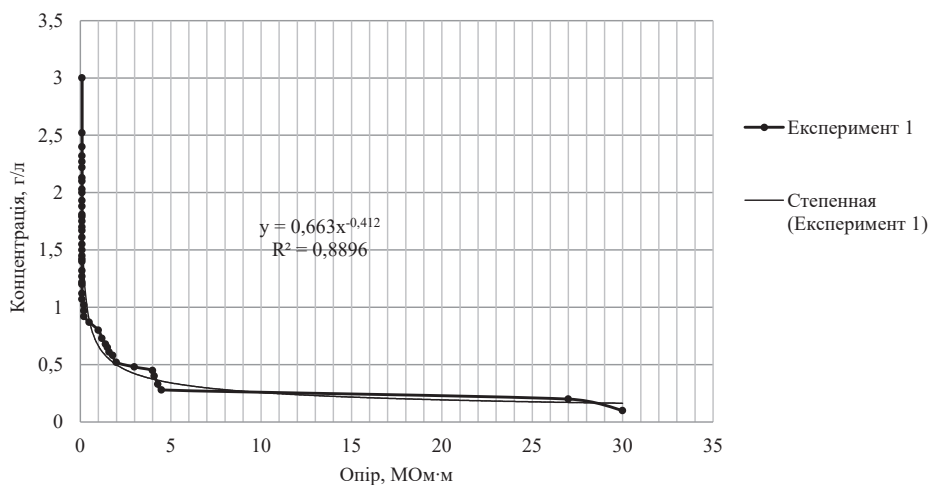


Рис. 3. Графік залежності електричного опору від внесення добрив із поливною водою

Отже, нами виявлено, що величина електричного опору родючих ґрунтів знаходиться майже у лінійній залежності від їхньої температури (за величини достовірності апроксимації $R^2 = 0,92-0,94$). Графіки залежності електричного опору від вологості і концентрації добрив мають більш складну форму (рис. 2-3), їх умовно можна поділити на 2 частини: перша частина кривих має високий градієнт, а друга – асиметрично наближається до нуля. Крім того, на графіках залежності електрофізичних властивостей ґрунту від його вологості та від концентрації мінеральних компонентів, які описуються ступеневими залежностями (величина достовірності апроксимації $R^2 = 0,94-0,97$ та $0,89$ відповідно), різко виділяються перегини кривих в області зміни опору від 2 до $4 \text{ МОм}\cdot\text{м}$: у першому випадку ця зона відповідає вологості $17,6-19,6\%$, у другому – концентрації добрива у ґрунті $0,495-0,545 \text{ г/дм}^3$.

Висновки. Вологість ґрунту вагомо впливає на зміну електричного опору. Можна виявити, наскільки тісно пов'язані між собою вологість та електричний

опір тоді, коли опір зразку залежить тільки від вологості ґрунту за незмінного її хімічного складу та фізичного стану. Зокрема, у разі збільшення вологості до найменшої вологоємності (22%) опір ґрунту різко зменшується, а після досягнення повної вологоємності ґрунту (41,5%) - практично не змінюється.

Задля подальшого провадження двоелектродної установки для оперативного визначення агрогідрологічних показників родючих ґрунтів у районі смт. Приют Магдалинівського району Кільченської зрошувальної системи потрібно збільшити серію подібних досліджень насамперед за рахунок збільшення варіації вологості ґрунтів. Економічна доцільність таких експериментальних досліджень зумовлена насамперед економією води за зрошення, уникненням вторинного засолення ґрунтів, одержанням високих урожаїв. Як відомо, оперативні відомості про агрогідрологічні властивості родючих ґрунтів урахуються під час проведення сівби зернових культур за наявності ґрунтових посух, оскільки для визначення оптимальних термінів сівби сільськогосподарських культур необхідні дані про температуру і вологість ґрунту, що використовуються у вигляді поправок до агрокліматичних оптимальних термінів сівби та визначення оптимальних доз і термінів внесення добрив. Відомості про вологість ґрунту і вимоги рослин до забезпечення вологою потрібні для оптимізації норм і термінів поливу культур.

На підставі проведеного експериментального дослідження залежності електрофізичних властивостей ґрунтів від агрогідрологічних його властивостей нами обґрунтовано, що двоелектродну установку доцільно розглядати лише як допоміжний метод задля виявлення додаткових точок спостереження ВЕЗ на зовнішніх відкосах і у підніжжя ГТС сільськогосподарського призначення під час діагностування їх технічного стану комплексом геофізичних методів ПЕМПЗ і ВЕЗ за умови, що польова зйомка відбувається, коли напередодні не відбувалось ані зрошення, ані внесення добрив на сільськогосподарських угіддях (вологоємність родючих ґрунтів становить 20% від повної вологоємності). За таких умов у місця зволоження ґрунтової товщі зовнішнього залісеного відкосу ГТС чи у його підніжжя отримуватимуться мінімальні значення (2-4 МОм·м електричного опору) під час зйомки двоелектродною установкою, перевагою застосування якої є оперативність отримання результатів (без необхідності виконання розрахунково-графічних видів робіт у польових умовах), компактність (незначна вага приладу), а також незначна довжина електродів, оскільки не повинна порушуватися цілісність ґрунтових дамб.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Chushkina I.V., Pikarenia D.S., Orlinska O.V., Maksymova N.M. Experimental substantiation of the NPEMFGE geophysical method to solve engineering and geological problems. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2019. No 51. 109-123.
2. Кукурік Д.В., Сацик В.О., Смолянкін О.О., Маркіна Л.М. (2019). Комплекс вимірювання основних параметрів ґрунту та передачі їх на віддалений сервер. *World Science*. 2019. № 11(51). С. 16-20. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30112019/6761
3. Albergel C., P. de Rosnay C., Gruhier J. Muñoz-Sabater S., Hasenauer L., Isaksen Y., Kerr W. Wagner Evaluation of remotely sensed and modelled soil moisture products using global ground-based in situ observations. *Remote Sensing of Environment*. 2012. Vol. 118. P. 215-226.
4. Anderson M.C., Norman J.M., Mecikalski J.R., Otkin J.A., Kustas W.P. A climatological study of evapotranspiration and moisture stress across the continental United

States based on thermal remote sensing: 1. Model formulation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2007. Vol. 112(D10117).

5. Dorigo W.A., Scipal K., Parinussa R.M., Liu Y.Y., Wagner W., R.A.M. de Jeu and Nacimi V. (2010). Error characterisation of global active and passive microwave soil moisture datasets. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2010. No 14. P. 2605-2616.

6. A. Rende M. Biage Characterization of capacitive sensors for measurements of the moisture in irrigated soils. *Technical papers • J. Braz. Soc. Mech. Sci.* Vol. 24 (3). July 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-73862002000300012> <https://www.scielo.br/j/jbsms/a/7xqcTwmNtHyTr9vbcpr8nWPf/?lang=en>

7. Поздняков А.И., Гюлалыев Ч.Г. Электрофизические свойства некоторых почв. 2004. 240 с. Вилучено з: <https://ua1lib.org/book/3114512/dfb093?id=3114512&secret=dfb093>

8. АПК-Информ: овощи и фрукты. 2021. Вилучено з: <https://www.fruit-inform.com/ru>

9. В.К. Хмелевський В.К., В.М. Бондаренко В.М. Электроразведка: Справочник геофизика. 1989. 438 с. Вилучено з: http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/Hmelevskoj_osnovu_geofizicheskikh_metodov.pdf