



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК
УКРАЇНИ



НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
ІНСТИТУТ ҐРУНТОЗНАВСТВА ТА АГРОХІМІЇ
імені О. Н. СОКОЛОВСЬКОГО

АГРОХІМІЯ і ҐРУНТОЗНАВСТВО

МІЖВІДОМЧИЙ
ТЕМАТИЧНИЙ
НАУКОВИЙ
ЗБІРНИК

94

ХАРКІВ – 2023

Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник.
Випуск 94. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2023. 62 с.

AGROCHEMISTRY and SOIL SCIENCE. Collected papers.
No. 94. Kharkiv: NSC ISSAR, 2023. 62 p.

Збірник публікує наукові статті за результатами теоретичних, експериментальних та методичних досліджень з актуальних напрямів ґрунтознавства, агрохімії, агроекології, землеробства та інших наук, які містять оригінальну інформацію та обґрунтовані висновки.

Згідно з наказом МОН України № 1643 від 28.12.2019 збірник внесено до Переліку наукових фахових видань України в галузях сільськогосподарські та біологічні науки за спеціальностями:

201 – Агрономія і 091 – Біологія і включено до категорії «Б»

Мови видання: українська, англійська, російська

Редакційна колегія:

С.А. Балюк д.с.-г.н. (відповідальний редактор); ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
А.Б. Ачасов д.с.-г.н.; Харківський національний аграрний ун-т ім. В.В. Докучаєва
А.О. Ачасова к.б.н.; Науково-досл. Ін-т меліорації та охорони ґрунтів (Чеська Респ.)
А.Д. Балаєв д.с.-г.н.; Національний ун-т біоресурсів і природокористування України
Т.Ю. Биндич к.б.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
В.А. Величко д.с.-г.н.; Державне видавництво «Аграрна наука» НААН
З.Г. Гамкало д.б.н.; Львівський національний ун-т імені Івана Франка
Г.М. Господаренко д.с.-г.н.; Уманський національний ун-т садівництва
Ю.М. Дмитрук д.б.н.; Чернівецький національний ун-т ім. Ю. Федьковича
В.В. Іванина д.с.-г.н.; Інститут енергетичних культур і цукрових буряків НААН
Т.М. Лактіонова к.с.-г.н. (відповідальний секретар); ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
М.В. Лісовий д.с.-г.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
Т.Г. Лях д.с.-г.н.; Ін-т педології, агрохімії та захисту ґрунтів "Н. Дімо" (Молдова)
М.М. Мірошниченко д.б.н. (заст. відп. редактора); ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
О.Ю. Найдьонова к.б.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
І.Д. Пачев д.с.-г.н.; Інститут виноградарства та виноробства (Болгарія)
Є.В. Скрильник д.с.-г.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
Р.С. Трускавецький д.с.-г.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
Ю.Л. Цапко д.б.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
В.Р. Черлінка д.б.н.; Чернівецький національний ун-т ім. Ю. Федьковича
С.Г. Чорний д.с.-г.н.; Миколаївський національний аграрний університет

Склад редакційної колегії затверджено Вченою радою ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», протокол № 7 від 05.04.2019 р. і доповнено згідно з рішенням Вченої ради, протокол № 10 від 07.06.2023 р.

Рік заснування: 1966

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 20942-10742Пр

Засновник: Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» (ННЦ ІГА) вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, тел. (057) 704-16-69
e-mail: agrochemsoilsci.org@gmail.com

www.agrochemsoilsci.org

Індексування та реферування:

База даних CrossRef; Реєстр наукових фахових видань України;
Портал Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського;
Загальнодержавна реферативна база даних (РБД) «Україніка наукова»;
УРЖ «Джерело» Інституту проблем реєстрації інформації НАН України (ІПРІ);
Пошукова система і база даних наукових цитувань «Open Ukrainian Citation Index (OUCI)»;
CiteFactor; Research Bible; WorldCat; ICI World of Journals database (Index Copernicus); Directory of Research Journal Indexing (DRJI)

Рекомендовано до видання Вченою радою ННЦ ІГА, протокол № 13 від 25.07.2023 р.

ISSN 0587-2596
e-ISSN 2616-6852
DOI: <https://doi.org/10.31073/acss94>

© Національний науковий центр
«Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О.Н. Соколовського»

ЗМІСТ / CONTENT

ҐРУНТОВЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН SOIL NUTRITION of PLANTS

Мірошниченко М. М., Гладкіх Є. Ю., Смиченко В. М., Войтович О. М.	
Позитивний вплив глибокого внесення добрив на їх агрономічну ефективність та урожайність сої і соняшнику на чорноземі <i>Miroshnychenko M. M., Hladkikh Ye. Yu., Smychenko V. M., Voitovych O. M. The deep fertilizers placement positively effects on their agronomic efficiency and yield of soybean and sunflower on chernozem</i>	4
Христенко А.О.	
Розрахунковий метод визначення рівня забезпеченості рослин макроелементами живлення <i>Khrystenko A. O. Calculation method for determining the level of supply of plants with macronutrients</i>	15
Заришняк А. С., Лісовий М. В., Ніконенко В. М., Сліденко О. І.	
Вплив тривалого внесення добрив на агрохімічні показники чорнозему типового та якість зерна пшениці озимої <i>Zaryshniak A. S., Lisovyi M. V., Nikonenko V. M., Slidenko O. I. (2023). Effect of long-term application of fertilizers on agrochemical parameters of typical chernozem and grain quality of winter wheat</i>	22

ЯКІСТЬ ҐРУНТІВ І МОНІТОРИНГ ЇХ ВЛАСТИВОСТЕЙ SOIL QUALITY AND MONITORING OF THEIR PROPERTIES

Носоненко О. А., Захарова М. А., Афанасьєв Ю. О.	
Морфолого-генетична та агрономічна характеристики контрастних за засоленням ґрунтів солонцевого комплексу Приорілля <i>Nosonenko O. A., Zakharova M. A., Afanasiev Yu. O. Morphological, genetic and agronomic characteristics of soils contrasting in terms of salinity of the solonetzic complex of Priorillia</i>	30
Погромська Я. А.	
Динаміка гетерогенності агрофізичної якості чорнозему звичайного у межах сільськогосподарського поля <i>Pogromska Ya. A. Dynamics of heterogeneity of the agrophysical quality of ordinary chernozem within the farm field</i>	43

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ STUDIES OF YOUNG SCIENTISTS

Лебедь В. В.	
Досвід найвідоміших ґрунтових інформаційних систем світу. Аналітичний огляд <i>Lebed V. V. Experience of the world's most famous soil information systems. Analytical review</i>	54

ҐРУНТОВЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

SOIL NUTRITION of PLANTS

UDK 631.816.33

The deep fertilizers placement positively effects on their agronomic efficiency and yield of soybean and sunflower on chernozem

M. M. Miroshnychenko^{1*}, Ye. Yu. Hladkikh¹, V. M. Smychenko¹, O. M. Voitovych²¹ National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine² Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received 19.06.2023 Received in revised form 03.07.2023 Accepted 25.07.2023 Available online 01.08.2023 Keywords: available nutrients; fertilizers band placement; hydrothermal conditions; chlorophyll; yield.	The aim of the research was to study the effect of increasing the depth of mineral fertilizer placement on their agronomic efficiency for crops differed in root system architecture. Available NPK in soil, chlorophyll content in the leaves, and yield of sunflower and soybean were measured in the field small-plot experiments on Luvic Chernozem during three years. It was found a higher efficiency of N₆₀P₆₀K₆₀ placement for sunflower in form of mix of ammonium nitrate, ammophos and potassium chloride on 20-22 cm, and for soybean in form of nitroammophoska by two bands on 10-12 cm and 20-22 cm comparing to the common method of fertilizer applying by one band on the depth 10-12 cm. The maximum yield increase was 15% for soybeans, 36% for sunflower. The content of chlorophyll in leaves might be an additional indicator to optimize the technology of fertilizer application because it has close positive correlation with crops yield ($P < 0.01$, $R = 0.76-0.95$). The obtained results prove the need for an individual approach in choosing the optimal fertilizer band placement for each crop separately. In general, increased depth of fertilizer band placement is recommend as a measure for adapting agricultural technology to unstable and insufficient moisture.

*E-mail: ecosoil@meta.ua

Citing: Miroshnychenko, M.M., Hladkikh, Ye. Yu., Smychenko, V.M., Voitovych, O.M. (2023). The deep fertilizers placement positively effects on their agronomic efficiency and yield of soybean and sunflower on chernozem. *AgroChemistry and Soil Science*. 94, 4-14. [doi:10.31073/acss94-01](https://doi.org/10.31073/acss94-01)

1. Introduction

Ukraine is one of the leaders in the world market of oilseeds and grains due to a long farming traditions and a significant share of Chernozems. In 2020, sunflower occupied 23 % in the structure of sown areas and soybeans – 5 % [1]. However, modern climate change is accompanied by a trend towards drier springs and uneven distribution of precipitation in time and space that negatively affects to the spring crops, especially in the eastern and southern regions [2]. Climate aridization leads to the deterioration of nutrients uptake by plants due to their weak diffusion to the absorbing root surface [3]. Moreover, low transpiration rate, impaired active ion transport and membrane permeability reduce uptake by plant roots [4]. In case of uneven water supply, fertilizer systems should be close as possible to the mutable needs of plants during their vegetation.

Chernozems were formed on loess deposits contained from 30 to 70 % clay a particle that provides a high level of their fertility. From other side, it reduces the availability of phosphorus and potassium to plants due to their rapid non-exchange absorption by soil. Band application of fertilizers increases the nutrient use efficiency by minimizing of soil contact with fertilizer granules [5–9]. According to Jagła et al. [10] and Ao et al. [11], band fertilizers application allows reducing their doses and extending the sowing period under periodic moisture deficiency in early spring. The beneficial effect of fertilizer localization is highly dependent on depth of their placement. Singh et al. [12] determined the positive response of wheat grain yields to phosphorus fertilization at a depth of 10-15 cm compared to a depth of 5–7 cm in the semi-arid regions of northern Australia. Su et al. [13] found the same pattern in rapeseed (*Brassica napus* L.) crops, with the difference in yield being greater when rainfall was below normal during the growing season. According to Ma et al. [14], an increase in plant productivity and the efficiency of nutrient use occurs due to the proliferation of roots through local induction of nutrients. Shen et al. [15] proved that a localized NPK concentration can create the excellent root architecture with increased nutrient uptake efficiency share the same opinion. Dunbabin et al. [16, 17] showed that roots respond to heterogeneous nutritional conditions in two ways: i) by increasing the intensity of nutrient absorption; ii) by proliferation of roots in local zones and increasing the concentration of nutrients. Chen et al. [18] found that deep fertilization can promote rice root growth by increasing root length and diameter, and Wei Su et al. [19] obtained similar results with rapeseed.

Despite the above-mention, there is also evidence of insignificant change in crop yields from deeper fertilizer placement. Ma et al. [20] found that too deep localization of phosphorus fertilizers causes a deficiency of this element in plants at the seedling stage before the seedling roots can reach the phosphorus-rich zone. Therefore, although the localization of fertilizers in the soil improves the nutritional conditions of plants, the optimal parameters for the spatial placement of a fertilized band have not been studied enough.

In Ukraine, mineral fertilizers are mainly applied during pre-sowing tillage or sowing, and the depth of their placement ranges from 5 to 15 cm [21, 22]. Modern equipment makes it possible to create mineral fertilizer bands in the soil to a depth of up to 25 cm or divide them into two depths in order to provide comfortable conditions for plant nutrition as their root system develops. Unfortunately, there is a lack of information on what should be the optimal depth of fertilizer placement for crops with different root architecture in soils of Ukraine, taking into account climate changes. This is important for the part of Ukraine with the most continental climate, includes the Left-Bank Forest-Steppe where heavy loamy Haplic and Luvic Chernozems dominate in soil cover. However, the effectiveness of fertilizers there is limited by insufficient moisture supply during the growing season [23, 24]. The aim of the research was to determine the effect of increasing the depth of band fertilizer placement on NPK availability and productivity of crops with different root system architecture on Chernozem Luvic.

2. Objects and research methods

2.1 Experimental site and crops

Field experiments were conducted during 2018-2021 at the experimental site of "Experimental Farm "Grakivske" in Kharkiv region of Ukraine (49°46'N lat., 39°40' E long). Chernozem Luvic heavy loamic at this site has pH_{KCl} – 5.3; organic carbon content by Tyurin method – 2.2 %; total nitrogen content – 0.2 %. Sunflower and soybean were grown at separate sites inside field with area 0.7 ha. As a forerunner for all two crops was winter wheat, therefore sites of the experiment were moving on experimental field according the crop rotation. Among the studied crops, soybean has a relatively short tap root and a large number of long lateral roots, most of them are located in the upper 20 cm soil layer. The tap root system of sunflower is more powerful and forms a large number of strong branched lateral roots at a depth of 10-40 cm.

2.2 Experimental treatments and design

The experiments were conducted as small plot research trials in six replications with completely randomized design.

The studies of all two crops were carried out according to the same scheme, where different types of fertilizers were applied to the band at different depths (Table 1).

Table 1
Scheme of experiments

No	Fertilizers	The rate of fertilizers, kg/ha	The number of fertilizer application bands	The depth of fertilizer placement, cm
1	No fertilizers	0	0	-
2	Nitroammofoska	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1	10–12
3	Nitroammofoska	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1	20–22
4	Nitroammofoska	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2	10–12 and 20–22
5	Ammophos, ammonium nitrate and potassium chloride	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1	20-22

The scheme of experiments made it possible to compare the effectiveness of two most common trademark of solid mineral fertilizers – nitroammophoska (17-17-17) and fertilizer mixture from ammophos, ammonium nitrate and potassium chloride. As part of nitroammophoska, phosphorus is contained mainly in the form of slightly soluble CaHPO₄ · 2H₂O, citrate-soluble Ca(H₂PO₄)₂, and partially water-soluble CaNH₄PO₄. Ammophos contains 10-15% citrate-soluble (NH₄)₂HPO₄ and 85–90 % water-soluble NH₄H₂PO₄, so phosphorus of this fertilizer is more available to plants.

The fertilizer band was placed at a distance of 4–5 cm to the side and in three different depth variations: 10–12 cm below the seed row, 20–22 cm below the seed row, and both bands simultaneously (10–12 cm and 20–22 cm). The application rate of NPK corresponded to the rates recommended for the Forest-Steppe zone of Ukraine [22] and was the same for all studied crops. Sunflower was grown in 2018–

2020, soybean – in 2019–2021. The cultivation technology was traditional for the Forest-Steppe zone of Ukraine.

2.3 Hydrothermal conditions

During the growing season in 2018–2021, rather contrasting hydrothermal conditions were observed (Figure 1). April–May and July–August 2018 were very dry. The precipitation was 1.7–2.7 times lower than the long-term average, and the air temperature was 1.4–2.0 °C higher. June–July 2019 and July 2021 were also dry and hot. In contrast, hydrothermal conditions were comfortable for growing crops in 2020. Thus, growing season was dry at the beginning of active plant growth in 2018, dry during the formation of generative organs in 2019, well moistened and relatively cool in 2020, and dry during the formation and maturation of soybeans in 2021.

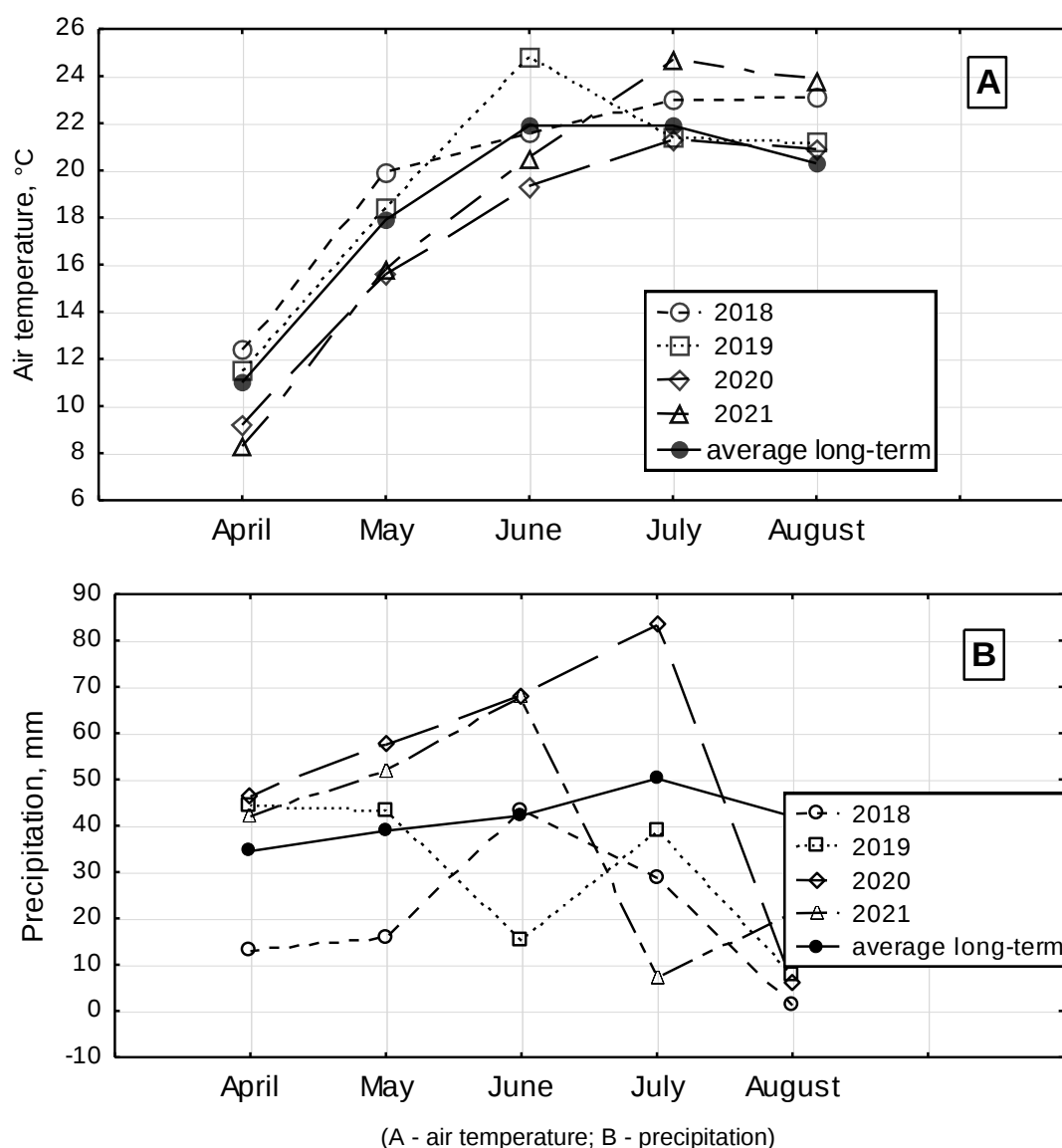


Fig. 1. Hydrothermal conditions of the study period

2.4 Measurements and statistical analysis

Soil samples were taken in the fertilizer band (± 5 cm from the placement of the granules) in the first half of the growing season and after harvesting crops. The mixed sample consisted of 6 individual samples, each 1 dm³ (10×10×10 cm). The content of available phosphorus and potassium was measured after extraction with 0.5 n CH₃COOH by Chirikov method, nitrate nitrogen – photometrically with disulfophenolic acid, ammonium nitrogen – photometrically with Nessler's reagent. Soil water content was measured by the gravimetric method according to ISO 11465. The content of chlorophyll was measured in the middle part of leaves using SPAD-502 Plus portable device (manufactured by Minolta Camera Co. Ltd., Japan) according

to the method described in detail by Süß et al. [25] and Uddling et al. [26]. Grain yield of soybean was calculated on 13–15% moisture content and sunflower seed grains – about 12 %. All the data were analyzed using STATISTICA 13.5.0.17. A least significant differences (LSD) were done using ANOVA at $P < 0.05$ significance level.

3. Results

Although studied crops differ in the structure of root systems, their moisture requirements for seed germination are similar. The optimal stock of productive moisture in the 0–20 cm layer is around 21–30 mm [27, 28]. The moisture content in the soil arable layer at the beginning of the growing season for the research period ranged from 14.5 % to 16.8 %, and after harvesting - from 12.5 % to 19.0 %. This stock of productive moisture does not exceed 11 mm that is insufficient for formation of well-developed plants (Table 2).

At the beginning of the growing season, there was a slight increase in soil moisture in the fertilizer band with their deeper placement (by 20–22 cm): by 0.5–1.1 % for sunflower and by 0.1–0.6 % for soybeans (Table 2). The opposite trend was observed after harvesting. However, all this changes were within the least significant difference. Also, there were no significant differences in the content of mineral nitrogen, available phosphorus and potassium in the soil at different depths of fertilizer placement at the beginning of the growing season of the studied crops. Significant increases in these indicators were obtained with a shallow localization of the fertilizers band under soybeans (Table 3). It should be noted the difference 2.5–3.0 times in nitrogen content, and 1.1–1.6 times in phosphorus and potassium content in soil between variants of the experiment.

Table 2

Moisture regime of the soil at the depth of fertilization during the growing season and after harvesting, on average over the years of research

Field experiment treatments	Soil moisture, % (during the growing season)		Soil moisture, % (after harvesting)	
	Sunflower	Soybean	Sunflower	Soybean
Control (without fertilizers)	15,2±2,9 ¹	13,3±3,8	12,6±1,9	13,9±5,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (complex) 10-12 cm	14,6±2,8	12,7±2,9	13,9±3,1	13,5±5,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (complex) 20-22 cm	15,1±3,6	12,7±2,0	12,9±2,3	13,3±5,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (complex) 10-12 cm and 20-22 cm	15,7±3,3	13,3±2,8	13,0±2,3	14,1±6,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (fertilizer mixture) 20-22 cm	15,1±3,5	12,8±1,5	12,8±1,7	12,9±5,7
<i>LSD(P ≤ 0.05)</i>	1,29	1,47	1,30	1,36

¹ ± standard deviation from averages by year of study

At the end of crop vegetation, the maximum amount of nutrients in the soil was noted at a deeper localization of the fertilizer band (Table 3). It is important that this applies specifically to available forms of NPK because their concentration in the fertilizer placement zone is primarily determined by the level of humidity and the intensity of granules dissolution, diffusion of soluble compounds, and their absorption by the soil solid phase. For these reasons, fertilizers placement at a depth of 20–22 cm has an advantage over placement at 10–12 cm, and nitroammophoska has an advantage over fertilizer mixture. This statement summarizes a general effect for the entire studied period. Previously published the detail data for spring barley shows that a deeper placement of fertilizers more contributes to an increase of available nutrients under unfavorable moistening conditions [29].

The deepening of the fertilizer band had a positive effect on the chlorophyll content in the plants leaves. The maximum chlorophyll content in sunflower plants was with fertilizers mixture applied to 20–22 cm, and in soybean – with nitroammophoska applied in two bands simultaneously (Figure 2).

Crop yield is critical to determining the optimum depth of fertilization, considering all of the above-mentioned aspects of water and nutrient regime, plant physiological response, and so on. Over the years of research, the highest yield of sunflower (3.74 t/ha) was obtained with the local application of nitroammophoska or fertilizer mixture to a depth of 20–22 cm (Figure 3). Soybeans shows the highest grain yield (2.17 t/ha) when was nitroammophoska applied in two bands to a depth of 10–12 cm and 20–22 cm. The increase in yield with a deep placement of fertilizer band compared with shallow placement ranged 32–44% for sunflower and 4–35% for soybean, depending on the year of research. A deeper placement of fertilizers ensured the payback of fertilizers by sunflower – 44 kg and soybean – 10.8 kg per 1 kg of NPK.

The response of sunflower to changes in the depth and composition of fertilizers did not depend on the weather conditions. Two fertilizer bands contributed to obtaining the maximum yield exceeded the option with band at 10–12 cm by 14 % in 2018, by 20 % in 2019 and by 29 % in 2020, and with deep application of fertilizer mixture – by 28, 34 and 44 % respectively.

Table 3

Nutritional regime of the soil at the depth of fertilization during the growing season and after harvesting, on average over the years of research

Field experiment treatments	Nutrient content, mg/kg					
	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	Sunflower	Soybean	Sunflower	Soybean	Sunflower	Soybean
During the growing season						
Control (without fertilizers)	9,5±1,7 ¹	15,5±1,1	81±30	95±3	97±33	91±8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (complex) 10-12 cm	22,8±8,9	23,7±3,1	137±68	145±27	150±13	126±19
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (complex) 20-22 cm	25,9±8,2	26,8±5,7	137±66	145±25	151±31	128±22
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (complex) 10-12 cm and 20-22 cm	22,5±8,8	23,9±2,3	127±69	142±22	147±29	122±15
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (fertilizer mixture) 20-22 cm	23,1±4,0	22,9±2,0	104±55	127±19	121±38	112±17
LSD(P≤ 0.05)	2,92	2,65	6,5	6,6	3,94	3,7
After harvesting						
Control (without fertilizers)	10,0±7,2	11,1±7,7	101±15	94±7	80±18	86±10
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (complex) 10-12 cm	11,4±7,6	21,1±4,8	153±24	137±36	80±21	109±19
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (complex) 20-22 cm	10,0±4,2	27,5±5,2	163±24	139±37	85±21	118±19
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (complex) 10-12 cm and 20-22 cm	13,8±7,3	20,0±8,1	120±11	125±29	83±14	108±16
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (fertilizer mixture) 20-22 cm	12,1±9,2	19,1±5,7	100±28	111±18	76±16	101±15
LSD(P≤ 0.05)	0,68	2,58	3,7	1,7	3,4	2,1

¹ ± standard deviation from averages by year of study

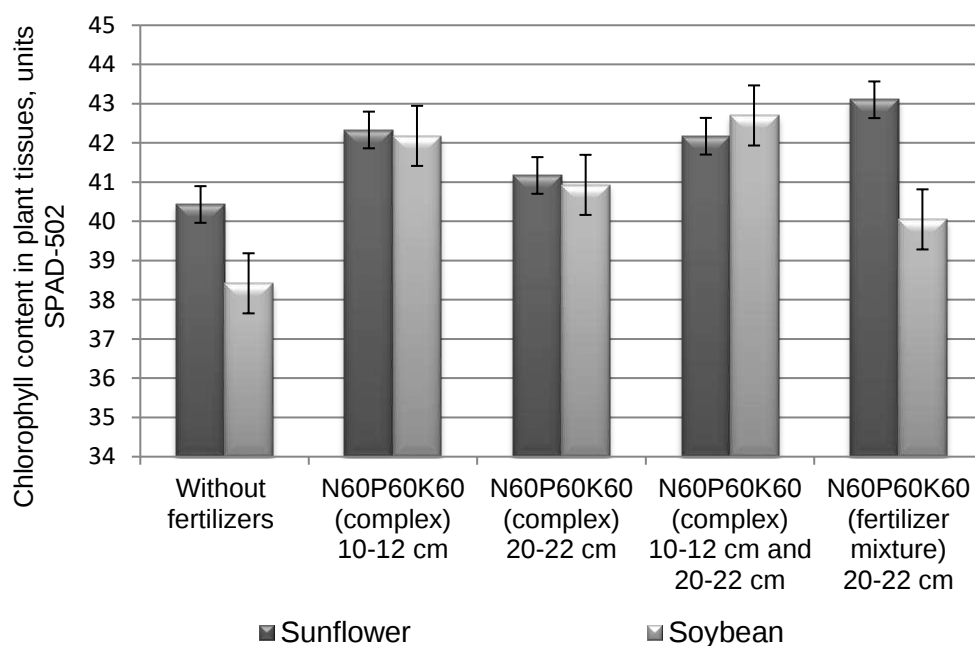


Fig. 2. Chlorophyll content in plant leaves depending on the depth and kind of fertilizers

It is important to note that the most significant increase in yield with deep fertilization was observed precisely in dry years, in particular, for soybean. Soybeans had the significantly higher yield with two fertilizer bands in 2019, and with deep placement of nitroammophoska in 2021 (when July-August was very dry) compared with shallow application. This may indicate that the effect of hydrothermal conditions of vegetation is more important for this crop than for sunflower. Similar results of soybean response to fertilization depth were reported by Farmaha et al. [6], Da Ros et al. [30] and Nkebiwe et al. [7]. Presumably, this may be related to the fact that the bulk of soybean root system locates in a layer of 0–20 cm, regardless of the level of soil moisture during the growing season, which was proven by Gebre and Earl [31]. The results of field experiment prove that optimization of the depth of fertilizer band placement is more important in conditions of moisture deficiency.

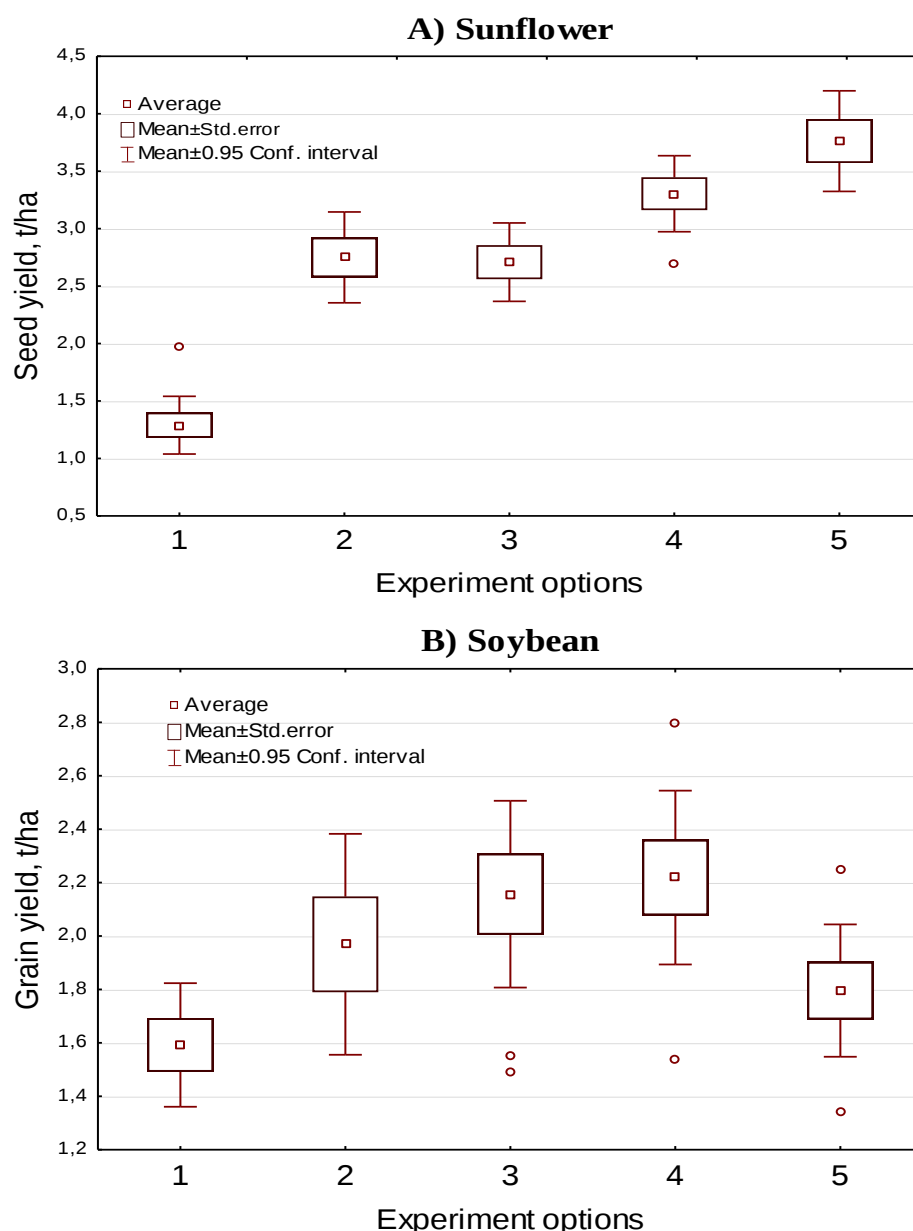


Fig. 3. Crop yields depending on the depth of application and forms of fertilizers (three-year average value for barley published earlier)

According to the 4R concept of rational fertilization, the choice of the most appropriate form of fertilizers is an obligatory for optimizing the technology of their application [32]. The scheme of the experiment allowed comparing the deep application of complex fertilizers in the form of nitroammophoska with a similar application of a fertilizer mixture of ammophos, ammonium nitrate and potassium chloride. Combining NPK in one granule of complex mineral fertilizer nitroammophoska was more effective for soybean. Sunflower has a longer growing season so it more responded to the mixture of fertilizers when the granules of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers are separated from each other.

4. Discussion

In the face of climate change, drying of the topsoil frequent occurs at the beginning of the growing season. Lack of available soil water leads to reduced nutrient availability that significantly limits plant growth [3, 33]. The working hypothesis of the research was increasing the depth of fertilizers placement to reducing the negative effects of drought. The results of field experiments confirm that hydrothermal conditions of the growing season and the depth of fertilizer band simultaneously affect the nutrient regime of soil. The effect of fertilizer placement was more noticeable at the end of the growing season. This fact mainly refers to phosphorus and potassium because their average content in the 5-cm zone around the fertilizer band at a depth of 20–22 cm was higher for all crops as opposed to a depth of 10–12 cm. We presume this is due to better soil moisture in the 20–22 cm layer during the growing season that contributes to faster dissolution of

fertilizer granules and the corresponding diffusion transfer of H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , K^+ ions. Dianjun Lu et al. [34], Szulc et al. [35] suppose that the localization of fertilizers: i) reduces the fixation of nutrients in the soil; ii) increases their availability for plants; iii) enhances the nutrients use efficiency by plants. Kraska et al. [36] noted that deep application of mineral fertilizers increases the content of available phosphorus in the soil. According to Lu et al. [8] and Jiang et al. [37], a diffusion foci of increased concentration of phosphorus and mineral nitrogen is formed around the fertilizer band which provides improved plant nutrition for a long time. Undoubtedly, these facts positively affect both the growth processes and the efficiency of plant photosynthesis.

The issue of the influence of mineral nutrition conditions on the chlorophyll content in plants is well described in the scientific literature [38, 39]. On the example of many crops, the positive effect of different doses, types and methods of fertilization on the chlorophyll content in the leaves, and, accordingly, on the yield, has been proven. In our studies, a strong positive correlation also was found ($r = 0.88$ at $P < 0.05$) between chlorophyll content in plants and crops yield. This confirms the important diagnostic value of the chlorophyll content as an auxiliary indicator for choosing the best fertilizer application depth. The tightness of the relationship between the SPAD-502 indicators and crops yield was different: for sunflower $r = 0.91$, for soybeans $r = 0.76$ (Figure 4). According to the linear regression equations in Figure 4, the largest increase in yield with an increase per unit of the SPAD-502 indicator was for sunflower – 0.86 tons, while for soybeans it was only 0.12 tons, respectively. Firstly, this is due to a significant increase in sunflower yields under application of fertilizers in general, and secondly, it's very positive response to a deeper localization of fertilizers.

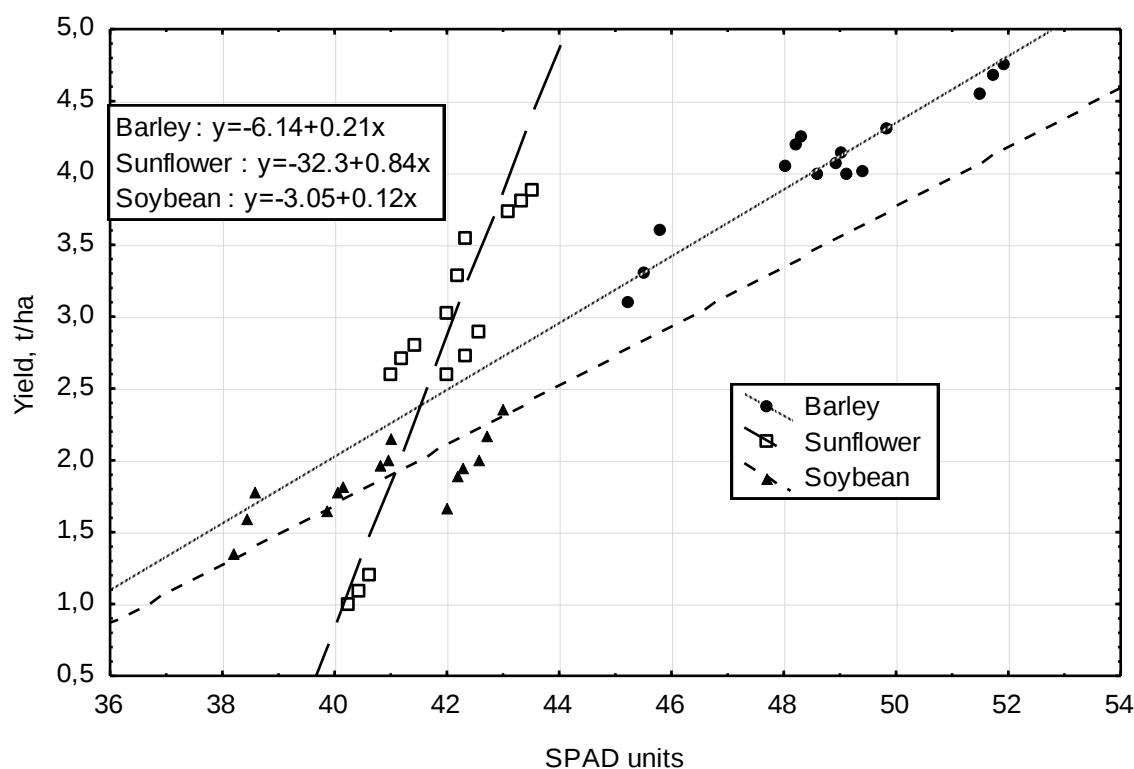


Fig. 4. The relationship between chlorophyll content in plants and crops yield (three-year average value for barley published earlier [29])

Our preliminary three-year studies with barley [29] also showed a close relationship between the content of chlorophyll in leaves and grain yield. The relationship between the SPAD-502 indicators and grain yield was for barley $r = 0.95$ and according the linear regression equation (Figure 4), the increase in yield with an increase per unit of the SPAD-502 indicator was for barley 0.21 tons.

It is known that the content of chlorophyll in leaves depends on the phase of plant development, the type and variety of agricultural crops that also affects the tightness of the correlation between this indicator and yield [40, 41]. Despite this, there are a lot of confirmation positive correlation (from $r = 0.92$ to $r = 0.70$) between chlorophyll in SPAD units and indicators affected yield [42–46]. Hosseinzadeh et al. [38] used chlorophyll content as an index to determine plant stress resistance and their response to adaptive measures. Nemeskeri et al. [47, 48] proved that SPAD chlorophyll measurement assess well drought tolerance of genotypes and productivity of some crop varieties grown under moisture deficiency. Above-mentioned as well as our results indicate the possibility of using data on the content of chlorophyll in plants as an auxiliary criterion for optimizing the fertilizer system (method of application, type, dose, etc.).

The difference in plant response to the methods and forms of fertilization that was found out in our research, confirms the conclusions of Ma et al. [20] about the importance of taking into account all edaphic and hydrothermal conditions to right choice the optimal depth of fertilizer application. According to Shen et al. [15], the phenotypic and physiological plasticity of plants develops due to the proliferation of lateral roots in response to a heterogeneous nutrients supply to the upper soil layer and an increase in the assimilation of nutrients in zones provided with them. This is one of the most important reasons for the positive response of crop yields to deep fertilization, specifically for wheat [12], lupine [49], rapeseed [50], corn [9]. A similar trend towards better branching of the root system is also visually observed in our experiment. When fertilizers were applied at 20–22 cm, the plants formed a greater number of well-developed lateral roots than at 10–12 cm (Figure 5 and 6).



Fig. 5. Soybean root system in case of fertilizers placement at the depth 10–12 cm (A) and 20–22 cm (B)

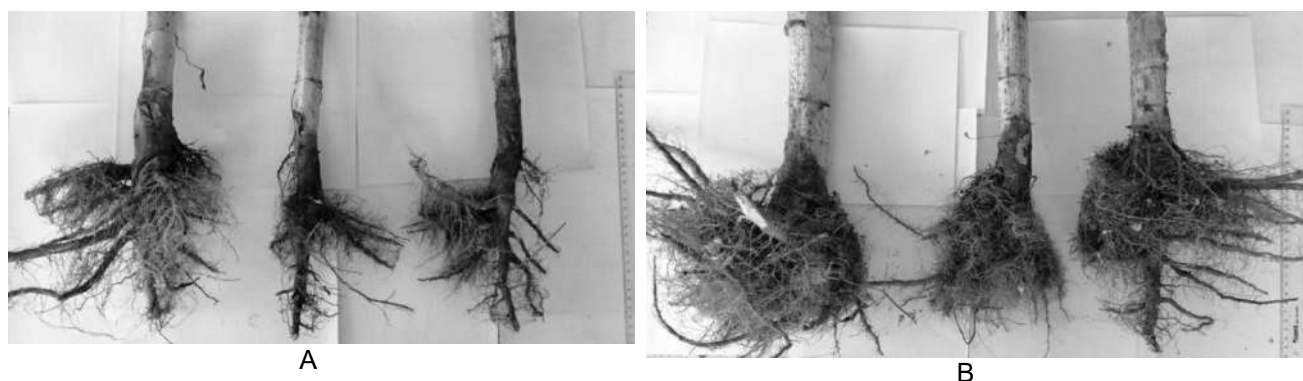


Fig. 6. Sunflower root system in case of fertilizers placement at the depth 10–12 cm (A) and 20–22 cm (B)

Taking into account the well-known fact of the low migration ability of phosphorus and potassium fertilizers in the soil [51, 52], the arable soil layer is considered to be the most heterogeneous in terms of the concentration of these nutrients in the time interval between banding fertilization and soil tillage for the next crop. This is also confirmed by the data of Lu et al. [8], who found a decrease in the concentration of water-soluble and available P in the soil at a distance of 3.5 cm from the monocalcium phosphate granule and 5.5 cm from the diammonium phosphate granule. The formation of powerful lateral roots improves nutrition by covering a larger volume of soil in the upper layer that can be considered as an auxiliary mechanism for plant adaptation to insufficient moisture [53, 54]. Kang et al. [55] showed that deep placement of phosphate fertilizers stimulates root growth and has a positive effect on the yield of a drought-tolerant wheat variety. According to Klimešová and Streda [56], the relationship between barley root density and yield was observed only in the 20–40 cm layer, with a significant positive correlation noted in a dry year.

Meta-analysis by Nkebiwe et al. [7] of the results of 39 field experiments showed that winter and spring wheat, corn, sorghum, rapeseed, potatoes, rice, Chinese cabbage and sugar beets increased yields with deeper fertilizer placement, while winter rye, cauliflower, lettuce and soybeans almost did not reacted to it. These data prove the importance of an individual approach to choosing the depth of the fertilizer band for each crop. The yield data in our experiment (Figure 3) confirms that each crop may have its own best combination of fertilizer placement depth and form. In particular, sunflower responds best to application fertilizer mixtures at 20–22 cm, soybean and sunflower – nitroammophoska in two tapes simultaneously (10–12 cm and 20–22 cm). The data in Figure 3 confirm that due to the deep application of fertilizers, the increase in the yield of soybean and sunflower grains ranged from 4 to 44% compared with their shallow placement. This gives grounds to consider an increase in the depth of mineral fertilizers placement as one of the measures for adapting farming technologies to unstable and insufficient moisture conditions. In the future, even more dry conditions are predicted in the first half of the growing season that is especially harmful to early cereals in the left-bank part of the Forest-Steppe of Ukraine [57, 58]. In this regard, the deep

localization of mineral fertilizers is expedient for this group of crops, as a component of smart growing technologies.

5. Conclusions

Increasing the depth mineral fertilizers placement is a technique that can mitigate the negative impact of current climate change on the cultivation of field crops on the Chernozem Luvic in the Forest-Steppe of Ukraine. However, the optimal placement depth and form of mineral fertilizers depends on the crop and the weather conditions of the year.

On average, over a three-year period, the highest yield and agronomic efficiency of fertilizers was obtained for sunflower when was applied a fertilizer mixture of ammophos, ammonium nitrate and potassium chloride by 20–22 cm, for soybeans and sunflower – nitroammophoska in two tapes at the same time (by 10–12 and 20–22 cm).

The deep fertilizers placement contributes to increase the content of available nitrogen, phosphorus and potassium in the soil around band of their application, especially at the end of the growing season.

The indicator of chlorophyll accumulation in plant leaves strongly correlates with the yield of sunflower ($r = 0.91$) and soybean ($r = 0.76$), but does not change significantly with an increase in the depth of fertilizer placement so it can only be auxiliary criterion for optimizing the fertilization technology.

References

1. *Statistical Yearbook «Agriculture of Ukraine»*. State Statistics Service of Ukraine. (2021). Kyiv. (pp. 75-76). (in Ukrainian)
2. Adamenko, T. (2019). Climate change and agriculture in Ukraine: what should farmers know? *German-Ukrainian agro-political dialogue*. Kyiv. (in Ukrainian).
3. Waraich, E. A., Ahmad, R. S., Ullah, S., Ashraf, M. Y. & Ehsanullah. (2011). Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science*, 5. 764–777.
4. Kramer P., Boyer J. (1995). *Water Relations of Plants and Soils*. Academic Press. New York, NY, USA; London, UK.
5. McLaughlin, M. J., McBeath, T. M., Smernik, R., Stacey, S. P., Ajiboye, B. & Guppy, C. (2011). The chemical nature of P accumulation in agricultural soils — Implications for fertilizer management and design: An Australian perspective. *Plant and Soil*, 349, 69–87. doi: [10.1007/s11104-011-0907-7](https://doi.org/10.1007/s11104-011-0907-7)
6. Farmaha, B. S., Fernández, F. G., & Nafziger, E. D. (2012). Distribution of soybean roots, soil water, phosphorus and potassium concentrations with broadcast and subsurface-band fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, 76, 1079–1089. doi: [10.2136/sssaj2011.0202](https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0202)
7. Nkebiwe, P. M., Weinmann, M., Bar-Tal, A., & Muller, T. (2016). Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: A review and meta-analysis. *Field Crops Research*, 196, 389–401. doi: [10.1016/j.fcr.2016.07.018](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.018)
8. Lu, D., Song, H., Jiang, S., Chen, X., Wang, H., & Zhou, J. (2019). Integrated Phosphorus Placement and Form for Improving Wheat Grain Yield. *Agronomy Journal*, 111, 1998–2004. doi: [10.2134/agronj2018.09.0559](https://doi.org/10.2134/agronj2018.09.0559)
9. Szulc, P., Bocianowski, J., Nowosad, K., Bujak, H., Zeilewicz, W., & Stachowiak, B. (2021). Effects of NP Fertilizer Placement Depth by Year Interaction on the Number of Maize (*Zea mays* L.) Plants after Emergence Using the Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model. *Agronomy*, 11, 1543. doi: [10.3390/agronomy11081543](https://doi.org/10.3390/agronomy11081543)
10. Jagła, M., Szulc, P., Ambrozy-Deregowska, K., Mejza, I., & Kobus-Cisowska, J. (2019). Yielding of two types of maize cultivars in relation to selected agrotechnical factors. *Plant, Soil and Environment*, 65, 416–423. doi: [10.17221/264/2019-PSE](https://doi.org/10.17221/264/2019-PSE)
11. Ao, S., Russelle, M. P., Feyereisen, G. W., Varga, T., & Coulter, J. A. (2020). Maize hybrid response to sustained moderate drought stress reveals clues for improved management. *Agronomy*, 10, 1374. doi: [10.3390/agronomy10091374](https://doi.org/10.3390/agronomy10091374)
12. Singh, D., Sale, P., & Routley, R. (2005). Increasing phosphorus supply in subsurface soil in northern Australia: Rationale for deep placement and the effects with various crops. *Plant and Soil*, 269, 35–44. doi: [10.1007/s11104-004-2475-6](https://doi.org/10.1007/s11104-004-2475-6)
13. Su, W., Liu, B., Liu, X., Li, X., Ren, T., Cong, R., & Lu, J. (2015). Effect of depth of fertilizer banded-placement on growth, nutrient uptake and yield of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *European Journal of Agronomy*, 62, 38–45. doi: [10.1016/j.eja.2014.09.002](https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.09.002)
14. Ma, H., Zhang, F., Rengel, Z., & Shen, J. (2013). Localized application of NH_4^+ -N plus P at the seedling and later growth stages enhances nutrient uptake and maize yield by inducing lateral root proliferation. *Plant and Soil*, 372(1-2), 65-80. doi: [10.1007/s11104-013-1735-8](https://doi.org/10.1007/s11104-013-1735-8)
15. Shen, J., Li, C., Mi, G., Li, L., Yuan, L., Jiang, R., & Zhang, F. (2013). Maximizing root rhizosphere efficiency to improve crop productivity and nutrient use efficiency in intensive agriculture of China. *Journal of Experimental Botany*, 64, 1181-1192. doi: [10.1093/jxb/ers342](https://doi.org/10.1093/jxb/ers342)
16. Dunbabin, V., Rengel, Z., & Diggle, A. (2001). The root growth response to heterogeneous nitrate supply differs for *Lupinus angustifolius* and *Lupinus pilosus*. *Crop and Pasture Science*, 52, 495–503. doi: [10.1071/AR00098](https://doi.org/10.1071/AR00098)
17. Dunbabin, V., Rengel, Z., & Diggle, A. (2001). *Lupinus angustifolius* has a plastic uptake response to heterogeneously supplied nitrate while *Lupinus pilosus* does not. *Crop and Pasture Science*, 52, 505–512. doi: [10.1071/AR00099](https://doi.org/10.1071/AR00099)
18. Chen, Y., Fan, P., Mo, Z. (2020). Deep Placement of Nitrogen Fertilizer Affects Grain Yield, Nitrogen Recovery Efficiency, and Root Characteristics in Direct-Seeded Rice in South China. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 379–387. doi: [10.1007/s00344-020-10107-2](https://doi.org/10.1007/s00344-020-10107-2)
19. Su, W., Liu, B., Liu, X., Li, X., Ren, T., Cong, R., & Lu, J. (2015). Effect of depth of fertilizer banded-placement on growth, nutrient uptake and yield of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *European Journal of Agronomy*, 62, 38-45. doi: [10.1016/j.eja.2014.09.002](https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.09.002)
20. Ma, Q., Rengel, Z., Rose, T. (2009). The effectiveness of deep placement of fertilizers is determined by crop species and edaphic conditions in Mediterranean-type environments: A review. *Australian Journal of Soil Research*, 47, 19–32. doi: [10.1071/SR08105](https://doi.org/10.1071/SR08105)
21. Hablak, S. (2021). Current trends in the fertilizer system in view of climate change. *Agribusiness today*. March 10. Retrieved from <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/20787-suchasni-tendentsii-v-systemi-dobryv-kultur-z-ohliadu-na-zminu-klimatu.html> (in Ukrainian).

22. Baliuk, S. A., Miroshnychenko, M. M. (Eds.) (2020). *Fertilizer systems of agricultural crops in farming at the beginning of the XXI century*. Kyiv, Alpha-Stevia. (in Ukrainian).
23. Baliuk, S., Nosko, B., Vorotyntseva, L. (2018). Regulation of fertility of soils and efficiency of fertilizers in conditions of climate fluctuations. *Bulletin of Agrarian Science*, 4, 5-12. doi:10.31073/agrovisnyk201804-01 (in Ukrainian).
24. Rules on ensuring soil fertility and the use of certain agrochemicals. Adopted by the Decree of the Minister of Agricultural Policy and Food of Ukraine 24/11/2021 No.382. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0034-22#Text> (in Ukrainian).
25. Süß, A., Danner, M., Obster, C., Locherer, M., Hank, & T., Richter, K. (2015). *Measuring Leaf Chlorophyll Content with the Konica Minolta SPAD-502Plus – Theory, Measurement, Problems, Interpretation*. EnMAP Field Guides Technical Report, GFZ Data Services. doi: 10.2312/enmap.2015.010 .
26. Udding, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, R., & Pleijel, H. (2007). Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynth. Res.*, 91, 37-46. doi: 10.1007/s11120-006-9077-5 .
27. Bulygin, S. Y. (2009). *Agronomist's companion*. Kharkiv-Dnipro, Agrosphere. (in Ukrainian).
28. Ogurtsov, E. M., Mheev, V. G., & Belinsky, Yu. V. (2016). Adaptive technology of soybean cultivation in the East Forest-Steppe of Ukraine. M. A. Bobro (Ed.). Kharkiv: KhNAU, Retrieved from: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/16594/1/Adaptivna_tekhnologhiia_vyroshchuvannia_soi_u_skhidnomu_lisostepu_Ukrainy.pdf (in Ukrainian).
29. Smychenko, V. M., & Miroshnychenko, M. M. (2021). Impact of the depth of fertilizer localization on the nutrient regime of Luvic Chernic Phaeozem and yield of spring barley. *Agrochemistry and Soil Science*, 91, 22-30. doi: 10.31073/acss91-03 (in Ukrainian).
30. Da Ros, C.O., Matsuoka, M., Da Silva R.F., & Da Silva, V. R. (2017). Interference from the vertical variation of soil phosphorus and from water stress on growth in maize, the soybean and sunflower. *Revista Ciência Agronômica*, 48(3), 419-427. doi: 10.5935/1806-6690.20170049 .
31. Gebre, M. G., & Earl, H. J. (2021). Soil Water Deficit and Fertilizer Placement Effects on Root Biomass Distribution, Soil Water Extraction, Water Use, Yield, and Yield Components of Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Grown in 1-m Rooting Columns. *Frontiers in Plant Science*, 12, 581127. doi: 10.3389/fpls.2021.581127 .
32. Johnston, A. M., & Bruulsema, T. W. (2014). 4R Nutrient Stewardship for Improved Nutrient Use Efficiency. *Procedia Engineering*, 83, 365-370. doi: 10.1016/j.proeng.2014.09.029 .
33. Saud, S., Fahad, S., Chen, Y., Ihsan, M., Hammad, H., Nasim, W., Jr, A., & Altharby, H. (2017). Effects of nitrogen supply on water stress and recovery mechanisms in Kentucky bluegrass plants. *Frontiers in Plant Science*, 8, 983. doi: 10.3389/fpls.2017.00983 .
34. Lu, D., Song, H., Jiang, S., Chen, X., Wang, H., & Zhou, J. (2019). Integrated Phosphorus Placement and Form for Improving Wheat Grain Yield. *Agronomy Journal*, 111(4), 1998-2004. doi: 10.2134/agronj2018.09.0559 .
35. Szulc, P., Wilczewska, W., Ambroży-Deręgowska, K., Majza, I., Szymanowska, D., & Kobus-Cisowska, J. (2020). Influence of the depth of nitrogen-phosphorus fertilizer placement in soil on maize yielding. *Plant, Soil and Environment*, 66, 14-21. doi: 10.17221/644/2019-PSE .
36. Kraska, P., Andruszczak, S., Gierasimiuk, P., & Rusecki, H. (2021). The Effect of Subsurface Placement of Mineral Fertilizer on Some Soil Properties under Reduced Tillage Soybean Cultivation. *Agronomy*, 11(5), 859. doi: 10.3390/agronomy11050859 .
37. Jiang, C. Q., Wang, H. Y., Lu, D. J., Zhou, J., Li, D., & Zu, C. (2017). Effects of Fertilizer Placement and Nitrogen Forms on Soil Nitrogen Diffusion and Migration of Red-Yellow Soil in China. *Agricultural Sciences*, 8, 1227-1238. doi: 10.4236/as.2017.811088 .
38. Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., & Ismaili, A. (2018). Evaluation of photosynthesis, physiological, and biochemical responses of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Pirouz) under water deficit stress and use of vermicompost fertilizer. *Journal of Integrative Agriculture*, 17, 2426-2437. doi: 10.1016/S2095-3119(17)61874-4 .
39. Mamnabi, S., Nasrollahzadeh, S., Ghassemi-Golezani, K., & Raei, Y. (2020). Improving yield-related physiological characteristics of spring rapeseed by integrated fertilizer management under water deficit conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27, 797–804. doi: 10.1016/j.sjbs.2020.01.008 .
40. Ramesh, K., Chandrasekaran, B., Balasubramanian, T. N., Bangarusamy, U., Sivasamy, R., & Sankaran, N. (2002). Chlorophyll dynamics in rice (*Oryza sativa*) before and after flowering based on SPAD (chlorophyll) meter monitoring and its relation with grain yield. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188, 102-105. doi: 10.1046/j.1439-037X.2002.00532.x
41. Kandel, B. P. (2020). Spad value varies with age and leaf of maize plant and its relationship with grain yield. *BMC Research Notes*, 13, 475. doi: 10.1186/s13104-020-05324-7
42. Boggs, J. L., Tsegaye, T. D., Coleman, T. L., Reddy, K. C., & Fahsi, A. (2003). Relationship between hyperspectral reflectance, soil nitrate-nitrogen, cotton leaf chlorophyll and cotton yield: A step toward precision agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22(3), 5-16. doi: 10.1300/J064v22n03_03 .
43. Guler, S., Macit, I., Koc, A., & Ibricki, H. (2006). Estimating leaf nitrogen status of strawberry by using chlorophyll meter reading. *Journal of Biological Science*, 2006, 6(6), 1011-1016. doi: 10.3923/jbs.2006.1011.1016 .
44. Guler, S., & Ozcelik, H. (2007). Relationships Between Leaf Chlorophyll and Yield Related Characters of Dry Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 6, 700-703. doi: 10.3923/ajps.2007.700.703 .
45. Ghimire, B., Timsina, D., & Nepal, J. (2015). Analysis of chlorophyll content and its correlation with yield attributing traits on early varieties of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Maize Research and Development*, 1(1), 134–145. doi: 10.3126/jmr.d.v1i1.14251
46. Use of a leaf chlorophyll content index to improve the prediction of above-ground biomass and productivity / Chuang L., Yi, L. Yanhong [et al.]. *Journal of Life & Environmental Sciences (PeerJ)*. 2019. No. 6. e6240. doi: 10.7717/peerj.6240
47. Nemeskéri, E., Sárdi, É., & Kovács-Nagy, E. (2009). Studies on the drought responses of apple trees (*Malus domestica* Borkh.) grafted on different rootstocks. *International Journal of Horticultural Science*, 15, 29–36.
48. Nemeskéri, E., Molnár, K., Vigh, R., Nagy, J., & Dobos, A. (2015). Relationships between stomatal behaviour, spectral traits and water use and productivity of green peas (*Pisum sativum* L.) in dry seasons. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37, 34. doi: 10.1007/s11738-015-1776-0
49. Scott, B.J., Carpenter, D.J., Braysher, B.D., Cullis, B. R., & Evans, C. M. (2003). Phosphorus fertilizer placement for lupins in southern New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43(1), 79–86. doi: 10.1071/EA01201
50. Hocking, P. J., Mead, J. A., Good, J.A., & Diffey, S. M. (2003). The response of canola (*Brassica napus* L.) to tillage and fertiliser placement in contrasting environments in southern New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43(11), 1323–1335. doi: 10.1071/EA02233
51. Bell, M. J., Mallarino, A. P., Volenec, J., Brouder, S., & Franzen, D. (2020). Considerations for Selecting Potassium Placement Methods in Soil. In: T. S. Murell, R.L., Mikkelsen, G., Sulewski, R., Norton, & M. L. Thomson, (Eds.) *Improving Potassium Recommendations for Agricultural Crops*. Springer, 341-362. doi: 10.1007/978-3-030-59197-7
52. Nosko, B. (2017). Modern problems of phosphorus in farming agriculture and ways of their solving. *Bulletin of Agricultural Science*, 95, No. 6. P. 5-12. doi: 10.31073/agrovisnyk201706-01 (in Ukrainian)
53. Falk, K. G., Jubery, T. Z., O'Rourke, J. A., Singh, A., & Singh, A. K. (2020). Soybean Root System Architecture Trait Study through Genotypic, Phenotypic, and Shape-Based Clusters. *Plant Phenomics*, 2020, Article ID: 1925495. doi: 10.34133/2020/1925495

54. Zhu, J., Ingram, P. A., Benfey, P. N., & Elich, T. (2011). From lab to field, new approaches to phenotyping root system architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 14(3), P. 310-317. doi: 10.1016/j.pbi.2011.03.020
55. Kang, L., Yue, S., Li, S. (2014). Effects of Phosphorus Application in Different Soil Layers on Root Growth, Yield, and Water-Use Efficiency of Winter Wheat Grown Under Semi-Arid Conditions. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(9), 2028-2039. doi: 10.1016/S2095-3119(14)60751-6.
56. Klimešová, J., Středa, T. (2013). Distribution of barley root biomass in soil profile. In: MendelNet 2013. Proceedings of International PhD Students Conference. Faculty of Agronomy: Mendel University in Brno Czech Republic, November, (pp. 69-74).
57. Balabukh, V. O., Tarariko, O. H., Iliencko, T. V., Velychko, V. A. (2021). Influence of in air temperature on crop productivity formation in Ukraine at the turn of XX-XXI centuries. *Agricultural Science and Practice*. 8(3), 71-87. doi: 10.15407/agrisp8.03.071
58. *Strategy for environmental security and adaptation to climate change for the period up to 2030*. Approved by the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 20, 2021. No. 1363. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80#Text> (in Ukrainian).

УДК 631.816.33

Позитивний вплив глибокого внесення добрив на їх агрономічну ефективність та урожайність сої і соняшнику на чорноземі

М. М. Мірошніченко^{*1}, Є. Ю. Гладкіх¹, В. М. Смиченко¹, О. М. Войтович²

¹Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

²Запорізький національний університет, Запоріжжя, Україна

* ecosoil@meta.ua

Метою статті було висвітлення результатів вивчення впливу збільшення глибини внесення стрічки мінеральних добрив на їх агрономічну ефективність для культур, що відрізняються будовою кореневої системи. У польових дослідженнях, проведених на чорноземі опідзоленому протягом трьох років, визначали вміст мінерального азоту, доступних форм фосфору і калію у ґрунті, вміст хлорофілу у листі рослин та врожайність соняшнику і сої. Встановлено високу ефективність розміщення стрічки добрив (N₆₀P₆₀K₆₀) для соняшнику, у вигляді тукоsumіші аміачної селітри, амофосу та хлористого калію, на глибині 20–22 см, а для сої, у вигляді нітроаммофоски, у дві смуги на глибині 10–12 і 20–22 см порівняно із звичайним способом внесення добрив однією стрічкою на глибині 10–12 см. Максимальний приріст урожаю становив 15 % для сої та 36 % для соняшнику. Визначено, що вміст хлорофілу у листі рослин може бути додатковим показником для оптимізації технології внесення добрив, оскільки має тісний позитивний зв'язок з урожайністю культур (P<0,01, R = 0,76–0,95). Здобуті результати доводять необхідність індивідуального підходу до вибору оптимального розміщення стрічки удобрення під кожну культуру окремо. Загалом збільшення глибини закладання стрічки добрив рекомендується як захід адаптації агротехніки до нестабільного та недостатнього зволоження протягом вегетації.

Ключові слова: стрічкове внесення добрив, доступні елементи живлення, гідротермічні умови, хлорофіл, урожайність

Форма цитування: Мірошніченко М.М., Гладкіх Є.Ю., Смиченко В.М., Войтович О.М. Позитивний вплив глибокого внесення добрив на їх агрономічну ефективність та урожайність сої і соняшнику на чорноземі. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 94. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 4-14.. <https://doi.org/10.31073/acss94-01>

УДК 631.811

Розрахунковий метод визначення рівня забезпеченості рослин макроелементами живлення

А. О. Христенко

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 25.11.2022 Отримано після доопрацювання 24.07.2023 Затверджено до видання 25.07.2023 Доступно онлайн 02.08.2023	Метою статті є висвітлення результатів досліджень та обґрунтування можливості використання розрахункового методу визначення рівня забезпеченості рослин макроелементами живлення. Удосконалення інформаційно-методичного забезпечення сталого управління живленням сільськогосподарських культур в умовах військового стану набуває особливого значення — це дозволить значно ефективніше використовувати вельми обмежені ресурси добрив. Застосовувані матеріали і методи: результати багаторічних досліджень у стаціонарному польовому досліді; аналіз, узагальнення і статистична обробка даних фондових і сучасних літературних матеріалів (частково об'єднаних в електронній базі даних); аналіз та узагальнення даних агрохімічної служби країни. Досліджувані об'єкти: основні ґрунти України, в тому числі, чорнозем типовий (Haplic Chernozem) важкосуглинковий, теоретичне обґрунтування математичної формалізації та інтерпретації оцінки азотного, фосфатного і калійного стану ґрунтів України. Встановлено, що валовий вміст у ґрунті сполук азоту, фосфору і калію можна досить точно прогнозувати побудувавши математичну модель. Запропоновано відповідні рівняння регресії. На жаль, практична значущість таких моделей — невисока. Доведено також, що пряма спроба побудувати модель залежності вмісту рухомих сполук фосфору, чи калію від складу ґрунту, або його властивостей приречена на невдачу. Разом з тим, виявлені особливості азотних, фосфатних і калійних систем ґрунтів (як термодинамічних систем) дозволили теоретично обґрунтувати можливість математичної формалізації оцінки трофічного стану орних ґрунтів (рівня забезпеченості природним мінеральним азотом), а також, рухомими сполуками фосфору і калію в умовах їх екстенсивного, інтенсивного та постінтенсивного використання. Підтверджено, що всі, без винятку, хімічні методи аналізу (кислотні, лужні, сольові) мають властивість чітко відображати наявність фосфору, або калію, які надійшли у ґрунт у вигляді водорозчинних добрив. Оскільки величина фосфатного чи калійного рівня неудообрених чи малоудообрених орних ґрунтів є величиною постійною, проводити будь-яке додаткове їх обстеження, особливо у умовах війни, не є доцільним. Розроблено математичні моделі для екстраполяції та інтерполяції даних про вміст рухомих сполук азоту, фосфору і калію в орних ґрунтах, що формується під впливом природних або антропогенних чинників.

* E-mail: khrstenko53@gmail.com

Форма цитування: Христенко А.О. Розрахунковий метод визначення рівня забезпеченості рослин макроелементами живлення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 94. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 15-21. <https://doi.org/10.31073/acss94-02>

1. Вступ

Реалізація завдання сталого управління живленням рослин викликає потребу в багаторазовому збільшенні обсягів одержуваної і оброблюваної інформації, що призводить до різкого збільшення трудових і фінансових витрат. Внаслідок цього зростає необхідність у розробці надійних математичних моделей функціонування трофічних систем ґрунтів, які дозволять оптимізувати цю задачу — моделювання як метод дослідження явищ і процесів, що ґрунтується на заміні конкретного об'єкта досліджень (оригінала) іншим, подібним до нього (моделлю) [1].

Співробітники ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» розробили систему національних стандартів України для нормування хімічних методів визначення вмісту азоту, фосфору і калію в ґрунтах, що дозволило істотно підвищити точність ґрунтової діагностики живлення рослин. Система стандартів включає найбільш поширені у світі методи — визначення вмісту рухомого фосфору за Olsen, pH 8,5 (ДСТУ ISO 11261), а також рухомого калію — екстрагуванням $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, pH 7,0 (ДСТУ 7907). Саме ці методи було використано для складання загальноєвропейської бази даних «Land Use/Cover Area frame statistical Survey Soil» (LUCAS) та відповідних тематичних картосхем [2]. Гармонізація національного та європейського технічного законодавства є однією з умов прискорення вступу України до ЄС та розвитку економічного співробітництва в усіх галузях АПК [3].

Водночас, досвід використання ряду нормативних документів України показав наявність низки невирішених проблем та необхідність удосконалення існуючої нормативної бази. Проблеми з точністю діагностики трофічного стану ґрунтів стримують розвиток такого перспективного напрямку, як технології точного землеробства (precision farming) [4].

Традиційний спосіб визначення рівня забезпеченості рослин макроелементами їх ґрунтового живлення (відбір проб ґрунту, їх транспортування, зберігання, підготування та проведення хімічного аналізу), є досить коштовним, дуже трудомістким та потребує багато часу. Крім того, слід визнати, що за відсутності відповідної техніки — це дуже важка, а часом брудна, запилена та шкідлива для здоров'я робота. Використання розрахункового методу для визначення рівня забезпеченості рослин

макроелементами живлення, в принципі, дозволить уникнути більшості цих мінусів, оптимізувати завдання контролю та прогнозу стану родючості ґрунтів, а також значно ефективніше використовувати дуже обмежені ресурси добрив. В умовах воєнного стану ця розробка стає ще актуальнішою.

Побудова моделей — динамічних, імітаційних та інших, полегшує перевірку робочих гіпотез, сприяє упорядкуванню вихідних даних, допомагає кількісно оцінити різні процеси, дає прогноз різних довгострокових ефектів у системі «ґрунт – добриво – рослина» без проведення дослідів. Сама модель може бути представлена в різній формі: графічно — рисунок, або алгебраїчно — апроксимаційна формула [5]. Математичні моделі ділять на два класи залежно від оптимізаційного або імітаційного режиму їх використання. У першому випадку для заданої функції знаходять оптимальну стратегію, у другому — прогнозують наслідки від вибору різної стратегії при заданих значеннях вихідних змінних [6].

Великого поширення набули регресійні моделі, де зв'язок між показниками (відгуком і факторами) описується алгебраїчними рівняннями. Регресійні моделі застосовують для опису явно виражених просторових або тимчасових трендів агрохімічних показників. Це дозволяє охарактеризувати характер тренду (лінійний, нелінійний), крутість його, за відхиленням реальних даних вимірювань від тренду, більш чітко виявити окремі особливості просторового розташування показника [7].

Основною проблемою, що заважає отриманню точних моделей є недосконалість теоретичних уявлень про стан родючості ґрунтів відносно їх забезпеченості макроелементами живлення рослин. Так, наприклад, панівна концепція постійного «виснаження» і «незворотної деградації» екстенсивно використовуваних ґрунтів мирно співіснує з уявленнями про можливість самовільного підвищення вмісту елементів живлення у ґрунті в умовах їх різко негативного балансу [8, 9, 10].

В основу досліджень покладено концепцію, яка розглядає різні ґрунтові системи як відкриті поліморфні і полікомпонентні термодинамічні системи, які обмінюються з середовищем речовиною та енергією. Дисипативні структури утворюються та зберігаються завдяки обміну речовиною і енергією із зовнішнім середовищем, тобто функціонування є умовою їх збереження [11]. «Квазістаціонарний режим функціонування ґрунту» забезпечує підтримку стабільного, але невисокого природного рівня забезпеченості орних ґрунтів макроелементами живлення рослин в умовах коливання зовнішніх факторів [12].

Це єдина концепція, яка повністю відповідає історії і практиці землеробства, в тому числі, феномену високої ефективності азотних, фосфорних і калійних добрив на будь-яких типах орних ґрунтів із природним рівнем родючості.

Метою досліджень є обґрунтування можливості використання розрахункового методу визначення рівня забезпеченості рослин макроелементами живлення замість прямого польового обстеження.

2. Об'єкти і методи досліджень

Спосіб досліджень — аналіз, узагальнення і статистична обробка фондових матеріалів, а також сучасних даних відділу агрохімії ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»; аналіз матеріалів електронної інформаційної бази даних, яка включає як експериментальні дані відділу агрохімії, так і літературні дані, що характеризують агрохімічні елементи родючості основних типів ґрунтів України.

Об'єктом сучасних прямих досліджень автора були дані з польового багаторічного стаціонарного дослідів, закладеного у 1969–1970 роках на чорноземі типовому важкосуглинковому, після розорювання 40-річного перелогу (ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», Харківський район Харківської області). Впродовж 1969–1970 рр. внесенням високих доз мінеральних добрив (400; 800 та 1200 кг/га д. р.) було створено чотири рівні (природний, середній, підвищений та високий) азотних, фосфорних, калійних та азотно-фосфорно-калійних агрохімічних фонів. На кожному з цих фонів було закладено дрібноділянковий дослід. Середньорічна норма добрива (до теперішнього часу) на варіанті 111 становить $N_{50}P_{50}K_{50}$, на варіанті 222 — $N_{100}P_{100}K_{100}$. Крім того, на всіх фонах, крім контрольних, за кілька ротаций сівозміни було внесено 140 т/га (сумарно) напівперепрілого гною [13].

Агрохімічні аналізи виконували за методиками відповідно до чинних нормативних документів. Для аналізу й обробки масивів даних використано СУБД Access 98. Отримана інформація оброблялася за допомогою інтегрованої з Access 98 програмою Microsoft Excel 98 і статистичного пакету програми Statistica 10.0. Крім того, проведено аналіз та узагальнення матеріалів агрохімічної служби країни (нині — ДУ «Інститут охорони ґрунтів України») стосовно динаміки вмісту рухомих сполук фосфору і калію в ґрунтах.

3. Результати досліджень та їх обговорення

Доведено, що загальний вміст азоту, калію, валових і органічних фосфатів у ґрунтах, велика частина яких становлять термодинамічно стійкі форми, можна досить точно математично формалізувати, тобто, побудувати математичні моделі. Запропоновано відповідні рівняння регресії.

Так, наприклад, залежність між вмістом органічної речовини в ґрунтах і загальною кількістю азоту характеризується рівнянням:

$$N_{\text{заг.}} = 0,043 + 0,048C \quad r = 0,72, \quad (1)$$

де $N_{\text{заг.}}$ – загальний вміст азоту у ґрунті, %; C – загальний вміст гумусу, %.

Тобто, знаючи загальний вміст гумусу можна за допомогою рівняння 1 досить точно розрахувати загальний (валовий) вміст азоту в ґрунті. В таблиці 1 представлено дані вмісту азоту аналітичні і розраховані з використанням значень вмісту гумусу.

Таблиця 1

Значення загального вмісту азоту в орному шарі ґрунтів України – аналітичні та розраховані залежно від вмісту гумусу

Ґрунт	Вміст гумусу, %	Загальний вміст азоту ($N_{\text{заг.}}$), %	
		фактичний	розрахунковий
Дерново-підзолистий	0,7	0,08	0,08
Дерново-підзолистий	1,0	0,08	0,09
Ясно-сірий лісовий	2,1	0,17	0,14
Темно-сірий опідзолений	3,3	0,18	0,20
Чорнозем опідзолений	4,2	0,23	0,25
Чорнозем опідзолений	4,3	0,24	0,24
Чорнозем звичайний	4,4	0,24	0,25
Чорнозем звичайний	4,7	0,28	0,27
Чорнозем типовий	5,5	0,34	0,31
Чорнозем типовий	5,8	0,35	0,32

На жаль, зв'язок між загальними запасами азоту, фосфору і калію, з одного боку, і ефективністю добрив, з іншого, майже відсутній. Тому практична значущість таких моделей невелика. Більш доцільним є створення математичних моделей, які дозволяють розрахунковим шляхом досить точно визначати рівень забезпеченості рослин доступними сполуками елементів живлення, оскільки така інформація є найбільш актуальною і корисною для практики.

Проведеними дослідженнями підтверджено, що азотна система ґрунтів є більш динамічною порівняно з іншими трофічними системами ґрунтів. На відміну від таких абстрактних показників, як «рухомий фосфор», або «рухомий калій», мінеральний азот (насамперед, його нітратна складова) є сполукою, яка реально присутня в ґрунтового розчині, що допускає можливість певної динаміки величини азотного рівня ґрунтів під впливом ряду чинників.

Раніше проведений аналіз власних і літературних даних показав, що високий вміст у ґрунті мінерального азоту (нітратного й амонійного) відзначається практично в трьох випадках: після чорного пару, після розорювання пласта багаторічних бобових трав, а також за внесення підвищених норм органічних і азотних добрив. Причому підвищений або високий вміст азоту в ґрунтах, у такому разі, зберігається не більше 6–10 місяців. У переважній більшості інших випадків, незалежно від типу ґрунтів, забезпеченість рослин доступним азотом перебуває у межах дуже низьких чи низьких значень. Тому на всіх неокультурених ґрунтах Полісся та Лісостепу ефективність азотних добрив дуже висока. У зоні Степу, у зв'язку з нестачею вологи, ефективність азоту є дещо нижчою [4].

Низька природна насиченість більшості орних ґрунтів доступним рослинам азотом пояснюється недостатнім умістом у ґрунтах органічних речовин, які легко розкладаються, що зумовлено низьким рівнем застосування органічних добрив і майже повною відсутністю посівів багаторічних бобових трав.

Факт низької природної насиченості орних ґрунтів України мінеральним азотом повністю підтверджується даними тривалого стаціонарного польового дослідження, закладеного на чорноземі типовому важкосуглинковому. Вміст цієї форми азоту у ґрунті протягом усіх п'ятдесяти років досліджень перебував у межах або дуже низьких, або низьких значень забезпеченості. Незначна позитивна динаміка вмісту азоту пов'язана з впливом кліматичного чинника.

Статистичний аналіз даних, показав, що природний вміст нітратного азоту в чорноземі типовому протягом 48 років характеризується рівнянням регресії:

$$N-NO_3 = 6,47 - 0,02T \quad r = -0,08, \quad (2)$$

де $N-NO_3$ – вміст нітратного азоту, мг/кг ґрунту; T – роки досліджень.

Виявлені особливості азотної системи ґрунтів дозволяють достатньо однозначно інтерпретувати одержані дані і теоретично обґрунтувати можливість математичної формалізації оцінки азотного стану ґрунту по непарових попередниках (рівня забезпеченості їх мінеральним, або нітратним азотом) в умовах екстенсивного використання.

Доведено, що пряма спроба побудувати модель залежності вмісту рухомого фосфору, або калію від складу ґрунту, або його властивостей приречена на невдачу. Це пов'язано з тим фактом, що рухомого фосфору (калію), як такого, в ґрунті не існує. Незважаючи на це, можливість одержання адекватної математичної моделі, яка б дозволила розрахунковим шляхом визначати насиченість ґрунту рухомими сполуками фосфору або калію, таки є. Але реалізується ця можливість лише в тому випадку, якщо розглядати трофічні системи ґрунтів як термодинамічні системи. Підтверджено, що кількість реально доступних рослинам сполук фосфору і калію в екстенсивно використовуваній ріллі є величиною постійною (і по суті є константою), а рівень забезпеченості рослин цими елементами живлення відповідає межі низьких і середніх значень [4]. Тобто, відповідно до принципів хімічної термодинаміки фосфатна і калійна системи ґрунтів, як термодинамічні системи, відповідають такому рівню рівноваги, який найбільш імовірний в умовах поверхні планети (певних значень фізико-хімічних показників, характерних для поверхні Землі). При цьому, природний рівень забезпеченості орних ґрунтів фосфором і калієм стабільний не тільки в просторі, але і в часі. Так, наприклад, вміст рухомих сполук фосфору на контрольних варіантах досліді (чорнозем типовий важкосуглинковий) упродовж 50 років не змінювався і коливався в межах похибки експерименту — 40–50 мг/кг P_2O_5 . Вміст рухомого калію (визначений за методом Чирикова) за той самий час коливався в межах 65–85 мг/кг K_2O .

Раніше було доведено, що за систематичного внесення навіть невеликих норм фосфорних (P_{10-20}), або калійних (K_{20-30}) добрив, спостерігається поступове накопичення їх залишкових сполук у ґрунті. Але за таких норм внесення добрив факт підвищення можна статистично довести лише років через 30–70 [14].

Можливо, слід пояснити факт частого самоцититування автора статті. Це вимушений захід, оскільки, по-перше, довести факт стабільності трофічних систем орних ґрунтів можна лише спираючись на десятки років досліджень; по-друге, аналогічних публікацій практично немає. Остання знайдена робота, що безпосередньо стосується теми цієї статті, датується 1986 роком [15].

Отже, оскільки величина рівня фосфатної чи калійної забезпеченості рослин на неудообрених або малоудообрених орних ґрунтах є величиною постійною, немає особливого сенсу проводити якесь додаткове обстеження, тим більше в умовах війни.

Інша річ, якщо у ґрунт систематично вносять підвищені або високі ($P_{25}K_{35}$ і вище) норми добрив. Статистична обробка даних тривалого польового досліді показала, що у цьому випадку (особливо у перші 30 років) між вмістом фосфору у ґрунті та кількістю внесеного фосфору існує пряма залежність (Рис.1). Ця закономірність описується рівнянням:

$$P_{\text{чир}} = 44,517 + 0,0576N \quad r = 0,83 \quad (3)$$

де $P_{\text{чир}}$ – вміст P_2O_5 визначений за методом Чирикова, мг/кг ґрунту; N – сумарна норма внесених добрив, кг P_2O_5 на га.

Тобто, в середньому, внесення кожної наступної дози фосфорних добрив (100 кг P_2O_5 /га) підвищує вміст P_2O_5 в орному шарі цього ґрунту на 5,76 мг/кг.

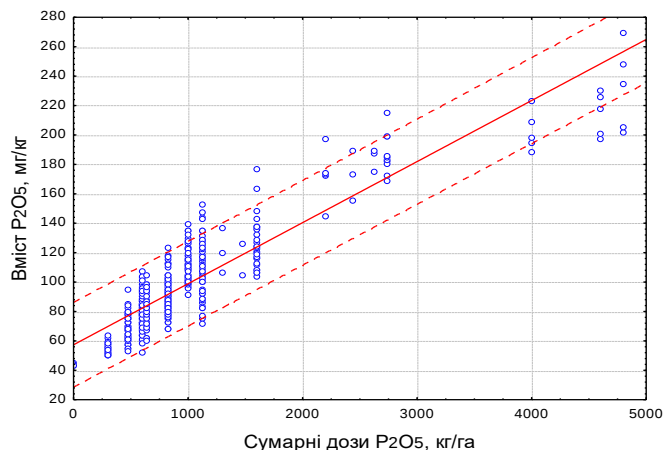


Рис.1. Динаміка вмісту рухомого фосфору, визначеного за методом Чирикова, в орному шарі чорнозему типового залежно від сумарної кількості внесених добрив.

З урахуванням похибки можна прогнозувати, що за таких норм внесення вміст P_2O_5 в цьому ґрунті у 2030 році становитиме 276–306 мг/кг, причому скоріше 276 мг, ніж 306 мг/кг. Справа в тому, що в умовах проведення тривалого експерименту (понад 40–50 років) можливим є поступове зниження інтенсивності накопичення поживних речовин добрив у ґрунті. Це пояснюється наростаючим впливом ентропійного чинника, а також фактору зменшення внутрішньої енергії речовини. Простіше кажучи — зі зростанням втрат і зниженням доступності рослинам фосфору (калію) добрив лінія тренду почне набувати слабовираженого криволінійного вигляду. Тобто починає виявлятися ще один фактор, а саме, фактор часу. Тому для, підвищення точності розрахунків доцільніше застосовувати квадратичну модель. А ще краще — збудувати нову лінійну модель на основі даних за останні 10–20 років.

Доведено, що всі, без винятку, хімічні методи (кислотні, лужні, сольові) мають властивість чітко відображати наявність фосфору або калію, які надійшли у ґрунт у вигляді водорозчинних добрив. В умовах тривалого стаціонарного дослідження на чорноземі типовому важкосуглинковому, коефіцієнт кореляції (r) між даними, здобутими різними хімічними методами (Чирикова, Мачигіна, Карпінського-Зам'ятіної), і кількістю внесених фосфорних добрив був однаково високим, відповідно — 0,83, 0,89 та 0,80. При цьому, оскільки всі три методи придатні для даного ґрунту, значення рівня забезпеченості фосфором повністю збігаються (Табл. 2).

Таблиця 2

Вміст фосфору в орному шарі чорнозему типового залежно від сумарної дози внесених фосфорних добрив

Сумарна доза P_2O_5 , кг/га	Вміст P_2O_5 (мг/кг ґрунту) та забезпеченість рослин		
	за Чириковим	за Мачигіним	за Карпінським-Зам'ятіною
0	44,5 (середня)	16,0 (середня)	0,23 (середня)
1000	102,1 (підвищена)	30,1 (підвищена)	1,03 (підвищена)
2000	159,7 (висока)	47,3 (висока)	1,83 (висока)
3000	217,3 (дуже висока)	61,1 (дуже висока)	2,63 (дуже висока)

Відомо, що якщо дослідження модельованого об'єкта виходять за межі значень аргументів регресійної моделі (екстраполяція), то точність відповідних розрахунків зазвичай падає [7].

Разом з тим, у багатьох випадках моделі дозволяють досить точно прогнозувати динаміку фосфатного стану ґрунтів на значний час. Так, наприклад, закономірність падіння фосфатного рівня чорнозему типового важкосуглинкового після припинення внесення фосфорних добрив описує рівняння, отримане ще в 2003 році на основі 20-річних даних:

$$P_{\text{чир}} = 185,72 - 6,24T + 0,07T^2 \quad r = 0,86, \quad (4)$$

де $P_{\text{чир}}$ — вміст P_2O_5 за методом Чирикова, мг/кг ґрунту; T — кількість років.

Внесення норми $P_{600} + P_{600}$ у 1969 і 1970 роках і додаткове разове внесення P_{600} у 1983 році дозволило підвищити вміст рухомого фосфору (P_2O_5) з 45 мг/кг ґрунту до 185, тобто, на 140 мг/кг. Після припинення внесення добрив (згідно з одержаною математичною моделлю) середньорічне падіння вмісту P_2O_5 на фосфатному фоні становило, в середньому, 4,8 мг/кг ґрунту (Рис. 2).

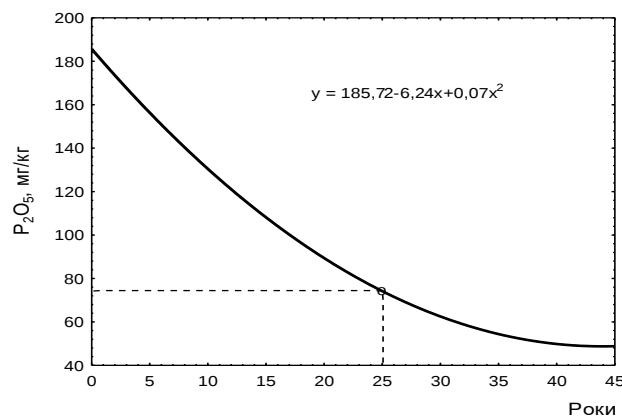


Рис.2. Динаміка зниження вмісту залишкових фосфатів добрив у орному шарі чорнозему типового після створення фосфатного фону (шляхом внесення разових доз $P_{1200} + P_{600}$)

Перевірка адекватності даної моделі, проведена через 5 років, показала, що вміст рухомого фосфору (всього 25 років), згідно з рівнянням регресії, повинен становити 74 мг P_2O_5 /100 кг ґрунту. Фактичне значення вмісту рухомого фосфору на цьому варіанті дослідження становило на той час (72–82 мг P_2O_5 /кг ґрунту). Зниження фосфатного рівня ґрунту зі 185 мг P_2O_5 /кг до рівня динамічної рівноваги (45–50 мг P_2O_5 /кг), відповідно моделі, очікувалося не раніше ніж через 37–40 років, тобто, не раніше 2020 року. Вміст P_2O_5 у цьому році мав би становити 50,7 мг/кг ґрунту. Фактичний вміст P_2O_5 в орному шарі ґрунту у 2020 році — 50,1 мг/кг. Тобто, ця модель повністю відповідає дійсності.

Інтенсивність накопичення в орному шарі чорнозему типового вмісту рухомого калію за систематичного внесення калійних добрив характеризується рівнянням:

$$K_{\text{чир}} = 86,0629 + 0,0206D \quad r = 0,81, \quad (5)$$

де $K_{\text{чир}}$ — вміст K_2O за методом Чирикова, мг/кг ґрунту; D — сумарна кількість (доза) внесених добрив, K_2O кг/га.

Згідно з моделлю, норматив витрат калійних добрив для зсуву вмісту K_2O на 1 мг/кг ґрунту за середньорічної норми внесення 100 кг K_2O /га становить — 2,06 мг/кг ґрунту (Рис. 3).

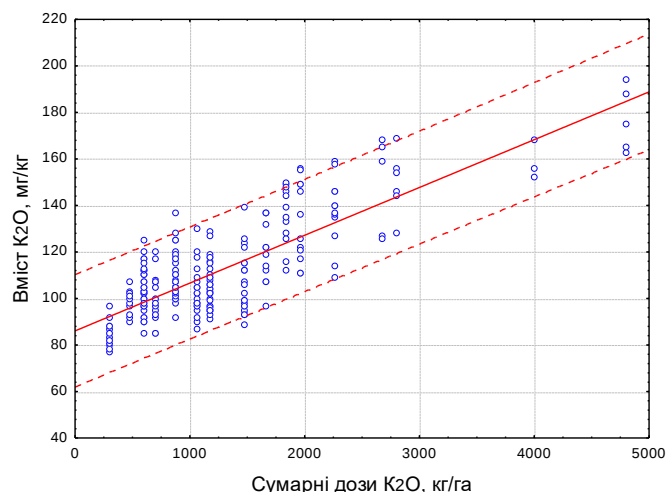


Рис. 3. Динаміка вмісту рухомого калію, визначеного за методом Чирикова, в орному шарі чорнозему типового залежно від сумарної кількості внесених добрив

Відповідно до моделі за таких норм внесення вміст K_2O в цьому ґрунті в 2030 році буде знаходитися в межах 180–210 мг/кг.

Вище вже обговорювалося значення двох факторів, що впливають на інтенсивність накопичення в ґрунті залишкових сполук добрив, особливо фосфору. Разом з тим існує поширена думка про наявність третього, а саме — фактору відмінностей у гранулометричному складі ґрунтів.

Попередні дані (результати вегетаційного дослідження) дозволяють висловити сумнів у правильності тези про те, що за більш важкого гранулометричного складу є більшими витрати фосфору або калію добрив для зсуву вмісту цих елементів живлення. Той факт, що одноразова витяжка будь-якого екстрагента, витягує із зразків супіщаних ґрунтів (за рівних доз P_2O_5) значно більше залишкових фосфатів добрив, ніж із ґрунтів суглинкового та глинистого гранулометричного складу, зовсім не свідчить про кращу забезпеченість рослин фосфором на легких ґрунтах. У цьому досліді збільшення надходження фосфору до рослин у легких ґрунтах перебувало у межах похибки експерименту [4].

Тому можна з високим ступенем імовірності припустити, що математичні моделі, дані для яких було отримано на важкосуглинковому ґрунті, можна успішно використовувати для більшості ґрунтів на лесових породах із вмістом фізичної глини 30–60 %.

Таким чином, виявлені особливості фосфатних і калійних систем ґрунтів дозволяють теоретично обґрунтувати можливість математичної формалізації оцінки трофічного стану ґрунтів (рівня насиченості їх рухомими сполуками) в умовах їх екстенсивного та інтенсивного використання. При цьому немає принципових відмінностей між завданнями визначення рівня родючості ґрунту конкретного поля і, скажімо, ґрунтів країни загалом. Проблема полягає лише у необхідності мати відповідну інформацію.

У даний час ведеться робота з уточнення математичних моделей, необхідних для прогнозування динаміки родючості ґрунтів щодо їх насиченості фосфором та калієм (екстраполяція даних), у розрізі природних зон України в цілому на основі матеріалів ДУ «Інститут охорони ґрунтів України».

Висновки

Загальний вміст азоту, калію, валових і органічних фосфатів у ґрунтах, велика частина яких перебуває у термодинамічно стійких формах, можна досить точно математично формалізувати, тобто побудувати математичну модель. Запропоновано відповідні рівняння регресії. На жаль, практично відсутній зв'язок між загальними (валовими) запасами поживних речовин і ефективністю відповідних добрив, тому практичне значення таких моделей невисоке.

Визначені особливості азотних, фосфатних і калійних систем ґрунтів дозволили теоретично обґрунтувати можливість математичної формалізації оцінки трофічного стану орних ґрунтів (рівня насиченості природним мінеральним азотом, а також, рухомими сполуками фосфору і калію) в умовах їх екстенсивного, інтенсивного та постінтенсивного використання.

Розроблено математичні моделі для екстраполяції та інтерполяції даних про вміст рухомих сполук азоту, фосфору і калію в орних ґрунтах під впливом природних або антропогенних чинників.

Список використаних джерел

1. The FAO AGROVOC Thesaurus. URL: https://agrovoc.fao.org/browse/agrovoc/en/page/c_4881
2. LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: a review. / A. Orgiazzi, C. Ballabio, P. Pangos [et al.]. *European Journal of Soil Science*. 2018. 69: 140–153. <https://doi.org/10.1111/ejss.124>

3. 2014/295/EU: Council Decision of 17 March 2014 on the signing, on behalf of the European Union, and provisional application of the Association Agreement between the European Union and the European Atomic Energy Community and their Member States, of the one part, and Ukraine, of the other part, as regards the Preamble, Article 1, and Titles I, II and VII thereof. *Official Journal of European Union*. L 161. 29 may 2014. Vol. 57. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:2014:161:TOC>
4. Христенко А.А. *Теоретические и практические аспекты оценки состояния и динамики азотных, фосфатных и калийных систем почв*. Харьков: ФЛП Бровин А.В., 2019. 180 с.
5. Лисовой Н.В. Математические модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. *Современные проблемы опытного дела: материалы Междунар. науч.-практ. конференции*. СПб., 2000. С. 46–49.
6. Сычев В.Г. *Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования*. Москва: РАН, 2019. 328 с. URL: <https://new.ras.ru/upload/iblock/6b8/jzi8iax93h454961hgg97hng8wqlqshsk.pdf>
7. Фрид А.С. Современное состояние моделирования в агрохимии. *Агрохимия*. 2004. № 1. С. 40–45.
8. Фосфатный режим чернозема типичного в зависимости от интенсивности его использования / В.Б. Азаров, П.Г. Акулов, В.Д. Соловichenko, Б.Ф. Азаров. *Агрохимия*. 2003. № 8. С. 13–25.
9. Влияние удобрений, способов основной обработки почвы и типа севооборота на динамику содержания обменного калия в черноземе типичном / В.Б. Азаров, П.Г. Акулов, В.Д. Соловichenko, Б.Ф. Азаров. *Агрохимия*. 2003. № 9. С. 5–13.
10. Шафран С.А. Динамика применения удобрений и плодородие почв. *Агрохимия*. 2004. №1. С. 9–17.
11. Гландорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций [пер. с англ.]. Москва: Мир, 1973. 284 с. URL: <https://ikfia.ysn.ru/wp-content/uploads/2018/01/GlensdorffPrigozhin1973ru.pdf>
12. Трофимов С.Я., Седов С.Н. Функционирование почв в биосфере: подходы к описанию и анализ. *Почвоведение*. 1997. № 6. С. 770–778.
13. Носко Б.С. Использование метода моделирования фонов при изучении агрохимических свойств почв. *Агрохимия*. 1981. №1. С. 122–127.
14. Христенко А.О. Теоретичні проблеми методології балансової оцінки кругообігу макроелементів живлення в системі «добрива-ґрунт-рослина». *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2020. Вип. 90. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 47–56. <https://doi.org/10.31073/acss90-05>
15. Фрид А.С., Прохорова З.А. Изучение многолетней динамики подвижных фосфатов в дерново-подзолистой почве. *Агрохимия*. 1986. № 6. С. 22–28.

UDC 631.811

Calculation method for determining the level of supply of plants with macronutrients

A. O. Khrystenko

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine

The purpose of the article is to highlight the results of research and substantiate the possibility of using the calculation method for determining the level of provision of plants with macronutrients. Improving the information and methodological support for sustainable management of crop nutrition in a state of war is of particular importance – this will allow much more efficient use of very limited fertilizer resources. Applied materials and methods: - results of many years of research in a stationary field experiment; analysis, generalization and statistical processing of data from stock and modern literary materials (partially combined in an electronic database); analysis and synthesis of data from the agrochemical service in the country. Investigated objects: the main soils of Ukraine, including typical chernozem (Haplic Chernozem), theoretical substantiation of mathematical formalization and interpretation of the assessment of the nitrogen, phosphate and potassium status of Ukrainian soils. It has been established that the total content of nitrogen, phosphorus and potassium compounds in the soil can be predicted quite accurately by building a mathematical model. The corresponding regression equations are proposed. Unfortunately, the practical significance of such models is low. It has been proved that a direct attempt to build a model of the dependence of the content of mobile compounds of phosphorus or potassium on the composition of the soil or its properties is doomed to failure. At the same time, the identified features of the nitrogen, phosphate, and potassium systems of soils (as thermodynamic systems) made it possible to theoretically substantiate the possibility of mathematical formalization of the assessment of the trophic state of arable soils (the level of provision with natural mineral nitrogen), as well as mobile compounds of phosphorus and potassium under their extensive conditions. intensive and post-intensive use. It has been confirmed that all, without exception, chemical methods of analysis (acidic, alkaline, and saline) have the ability to clearly reflect the presence of phosphorus or potassium, which entered the soil in the form of water-soluble fertilizers. Since the value of the phosphate or potassium level of unfertilized or poorly fertilized arable soils is a constant value, it is not advisable to conduct any additional examination of them, especially in war conditions. Mathematical models have been developed for extrapolation and interpolation of data on the content of mobile compounds of nitrogen, phosphorus and potassium in arable soils formed under the influence of natural or anthropogenic factors.

Keywords: soil, sustainable management, mathematical formalization, macronutrient, model, trophic state.

Citing: Khrystenko A. O. (2023). Calculation method for determining the level of supply of plants with macronutrients. *AgroChemistry and Soil Science*. 94, 15–21. [doi:10.31073/acss94-02](https://doi.org/10.31073/acss94-02) [in Ukrainian].

УДК 631.8:631.41

Вплив тривалого внесення добрив на агрохімічні показники чорнозему типового та якість зерна пшениці озимої

А. С. Заришняк¹, М. В. Лісовий^{2*}, В. М. Ніконенко², О. І. Сліденко²

¹Національна академія аграрних наук України, Київ

²Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 07.12.2022 Отримано після доопрацювання 18.07.2023 Затверджено до видання 25.07.2023 Доступно онлайн 03.08.2023	Метою статті є викладення результатів аналітичних досліджень з оцінювання змін у параметрах властивостей ґрунту у польовому стаціонарному досліді під впливом 28-річного внесення різних видів і комбінацій мінеральних добрив на двох агрофонах у сівозміні. Дослід закладено 1990 року на чорноземі типовому важкосуглинковому (<i>Haplic Chernozem</i>) у дослідному господарстві «Граківське», що належить ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», у Чугувському районі Харківської області, з метою ведення агроекологічного моніторингу в умовах інтенсивного землеробства для встановлення допустимого рівня навантаження інтенсивної хімізації на фізичні, хімічні й біологічні ґрунтові процеси. У пробах ґрунту, відібраних у 2019 р. з шару 0-30 см, визначали рН ґрунтового розчину та вміст таких компонентів ґрунту: гумус; мінеральні сполуки азоту; нітратний азот; амонійний азот; рухомі сполуки фосфору; рухомі сполуки калію, а також визначали якість зерна пшениці озимої за вмістом клейковини. Результати вимірювань порівнювали з параметрами вихідного стану ґрунту в 1990 р. з метою виявлення змін, які відбулися, після тривалої дії різних видів добрив. Сім варіантів досліді з різними комбінаціями добрив та контрольний варіант — без добрив розміщено на двох агрофонах — природний (вносили тільки мінеральні добрива) і післядія гною (вносили мінеральні добрива та гній). Загальний висновок: На чорноземі типовому в зоні Лісостепу лівобережного високого України тривале (28 років) застосування мінеральних добрив на природному агрофоні негативно впливає на реакцію ґрунтового розчину і загальний вміст гумусу та позитивно — на накопичення в ґрунті рухомих сполук азоту, фосфору й калію. На агрофоні післядії гною негативний вплив мінеральних добрив на властивості ґрунту проявляється меншою мірою. Внесення азотних і фосфорних добрив у нормах $N_{60} P_{120}$ забезпечує вміст клейковини в зерні пшениці озимої на рівні 25 %, що відповідає нормативним вимогам до зерна другого класу групи А.
Ключові слова: мінеральні добрива; чорнозем типовий; агрохімічні показники ґрунту; пшениця озима;	

* E-mail: labl@meta.ua

Форма цитування: Вплив тривалого внесення добрив на агрохімічні показники чорнозему типового та якість зерна пшениці озимої. /

Заришняк А.С., Лісовий М.В., Ніконенко В.М., Сліденко О.І. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 94. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». С. 22-29. <https://doi.org/10.31073/acss94-03>

1. Вступ

Управляти родючістю — це послідовно поліпшувати властивості ґрунту відповідно до потреб рослин, зокрема, щодо рівня їх живлення. За такого підходу родючість зростає, результатом чого є зростання врожайності культур. Відтак, система управління родючістю ґрунту стає складовою частиною системи управління продуктивністю агрофітоценозу [1].

Гумус є найважливішим показником ґрунтової родючості, який визначає структурність, ємність поглинання, буферність, водні та поживні режими [2]. Відновлення родючості чорноземів ґрунтується на забезпеченні бездефіцитного балансу гумусу та елементів живлення, тобто, як мінімум, стабілізації їх умісту і запасів [3]. На процеси гумусоутворення впливають як природні фактори, так і антропогенні [4]. Застосування лише мінеральних добрив зумовлює посилення мінералізації органічної речовини ґрунту [5]. Недотримання науково обґрунтованої системи внесення добрив негативно впливає на мінералізаційно-іммобілізаційні процеси в ґрунтах та зміну азотного фонду [6]. В чорноземах типових Лісостепу лівобережного високого вміст загального азоту коливається у межах 0,25–0,30 % від маси ґрунту. Основна його частина знаходиться в органічних сполуках, а мінеральний азот (амонійні та нітратні сполуки) становить 1–2 % від загального вмісту азоту [7]. Азотні добрива стимулюють розвиток мікроорганізмів, які розкладають клітковину і посилюють процес гумусоутворення [8]. Забезпеченість рослин достатньою кількістю фосфатів залежить, в основному, від їх запасів у ґрунті, ступення рухомості, реакції ґрунтового розчину, оптимального співвідношення рухомих сполук азоту і фосфору, активності мікробіологічних процесів у ґрунті [9].

Фундаментальні дослідження змін фосфорного режиму ґрунту під впливом систематичного внесення фосфорних добрив провів Б.С. Носко [10]. Він установив, що в ґрунті накопичуються «залишкові фосфати», які доступні рослинам. За систематичного внесення калійних добрив, калій переходить у доступні та фіксовані сполуки, що характерні для ґрунту [11]. Антропогенне навантаження на агрокосистему вимагає враховувати баланс органічної речовини та рухомих поживних речовин [12]. Мінеральні добрива по-різному впливають на якість зерна пшениці озимої, параметри якої визначаються нормативними документами [13]. Сучасні агротехнології потребують розробки нових систем удобрення культур у сівозмінах [14], вирощування культур з використанням органо-мінеральної системи удобрення та альтернативної, з використанням сидератів і побічної продукції і застосування

нанодобрих для позакореневого підживлення рослин, що забезпечує підвищення родючості ґрунтів і продуктивності культур [15].

Метою статті було показати як вплинуло на параметри властивостей ґрунту багаторічне внесення різних видів мінеральних добрив та їх комбінацій як окремо, так і на фоні періодичного угноєння.

2. Об'єкти і методи досліджень

Дослідження проведено в умовах польового стаціонарного досліді «Агроекологічний моніторинг», який закладено в 1990 р. на чорноземі типовому важкосуглинковому (*Haplic Chernozem*), у дослідному господарстві «Граківське дослідне поле» (нині ДП «ДГ «Граківське»), яке належить ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», у Чугуївському районі Харківської області. На ділянці перед закладанням досліді було проведено вирівнювальний посів ячменю ярого. Схема польового досліді математично спланована і набір обраних для досліджень варіантів являє собою восьмигранну схему Ж. Вілля.

Визначали багаторічний вплив окремих видів мінеральних добрив та їх поєднань на показники родючості ґрунту на семи варіантах (Табл. 1). Дію мінеральних добрив вивчали на двох агрофонах – природний (впродовж 28 років вносили тільки мінеральні добрива) та післядія гною (крім мінеральних добрив внесено сумарно 270 т/га гною).

Мінеральні добрива та гній вносили згідно зі схемою удобрення у сівозміні та агротехнічно обумовленими способами обробітку ґрунту.

Таблиця 1

Середня річна норма та загальна кількість мінеральних добрив, внесених за період 1990–2019 рр.

№ варіанта	Середня норма добрив за рік, кг/га	Всього внесено добрив за 28 років, кг/га
1	Без добрив (контроль)	0
2	N ₁₀₆	N ₂₉₇₀
3	P ₉₈	P ₂₇₃₀
4	K ₈₄	K ₂₃₅₀
5	N ₁₀₆ P ₉₈	N ₂₉₇₀ P ₂₇₃₀
6	N ₁₀₆ K ₈₄	N ₂₉₇₀ K ₂₃₅₀
7	P ₉₈ K ₈₄	P ₂₇₃₀ K ₂₃₅₀
8	N ₁₀₆ P ₉₈ K ₈₄	N ₂₉₇₀ P ₂₇₃₀ K ₂₃₅₀

Перед закладанням польового досліді (1990 р.) на всіх ділянках відібрано фонові проби ґрунту, з результатів аналізу яких визначено вихідний (початковий) стан ґрунту щодо його агрохімічних характеристик. Ці дані використано для порівняння з актуальним (на момент проведення досліджень, 2019 р.) станом ґрунту.

Проби ґрунту відбирали у серпні 2019 р. з шару 0–30 см згідно з ДСТУ ISO 10381-2¹. Загальний вміст гумусу визначали згідно з ДСТУ 4289²; вміст нітратного та амонійного азоту — за ДСТУ 4729³; вміст рухомих сполук фосфору й калію — за методом Мачигіна, згідно з ДСТУ 4114⁴; реакцію ґрунтового розчину (рН KCl) — згідно з ДСТУ ISO 10390⁵.

Якість зерна пшениці озимої визначали за вмістом клейковини, розраховуючи середнє значення за 3 роки (2015, 2016, 2017). Вміст клейковини в зерні пшениці озимої вимірювали на приладі Спектран – 119М.

¹ ДСТУ ISO 10381-2:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб (ISO 10381-2:2002, IDT). [Чинний від 2006–04–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 24 с.

² ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. [Чинний від 2004–04–30]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 18 с.

³ ДСТУ 4729:2007. Якість ґрунту. Визначання нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського. [Чинний від 2008–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 14 с.

⁴ ДСТУ 4114-2002 ґрунти. Визначання рухомих сполук фосфору й калію за модифікованим методом Мачигіна. [Чинний від 2003–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 11: с.

⁵ ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення рН (ISO 10390:2005, IDT). [Чинний від 2009–10–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2012. 8 с.

3. Результати досліджень

3.1. Вплив добрив на реакцію ґрунтового розчину (рН KCl)

Обмінна кислотність зростає, в першу чергу, від застосування азотних добрив (Табл. 2). Внесення протягом 28 років 2970 кг/га азоту підвищило кислотність ґрунту на одиницю рН. Потрібно зазначити, що процес підвищення кислотності відбувається й на контрольному варіанті, що пояснюється постійним підкисленням ґрунту через якість води атмосферних опадів.

Таблиця 2

Вплив добрив на реакцію ґрунтового розчину (рН_{KCl}) чорнозему типового

№ варіанта	Середня норма добрив за рік, кг/га	1990	Природний агрофон, 2019		Післядія гною, 2019	
		рН _{KCl}	рН _{KCl}	зміна, ±од. рН	рН _{KCl}	зміна, ±од. рН
1	Без добрив (контроль)	6,3	6,1	-0,2	6,3	0,0
2	N ₁₀₆	6,3	5,3	-1,0	5,5	-0,8
3	P ₉₈	6,3	5,6	-0,7	5,4	-0,9
4	K ₈₄	6,3	5,6	-0,7	5,9	-0,4
5	N ₁₀₆ P ₉₈	6,3	5,6	-0,7	5,8	-0,5
6	N ₁₀₆ K ₈₄	6,3	5,6	-0,7	5,5	-0,8
7	P ₉₈ K ₈₄	6,3	5,9	-0,4	6,0	-0,3
8	N ₁₀₆ P ₉₈ K ₈₄	6,3	6,2	-0,1	6,2	-0,1

Фосфорні та калійні добрива теж підвищують кислотність ґрунту, але менше, ніж азотні. Процес підкислення відбувається через внесення у ґрунт фізіологічно-кислих добрив, що потрібно враховувати при складанні системи удобрення культур у сівозміні.

На агрофоні післядії гною мінеральні добрива менше підкислюють ґрунт ніж на природному агрофоні. З парних комбінацій найменше впливає на обмінну кислотність сукупне внесення фосфорних і калійних добрив (P₉₈K₈₄) як на природному агрофоні (рН 5,9), так і на агрофоні післядії гною (рН 6,0). Повне мінеральне удобрення (N₁₀₆P₉₈K₈₄) фактично стримує підвищення кислотності ґрунту на обох досліджуваних агрофонах (рН 6,2) порівняно з вихідним значенням.

3.2. Вплив добрив на загальний вміст гумусу

Органічна частина ґрунту має важливе значення у формуванні основних його властивостей. У гумусі концентрується значна кількість азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію, марганцю та інших мікроелементів. Після залучення ґрунту в сільськогосподарське виробництво змінюються ґрунтові процеси гуміфікації та мінералізації гумусу, що призводить до його втрат. Зазвичай рекомендують вносити органічні добрива, яким відводять виключну роль у збереженні та підвищенні вмісту гумусу в ґрунті. Щодо впливу мінеральних добрив на гумусовий стан ґрунтів існують суперечливі погляди. З одного боку, внесення мінеральних добрив, особливо у високих дозах, викликає дегуміфікацію за рахунок збільшення вмісту рухомих фракцій гумусу, з іншого — застосування збалансованих норм фактично не відбивається суттєво на вмісті гумусу. Деякі дослідження [5] свідчать навіть про збільшення загального вмісту гумусу за мінеральної системи удобрення.

Неоднозначність впливу мінеральних добрив на вміст та склад гумусу пояснюється їхньою прямою та опосередкованою дією. Прямий вплив полягає у зміні якості ґрунтового середовища, біохімічної активності ґрунту та пептизації гумусових речовин, а опосередкований — у збільшенні маси рослинних решток, що залишаються у ґрунті після збирання врожаю, за внесення мінеральних добрив.

Загальний вміст гумусу визначали на початку закладання польового досліду (1990 р.) та через 28 років (2019 р.). У контрольному (неудобрюваному) варіанті природного агрофону вміст гумусу в шарі ґрунту 0–30 см через 28 років зменшився від 5,44 до 5,31 % (Табл. 3). За тривалого внесення окремих видів мінеральних добрив та їх парних поєднань не виявлено позитивної динаміки загального вмісту гумусу в ґрунті — на всіх варіантах зафіксовано зниження вмісту, найбільш помітне за внесення комбінації азотних і калійних добрив на мінеральному агрофоні і окремо калійних та комбінації азотних і фосфорних — на агрофоні органо-мінеральному.

Тривале застосування навіть повного мінерального добрива (N₂₉₇₀P₂₇₃₀K₂₃₅₀) знизило вміст гумусу на обох агрофонах.

Таблиця 3

Вплив добрив на загальний вміст гумусу в чорноземі типовому

№ варіанта	Середня норма добрив за рік, кг/га	1990	Природний агрофон, 2019		Післядія гною, 2019	
		уміст гумусу, %	уміст гумусу, %	зміна, ± %	уміст гумусу, %	зміна, ± %
1	Без добрив (контроль)	5,44	5,31	-0,13	5,36	-0,08
2	N ₁₀₆	5,44	5,19	-0,25	5,31	-0,13
3	P ₉₈	5,44	5,12	-0,32	5,26	-0,18
4	K ₈₄	5,44	5,10	-0,34	5,19	-0,25
5	N ₁₀₆ P ₉₈	5,44	5,17	-0,27	5,19	-0,25
6	N ₁₀₆ K ₈₄	5,44	5,05	-0,39	5,26	-0,18
7	P ₉₈ K ₈₄	5,44	5,15	-0,29	5,28	-0,16
8	N ₁₀₆ P ₉₈ K ₈₄	5,44	5,21	-0,23	5,23	-0,21

3.3. Вплив добрив на вміст рухомих сполук азоту в ґрунті

У структурі азотного фонду чорнозему типового доступним для живлення рослин є мінеральний азот, що знаходиться у ґрунті в амонійних та нітратних сполуках, які є динамічними складовими, та за вмістом яких оцінюється ступінь забезпеченості рослин доступним азотом. Амонійний азот поглинається ґрунтом, але зберігає свою доступність, для кореневої системи рослин. Нітратні сполуки знаходяться у ґрунтового розчині й представляють найбільш доступне джерело азотного живлення рослин.

Досліджували зміни вмісту рухомих сполук азоту на природному агрофоні та на агрофоні післядії гною. На обох агрофонах вміст мінерального азоту збільшився на варіантах внесення азотних добрив як у чистому вигляді, так і за комбінації з іншими добривами. Помітним при цьому є негативний вплив калійних добрив порівняно з вихідним станом ґрунту (Табл. 4). Порівняно ж із контрольним варіантом фосфорні й калійні добрива окремо та в поєднанні не впливали на вміст мінерального азоту в ґрунті. На агрофоні післядії гною зростання рівня вмісту мінерального азоту в ґрунті є значно вищим, порівняно з природним агрофоном.

Таблиця 4

Вплив добрив на вміст мінеральних сполук азоту в чорноземі типовому

№ варіанта	Середня норма добрив за рік, кг/га	1990	Природний агрофон, 2019		Післядія гною, 2019	
		уміст N _{мін} , мг/кг	уміст N _{мін} , мг/кг	зміна, мг/кг	уміст N _{мін} , мг/кг	зміна, мг/кг
1	Без добрив (контроль)	37,4	23,2	-14,2	29,1	-18,3
2	N ₁₀₆	37,4	69,9	+32,5	56,5	+19,5
3	P ₉₈	37,4	29,8	-7,6	29,4	-8,0
4	K ₈₄	37,4	24,8	-12,6	25,1	-12,3
5	N ₁₀₆ P ₉₈	37,4	58,9	+21,5	61,9	+24,5
6	N ₁₀₆ K ₈₄	37,4	43,0	+5,6	63,0	+25,6
7	P ₉₈ K ₈₄	37,4	29,0	-8,4	30,8	-6,6
8	N ₁₀₆ P ₉₈ K ₈₄	37,4	49,7	+12,3	51,8	+14,4

Вплив добрив на вміст азоту нітратів у ґрунті визначали у пробах, відібраних у 2019 р., порівнюючи результати вимірювань лише з контрольними варіантами досліду (Табл. 5). Виявлено, що на всіх варіантах із внесенням азотних добрив зміни є позитивними, причому чітко помітна ефективність післядії гною. Особливо підвищився вміст азоту нітратів, до 53,3 мг/кг ґрунту, за внесення одночасно азотних і фосфорних добрив (N₁₀₆ P₉₈) на агрофоні післядії гною.

Вплив добрив на вміст амонійного азоту (порівняно з контрольним варіантом) був дуже слабким як на природному агрофоні (14,4 мг/кг ґрунту), так і на агрофоні післядії гною (15,7 мг/кг ґрунту), що пов'язано з поглинанням його колоїдним комплексом ґрунту (Табл. 6)

Таблиця 5Вплив добрив на вміст азоту нітратів ($N_{\text{ніт}}$) у чорноземі типовому

№ варіанта	Середня норма добрив за рік, кг/га	Природний агрофон, 2019		Післядія гною, 2019	
		уміст $N_{\text{ніт}}$, мг/кг	зміна відносно контролю, мг/кг	уміст $N_{\text{ніт}}$, мг/кг	зміна відносно контролю, мг/кг
1	Без добрив (контроль)	8,9	–	16,6	–
2	N_{106}	50,6	+41,7	36,7	+20,1
3	P_{98}	16,4	+7,5	14,9	–1,7
4	K_{84}	10,8	+1,9	13,2	–3,4
5	$N_{106} P_{98}$	43,1	+34,2	53,3	+36,7
6	$N_{106} K_{84}$	26,9	+18,0	44,4	+27,8
7	$P_{98} K_{84}$	12,3	+3,4	15,1	–1,5
8	$N_{106} P_{98} K_{84}$	33,1	+24,2	24,2	+7,6

Таблиця 6

Вплив добрив на вміст амонійного азоту в чорноземі типовому

№ варіанта	Середня норма добрив за рік, кг/га	Природний агрофон, 2019		Післядія гною, 2019	
		уміст $N_{\text{ам}}$, мг/кг	зміна відносно контролю, мг/кг	уміст $N_{\text{ам}}$, мг/кг	зміна відносно контролю, мг/кг
1	Без добрив (контроль)	14,4	–	15,7	–
2	N_{106}	19,6	+5,2	16,5	+0,8
3	P_{98}	13,4	–1,0	14,5	–1,2
4	K_{84}	14,0	–0,4	11,9	–3,8
5	$N_{106} P_{98}$	18,9	+4,5	15,3	–0,4
6	$N_{106} K_{84}$	16,1	+1,7	18,4	+2,7
7	$P_{98} K_{84}$	16,6	+2,2	15,6	–0,1
8	$N_{106} P_{98} K_{84}$	16,6	+2,2	14,3	–1,4

Уміст амонійного азоту в ґрунті зростає за внесення азотних добрив та сукупно азотних з фосфорними.

3.4. Вплив добрив на вміст рухомих сполук фосфору в ґрунті

Фосфор, від початку проростання, відіграє важливу роль в біохімії та енергетиці фізіологічних процесів у рослинах, що визначає направленість та інтенсивність їх росту, розвитку та рівня продуктивності. Фосфор надходить у кореневу систему у вигляді окиснених сполук, зазвичай, аніонів ортофосфорної кислоти ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}) і включається у процес синтезу макроенергетичних сполук.

На період закладання дослідів у 1990 році уміст рухомих сполук фосфору в чорноземі типовому був підвищеним і становив у середньому 43,0 мг/кг ґрунту (Табл. 7). Тривале 28-річне внесення різних видів мінеральних добрив та їх парних поєднань по-різному впливало на вміст рухомих сполук фосфору у ґрунті. На природному агрофоні внесення фосфорних добрив збільшило вміст фосфору більше, ніж удвічі, порівняно з вихідним станом, і майже втричі, порівняно з контролем. Азотні та калійні добрива, за сукупного внесення з фосфорними добривами, послаблюють зростання вмісту рухомого фосфору в ґрунті.

На агрофоні післядії гною вміст рухомих сполук фосфору на варіанті без мінерального удобрення був близьким до його початкового рівня. Найефективнішим виявилось внесення фосфорних добрив разом з азотними.

3.5. Вплив добрив на вміст рухомих сполук калію в ґрунті

Фізіологічна роль калію полягає в регулюванні інтенсивності поглинання рослинами елементів живлення, підвищенні стійкості до посухи і покращенні якості сільськогосподарської продукції. Рослини, споживаючи калій, знижують його концентрацію в ґрунтового розчині, поповнення його відбувається за рахунок форм калію, необмінно фіксованого ґрунтом. Відомо, що чим багатший ґрунт на високодисперсні фракції, тим більше він містить доступного калію. Через 28 років у варіанті дослідів без внесення добрив уміст калію в ґрунті становив фактично стільки ж, скільки й на початку експерименту

(Табл. 8), але суттєво збільшився на варіанті з калійними добривами на обох агрофонах. Азотні й фосфорні добрива самостійно майже не впливали на вміст рухомих сполук калію в ґрунті. А додавання їх до калійних добрив на агрофоні післядії гною виявилось дуже ефективним.

Таблиця 7

Вплив добрив на вміст рухомих сполук фосфору в чорноземі типовому

№ варіанта	Середня норма добрив за рік, кг/га	1990	Природний агрофон, 2019		Післядія гною, 2019	
		уміст P_2O_5 , мг/кг	уміст P_2O_5 , мг/кг	зміна, $\pm$ мг/кг	уміст P_2O_5 , мг/кг	зміна, $\pm$ мг/кг
1	Без добрив (контроль)	43,0	29,3	-13,7	44,9	+1,9
2	N ₁₀₆	43,0	36,2	-6,8	46,7	+3,7
3	P ₉₈	43,0	115,4	+72,4	131,0	+88,0
4	K ₈₄	43,0	31,8	-11,2	33,9	-9,1
5	N ₁₀₆ P ₉₈	43,0	107,9	+64,9	134,7	+91,7
6	N ₁₀₆ K ₈₄	43,0	28,2	-14,8	42,6	-0,4
7	P ₉₈ K ₈₄	43,0	92,5	+49,5	132,6	+89,6
8	N ₁₀₆ P ₉₈ K ₈₄	43,0	104,0	+61,0	109,5	+66,5

Таблиця 8

Вплив добрив на вміст рухомих сполук калію в чорноземі типовому

№ варіанта	Середня норма добрив за рік, кг/га	1990	Природний агрофон, 2019		Післядія гною, 2019	
		уміст K_2O , мг/кг	уміст K_2O , мг/кг	зміна, $\pm$ мг/кг	уміст K_2O , мг/кг	зміна, $\pm$ мг/кг
1	Без добрив (контроль)	232,0	229,0	-3,0	241,0	+9,0
2	N ₁₀₆	232,0	221,7	-10,3	233,8	+1,8
3	P ₉₈	232,0	241,0	+9,0	229,0	-3,0
4	K ₈₄	232,0	313,3	+81,3	313,0	+81,0
5	N ₁₀₆ P ₉₈	232,0	241,0	+9,0	241,0	+9,0
6	N ₁₀₆ K ₈₄	232,0	253,1	+21,1	313,3	+81,3
7	P ₉₈ K ₈₄	232,0	265,1	+33,1	313,3	+81,3
8	N ₁₀₆ P ₉₈ K ₈₄	232,0	265,1	+33,1	313,0	+81,3

3.6. Вплив добрив на вміст клейковини в зерні пшениці озимої

Вплив добрив на вміст клейковини в зерні пшениці озимої визначали за 3 роки і середні значення порівнювали з контрольними варіантами (Табл. 9).

Таблиця 9

Вплив добрив на вміст клейковини в зерні пшениці озимої

№ варіанта	Норма добрив під пшеницю, кг/га діючої речовини	Вміст клейковини, %			
		Природний агрофон		Післядія гною	
		середній	зміна відносно контролю	середній	зміна відносно контролю
1	Без добрив (контроль)	22,6	-	23,6	-
2	N ₆₀	23,7	4,9	24,2	2,5
3	P ₁₂₀	24,0	6,2	24,4	3,4
4	K ₉₀	22,6	0	23,8	0,85
5	N ₆₀ P ₁₂₀	25,0	10,6	25,0	5,9
6	N ₆₀ K ₉₀	24,3	7,5	24,2	2,5
7	P ₁₂₀ K ₉₀	22,6	0	23,5	0
8	N ₆₀ P ₁₂₀ K ₉₀	25,3	11,9	25,8	9,3

З досліджених варіантів удобрення найбільш ефективними, щодо забезпечення високого рівня якості зерна пшениці озимої, виявилися варіанти з внесенням парної комбінації азотних і фосфорних добрив та повного добрива. Слід відмітити незначні переваги цих варіантів на агрофоні післядії гною. Відповідно нормативних документів зерно пшениці озимої, що містить клейковини у межах 23,0 – 27,9 % відноситься до другого класу групи А [7].

4. Практична значущість результатів

Зміни в обмінній кислотності ґрунту, спричинені застосуванням різних типів добрив. Результати вказують, що обмінна кислотність зростає, особливо внаслідок внесення азотних добрив, які мають найбільший вплив. Це підкреслює важливість раціонального використання азотних добрив для уникнення негативних наслідків збільшення кислотності ґрунту. Крім того, виявлено, що фосфорні та калійні добрива також підвищують кислотність ґрунту, але в меншій мірі, ніж азотні добрива. Це означає, що у складанні системи удобрення культур у сівозміні необхідно враховувати вплив фосфорних і калійних добрив на кислотність ґрунту, а також їх взаємодію з азотними добривами.

Внесення мінеральних добрив може мати різний вплив на вміст гумусу в ґрунті. Результати досліджень показують, що прямий та опосередкований вплив мінеральних добрив можуть спричинити зміни в гумусовому стані ґрунтів. У дослідженні було виявлено, що тривале застосування мінеральних добрив, особливо фосфорних і калійних, знижує вміст гумусу в ґрунті як на природному агрофоні, так і на агрофоні післядії гною.

Вміст мінерального азоту у ґрунті може змінюватися під впливом різних факторів, зокрема внесення азотних, фосфорних і калійних добрив. Також було виявлено, що вміст мінерального азоту у ґрунті був вищим на агрофоні післядії гною порівняно з природним агрофоном. Підвищення вмісту мінерального азоту в ґрунті після внесення азотних добрив може бути пояснено їхнім постачанням рослинам додаткового джерела азотного живлення. Амонійні сполуки, які містяться в азотних добривах, поглинаються ґрунтом і зберігають свою доступність для рослин. Нітратні сполуки, які також містяться в азотних добривах, є найбільш доступним джерелом азотного живлення для рослин. Таким чином, внесення азотних добрив сприяє збільшенню вмісту мінерального азоту в ґрунті.

Тривале внесення різних видів мінеральних добрив та їх поєднань по-різному впливало на вміст рухомих сполук фосфору в ґрунті. Зокрема, внесення фосфорних добрив значно підвищувало вміст фосфору порівняно з контролем. Азотні та калійні добрива, з іншого боку, мали слабкий вплив на вміст рухомих сполук фосфору в ґрунті. Це може бути пов'язано з тим, що азотні та калійні добрива не мають прямої взаємодії з фосфором у ґрунті, а їх вплив на фосфор може бути віддаленим або залежати від інших факторів, таких як реакція ґрунту.

Уміст калію в ґрунті без внесення добрив практично не змінився порівняно з початковим рівнем. Вплив азотних та фосфорних добрив на вміст рухомих сполук калію в ґрунті є незначним. Внесення азотних добрив або їх поєднання з калійними добривами підвищує вміст калію в ґрунті на деяку величину, але цей ефект не є значущим порівняно з контрольним варіантом без добрив. Так само, внесення фосфорних добрив не суттєво впливає на вміст рухомих сполук калію. Натомість, внесення калійних добрив самостійно або в поєднанні з азотними чи фосфорними добривами показує помітне підвищення вмісту калію в ґрунті.

Внесення азотних і фосфорних добрив у нормах N60P120 підвищує вміст клейковини в зерні пшениці озимої до 25 %, що відповідає другому класу (групи А) якості зерна.

5. Висновки

На чорноземі типовому Лісостепу лівобережного високого України тривале (28 років) застосування мінеральних добрив на природному агрофоні (без внесення органічних добрив) негативно впливає на реакцію ґрунтового розчину і вміст загального гумусу, але позитивно — на накопичення в ґрунті рухомих сполук азоту, фосфору й калію. На агрофоні післядії гною негативний вплив мінеральних добрив на властивості ґрунту проявляється меншою мірою.

Внесення азотних і фосфорних добрив у нормах N60 P120 забезпечує вміст клейковини в зерні пшениці озимої на рівні 25 %, що відповідає нормативним вимогам другого класу групи А.

Список використаних джерел

1. Трускавецький Р.С., Цапко Ю.Л. *Основи управління родючістю ґрунтів: монографія*. (с. 11-32). Харків: ФОП Бровін О.В. 2016.
2. Балюк С.А., Носко Б.С., Скрильник Є.В. Сучасні проблеми біологічної деградації чорноземів і способи збереження їх родючості. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 1. С. 11-17
3. Modern approach in farming based on estimation of soil properties variability / O. L. Tonkha, S. O. Sychevskiy, O. V. Pikovskaya, V. P. Kovalenko. Paper presented at the 12th International Scientific Conference & Quot; Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment & Quot;. 2018.
4. Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration / J. Major, J. Lehmann, M. Rondon, C. Goodale. *Global Change Biology* 2010. V. 16. P. 1366–1379. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02044.x>

5. Soil organic matter dynamics in long-term temperate agroecosystems: rotation and nutrient addition effects / J. Li., G. H. Ramirez, M. Kiani et al. *Canadian J. of Soil Science*. 2018. V. 98 (2). P. 232–245. <https://doi.org/10.1139/cjss-2017-0127>
6. Malakouti M.J. The effect of micronutrients in ensuring efficient use of macronutrients. *Turkish J. of Agriculture and Forestry*. 2008. T. 32, № 3. P. 215–220. Article 7. Retrieved from: <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol32/iss3/7>
7. Носко Б.С. *Азотний режим ґрунту і його трансформація в агроecosистемах* (с. 4-35). Харків: "Міськдрук", 2013.
8. Канівець В.І. *Життя ґрунту*. Видання 2-ге, доповнене (с. 5–44). Київ: Аграрна наука, 2001.
9. Thian A., Egashira K. Evaluation of phosphorus status of some upland soils in Myanmar. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*. 2008. 53(1). P. 193–200. <https://doi.org/10.5109/10092>
10. Носко Б.С. *Фосфор в ґрунтах і землеробстві України* (с. 248–318). Харків: ФОП Бровін О.В., 2017.
11. Христенко А. А. *Калийное состояние почв и эффективность удобрений*. Харьков: ФЛП Бровин А.В., 2017. 120 с.
12. Quantifying the relationships between soil fraction mass, fraction carbon, and total soil carbon to assess mechanisms of physical protection / A. E. King, K. A. Congreves, B. Deen [et al.] *Soil Biology and Biochemistry*. 2019. V. 135. P. 95–107. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.04.019>
13. *Довідник нормативних показників якості продукції сільськогосподарських культур у різних ґрунтово-кліматичних зонах України: довідниково-нормативна інформація* / за ред. С. А. Балюка, М. В. Лісового. Харків: Смуґаста типографія, 2016. 45 с.
14. *Система удобрення сільськогосподарських культур у землеробстві початку ХХІ століття* / за ред. С. А. Балюка, М. М. Мірошніченка. Київ: Альфа-стевія, 2016. С. 295–368.
15. Nano-fertilisers and their smart delivery system / P. Solanki, A. Bhargava, H. Chhipa [et al.] In: *Nanotechnologies in Food and Agriculture*. Ed-s: Mahendra Rai, Caue Ribeiro, Luiz Mattoso, Nelson Duran. Springer. Switzerland, 2015. P. 81–101. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14024-7_4

UDC 631.8:631.41

Effect of long-term application of fertilizers on agrochemical parameters of typical chernozem and grain quality of winter wheat

A. S. Zaryshniak¹, M. V. Lisovyi^{2*}, V. M. Nikonenko², O. I. Slidenko²

¹ National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine

*E-mail: labl@meta.ua

The aim of the article is to present the results of analytical research on the evaluation of changes in the parameters of the properties of typical chernozem in a stationary field experiment under the influence of 28 years of application of various types and combinations of mineral fertilizers on two agrophones in a crop rotation. The experiment established in 1990 on a typical heavy loam chernozem (Haplic Chernozem) in the experimental farm "Hrakovske" which belongs to the NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research" named after O. N. Sokolovsky, in the Chuguyiv district of the Kharkiv region. The aim was to conduct agroecological monitoring in conditions of intensive agriculture to establish the permissible level of load of intensive chemicalization on physical, chemical, and biological soil processes. In the soil samples taken in 2019 from the 0-30 cm layer, the changes that occurred after long-term application of fertilizer in the pH of the soil solution and the content of the following soil components were determined: humus; mineral compounds of nitrogen; nitrate nitrogen; ammonium nitrogen; mobile phosphorus compounds; mobile compounds of potassium. The quality of winter wheat grain determined by the gluten content. Seven variants of the experiment with different fertilizer combinations and the control variant (without fertilizers) placed on two agrophones: natural (only mineral fertilizers applied) and after-effect of manure (mineral fertilizers and manure were applied). The results of the research in 2019 compared with the initial state of the soil in 1990 separately at each site, thus revealing changes in the parameters of the agrochemical characteristics of the soil under the influence of different types of fertilizers. Common conclusion. In the Left-bank high Forest-steppe of Ukraine, the long-term (28 years) application of mineral fertilizers in the natural agrophone has a negative effect on the reaction of the soil solution and the content of total humus, but has a positive effect on the accumulation of mobile compounds of nitrogen, phosphorus, and potassium in the soil. The negative effect of mineral fertilizers on the soil properties manifested to a lesser extent after the application of manure. The application of nitrogen and phosphorus fertilizers in the norms of N₆₀P₁₂₀ provides a gluten content in winter wheat grains at the level of 25 %, which meets the regulatory requirements of the second class of group A.

Keywords: mineral fertilizers; typical chernozem; soil parameters; winter wheat; grain; gluten.

Citing: Zaryshniak A. S., Lisovyi M. V., Nikonenko V. M., & Slidenko O. I. (2023). Effect of long-term application of fertilizers on agrochemical parameters of typical chernozem and grain quality of winter wheat. *AgroChemistry and Soil Science*. 94, 22-29. [in Ukrainian]. [doi:10.31073/acss94-03](https://doi.org/10.31073/acss94-03)

ЯКІСТЬ ҐРУНТІВ І МОНІТОРИНГ ЇХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

SOIL QUALITY AND MONITORING OF THEIR PROPERTIES

УДК 631.48:631.41

Морфолого-генетична та агрономічна характеристики контрастних за засоленням ґрунтів солонцевого комплексу Приорілля

О. А. Носоненко*, М. А. Захарова, Ю. О. Афанасьєв

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 21.11.2022 Отримано після доопрацювання 24.07.2023 Затверджено до видання 25.07.2023 Доступно онлайн 04.08.2023	У статті представлено результати польових і лабораторних досліджень з визначення морфолого-генетичної та агрономічної характеристик контрастних за засоленням ґрунтів солонцевого комплексу Приорілля – устанавлення особливостей морфологічної будови профілів, гранулометричного складу, і параметрів основних агрохімічних, сольових і фізико-хімічних показників солонцю лучно-чорноземного мілкого солончакового та чорноземно-лучного ґрунту — як типових компонентів солонцевого комплексу долини річки Оріль. Використано стандартизовані методи польового обстеження та лабораторно-аналітичних робіт. Установлено, що в солонці лучно-чорноземному з глибиною нарастають прояви галогенезу. Лужність у гумусово-ілювіальному горизонті зростає до сильного ступеня, у глибших горизонтах — до дуже сильного; ступінь засолення підвищується до середнього, сильного і, зрештою, до дуже сильного в ґрунотвірній породі. За глибиною залягання верхнього горизонту акумуляції солей ґрунт класифікується як солончаковий. Вміст увібраного натрію в гумусово-ілювіальному та ілювіальному горизонтах відповідає градації «солонець». Чорноземно-лучний ґрунт за вмістом токсичних солей у всьому профілі є незасоленим, ознаки фізичної та фізико-хімічної солонцюватості відсутні. Вміст фракції мулу у профілі солонцю зростає з глибиною і досягає максимального значення в ілювіальному горизонті, що є типовим для солонців і пояснюється перерозподілом по профілю ґрунтових колоїдів, гранулометричний склад солонцю в гумусово-ілювіальному та ілювіальному горизонтах є легкоглинистим, у гумусово-ілювіальному — середньоглинистим. Профіль чорноземно-лучного ґрунту також є неоднорідним за гранулометричним складом, який важчає від середньосуглинкового в гумусовому горизонті до важкосуглинкового в перехідних горизонтах. Причиною цього можуть бути давні алювіальні процеси, що формували ґрунотвірну породу однолесової тераси, а також глеє-елювіальні процеси у результаті застою поверхневих вод у замкненій западині. Вміст гумусу в солонці у гумусово-елювіальному і гумусово-ілювіальному горизонтах є середнім, вміст мінерального (нітратного і аміачного) азоту — дуже низьким. Вміст рухомого калію виявився підвищеним, а рухомого фосфору — дуже високим. У чорноземно-лучному ґрунті вміст гумусу в гумусовому орному горизонті є високим, у першому перехідному — середнім. Вміст мінерального азоту — низький. Вміст рухомого фосфору перевищує верхню межу високого рівня в 3,5 раза, а рухомого калію — в 3,1 раза, що є типовим для ґрунтів замкнених западин і є наслідком багаторічної акумуляції вод поверхневого стоку. Висновки. Солонцевий комплекс Приорілля з кількістю солонців у ґрунтового покриві близько 50 % за будовою ґрунтових профілів і галогенезом ґрунтів є типовим для південної частини Лісостепу Середнього. Характерною особливістю досліджуваного солонцевого комплексу є значна контрастність його компонентів за проявами галогенезу: на малій відстані знаходяться солончаковий сильно засолений солонець і вилугуваний чорноземно-лучний ґрунт без фізичних і фізико-хімічних ознак солонцюватості.

* E-mail: oroshenie@ukr.net

Форма цитування: Носоненко О. А., Захарова М. А., Афанасьєв Ю. О. Морфолого-генетична та агрономічна характеристики контрастних за засоленням ґрунтів солонцевого комплексу Приорілля. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 94. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». С. 30-38. <https://doi.org/10.31073/acss94-04>

1. Вступ

Проблема походження водорозчинних солей у ґрунто-підґрунтах Середнього Придніпров'я досліджується із середини ХХ століття. Вважається, що сучасні солепрояви хлоридно-сульфатного і сульфатно-хлоридного засолення є проекцією на поверхню солей солоносних дочетвертинних порід і мінералізованих підземних вод [1–4]. При цьому сода, переважно, утворюється під час утворення ґрунтів та глеєморфізму лесів [1]. Автори вважають, що підземні води, які протікають у горизонтах різного віку, зустрічають на своєму шляху куполи солі, що високо піднялися, і приносять їх до поверхні ґрунту.

Річка Оріль є лівою притокою Дніпра. Досліджуваний солонцевий комплекс розташований на її правому березі, на першій надзаплавній (однолесовій) терасі. Відповідно до геоморфологічного районування ця територія належить до Полігенної рівнини України, області Полісько-Дніпровської низовини, підобласті Лівобережної рівнини, району Полтавської рівнини, долини Орелі [2].

З огляду на районування поширення галогенних ґрунтів на території України, долина Орелі знаходиться в регіоні Середнього Придніпров'я, у дванадцятому районі [1].

Розрізняють два ряди вихідного засолення — содове в Лісостепу та хлоридно-сульфатне в Південному й Сухому Степу [5]. Згідно з меліоративним районуванням Г. В. Новікової [6, 7], незважаючи на переважання содового засолення, досліджувана територія належить до 4б Північного степового (Чаплинського) району, ґрунтовий покрив якого являє собою комплекси з переважанням лучно-чорноземних солонцюватих ґрунтів з плямами солонців до 30 %.

Питанням походження, механізмів утворення та закономірностям поширення солонців присвячено низку класичних праць. Зокрема, відзначається [8], що несприятливі для сільськогосподарської культури фізичні властивості ґрунту зумовлені наявністю обмінного натрію, але лише за незначної кількості легкорозчинних солей. Наявність у ґрунті вільних лугів, карбонатів і бікарбонатів натрію в низьких концентраціях сприяють їхньому існуванню в стані золю, а також послаблюють коагулявальну дію інших катіонів.

Згідно з [9], найімовірнішим шляхом утворення солонців є насичення ґрунту натрієм через убирання його з лужних (содових) розчинів у процесі періодичного засолення і часткового (поверхневого) розсолонення ґрунту, що переважно може відбуватися в умовах відносно близького залягання слабомінералізованих підґрунтових вод.

Певна роль у розвитку специфічних особливостей солонців належить наявним у них аморфним і колоїдним сполукам (зокрема, силікатам та алюмінатам лужних або лужноземельних катіонів), які утворюються під впливом сольових розчинів на ґрунтові мінерали, а також мінералам монтморилонітової групи [10].

Існує також точка зору [11], що розчинні органічні речовини можуть сприяти руйнуванню структурних агрегатів, знижувати їхню міцність, а також підвищувати зв'язність ґрунтів і глин. Отже, такі органічні сполуки можуть брати активну участь у формуванні ущільнених ґрунтових горизонтів і бути однією з причин утворення солонців.

Проблемі утворення солонців на перших надзаплавних терасах річок присвячено роботу О. М. Можейка [12]. Дослідник установив, що плями солонців приурочені до тих ділянок однолесової тераси, де існує капілярний зв'язок ґрунтового профілю з підґрунтовими водами, які в цих умовах є джерелом солей. У разі наявності піщаних прошарків і лінз у ґрунотвірному лесоподібному суглинку вище рівня підґрунтової води, яка залягає глибше 50 см, її капілярний зв'язок з ґрунтовим профілем відсутній, процеси засолення й осолонцювання профілю не відбуваються. У цій же роботі автор припускає, що, крім елювіального процесу, у формуванні солонцевого профілю бере участь також процес оглеєння, унаслідок якого підвищується дисперсність ґрунту, що є ознакою ілювіального горизонту.

Установлено, що процес солонцеутворення залежить також від іонної сили розчинів, які впливають на ґрунт [13]. Зокрема, зі збільшенням іонної сили зменшується константа обміну і вбирання натрію може перевищувати 50 % від ємності обміну. При цьому встановлено еквівалентність констант катіонного обміну в хлоридних і сульфатних розчинах. Виявлено також стадійність (етапність) процесу сорбції натрію за солонцеутворення у зрошуваних умовах: чергуються етапи його активного вбирання, уповільненого вбирання і квазістаціонарної рівноваги [14].

У теперішній час у науковій літературі за солонцевою тематикою, на наш погляд, можна виділити такі основні напрями:

- проблеми діагностики, генезису й поширення солонцевих ґрунтів;
- проблеми засолення й осолонцювання в контексті глобальних змін клімату;
- проблеми оптимізації агроеліоративних впливів, окультурення та управління родючістю.

Зокрема, наводяться сучасні методи діагностування лужних, засолених і солонцевих ґрунтів [15].

Було встановлено для серій заплавних солонцевих ґрунтів Ірану, що їх відмінності в морфологічних, фізичних, хімічних і мінералогічних властивостях, мабуть, пов'язані з варіаціями в рельєфі і глибині залягання солоних і лужних підґрунтових вод [16]. Обмінний натрій, був причиною дисперсії та міграції глини лише тоді, коли надлишок солі вимивався. Показано, що в складі глинистих мінералів солонцевих ґрунтів більш сухих кліматичних зон атапульгіт змінюється смектитом. Установлено, що походження солей низки солонцевих ґрунтів Ірану пов'язане з матеріалами, які утворилися із засолених і гіпсоносних мергельних відкладень, переносилися водою і перевідкладалися [17]. Мінералогічні дослідження засолених солонцевих ґрунтів показали, що у Джунгарському басейні в Сінцзяні засолений ґрунт нижче 10 см має необхідні водні умови та хімічні компоненти для перетворення іліту на смектит [18].

Канадські автори дають характеристику будови профілю, генетичних горизонтів, класифікації та процесів утворення солонців Канади [19]. Наводяться закономірності поширення оглеєних і осолоділих солонців у преріях залежно від рельєфу. Осолодіння відбувається, коли анізотропні умови потоку або зміна вертикальних гідравлічних градієнтів перешкоджають капілярному підйому та поповненню розчинного натрію в ілювіальному горизонті. Викладені в цій роботі підходи мають спільні риси з класичною концепцією К. К. Гедройца «солончак – солонець – солодь».

Особливості утворення засолених і солонцевих ґрунтів у розливній пампі Аргентини полягають у наявності постійних або тимчасових лагун, як правило, пов'язаних із підземними водами [20]. Більшість засолених ґрунтів регіону належать до таких таксономічних порядків США: Mollisols, Alfisols,

Entisols та Vertisols, які характеризуються підвищеним вмістом каолініту, смектиту та міжшарових глинистих мінералів.

Установлено, що велика кількість солончаково-лужних (солонцевих) ґрунтів у заплаві Гангу робить їх важливим джерелом надходження нехлоридного натрію та інших розчинених іонів, включаючи стронцій, до річкових вод [21]. Автори дослідили вивітрювання силікатів системи Гангу. Результати досліджень, на їхню думку, є актуальними у дослідженні засоленних і солонцюватих ґрунтів басейнів таких річок, як Колумбія, Колорадо, Міссісіпі, Парана, Нігер, Нил, Оранжева, Тигр, Євфрат, Йордан та інші.

Ряд робіт присвячено впливу кліматичних змін на властивості ґрунту, процеси засолення, осолонцювання та підлуження, прогнозуванню цих процесів [22, 23, 24, 25]. Усі автори передбачають у цілому подібні сценарії подальшого розвитку процесів галогенезу в ґрунтах світу. Висловлюються побоювання щодо небезпеки інтенсифікації процесів засолення і осолонцювання внаслідок тенденції аридизації клімату Землі, розвитку процесів зневоднення й опустелювання більшою або меншою мірою на всіх континентах.

Проблему управління родючістю галогенних ґрунтів висвітлено в [26, 27] та інших роботах. Зазначається, що агротехнології, які застосовуються на засоленних і солонцевих ґрунтах, мають базуватися на засадах екологічної безпеки, сталого розвитку, простого або розширеного відтворення родючості, збереження спроможності агроєкосистем до самовідновлення і саморегуляції.

Як основні агро меліоративні заходи, що їх рекомендовано застосовувати для окультурювання солонцевих ґрунтів, у світовій літературі найчастіше згадуються внесення органічних і мінеральних добрив [28, 29], застосування глибокого обробітку ґрунту [28, 30, 31], внесення гіпсу та інших кальцієвих меліорантів [32, 33], висаджування деревної рослинності [34, 35].

Огляд літератури показав, що для ґрунтів солонцевих комплексів долин річок Середнього Придніпров'я, зокрема Приорілля, залишаються недостатньо з'ясованими особливості морфологічної будови профілів, агрономічно значущих агрохімічних, фізичних і фізико-хімічних властивостей, особливо в розрізі порівняльного аналізу різних складових комплексу. Саме це стало темою цієї роботи.

Мета роботи — визначити морфолого-генетичну і агрономічну характеристики контрастних за засоленням ґрунтів солонцевого комплексу Приорілля. Завдання — установити особливості морфологічної будови профілів, гранулометричного складу, параметрів основних агрохімічних, сольових і фізико-хімічних показників солонцю лучно-чорноземного мілкого солончакового та чорноземно-лучного ґрунту як типових контрастних компонентів солонцевого комплексу долини річки Оріль.

2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Дослідження проводили з використанням польового (метод ключів-аналогів)¹ та лабораторно-аналітичного методів.

Польовий метод використано для опису морфологічної будови ґрунтових профілів. Обидва розрізи закладено 27.07.17 на території сільради Нове Можарове Зачепилівського району Харківської області. Розрізи розташовано на другій (першій надзаплавній або однолесовій) терасі правого берега річки Оріль на території солонцевого комплексу площею близько 40 га. Геоморфологічний район — Полігенна рівнина України; область Полісько-Дніпровської низовини, підобласть Лівобережної рівнини, район Полтавської рівнини, долина Орелі [1].

Проби ґрунту відбирали з генетичних горизонтів у триразовій повторності відповідно до ДСТУ 4287². Підготовку до аналізів та попереднє оброблення зразків ґрунту, що підлягали фізико-хімічному аналізу, проведено за ДСТУ ISO 11464:2007³.

У ґрунті визначали показники згідно з чинними нормативними документами з визначення складу та властивостей ґрунтів: вміст гумусу за ДСТУ 4289⁴, вміст мінерального та амонійного азоту за модифікованою методикою ННЦ ІГА імені О. Н. Соколовського за ДСТУ 4729:2007⁵, гранулометричний склад за методом Качинського за ДСТУ 4730:2007⁶, сольовий склад водної витяжки — за ДСТУ 7908⁷, ДСТУ 7909⁸; ДСТУ 7944⁹, ДСТУ 7945¹⁰, вміст обмінного кальцію та магнію за

¹ ВБН 33-5.5-01-97. Організація і ведення еколого-меліоративного моніторингу. Ч. 1. Зрошувані землі. Київ: Держводгосп України. 2002. 64 с.

² ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Київ: Держспоживстандарт України. 2005. 10 с.

³ ДСТУ ISO 11464:2007. Якість ґрунту. Попереднє оброблення зразків для фізико-хімічного аналізу (ISO 11464:2006, IDT). Київ: Держспоживстандарт України. 2012. 18 с.

⁴ ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. Київ: Держспоживстандарт України. 2004. 14 с.

⁵ ДСТУ 4729:2007. Якість ґрунту. Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського. Київ: Держспоживстандарт України. 2008. 14 с.

⁶ ДСТУ 4730:2007. Якість ґрунту. Визначення гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н. А. Качинського. Київ: Держспоживстандарт України. 2008. 18 с.

⁷ ДСТУ 7908:2015. Якість ґрунту. Визначення хлорид-іона у водній витяжці. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 10 с.

⁸ ДСТУ 7909:2015. Якість ґрунту. Визначення сульфат-іона у водній витяжці. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 7 с.

методом Тюріна за ДСТУ 7604:2014¹¹, вміст рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна за ДСТУ 4114:2002¹².

3. Результати досліджень

3.1. Морфологічна будова профілів солонцевого комплексу Приорілля

Наводимо описи профілів ґрунтів — типових компонентів солонцевого комплексу долини річки Оріль з кількістю солонців у структурі ґрунтового покриву близько 50 %.

Розріз 1. Ґрунт — солонець лучно-чорноземний мілкий солончаковий легкоглинистий на засоленій лесоподібній глині.

Угіддя — рілля. Поверхня рівна, суха, пожнивні рештки озимої пшениці після дискування.

Генетичні горизонти ґрунту:

HE 0–5 см — гумусово-елювіальний; білувато-сірий; сухий; порохувато-лускуватий, слабкоструктурний; крихкий; рештки коренів і стебел пшениці; присипка SiO₂; перехід рівний, різкий за щільністю і структурою; орний.

Hles 5–24 см — гумусово-ілювіальний засолений; сіро-бурий, забарвлення неоднорідне; сухий; призматично-брилистий, середньоструктурний; щільний; рідке коріння, у верхній частині — присипка SiO₂, по всьому горизонту колоїдне лакування на гранях структурних окремоностей; перехід хвилястий, ясний за забарвленням і структурою.

lhpk 24–63 см — ілювіальний слабогумусований карбонатний засолений; бурувато-коричнювато-сірий, плямистий; свіжий; призматично-брилистий, слабкоструктурний; щільний, злитий; окремі корені; скипання від HCl з 24 см; інтенсивне колоїдне лакування; перехід язиковатий, ясний за забарвленням.

Piks(h) 63–75 см — нижній перехідний ілювіований карбонатний засолений; нерівномірно забарвлений, сірувато-бурувато-палевий; свіжий; брилуватий, слабкоструктурний; щільний, злитий; окремі корені; колоїдне лакування, затікання гумусу, карбонатні конкреції, подібні до білозірки з 70 см; перехід хвилястий, поступовий за забарвленням, будовою і структурою.

Pksgl 75 см і глибше — карбонатний засолений слабооглеєна лесоподібна глина; палевий; вологий; безструктурний; щільний карбонатні конкреції, подібні до білозірки.

Розріз 2. Ґрунт — чорноземно-лучний середньосуглинковий на лесоподібному суглинкові.

Угіддя — рілля. Поверхня являє собою середню частину пологого схилу замкненого колоподібного пониження глибиною близько 1 м, близько 15 м у діаметрі, суха, пожнивні рештки озимої пшениці після дискування.

H 0–30 см — гумусовий; темно-сірий; до 10 см сухий, далі свіжий; грудкувато-зернистий, сильноструктурний; крихкий; рештки коренів і стебел пшениці; перехід рівний, поступовий за щільністю і забарвленням; орний.

Hr(gl) 30–50 см — верхній перехідний; темно-сірий; свіжий; грудкувато-зернистий, середньоструктурний; ущільнений; коріння, ознаки оглеєння у вигляді залізо-марганцевих конкрецій; перехід рівний, поступовий за забарвленням і структурою.

Rhkg 50–65 см — нижній перехідний карбонатний оглеєний; бурувато-сірий, плямистий; вологий; грудкуватий, слабкоструктурний; щільний; окремі корені; скипання від HCl з 50 см; ознаки оглеєння — чорні й сизі плями, що при висиханні набувають іржавого кольору, залізо-марганцеві конкреції; перехід рівний, ясний за забарвленням.

Rkg 65 см і глибше — карбонатний оглеєний іржаво-сизо-палевий лесоподібний суглинок; сирий; безструктурний; щільний; рясні залізо-марганцеві конкреції, рихлі сіруваті карбонатні конкреції, подібні до білозірки з 70 см.

Солонцевий комплекс Приорілля з кількістю солонців у структурі ґрунтового покриву близько 50% за морфологічною будовою ґрунтових профілів є типовим для південної частини Лісостепу Середнього Придніпров'я, хоча розташований уже в зоні Північного Степу.

3.2. Характеристики сольового стану контрастних ґрунтів солонцевого комплексу Приорілля

Аналіз сольових показників досліджуваних ґрунтів, які наведено в таблиці 1, згідно з ДСТУ 4362-2004¹³, свідчить, що рН водний гумусово-елювіального горизонту солонцю лучно-чорноземного становить 7,9, що характеризує його як слабколужний, вміст токсичних солей становить 0,078 %, що,

⁹ ДСТУ 7944:2015. Якість ґрунту. Визначення іонів натрію і калію у водній витяжці. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 6 с.

¹⁰ ДСТУ 7945:2015. Якість ґрунту. Визначення іонів кальцію і магнію у водній витяжці. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 7 с.

¹¹ ДСТУ 7604:2014. Якість ґрунту. Визначення обмінного кальцію та обмінного магнію у карбонатних ґрунтах методом Тюріна. Київ : Мінекономрозвитку України. 2015. 11 с.

¹² ДСТУ 4114-2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна. Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики. 2002. 10 с.

¹³ ДСТУ 4362-2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. Київ: Держспоживстандарт України. 2006. 19 с.

згідно з ДСТУ 7827:2015¹⁴, характеризує цей горизонт як незасолений. Склад солей сульфатно-содовий кальцієво-натрієвий. За вмістом увібраного натрію, згідно з ДСТУ 3866-99¹⁵, ступінь солонцюватості — середній. З глибиною прояви галогенезу наростають. Лужність в гумусово-ілювіальному горизонті зростає до сильного ступеня, у глибших горизонтах — до дуже сильного, ступінь засолення підвищується до середнього, сильного і, зрештою, до дуже сильного ступеня в ґрунтотвірній породі. За глибиною залягання верхнього горизонту акумуляції солей цей ґрунт класифікується як солончаковий. Вміст увібраного натрію в гумусово-ілювіальному та ілювіальному горизонтах відповідає градації «солонець».

Таблиця 1

Характеристики сольового стану ґрунтів солонцевого комплексу Приорілля

Розріз, назва ґрунту	Генетичний горизонт, глибина відбирання проб, см	pH _в	Вміст CaCO ₃ , %	Сума токс. солей, %	Склад солей	Ступінь засолення	Na ⁺ у сумі обміних катіонів, %	Ступінь солонцюватості
Розріз 1. Солонець лучно-чорноземний мілкий солончаковий	HE, 0–5	7,9	0,8	0,078	С-Сд К-Н	незасолений	11,4	середній
	Hles, 5–24	9,0	1,3	0,346	С-Сд Н	середній	39,3	солонець
	lhps, 24–63	9,6	5,3	0,517	С-Сд Н	сильний	68,9	солонець
	Piks(h), 63–75	9,6	14,6	0,558	С-Сд Н	сильний	не визн.	не визн.
	Pksgl, більше 75	9,6	18,1	0,721	С-Сд Н	дуже сильний	не визн.	не визн.
Розріз 2. Чорноземно-лучний ґрунт	H, 0–30	8,0	2,4	0,056	С-Г М-К	незасолений	0,8	несолонцюватий
	Hp(gl), 30–50	7,9	1,6	0,052	С-Г М-К	незасолений	0,1	несолонцюватий
	Phkgl, 50–65	8,0	7,2	0,036	С-Г М-К	незасолений	не визн.	не визн.
	Pkgl, більше 65	8,5	17,9	0,028	Х-Г М-К	незасолений	не визн.	не визн.

Примітка. Склад солей: С-Сд – сульфатно-содовий, С-Г – сульфатно-гідрокарбонатний, Х-Г – хлоридно-гідрокарбонатний, К-Н – кальцієво-натрієвий, Н – натрієвий, М-К – магнієво-кальцієвий.

Також з глибиною зростає вміст карбонатів кальцію від 0,8 % у гумусово-елювіальному горизонті до 18,1 % у породі. Подібний характер сольових властивостей цілком відповідає районуванню Г. С. Гриня [2], згідно з яким південна частина Середнього Придніпров'я характеризується наявністю, крім соди, також і сульфатів; роль у галогенезі сульфатів, а на більших глибинах і хлоридів, зростає з просуванням з півночі на південь.

Дані таблиці 1 указують, що у разі окультурювання солонців цього комплексу меліоративна плантажна оранка є недоцільною і навіть шкідливою, оскільки в кореневмісний шар буде залучено додаткову кількість токсичних солей. Очевидно, на таких ґрунтах слід вносити кальцієві меліоранти гіпс або фосфогіпс.

Чорноземно-лучний ґрунт характеризується слабколужною реакцією середовища у профілі та середньолужною — у ґрунтотвірній породі. Вміст карбонатів кальцію зростає від 1,6 і 2,4 % у гумусовому та верхньому перехідному горизонтах і до 17,9 % у породі. За вмістом токсичних солей ґрунт у всьому профілі є незасоленим; концентрація солей зменшується з глибиною досить рівномірно з 0,056 % у гумусовому горизонті до 0,028 % у породі. Склад солей за катіонами — магнієво-кальцієвий у всьому профілі, за аніонами — сульфатно-гідрокарбонатний до ґрунтотвірної породи, глибше — хлоридно-гідрокарбонатний.

Аналіз сольових показників досліджуваних ґрунтів підтвердив визначені в польових умовах морфологічні особливості їх галогенезу. Характерною особливістю досліджуваного солонцевого комплексу є наявність лучно-чорноземних і чорноземно-лучних ґрунтів різних ступенів засолення і солонцюватості, залежно переважно від рельєфу, а також значна контрастність його компонентів за проявами галогенезу: на малій відстані (менше 100 м) знаходяться солончаковий сильно засолений солонець і вилугуваний чорноземно-лучний ґрунт без фізичних і фізико-хімічних ознак солонцюватості.

¹⁴ ДСТУ 7827:2015. Якість ґрунту. Класифікація ґрунтів за ступенем вторинної засоленості. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 7 с.

¹⁵ ДСТУ 3866-99. ґрунти. Класифікація ґрунтів за ступенем вторинної солонцюватості. Київ: Держстандарт України. 1999. 6 с.

3.3 Гранулометричний склад ґрунтів солонцевого комплексу Приорілля

Дані гранулометричного складу ґрунтів досліджуваного комплексу наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Гранулометричний склад ґрунтів солонцевого комплексу Приорілля

Розріз, назва ґрунту	Генетичний горизонт, глибина відбирання проб, см	Вміст гранулометричних фракцій, %		
		менше 0,001 мм (мул)	менше 0,01 мм (фізична глина)	Гранулометричний склад за Качинським
Розріз 1. Солонець лучно- чорноземний мілкий солончаковий	HE, 0–5	23,8	43,3	Легка глина
	Hles, 5–24	28,1	50,4	Середня глина
	lhpk, 24–63	36,6	48,9	Легка глина
Розріз 2. Чорноземно-лучний ґрунт	H, 0–30	21,6	42,8	Середній суглинок
	Hp(gl), 30–50	38,4	50,2	Важкий суглинок
	Phkgl, 50–65	31,7	46,5	Важкий суглинок

У профілі солонцю вміст фракції мулу зростає з глибиною і досягає максимального значення в ілювіальному горизонті lhpk, що є типовим для солонців і пояснюється перерозподілом по профілю ґрунтових колоїдів у пептизованому стані за насичення вбирного комплексу ґрунту натрієм і високої лужності середовища [8].

Максимальний вміст фізичної глини є в гумусово-ілювіальному горизонті Hles, очевидно, за рахунок фракцій дрібного і середнього пилу. Згідно з класифікацією Н. А. Качинського [36], гранулометричний склад солонцю в гумусово-ілювіальному та ілювіальному горизонтах є легкоглинистим, у гумусово-ілювіальному — середньоглинистим.

Профіль чорноземно-лучного ґрунту також є неоднорідним за гранулометричним складом. Вміст мулу і фізичної глини зростає у верхньому перехідному горизонті порівняно з гумусовим і дещо знижується в нижньому перехідному горизонті, хоча морфологічні ознаки елювіально-ілювіального процесу відсутні. Гранулометричний склад за [36] важчає від середньосуглинкового в гумусовому горизонті до важкосуглинкового в перехідних горизонтах. Оскільки вміст важких фракцій не корелює з умістом водорозчинних солей і ступенем солонцюватості, можна припустити, що причиною профільної неоднорідності гранулометричного складу чорноземно-лучного ґрунту є давні алювіальні процеси, що формували ґрунотвірну породу однолесової тераси, а також глее-елювіальні процеси в результаті застою поверхневих вод у замкненій западині.

3.4. Агрохімічні характеристики ґрунтів солонцевого комплексу Приорілля

Параметри агрохімічних показників досліджуваних ґрунтів наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Агрохімічні показники ґрунтів солонцевого комплексу Приорілля

Розріз, назва ґрунту	Генетичний горизонт, глибина відбирання проб, см	Вміст гумусу, %	Вміст мінерального азоту ($(N-NH_4 + N-NO_3)$), мг/кг	Вміст рухомого фосфору за Мачигінім, мг/кг	Вміст рухомого калію за Мачигінім, мг/кг
Розріз 1. Солонець лучно-чорноземний мілкий солончаковий	HE, 0–5	2,9	3,9	85,2	269,9
	Hles, 5–24	2,5	9,9	76,3	221,7
Розріз 2. Чорноземно-лучний ґрунт	H, 0–30	4,3	14,3	209,1	1233,9
	Hp(gl), 30–50	2,4	Не визн.	Не визн.	Не визн.

Вміст гумусу, згідно з ДСТУ 4362-2004, у гумусово-елювіальному і гумусово-ілювіальному горизонтах солонцю є середнім, вміст мінерального (нітратного і аміачного) азоту — дуже низьким. Проте, при визначенні за методом Мачигіні, вміст рухомого калію виявився підвищеним, а рухомого фосфору — дуже високим. Відсутність ознак нагромадження органічних і поживних речовин (окрім мінерального азоту) у гумусово-ілювіальному горизонті та вилугування їх із гумусово-елювіального, а також високий вміст фосфору, не характерний для солонців, може свідчити про особливості ведення землеробства на досліджуваному полі, зокрема, про внесення зависоких доз мінеральних і/або органічних добрив.

Щодо чорноземно-лучного ґрунту, то вміст гумусу у гумусовому орному горизонті є високим, у першому перехідному — середнім. Вміст мінерального азоту — низький. Проте, вміст рухомого фосфору перевищує верхню межу високого рівня в 3,5 раза, а рухомого калію — в 3,1 раза, що є типовим для ґрунтів замкнених западин і є наслідком багаторічної акумуляції вод поверхневого стоку. Такі кількості рухомих форм фосфору й калію можуть уже справляти певний токсичний вплив на культурні рослини, тому землекористувачу слід утриматись протягом певного часу від внесення в ці ґрунти добрив, що містять указані поживні елементи.

4. Висновки

1. Установлено особливості морфологічної будови профілів солонцю лучно-чорноземного мілкого солончакового та чорноземно-лучного ґрунту солонцевого комплексу Приорілля з кількістю солонців у ґрунтовому покриві близько 50 %.

2. Склад солей солонцю лучно-чорноземного є сульфатно-содовим кальцієво-натрієвим. За глибиною залягання верхнього горизонту акумуляції солей цей ґрунт — солончаковий. Вміст обмінного натрію в гумусово-ілювіальному та ілювіальному горизонтах відповідає градації «солонець». З глибиною прояви галогенезу наростають: лужність зростає до сильного і дуже сильного ступеня, ступінь засолення підвищується до сильного і до дуже сильного в ґрунтотвірній породі. Склад солей чорноземно-лучного ґрунту сульфатно-гідрокарбонатний (до ґрунтотвірної породи) магнієво-кальцієвий. За вмістом токсичних солей ґрунт у всьому профілі є незасоленим, ознаки фізичної та фізико-хімічної солонцюватості відсутні.

3. Аналіз сольових показників досліджуваних ґрунтів підтвердив визначені в польових умовах особливості їх галогенезу. Солонцевий комплекс Приорілля, з кількістю солонців у ґрунтовому покриві близько 50 %, за морфологічною будовою ґрунтових профілів і галогенезом ґрунтів є типовим для південної частини Лісостепу Середнього Придніпров'я, хоча розташований уже в зоні Північного Степу. Характерною особливістю досліджуваного солонцевого комплексу є наявність лучно-чорноземних і чорноземно-лучних ґрунтів різних ступенів засолення і солонцюватості, залежно переважно від рельєфу, а також значна контрастність його компонентів за проявами галогенезу: на малій відстані знаходяться солончаковий сильно засолений солонець і вилугуваний чорноземно-лучний ґрунт без фізичних і фізико-хімічних ознак солонцюватості.

4. Профілі досліджуваних ґрунтів є неоднорідними за гранулометричним складом, який важчає з глибиною. У профілі солонцю вміст фракції мулу досягає максимального значення в ілювіальному горизонті, що є типовим для солонців і пояснюється перерозподілом по профілю ґрунтових колоїдів. Гранулометричний склад солонцю в гумусово-елювіальному та ілювіальному горизонтах є легкоглинистим, у гумусово-ілювіальному — середньоглинистим. У профілі чорноземно-лучного ґрунту гранулометричний склад важчає від середньосуглинкового в гумусовому горизонті до важкосуглинкового в перехідних горизонтах. Причиною цього можуть бути давні алювіальні процеси, що формували ґрунтотвірну породу однолесової тераси, а також глес-елювіальні процеси в результаті застою поверхневих вод у замкненій западині.

5. Вміст гумусу у верхніх горизонтах солонцю лучно-чорноземного є середнім, в гумусовому горизонті чорноземно-лучного ґрунту — високим, у верхньому перехідному — середнім. Вміст мінерального (нітратного і аміачного) азоту в солонці є дуже низьким, у чорноземно-лучному ґрунті — низьким. Вміст рухомого калію у солонці лучно-чорноземному виявився підвищеним, а рухомого фосфору — дуже високим. У чорноземно-лучному ґрунті вміст рухомого фосфору перевищує верхню межу високого рівня в 3,5 раза, а рухомого калію — в 3,1 раза, що є типовим для ґрунтів замкнених западин і є наслідком багаторічної акумуляції вод поверхневого стоку.

6. Всі показники родючості чорноземно-лучних ґрунтів досліджуваного комплексу є сприятливими для вирощування будь-яких культурних рослин, районування у Північному Степу та південній частині Лівобережного Лісостепу, за умови постійного контролю рівнів забезпеченості рослин рухомими фосфором і калієм.

Список використаних джерел

1. Гринь Г. С. Засоленные почвы Украинской ССР, их происхождение. *Труды ХСХИ им. В.В.Докучаева*. 1962. Т. 39. С. 96–97.
2. Цись П. М. Геоморфологія УРСР: монографія. Львів: Видавництво Львівського університету. 1962. С. 101.
3. Соколовський О. Н. Галогенні ґрунти, їх роль і місце в геохімічних процесах. *Доповіді АН УРСР*. 1941. № 1. С. 12–14.
4. Гринь Г. С. Галогенез лесовых почвогрунтов Украины: монографія. Київ: Урожай. 1969. С. 188–202.
5. Самбур Г. М. Солонцы УССР и их улучшение. В: И. В. Тюрин, И. Н. Антипов-Каратаев, М. Г. Чижевский (ред) Мелиорация солонцов в СССР. Москва: Издательство Академии Наук СССР. 1953. С. 504.
6. Новікова Г. В. Районування солонцевих ґрунтів України та заходи по їх меліорації. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 1969. Вип. 11. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 18–21.
7. Новікова А. В. Распространение солонцовых почв. В: А.В. Новікова (ред) *Окультуривание солонцовых почв*. Київ: Урожай. 1984. С. 13–18.
8. Гедройц К. К. Солонцы, их происхождение, свойства и мелиорация. В: К. К. Гедройц. *Избранные сочинения*. Т. 3. Москва:

Государственное издательство сельскохозяйственной литературы. 1955. С. 324–332.

9. Антипов-Каратаев И. Н. Солонцы, их происхождение. В кн.: И. В. Тюрин, И. Н. Антипов-Каратаев, М. Г. Чижевский (ред) *Мелиорация солонцов в СССР*. Москва: Издательство Академии Наук СССР. 1953. С. 11–75.

10. Ковда В. А. К вопросу о движении и накоплении кремнезема в засоленных почвах. *Труды Почвенного института АН СССР*. 1940. Т. 22. Вып. 1. С. 3–30.

11. Пак К. П. *Солонцы СССР и пути повышения их плодородия*: монография. Москва: Колос. 1975. С. 111–113.

12. Можейко А. М. Результаты многолетних опытов по окультуриванию солонцов южной части Среднего Приднпровья. *Труды ХСХИ им. В. В. Докучаева*. 1962. Т. 39. С. 158–240.

13. Гаврилович Н. Є. Кальцієво-натрієва іонообмінна рівновага в солонцевих ґрунтах Української РСР. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 1981. Вип. 42. Харків: ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". С. 70–74.

14. Агроэкологическая концепция орошения черноземов. / Под ред. П. И. Коваленко, С. А. Балюка, В. В. Лебявского. Киев: ИПК «Укрводприрода». 1997. 82 с.

15. Shahid S.A., Zaman M., Heng L. Introduction to Soil Salinity, Sodicity and Diagnostics Techniques. In: M. Zaman, S.A. Shahid and L. Heng (Eds.) *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. Springer, Cham. 2018. 52(9). P. 1–42. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3_1.

16. Abtahi A. Effect of a Saline and Alkaline Ground Water on Soil Genesis in Semiarid Southern Iran. *Soil Science Society of America Journal*. 1977. 41 (3). P. 583–588. <https://doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100030032x>.

17. Mahjoory R.A. The Nature and Genesis of Some Salt-Affected Soils in Iran. *Soil Science Society of America Journal*. 1979. 43 (5). P. 1019–1024. <https://doi.org/10.2136/sssaj1979.03615995004300050041x>.

18. Xie H., He S., Huang C., Tan W. Origin of Smectite in Salinized Soil of Junggar Basin in Xinjiang of China. *Minerals*. 2019. 9 (2). P. 100. <https://doi.org/10.3390/min9020100>.

19. Miller J. J., Brierley J. A. Solonchic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification. *Canadian Journal of Soil Science*. 2011. 9 (5). P. 889–902. <https://doi.org/10.4141/cjss10040>.

20. Imbellone P.A., Taboada M.A., Damiano F., Lavado R.S. Genesis, Properties and Management of Salt-Affected Soils in the Flooding Pampas, Argentina. In: Taleisnik E., Lavado R.S. (eds) *Saline and Alkaline Soils in Latin America*. Springer. 2021. P. 191–208. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52592-7_10

21. Chatterjee J., Singh S. K. Impact of dissolution of saline-alkaline soils on the hydrochemistry and erosion rates of the Ganga river system. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2022. 23. e2021GC009914. P. 1–28. <https://doi.org/10.1029/2021GC009914>

22. Szabolcs I. Impact of Climatic Change on Soil Attributes: Influence on salinization and alkalization. In: H.W. Scharpenseel, M. Schomaker, A. Ayoub (Eds.) *Developments in Soil Science*. Elsevier. 20. 1990. P. 61–69. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70482-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70482-3).

23. Corwin D.L. Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. *European Journal of Soil Science*. 2021. 72. P. 842–862. <https://doi.org/10.1111/ejss.13010>.

24. Hassani A., Azapagic A., Shokri N. Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. *Nature Communications*. 2021. 12. P. 6663. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26907-3>.

25. Singh A. Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*. 2022. 38. P. 39–67. <https://doi.org/10.1111/sum.12772>.

26. Baliuk S., Drozd E., Zakharchova M. Scientific Approaches to the Rational Use and Management of Saline Soils Fertility in Ukraine. *Journal of Arid Land Studies*. 2015. 25 (3). P. 69–72. https://doi.org/10.14976/jals.25.3_69

27. Devkota K.P., Devkota M., Rezaei M., Oosterbaan R. Managing salinity for sustainable agricultural production in salt-affected soils of irrigated drylands. *Agricultural Systems*. 2022. 198. P. 103–390. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103390>.

28. Soil properties and corn (*Zea mays* L.) production under manure application combined with deep tillage management in solonchic soils of Songnen Plain, Northeast China. / Q. Meng, D. Li, J. Zhang [et al.]. *Journal of Integrative Agriculture*. 2016. 15. P. 879–890. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61196-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61196-0).

29. Shaaban M., Abid M., Abou-Shanab R.A.I. Amelioration of salt affected soils in rice paddy system by application of organic and inorganic amendments. *Plant, Soil and Environment*. 2013. 59 (5). P. 227–233. <https://doi.org/10.17221/881/2012-PSE>.

30. Improvement of Salt-affected Soils by Deep Tillage: Part 2: Large-scale Field Tests in a Sodic Soil (Solonetz) Region*. / X. Xiong, A. Araya, H. Zhang [et al.]. *Engineering in agriculture, environment and food*. 2012. 5. P. 29–35. [https://doi.org/10.1016/S1881-8366\(12\)80005-X](https://doi.org/10.1016/S1881-8366(12)80005-X).

31. Improvement of Salt-affected Soils by Deep Ploughing. / X. Xiong, H. Zhang, K. Araya [et al.]. *Engineering in agriculture, environment and food*. 2011. 4. P. 18–24. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00193-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00193-9).

32. Abdul Qadir A., Murtaza G., Zia-ur-Rehman M., Waraich E.A. Application of Gypsum or Sulfuric Acid Improves Physiological Traits and Nutritional Status of Rice in Calcareous Saline-Sodic Soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2022. 22. P. 1846–1858. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00776-1>

33. Singh Y. P., Arora Sanjay, Mishra V.K., Bhardwaj A.K. Regaining the Agricultural Potential of Sodic Soils and Improved Smallholder Food Security through Integration of Gypsum, Pressmud and Salt Tolerant Varieties. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2022. 46 (3). P. 410–431. <https://doi.org/10.1080/21683565.2021.2015735>

34. Khamzina A., Lamers J.P.A., Vlek P.L.G. Conversion of Degraded Cropland to Tree Plantations for Ecosystem and Livelihood Benefits. In: C. Martius, I. Rudenko, J. Lamers, P. Vlek (Eds.) *Cotton, Water, Salts and Soums*. Springer, Dordrecht. 2012. P. 235–248. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1963-7_15

35. Salt-affected Soils: Sources, Genesis and Management. / Zia-ur-Rehman M., Murtaza G., Qayyum M. [et al.]. In: M. Sabir, J. Akhtar, K. Rehman Hakeem (Eds) *Soil Science Concepts and Applications*. University of Agriculture Faisalabad. 2017. 9. P. 191–216.

36. Качинский Н. А. *Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения*. Москва: Изд-во АН СССР, 1958. 192 с.

UDK: 631.48:631.41

Morphological, genetic and agronomic characteristics of soils contrasting in terms of salinity of the solonetzic complex of Priorillia**O. A. Nosonenko*, M. A. Zakharova, Yu. O. Afanasiev****National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine****E-mail: oroshenie@ukr.net*

The article presents the results of field and laboratory studies on the determination of the morphological, genetic and agronomic characteristics of the soils of the Solon complex of Prioril, contrasting in terms of salinity - the establishment of the peculiarities of the morphological structure of the profiles, the granulometric composition, and the parameters of the main agrochemical, salt and physicochemical parameters of the salt marsh of the meadow-black earth shallow salt marsh and black earth-meadow soil - as typical components of the salt complex of the Oril river valley. Standardized field survey and laboratory-analytical methods were used. It has been established that manifestations of halogenation increase with depth in the Luchno-chnozem salt marsh. Alkalinity in the humus-illuvial horizon increases to a strong degree, in deeper horizons - to a very strong one; the degree of salinity increases to medium, strong, and finally to very strong in the bedrock. According to the depth of the upper horizon of salt accumulation, this soil is classified as saline. The content of absorbed sodium in the humus-illuvial and illuvial horizons corresponds to the "saline" gradation. The chernozem-meadow soil is non-saline according to the content of toxic salts in the entire profile, there are no signs of physical and physico-chemical salinity. The content of the silt fraction in the salt marsh profile increases with depth and reaches its maximum value in the illuvial horizon, which is typical for salt marshes and is explained by the redistribution of soil colloids in the profile, the granulometric composition of the salt marsh in the humus-eluvial and illuvial horizons is light clay, in the humus-illuvial - medium clay. The profile of the chernozem-meadow soil is also heterogeneous in granulometric composition, which is heavier from medium loam in the humus horizon to heavy loam in the transitional horizons. The reason for this may be ancient alluvial processes that formed the soil-forming rock of the single-forest terrace. The content of humus in the salt pan in humus-eluvial and humus-illuvial horizons is average, the content of mineral (nitrate and ammonia) nitrogen is very low. The content of mobile potassium turned out to be elevated, and the content of mobile phosphorus was very high. In the chernozem-meadow soil, the content of humus in the humus arable horizon is high, in the first transitional one, it is average. The content of mineral nitrogen is low. The content of mobile phosphorus exceeds the upper limit of the high level by 3.5 times, and mobile potassium by 3.1 times, which is typical for the soils of closed depressions and is a consequence of long-term accumulation of surface runoff waters. Conclusions. The salt marsh complex of Priorillya with the number of salt marshes in the soil cover of about 50% is typical for the southern part of the Middle Forest Steppe in terms of the structure of soil profiles and soil halogenation. A characteristic feature of the studied salt marsh complex is the significant contrast of its components in terms of halogenation manifestations: at a short distance there are salt marsh highly saline salt marsh and leached chernozem-meadow soil without physical and physico-chemical signs of salinity.

Keywords: agrochemical indicators; granulometric composition; humus; remedial measures; morphological structure; salt shaker; solonet complex; salt composition; chernozem-meadow soil.

Citing: Nosonenko O. A., Zakharova M. A., Afanasiev Yu. O. (2023). Morphological, genetic and agronomic characteristics of soils contrasting in terms of salinity of the solonetzic complex of Priorillia. *AgroChemistry and Soil Science*, 94, 30-38. doi:10.31073/acss94-04 [in Ukrainian].

УДК 631.4:551.3;631.59

Динаміка гетерогенності агрофізичної якості чорнозему звичайного у межах сільськогосподарського поля

Я. А. Погромська

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,
Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 06.02.2023 Отримано після доопрацювання 09.07.2023 Затверджено до видання 25.07.2023 Доступно онлайн 05.08.2023	У статті представлено дані моніторингу фізичних характеристик ґрунту в полі під кукурудзою (після соняшника) в зерно-просапній сівозміні з мінімальною технологією обробітку. Ґрунт — чорнозем звичайний (Calcic Chernozem) легкосередньоглинистий, слабкосероморфний на лесі у Степовій кліматичній зоні південного сходу України, Донецький регіон. Дослідження проведено у стаціонарному польовому досліді з вивчення ефективності відмови від оранки за ґрунтово-кліматичних умов регіону. Впродовж вегетаційного періоду кукурудзи на зерно провели моніторинг фізичних характеристик ґрунту — щільності будови, твердості та вмісту вологи; перед посівом культури визначили структурний стан. Вимірювання проводили у трьох локаціях — зонах поля, що відрізняються за інтенсивністю ущільнення технікою. Всі фізичні характеристики дослідили в окремих прошарках (0–10, 10–20 і 20–30 см) орного шару; запаси продуктивної вологи — у всьому профілі ґрунту. Метеорологічні дані, необхідні для розрахунку гідротермічного коефіцієнта, здобуто власними спостереженнями на метеопості у селищі Суха-Балка. За результатами кореляційного, та дисперсійного аналізу ANOVA виявлено наявність і характер зв'язків стійкісних характеристик, реологічних особливостей та водного режиму ґрунту з його структурним складом у межах орного шару, зафіксованим перед посівом. Нерівномірність у межах поля розподілу інтенсивності механічного тиску на ґрунт формує диференціацію структурного складу та фізичного стану орного шару, що призводить до одночасного існування різноякісних зон, наприклад, де ґрунт у шарі 0–10 см перебуває у стані перезволоження, пересушування або оптимальної зволоженості. Щільність верхнього шару ґрунту пов'язана не тільки із його власним структурним станом, а також із складом агрегатів у шарі, розташованому нижче. Твердість ґрунту, високий вміст брил і агрегатів фракції 5–3 мм та низький вміст агрегатів 2–1 мм у верхніх шарах може бути причиною збільшення глибини деформації ґрунту під дією МТА. Динамічність щільності верхнього шару ґрунту, низький вміст в ньому агрегатів 5–3 мм та високий вміст 2–1 мм забезпечує захист від ущільнення шарів ґрунту, розташованих нижче.
Ключові слова: агрофізична якість; гетерогенність; ґрунт; вологість; структурний склад; твердість; щільність будови;	

*E-mail: joanap@i.ua

Форма цитування: Погромська Я.А. Динаміка гетерогенності агрофізичної якості чорнозему звичайного у межах сільськогосподарського поля. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 94. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». С. 39-53. <https://doi.org/10.31073/acss94-05>.

1. Вступ

Гетерогенність якості ґрунту є однією з найважливіших властивостей, яка забезпечує різноманітність фізичних, хімічних та біологічних властивостей ґрунту та його біорізноманіття. Просторова неоднорідність цілинного ґрунту, через «анізотропність його речовинного складу, властивостей і режимів» [1], зумовлена як факторами зовнішнього середовища, так і внутрішніми ґрунтовими процесами [2]. Існує достовірний зв'язок будови і властивостей ґрунту та інтенсивності й спрямованості екологічних факторів впливу на нього. Визначаючи просторовий розподіл та сезонну варіабельність твердості чорнозему звичайного, як властивості ґрунту чинити опір проникненню в нього під тиском різних тіл, що впливає на величину протидії обробітку та проникненню кореневої системи рослин, дослідники виявили ґрунтові морфологічні утворення — екоморфи [3] — однотипні за ознакою вертикальної зміни показників. Виявлені екоморфи достовірно різняться за кліматичними й едафічними характеристиками та екологічними структурами рослинного співтовариства [4]. Оскільки ґрунт є динамічною біомінеральною системою, яка «не є пасивним продуктом впливу зовнішніх причин» [2], він реагує та пристосовує свої властивості до активності зовнішніх факторів, що ставить ґрунт, як вказували класики, в один ряд із живими організмами.

У формуванні агроєкосистеми значну роль відіграє фактор втручання людини у функціонування ґрунту. Під впливом комплексу агротехнічних заходів створюється потужний культурний орний шар ґрунту з підтриманням у ньому певного рівня родючості та сприятливих для рослин водно-повітряного, теплового і поживного режимів шляхом зміни його будови і структурного стану [5], формуються специфічні вертикальні й горизонтальні профілі. Окрім того, для зменшення матеріальних та енергетичних витрат, важливим є стабілізація однорідності фізичних властивостей ґрунту для досягнення

якомога більшої гомогенності його агрономічної якості в межах поля та виключення строкатості його продуктивності.

Однак, навіть на відносно однорідному природному фоні території, агротехнічні засоби, в силу особливостей механічного впливу на ґрунт, сприяють утворенню специфічної диференціації фізичного стану ґрунту в орному шарі у межах поля.

Під безпосередньою дією рушіїв сільськогосподарської техніки (коліс і гусениць) надмірне ущільнення ґрунту поширюється до 1 м в глибину і до 0,8 м в поперечному напрямку і може зберігатися до наступного вегетаційного періоду [6, 7]. З узагальнення результатів великої кількості польових спостережень і спеціальних експериментів, проведених різними дослідниками на території України, виявлено, що для більшості сільськогосподарських культур оптимальний ступінь будови ґрунту становить $1,0\text{--}1,2\text{ г/см}^3$; допустима щільність для нормального росту польових культур на важкосуглинкових ґрунтах знаходиться у межах $1,15\text{--}1,40\text{ г/см}^3$, а для кукурудзи — $1,05\text{--}1,30\text{ г/см}^3$ [8]. Під дією техніки щільність ґрунту зростає на $0,1\text{--}0,3$ і навіть — $0,5\text{ г/см}^3$, при цьому зменшуються його пористість, аерація, водопроникність, нітрифікаційна здатність і, в результаті, різко знижується продуктивність ґрунту [9].

Серед найважливіших фізичних індикаторів родючості й окультуреності ґрунту перше місце належить характеристикам його структурного стану. Структурно-агрегатний склад ґрунту в межах орного шару залежить від особливостей технологічного навантаження в процесі його сільськогосподарського використання [10]. На орних землях, під впливом виваженого та адекватного застосування комплексу агрозаходів, відбувається окультурювання ґрунту й оптимізування параметрів структурно-агрегатного складу [6, 11].

Структурні ґрунти характеризуються наявністю системи між- і внутрішньоагрегатних пор та агрегатів, і набувають різних хімічних, фізичних та біологічних властивостей залежно від типів агрегатів і характеру землекористування; міцність агрегатів, своєю чергою, обумовлює спроможність ґрунту засвоювати воду і бути стійким до дії механічного обробітку [12].

Добре структуровані ґрунти — ґрунти з високим умістом гумусу й обмінного кальцію, мають більш широкий інтервал оптимальної вологості для якісного обробітку. Це має велике практичне значення, оскільки різні ґрунти висихають не однаково швидко [13], і дивергенція структурного складу ґрунту у межах сільськогосподарського поля зумовлює диференціацію за ступенем сплоскості ґрунту на час обробітку — механічного впливу техніки і знарядь.

Схильність структури ґрунту до просторової різноманітності ускладнює інтерпретацію досліджень фізичних властивостей ґрунту та їх впливу на ріст сільськогосподарських культур [14].

Зростання обізнаності аграріїв щодо просторової диференційованості властивостей орних ґрунтів активізує розвиток точного землеробства, що потребує детального аналізу індикаторів цього явища. Адже доведено, що різноманітність властивостей ґрунтового покриву є причиною різноманітності стану рослин і їх продуктивності у межах сільськогосподарського поля [15]. Основою методичного підходу до розробки агротехнологій на принципах точного землеробства є наукове обґрунтування набору індикаторів — фізичних властивостей та характеристик ґрунту, параметри яких реагують на застосування тих чи інших агроприймів, а отже, можуть слугувати аргументами для ухвалення виробничих землеробських програм стосовно агротехнічних аспектів точного землеробства [16].

Метою даної роботи є аналіз і висновки з результатів моніторингу агрономічно важливих фізичних характеристик ґрунту в зонах різного механічного навантаження проходами техніки у межах поля під кукурудзою (після соняшника) в системі сівозміни з мінімальним основним обробітком ґрунту. Ідея роботи — пошук взаємозв'язків у групі фізичних індикаторів якості ґрунту.

2. Об'єкти, матеріали і методи досліджень

Роботу проведено в межах польового стаціонарного дослідження Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» (атестат № 11), який закладено у 2010 р. на землях установи в Донецькій області. Територія належить до Степової кліматичної зони південного сходу України і розташована на Донецькій височині північно-західної частини Донецького кряжу. Географічні координати: 48.30°N , 37.75°E , висота над рівнем моря 190–210 м. Ґрунт — чорнозем звичайний (Calcic Chernozem) легкосередньоглинистий, слабкосероморфний на лесі.

Польовий дослід спрямовано на дослідження факторів, що є індикаторами ефективності мінімального обробітку ґрунту у зерно-просапній сівозміні за ґрунтово-кліматичних умов Північного Степу України. Культури сівозміни: соняшник, кукурудза на зерно, пшениця озима, гірчиця, пшениця озима, соняшник, чистий пар. Дослідження вели у полях під кукурудзою (після соняшника) протягом 2010-2018 рр. У статті представлено дані 2012 р., який за гідротермічними характеристиками контрастує із тривалим посушливим попереднім періодом, що має більш чітко окреслювати направленість ґрунтових процесів. До аналізу залучено дані моніторингу динаміки параметрів фізичних характеристик ґрунту в окремих зонах поля, де ґрунт піддається різному механічному тиску через проходи сільськогосподарської техніки.

Агротехнічні роботи на полі включали таке: восени (2011 р.) мульчування прищипним мульчувачем із захватом 6 м, дискування дисковою бороною (прищипною із захватом 3,1 м) УДА-31-20 до 20 см під кутом у два сліди; навесні (2012 р.) внесення добрив МТА РУ-1600, ширина захвату 28 м, культивування 10-12 см КПС-8 з шириною захвату 8 м, посів МТА «Джон-Дір», сівалка на 24 сошники, ширина захвату 12 м; після посіву дві міжрядкові прополки КРН-5,6 (культиватор рядковий із захватом 4,2 м), дві обробки гербіцидом обприскувачем «Джон-Дір» із захватом 24 м; збирання врожаю комбайном "Джон Дір", жатка 620R із захватом 6,1 м.

У межах орного шару ґрунту (0–10, 10–20 і 20–30 см) вимірювали параметри таких агрономічно значущих фізичних показників з використанням стандартизованих методів: щільність будови ґрунту (ДСТУ ISO 11272:2001)¹; вміст вологи за масою гравіметричним методом (ДСТУ ISO 11465:2001)²; структурний склад за результатами сухого просіювання ситовим методом у модифікації Н.І. Савінова (ДСТУ 4744:2007)³; твердість за методом Ю.Ю. Ревякіна (ДСТУ 5096:2008)⁴.

Метеорологічні дані, необхідні для розрахунку гідротермічного коефіцієнта, здобуто власними спостереженнями на метеопості у селищі Суха-Балка (48°19'33.9"N 37°45'54.3"E). Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) розраховували за Г.Т. Селяниновим, як відношення суми опадів у мм за період із середньодобовими температурами повітря вище 10 °С до суми температур за той же час, зменшеної в 10 разів.

Проби ґрунту для досліджень відбирали чотири рази протягом вегетаційного періоду 2012 року: 1 – до посіву, напередодні проведення першої весняної культивування (27.04); 2 – після посіву кукурудзи (22.05); 3 – у середині вегетації (10.08); 4 – після збирання врожаю (18.09).

Локації (точки) відбирання проб ґрунту: I – по периметру поля (місце високого ущільнення проходами машин у допосівний період); II – в межах поля у зоні, найбільше ущільненій проходами техніки (колія); III – в межах поля у зоні з найменшим впливом прямого тиску техніки.

Врахування продуктивності культури проведено визначенням біологічної врожайності кукурудзи на зерно.

3. Метеорологічні умови у період досліджень

Територія досліджень належить до зони ризикованого землеробства із нестійким зволоженням. Середнє багаторічне значення гідротермічного коефіцієнту становить 0,84. Згідно з гідротермічними характеристиками періоду дослідження (Табл. 1), тільки у 2012 р. ГТК перевищує середні багаторічні значення.

Таблиця 1

Динаміка гідротермічного коефіцієнта у період спостережень

Середньорічні значення ГТК											
2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2008-2018
1,18	0,47	0,79	0,70	0,91	0,76	0,77	0,44	0,71	0,70	0,55	0,84

¹ Якість ґрунту. Визначання щільності складення на суху масу (ISO 11272:1998, IDT) ДСТУ ISO 11272:2001. [Чинний від 2003–07–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003.

² Якість ґрунту. Визначання сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод (ДСТУ ISO 11465:2001) (ISO 11465:1993, IDT). Київ: Держстандарт України, 2002.

³ Якість ґрунту. Визначання структурно-агрегатного складу ситовим методом у модифікації Н.І.Савінова (ДСТУ 4744:2007). Київ: Держстандарт України, 2008.

⁴ Якість ґрунту. Визначання твердості ґрунту твердоміром Ревякіна (ДСТУ 5096:2008). Київ: Держстандарт України, 2009.

Особливістю сівозміни є вирощування кукурудзи на зерно 2012 року після незадовільного попередника — соняшника та трьох поспіль попередніх років з низькими значеннями ГТК. В умовах регіону в останні роки спостерігається тенденція до зменшення частоти досягнення оптимальних середньорічних значень (ГТК 1,1) та збільшення кількості посушливих років та років з ознаками зони сухого землеробства (ГТК 0,5-0,7) і, навіть, сухої зони (ГТК < 0,5) в окремі роки [17].

Температурні характеристики сільськогосподарського року вирощування кукурудзи на зерно (2012) відрізняються відносно теплим періодом під час осінньої підготовки ґрунту після попередньої культури (Табл. 2), більш раннім, порівняно із середньобаторічними даними, зниженням температури повітря та більш прохолодними зимою та початком весни.

Таблиця 2

Температурні характеристики у період дослідження

Рік	Середньомісячна температура повітря, °C											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011	-6,7	-9,2	-0,2	9,1	18,5	21,7	25,8	22,7	16,8	8,7	-0,4	1,1
2012	-5,0	-10,0	-0,3	14,6	20,4	23,0	25,6	23,7	17,6	12,7	4,7	-4,1
Середні багаторічні	-3,9	-3,3	2,2	10,9	17,8	21,8	24,3	23,2	16,9	9,3	3,1	-2,2

Період осінньої підготовки ґрунту до вирощування кукурудзи характеризується посушливістю (Табл. 3), як і зима та більша частина весни.

Таблиця 3

Кількість атмосферних опадів у період дослідження

Рік	Кількість опадів за місяць, мм											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011	47,2	17,0	30,5	35,5	51,5	106,0	34,0	3,0	12,0	68,5	6,5	31,5
2012	37,0	30,0	18,0	26,0	66,5	88,0	17,5	116,0	32,5	25,5	3,5	58,5
Середні багаторічні	39,0	31,1	31,5	40,0	47,7	69,4	55,4	37,4	47,7	34,9	38,5	41,9

Кількість опадів у травні, червні і серпні 2012 року перевищує середні багаторічні значення, що формують достатньо зволожені умови періоду вегетації кукурудзи. А саме, осінні польові роботи проведено в умовах пересушеного ґрунту, що є характерним для тенденційних напрямів погодних змін в умовах регіону [17], та є результатом біологічних особливостей культури-попередника — соняшнику [18]. Зимовий та ранньовесняний періоди більш посушливі та прохолодні, а період вегетації — спекотний та відносно вологий.

Середні значення гідротермічних показників погодних умов у періоди між відбиранням проб представлено в табл. 4.

Таблиця 4

Гідротермічні характеристики погоди у періоди між відбиранням проб

Період	Опади, мм	Середня температура повітря, °C	ГТК
Від 01.04 до 27.04.2012 (до посіву)	26	13,7	0,70
Від 27.04 до 22.05.2012	7,5	22,0	0,13
Від 22.05 до 10.08.2012	168,5	24,0	0,87
Від 10.08 до 18.09.2012	122,0	19,7	1,51

Динаміка фізичного стану ґрунту за таких умов відображає особливості адаптації системи «ґрунт-рослина» до вирощування просапних культур в умовах відмови від оранки за сучасних тенденцій регіональних кліматичних змін. І саме це спонукало до проведення детального аналізу гетерогенності параметрів фізичних показників ґрунту у динаміці під кукурудзою на зерно.

4. Результати досліджень

4.1. Щільність будови ґрунту

Визначення параметрів фізичних показників вказує на гетерогенність стану ґрунту у межах дослідного поля та диференціацію у динаміці його характеристик за період від передпосівної підготовки до збирання врожаю залежно від інтенсивності механічного навантаження виробничою технікою.

Середні (з усіх локацій) значення об'ємної маси ґрунту в межах орного шару (0-30 см) на полі у передпосівний період та у період вегетації кукурудзи, а також після збирання врожаю майже не віддалялися від верхньої межі оптимальної щільності будови ґрунту — 1,3–1,4 г/см³ (діапазон оптимальної об'ємної маси для чорноземів звичайних легкоглинистих лежить в інтервалі від 1,2 до 1,4 г/см³, згідно з ДСТУ 4362:2004)⁵, а у перший місяць після проведення посівних робіт — перевищували 1,4 г/см³ (Рис. 1).

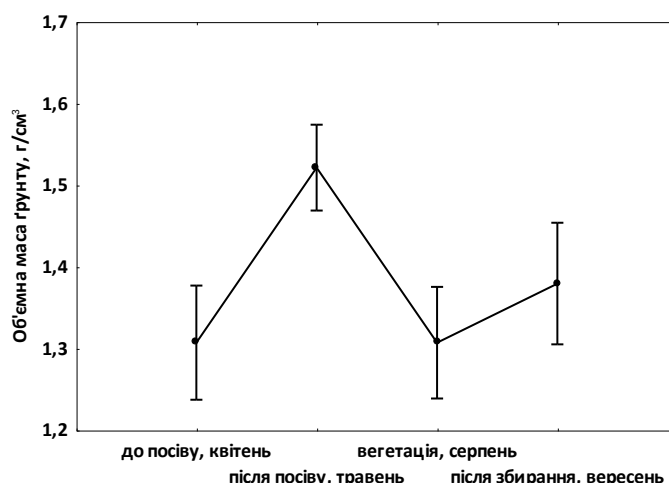


Рис. 1. Динаміка середньої щільності будови ґрунту на полі у шарі 0–30 см

На різних локаціях у межах дослідного поля спостерігається диференціація за градієнтом щільності будови ґрунту в окремих частинах орного шару (Табл. 5).

Таблиця 5

Динаміка щільності будови ґрунту на різних глибинах в межах орного шару

Локація	Шар ґрунту, см	Об'ємна маса ґрунту, г/см ³			
		до посіву, квітень	після посіву, травень	вегетація, серпень	після збирання, вересень
I	0-10	1,27	1,46	1,06	1,12
	10-20	1,39	1,61	1,25	1,39
	20-30	1,42	1,77	1,40	1,55
II	0-10	1,14	1,31	1,11	1,22
	10-20	1,14	1,58	1,35	1,50
	20-30	1,43	1,60	1,46	1,55
III	0-10	1,19	1,41	1,39	1,11
	10-20	1,35	1,46	1,34	1,43
	20-30	1,43	1,48	1,40	1,55
HIP ₀₅		0,15			

До посіву у шарі 20-30 см маємо щільність вище оптимальної у всіх точках спостереження, але у більш високих шарах ґрунту існують розбіжності. Об'ємну масу ґрунту на межі оптимального значення виявлено в шарах 0-10 см та 10-20 см на локації I. На локації II показник щільності цих шарів був менше нижньої межі оптимуму 1,2 г/см³. На

⁵ Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. ДСТУ 4362:2004. Київ: Держспоживстандарт, 2005.

локації III верхній 0-10 см шар також був ущільнений менше за оптимум, але вже з глибини 10-20 см спостерігається перевищення оптимальних значень.

Через місяць після посіву кукурудзи відбулося ущільнення ґрунту у всіх шарах на всіх локаціях, крім шару 20-30 см на локації III, тобто, у зоні найменшого прямого впливу техніки.

На закінчення вегетації кукурудзи (після збирання) на всіх локаціях у шарі 20-30 см ґрунт набув однаково високої щільності ($1,55 \text{ г/см}^3$), а у верхньому 0-10 см шарі та шарі 10-20 см помітно більш щільним виявився ґрунт на локації II — у зоні колії. Примітним є те, що на локації III, з найменшим впливом МТА, спостерігалось критичне ущільнення середнього (10-20 см) шару.

4.2. Вологість ґрунту та запаси продуктивної вологи.

Спілість ґрунту — поняття, що визначає його готовність (за вмістом води) до сприйняття механічних навантажень, викликаних обробіткою, і здатність проявляти стійкість, не змінювати радикально своїх фізичних характеристик. З висловлювань вчених [19] відомо, що «агротехнічно допустимий інтервал вологості фізично спілих чорноземів становить 15-24 % маси абсолютно сухого ґрунту..., а високоякісного обробітку... при найменших тягових зусиллях, досягають при 15-18 %».

Аналізуючи стан зволоженості ґрунту на різних локаціях пересвідчилися в існуванні суттєвої неоднорідності як до початку робіт, так і протягом вегетації рослин.

Перед посівом на локації I ґрунт характеризувався у шарі 0-10 см вологістю в межах допустимого інтервалу, на локації II — мав перезволоження верхнього шару, а на локації III — недостатнє зволоження (Табл. 6).

Таблиця 6

Динаміка вологості ґрунту на різних глибинах в межах орного шару

Локація	Шар ґрунту, см	Вміст води в ґрунті, %			
		до посіву, квітень	після посіву, травень	вегетація, серпень	після збирання, вересень
I	0-10	23,85	13,94	13,91	33,73
	10-20	16,58	16,03	20,10	23,27
	20-30	15,87	16,45	23,67	23,87
II	0-10	25,46	14,22	12,71	22,92
	10-20	21,04	17,24	19,53	23,54
	20-30	24,16	20,57	16,40	24,35
III	0-10	14,96	16,25	8,17	23,36
	10-20	18,61	19,29	10,06	21,50
	20-30	17,94	17,97	10,52	24,47
HIP ₀₅		3,36			

Тобто, в межах одного поля існують зони з оптимальною для проведення механічних робіт вологістю і пересушені або перезволожені ділянки. І це спостерігається після посіву, в період вегетації та навіть після збирання врожаю.

Диференціація площі поля за вологістю ґрунту в орному шарі певним чином відображає диференціацію за запасами продуктивної води й на більших глибинах (Рис. 2).

По периметру поля (локація I) перед посівом кукурудзи метровий шар ґрунту характеризується низькими запасами продуктивної води за шкалою Н. А. Качинського [20] — 62,02 мм, а в межах основної території поля спостерігаються ділянки із задовільною 113,10 мм (локація II) і дуже поганою 34,11 мм (локація III) вологозабезпеченістю. У серпні ґрунт на локації I у метровому шарі також має низькі запаси води (93,23 мм), тоді, як на локації II (з найбільшим ущільненням у шарі 10-20 см) — ще нижчі (54,28 мм), а на локації III взагалі констатували відсутність продуктивної води у метровому шарі ґрунту. У шарі 0–20 см після збирання кукурудзи маємо в межах поля ділянки як із задовільним умістом продуктивної води (20,33 мм, локація II), так і незадовільним (16,45 мм, локація III), а периметр поля характеризується доброю вологозабезпеченістю (30,93 мм, локація I). Окрім того, виходячи із потреб наступної культури сівозміни — пшениці озимої, коли «... дані свідчать, що для забезпечення дружних і своєчасних сходів озимини на час сівби в шарі ґрунту 0–10 см повинно бути не

менше 10 мм продуктивної вологи» (О.Л. Романенко 2015) [21], оптимальним (за Качинським) параметрам відповідає тільки вологість ґрунту по периметру поля (20,16 мм).

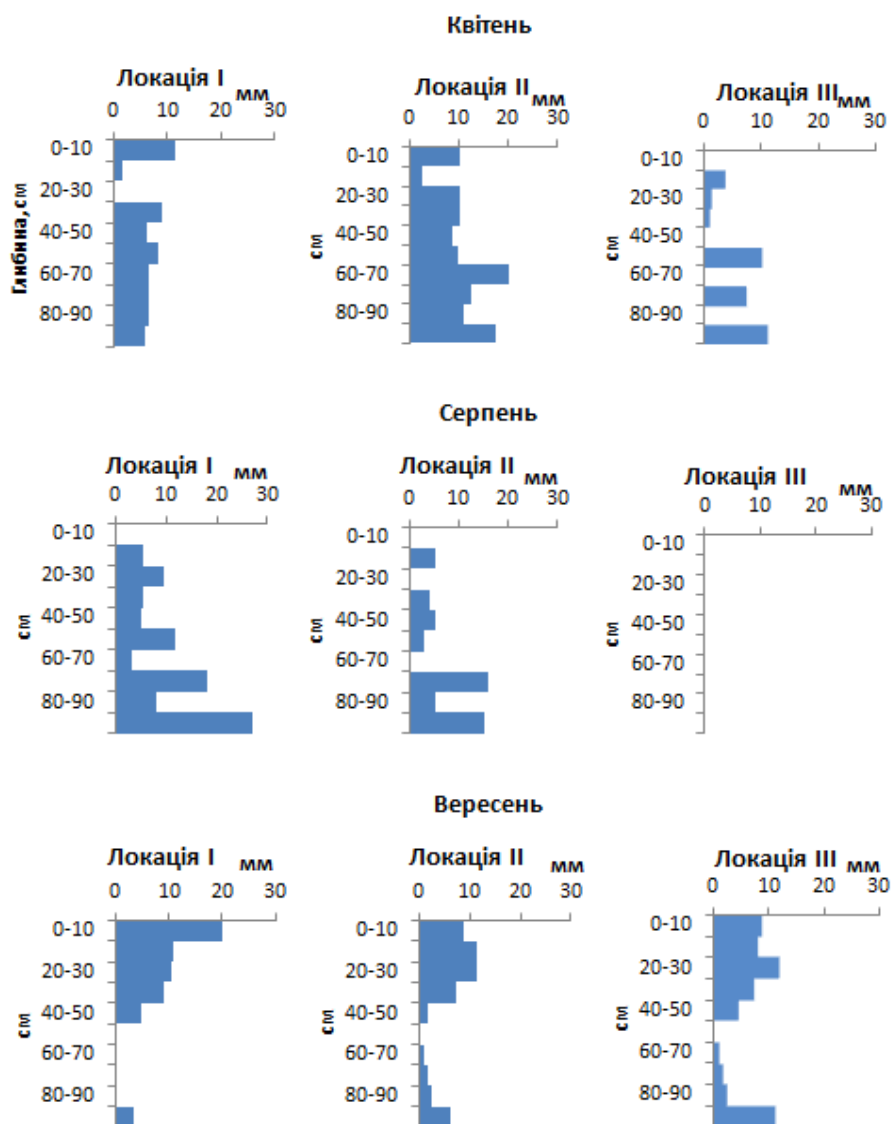


Рис. 2. Динаміка запасів продуктивної вологи (мм) у шарі ґрунту 0-100 см

4.3. Твердість ґрунту

Твердість ґрунту розглядають як міру його механічної проникливості [16], з чим безпосередньо пов'язана така важлива технологічна характеристика ґрунту як спротив обробітку, а також — спротив просуванню коренів рослин. Твердість інтегрує відомості про фізичний стан ґрунту, що функціонально залежить від гранулометричного складу, структури, щільності й вологості (S. Grunau et al., 2001 за [16]).

Найбільше твердість залежить від вологості: зі зменшенням вологості чорноземних ґрунтів від 34,5 до 13,3 % (у 2,5 раза) твердість посилюється у 7 разів (П.У. Бахтін, 1969 за [16]).

Щодо впливу механічного обробітку ґрунту на стан його твердості, відомо достатню кількість результатів польових дослідів, з яких видно, що ґрунт, навіть за нульового обробітку, не схильний нарощувати твердість впродовж вегетаційного періоду [16].

Показник твердості ґрунту широко використовують для оцінювання якості його обробітку виходячи з того, що твердість тісно пов'язана з розміром структурних агрегатів, щільністю і водно-повітряними умовами розвитку коренів рослин.

Для кукурудзи, як і інших просапних культур, оптимальними значеннями твердості ґрунту в орному шарі є 5–10 кгс/см² [6, 22]. За результатами спостереження перед посівом у межах поля твердість ґрунту коливається не виходячи за верхню межу цього інтервалу.

Лише по периметру (локація I) маємо суттєве перевищення оптимуму, де, на відміну від основної території поля, спостерігається суттєве зменшення параметрів після посіву та у період вегетації культури (Рис. 3).

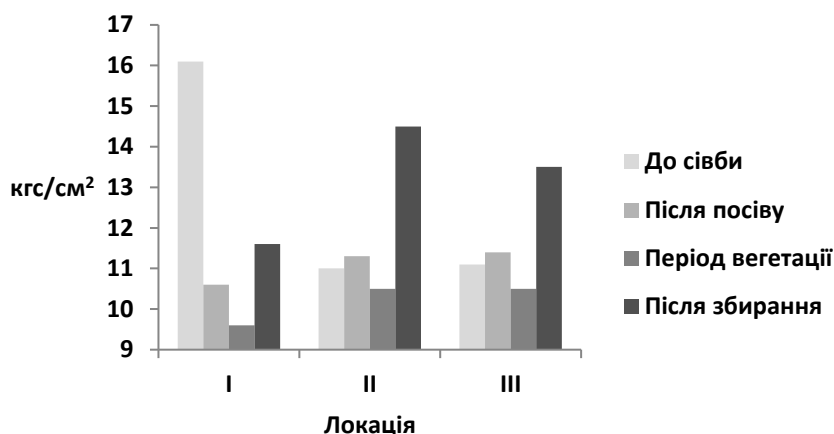


Рис. 3. Динаміка твердості ґрунту у шарі 0-30 см

Після збирання врожаю твердість ґрунту збільшується, у більшому ступені на основній території поля, та наближається до необхідного рівня для посіву зернових колосових культур [6, 22], хоча і залишається нижче мінімальних значень (для зернових колосових культур твердість ґрунту має бути на рівні 20–25 кгс/см² [23]).

4.4. Структурний склад ґрунту

Аналіз структурного складу орного шару ґрунту у період перед посівом кукурудзи (Табл. 7) вказує на диференціацію локацій дослідю.

Таблиця 7

Структурний склад ґрунту на різних глибинах в межах орного шару (квітень, до посіву)

Локація	Шар, см	Вміст структурних агрегатів, %			Відношення вмісту фракцій 5-3 мм 2-1 мм
		> 10 мм	< 0,25 мм	0,25–10 мм	
I	0-10	63,7	10,3	25,9	2,2
	10-20	59,8	8,0	32,2	3,3
	20-30	66,7	8,3	25,0	1,6
II	0-10	30,8	16,3	53,0	2,2
	10-20	33,6	14,8	51,5	0,8
	20-30	28,4	18,1	53,5	0,5
III	0-10	50,1	4,9	44,9	0,7
	10-20	45,1	13,7	41,2	1,6
	20-30	48,5	12,3	39,3	2,3

За вмістом агрономічно корисних агрегатів (середній діаметр 0,25–10 мм) у шарах 0–10 та 10–20 см стан ґрунту в межах поля, згідно зі шкалою С.І. Долгова і П.У. Бахтіна [24], є задовільним з варіюванням від 41 до 53 %; по периметру поля — незадовільний (від 26 до 32 %), і там спостерігається високий вміст брилистої фракції (> 10 мм) — від 60 до 67 %

Але по периметру поля спостерігається найменший вміст пилуватої фракції (< 0,25 мм) та зниження вмісту більшості агрономічно корисних фракцій, за винятком агрегатів 5–3 мм (Рис. 4). Найвищий вміст пилу (< 0,25 мм) має ґрунт у межах поля, що потрапляє під пряму дію тиску МТА (локація II). Локація III характеризується низьким вмістом пилу у верхньому розпушеному шарі 0–10 см, але різким збільшенням його в шарах 10–20 та 20–30 см.

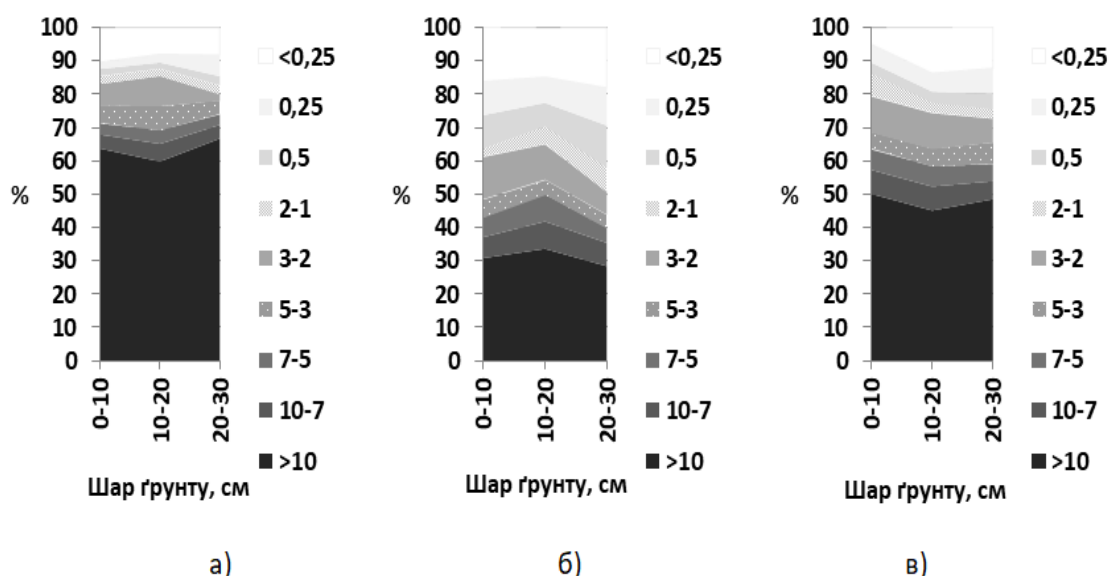


Рис. 4. Структурний склад ґрунту перед посівом (локації: а – I; б – II; в – III)

4.5. Урожайність кукурудзи

За результатами досліджень урожайність кукурудзи на зерно в межах досліджуваного поля варіює від 2,18 т/га по периметру (локація I) до 3,67 т/га на ділянках, що потрапляють у слід МТА (локація II), за середню урожайність на фоні мінімального прямого впливу тиску техніки (локація III) 3,58 т/га ($HP_{05}=1,489$ т/га). Диференціація врожайності за локаціями сягає 40 %, що може бути відчутним у формуванні кількості валового продукту, знижуючи ефективність його виробництва.

5. Обговорення результатів

5.1. Неоднорідність щільності будови ґрунту в часі

5.1.1. Ущільнення ґрунту після посіву

Вивчення динаміки об'ємної маси ґрунту на різних локаціях у період після проведення посіву показало, що глибина поширення максимального ущільнення орного шару (Рис. 5) визначається, перш за все, глибиною розташування прошарку з найменшою вологістю (див. табл. 6). За висновками М. П. Артьомова [25] «вологість ґрунту в момент впливу на нього техніки є найважливішим чинником, що визначає ступінь ущільнення, при одному і тому ж навантаженні», та глибину деформації ґрунту.



Рис. 5. Зростання щільності будови ґрунту внаслідок проведення посівних робіт

А згідно з результатами досліджень В.В. Медведєва та ін. [26] інтенсивність і глибина ущільнення залежать як від вологості ґрунту у момент проходження МТА, так і від гранулометричного складу ґрунту та його структурного стану. Аналіз наших даних показав,

що у структурно-агрегатному складі ґрунту в ущільнених після посіву прошарках відзначається максимальний, у межах орного шару, вміст брилистої фракції (> 10 мм) та найменший вміст фракції $5\text{--}3$ мм у допосівний період (див. Табл. 7, рис. 4). Тобто, ґрунт дослідного поля має найменшу стійкість до механічного ущільнення МТА на глибині мінімальної зволоженості, що співпадає із максимальною за профілем брилистістю та мінімальним вмістом агрегатів, розміром $5\text{--}3$ мм.

Кореляційним аналізом розкрито позитивний зв'язок щільності будови ґрунту з умістом брилистої фракції > 10 мм (у нашому випадку до $r\ 0,99$) і негативну кореляцію (до $r\ -0,99$) з умістом агрономічно корисних агрегатів ($10\text{--}0,25$ мм). Окрім того, весняні параметри об'ємної маси у шарі $0\text{--}10$ см достатньо щільно негативно корелюють з умістом у більш глибокому ($10\text{--}20$ см) шарі фракцій агрегатів $< 0,25$ мм, $0,5\text{--}0,25$ мм та $10\text{--}5$ мм (від $r\ -0,85$ до $-0,99$), однак, також щільно, але позитивно, — із вмістом фракції $5\text{--}3$ мм (до $r\ 0,98$). Тобто, щільність верхнього шару ґрунту пов'язана зі складом структурних окремоностей не тільки у цьому шарі, але і в наступному.

Аналіз деформації будови ґрунту після посівних робіт (через відсоток збільшення об'ємної маси після їх проведення) показав, що ущільнення у шарі $0\text{--}10$ см негативно корелює з умістом тут фракцій $< 0,25$ мм та $5\text{--}3$ мм ($r\ -0,99$), кількість яких, своєю чергою, позитивно пов'язана з вологістю ($r\ 0,92$ та $0,93$ відповідно). Тобто, можна вважати, що пилювата фракція ($< 0,25$ мм) та агрегати $5\text{--}3$ мм, через позитивний вплив на вологість, підвищують спроможність ґрунту протистояти тиску МТА. Але ущільнення на глибині $10\text{--}20$ см, за отриманими даними, позитивно корелює з умістом цих фракцій ($r\ 0,98$) у верхньому шарі $0\text{--}10$ см і обернено пропорційно корелює з ущільненням цього шару ($r\ -0,98$). Із цього витікає — тим менше деформується шар $10\text{--}20$ см, чим більше ущільнюється верхній ($0\text{--}10$ см) шар. А саме, динамічність щільності верхнього шару забезпечує захист від ущільнення нижчого. Маємо підтвердження існування певного типу взаємодії між шарами ґрунтового профілю, що узгоджується також з дослідженнями О.В. Жукова та Г.О. Задорожної [2] стосовно твердості ґрунту.

Ущільнення глибоких прошарків орного шару ($20\text{--}30$ см) позитивно корелює із твердістю ґрунту (див. Рис. 2) до проведення посівних робіт ($r\ 0,90$), а твердість позитивно пов'язана з умістом агрегатів $5\text{--}3$ мм на глибині $10\text{--}20$ см ($r\ 0,80$) та вмістом брилистої фракції > 10 мм ($r\ 0,70$). Тобто, твердість ґрунту та його брилистість може бути причиною виникнення деформацій ґрунту на більшій глибині під дією МТА у процесі проведення весняних польових робіт.

5.1.2. Динаміка щільності будови ґрунту впродовж вегетації культури

Аналіз динаміки щільності будови — значень об'ємної маси ґрунту під вегетуючою кукурудзою вказує на диференціацію ділянок поля щодо пластичності деформації ґрунту, викликаній весняними польовими роботами (Рис. 6).

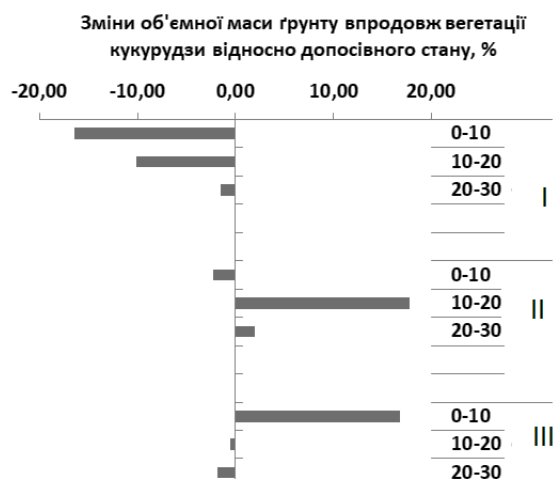


Рис. 6. Зміни щільності будови ґрунту впродовж вегетації кукурудзи відносно передпосівного стану (квітень-серпень)

По периметру поля маємо розущільнення ґрунту в шарах $0\text{--}10$ та $10\text{--}20$ см. В межах поля відновлення щільності ґрунту до весняних показників в шарах максимальної деформації не спостерігається. Об'ємна маса у цих шарах перевищує допосівні показники на $17\text{--}18\%$. Окрім того, порівнюючи напрями зміни щільності ґрунту за період квітень-

серпень (див. рис. 5) та структурно-агрегатного складу (див. рис. 4) можна помітити, що пружна деформація спостерігається там, де відношення вмісту фракцій 5–3 мм до 2–1 мм становить більше 1, а вміст агрегатів 2–1 мм — менше 5,0 %.

Визначення міри розуцільнення ґрунту впродовж вегетації кукурудзи (відносно післяпосівного стану) показало максимальну інтенсивність процесів зменшення об'ємної маси ґрунту на ділянках по периметру поля і найменшу інтенсивність в межах найменшого прямого впливу тиску МТА (Рис. 7).

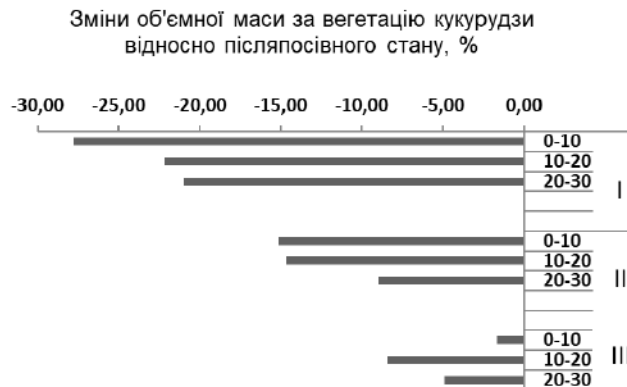


Рис. 7. Зміни щільності будови ґрунту впродовж вегетації кукурудзи відносно післяпосівного стану (травень-серпень)

Кореляційний аналіз дає достатньо щільний зв'язок (загалом $r > 0,5$) між зменшенням об'ємної маси ґрунту за період вегетації кукурудзи і структурним складом орного шару ґрунту перед посівом культури. Згідно з результатами аналізу зменшення значень об'ємної маси ґрунту за період вегетації кукурудзи відбувається там, де більша кількість брил (> 10 мм) та фракції 5–3 мм, навесні, а також із збільшенням твердості ґрунту в орному шарі. Обернений зв'язок із розуцільненням, як і з твердістю, спостерігається для вмісту фракцій 10–7, 7–5 та 3–2 мм.

5.2. Кореляційний зв'язок між показниками режиму зволоження та структурного складу ґрунту

Результати аналізу вказують на щільність і тривалість прямого зв'язку вмісту продуктивної вологи в орному шарі та вмісту в ґрунті структурної фракції $< 0,25$ мм (r від 0,62 у квітні до 0,56 у серпні), і вмісту фракції 1–0,5 мм (r від 0,54 у квітні до 0,51 у серпні). Також виявлено обернену кореляцію вмісту продуктивної вологи з умістом брил > 10 мм (r від -0,37 у квітні до 0,50 у серпні).

Пошаровий аналіз параметрів структурного складу у допосівний період і вмісту продуктивної вологи орного (0–30 см), підорного (30–50 см), та глибокого (50–100 см) шарів ґрунту у квітні, серпні і вересні дозволяє окреслити особливості впливу окремих фракцій агрегатів на водний режим цих шарів ґрунту протягом вегетації культури. Так, встановлено, що брили > 10 мм збільшують глибину випаровування вологи, але і полегшують надходження в ґрунт вологи опадів, що узгоджується із дослідженнями В. В. Медведєва [27]. Тому їх вміст у шарі 0–10 см негативно корелює з глибоким проникненням вологи (50–100 см) у посушливому квітні (r до -0,85), але позитивно — з продуктивною вологою підорного (30–50 см) шару (r до 0,99) у зволожений період серпень-вересень.

Так само агрегати 10–7 і 7–5 мм, сприяють випаровуванню вологи з ґрунту до глибини 30 см, але полегшують надходження вологи у підорний шар. Їх вміст у шарі 0–10 см негативно корелює з умістом продуктивної вологи в усьому орному шарі у серпні і вересні (відповідно r до -0,95 і -0,99 для фракції 10–7 мм), але позитивно — з вологою у шарі 50–100 мм у вересні (r до 0,99).

Агрегати 5–3 мм сприяють доброму засвоєнню вологи опадів, заважають випаровуванню і міграції її вглиб по профілю. Спостерігається позитивна кореляція з їх умістом у шарі 0–10 см продуктивної вологи у усьому орному шарі у квітні (r до 0,99) і в підорному (30–50 см) — у серпні (r до 0,81). Натомість виявлено обернений зв'язок їх умісту у шарі 10–20 см з вологою глибоких шарів (50–100 см) у вересні (r до -0,81) та з їх умістом у шарі 20–30 см і вмістом вологи в підорному шарі 30–50 см (r до -0,99).

Фракція 3–2 мм не заважає висхідному руху води (випаровуванню), але стримує засвоєння літніх опадів. Вміст її навесні в орному шарі негативно корелює з умістом в ньому продуктивної води у серпні (r більше -0,90).

Агрегати 2–1, як і 1–0,25 мм, заважають засвоєнню атмосферних опадів та міграції води як вглиб ґрунтового профілю, так і у висхідному напрямі. Вміст фракції 2–1 мм у шарі 0–10 см негативно корелює з умістом продуктивної води в підорному шарі (r до -0,97), як у квітні, так і у серпні, вміст цієї фракції у шарі 20–30 см — позитивно з водою шару 50–100 см у квітні (r до 0,98).

Пилувата фракція < 0,25 мм сприяє доброму засвоєнню води опадів, але стримує їх проникнення вглиб ґрунтового профілю і не заважає випаровуванню з поверхні ґрунту. Це узгоджується з класичними уявленнями [28], що розпилення ґрунтів, як один із проявів деградації, зокрема, призводить до кіркоутворення. Вміст агрегатів < 0,25 мм у шарі 0–10 см позитивно корелює з умістом продуктивної води у шарі 0–30 см (r до 0,99) у квітні та з продуктивною водою у шарі 30–50 см у серпні (r до 0,79). А вміст агрегатів < 0,25 мм у шарах 10–20 та 20–30 см негативно корелює з продуктивною водою в орному і підорному шарах у вересні (r до -0,91 і -0,94 та -0,68 та -0,99 відповідно). Відомо також приклад статистично підтвердженої наявності суттєво тісного зв'язку діапазону продуктивної води у широкому ряді ґрунтів України і вмісту крупних макроагрегатів [29].

5.3. Просторова неоднорідність агрофізичного стану ґрунту в межах поля

Виходячи з аналітичних даних, що дозволили виявити наявність і характер зв'язків стійкісних характеристик, реологічних особливостей та водного режиму чорнозему звичайного з його структурним складом у межах орного шару можна окреслити особливості просторової неоднорідності, у межах поля, агрофізичного стану ґрунту та його динамічності у ґрунтово-кліматичних умовах регіону під час вирощування кукурудзи за сучасних технологій, що базуються на відмові від оранки.

5.3.1. Периметр поля (локація I)

Підвищений рівень механічного тиску МТА по периметру поля перед початком посівної формує більш ущільнений ґрунт із високою брилистістю, низьким умістом структурних агрегатів 2–1 мм, та підвищеним умістом фракції 5–3 мм, що відповідає за стійкість ґрунту до механічного тиску, з поверхні до глибини 20 см. Особливості структури орного шару сприяють високій інтенсивності висхідних потоків води, як і відносній легкості засвоєння ґрунтом опадів, що зумовлює формування оптимальної зволоженості поверхні ґрунту у період проведення посівної, але — переривання наповненості продуктивною водою ґрунту на глибині 20–30 см. Високий вміст брил та агрегатів 5–3 мм з поверхні до глибини 20 см та низька вологість у шарі 20–30 см спричиняють максимальну деформацію у цьому шарі після посіву і формування суттєвого градієнту щільності до глибини 30 см. Градієнт щільності сприяє інтенсифікації висхідних потоків води у посушливий післяпосівний період та пересушуванню орного шару, що може бути однією з причин суттєвого зниження врожаю кукурудзи (див. п. 4.5). Інтенсивні низхідні токи через, зокрема, брилисту структуру орного шару і невисокий вміст гігроскопічних фракцій, формують найкраще наповнення метрового шару водою у період літніх дощів. Але до вересня інтенсивне випаровування формує потужний шар пересушування профілю на глибині 50–80 см, який заважає глибокому заповненню водою ґрунтового профілю і викликає накопичення її у поверхні з утворенням перезволоженого шару 0–10 см. Деформація орного шару після весняних робіт є пружною, і у серпні спостерігається його розущільнення.

5.3.2. Колія (локація II)

ґрунт у зоні колії МТА в межах поля характеризується високим умістом пилуватої структурної фракції в орному шарі перед початком посівної і невисоким вмістом брил та оптимальною щільністю у верхніх шарах до глибини 20 см. Наповненість метрового шару продуктивною водою перед посівом є задовільною, але верхній 0–10 см шар є перезволеним. Високий вміст фракції 5–3 мм та низький 2–1 мм є характерним тільки до глибини 10 см. І максимальна деформація ґрунту після посівної спостерігається нижче цього шару на глибині 10–20 см. Формується високий градієнт щільності між шарами 0–10 і 10–20 см (0,27 г/см³), що інтенсифікує випаровування води у післяпосівний період. Але високий вміст фракцій, розміром менше 2 мм, що гальмують міграцію води у ґрунті, та низький градієнт щільності між шарами 10–20 і 20–30 см дозволяють тримати відносно

більш високий рівень запасів продуктивної вологи на глибині 20–30 см, зважаючи на ранньовесняну задовільну вологозабезпеченість метрового шару ґрунту. Це може пояснювати відносно високу урожайність культури на відповідних ділянках дослідного поля (див. п. 4.5), незважаючи на строкате наповнення ґрунтового профілю продуктивною вологою у серпні. Можливо, це відбувається через погіршення процесів міграції вологи, зумовлене, зокрема, структурно-агрегатним складом нижніх прошарків орного шару. Окрім того, деформація орного шару після весняних робіт є пластичною, і після збирання урожаю ґрунт може навіть ущільнюватись у верхньому шарі 0–10 см. У вересні перезволоження 0–10 см шару не спостерігається, ґрунт зверху до глибини 50 см має меншу вологонасиченість, ніж по периметру поля, але шар пересушування (50–60 см) менш потужний.

5.3.3. Зона з найменшим впливом прямого тиску техніки (локація III)

Ділянки найменшого впливу тиску МТА навесні мають неуцільнений верхній шар 0–10 см, але високий градієнт щільності по орному шару, що зумовлює найгірше наповнення продуктивною вологою ґрунтового профілю перед посівом і наявність пересушеного шару на поверхні ґрунту. Особливостями структури ґрунту перед посівом є невисока пилюватість зверху зі збільшенням кількості пилу у більш глибоких прошарках орного шару. Брилистість від 45 до 51 %, кількість агрегатів 5–3 мм більше 5,3 % тільки з глибини 20 см, вміст фракції 2–1 мм перевищує 2,5 % по всьому орному шару. Тому основна деформація ґрунту після проведення посівної сконцентрована у поверхневому шарі 0–10 см, що вирівнює градієнт щільності під посівами у травні і сприяє збереженню вологи. Цим можна пояснити формування врожайності на рівні показників з ділянок під періодичним тиском МТА (див. п. 4.5). Однак, висока щільність 0–10 см протягом вегетації культури, що у серпні, навіть перевищує щільність шару 10–20 см, та висока пилюватість ґрунту не сприяють збереженню вологи опадів. І у серпні спостерігається повне пересушування метрового шару ґрунтового профілю. Хоча у вересні вже відбувається відновлення щільності 0–10 см шару до квітневих показників, що дозволяє заповнити ґрунтовий профіль вологою на рівні ділянок з періодичним тиском МТА.

6. Висновки

1. Стійкісні характеристики, реологічні особливості та водний режим ґрунту впродовж вегетаційного періоду кукурудзи великою мірою визначаються параметрами структурного складу орного шару, зафіксованими на час перед посівом культури.
2. Структурні агрегати різних фракцій диференційно пов'язані із фізичними показниками ґрунту та по-різному впливають на його агрофізичний стан.
3. Нерівномірність розподілу інтенсивності механічного тиску зумовлює диференціацію структурного складу та фізичного стану ґрунту в орному шарі в межах поля, що призводить до одночасного існування різноякісних зон, наприклад, у стані перезволоження, пересушування та оптимальної зволоженості.
4. Щільність верхнього шару ґрунту пов'язана не тільки з його власним структурним складом, а також і зі складом шару, розташованого нижче.
5. Твердість ґрунту, його брилистість, високий вміст агрегатів фракції 5–3 мм та низький вміст агрегатів 2–1 мм у верхніх шарах може бути причиною збільшення глибини деформації ґрунту під дією МТА.
6. Динамічність щільності верхнього шару ґрунту, низький вміст в ньому агрегатів 5–3 мм та високий вміст 2–1 мм забезпечує захист від ущільнення шарів ґрунту, розташованих нижче.

Список використаних джерел

1. Медведев В.В. Временная и пространственная гетерогенизация распахиваемых почв. *Ґрунтознавство*. 2013. Т. 14, № 1/2. С. 5–22. URL: https://www.dnu.dp.ua/docs/zbirniki/fbem/program_56d5ed9dd8f64.pdf
2. Жуков А.В., Задорожная Г.А. Пространственная изменчивость твердости рекультивируемых почв. *Принципы экологии*. 2017. № 3. С. 66–80. DOI: [10.15393/j1.art.2017.6322](https://doi.org/10.15393/j1.art.2017.6322).
3. Задорожная Г.А. Сезонная динамика экоморфического строения чернозема. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2016. Вип. 85. С. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss85-08>
4. Задорожная Г.А. Связь пространственной вариации твердости чернозема с экологической структурой растительного сообщества. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2017. Вип. 86. С. 69–78. DOI: doi.org/10.31073/acss86-09

5. Конищев А.А. Обработка почвы: вчера, сегодня, завтра. Иваново: ФГОУ ВПО ИГСХА им. академика Д.К. Беляева, 2013. 127 с.
6. Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. Москва: Агропромиздат, 1988. 160 с.
7. Сафиулин М.А. Причина потери 30 % урожая лежит на поверхности. 2018. URL: <https://regnum.ru/news/economy/2383848.html>.
8. Медведев В.В., Бигун О.Н. Об оптимальной, допустимой и недопустимой плотности сложения распахиваемых почв. *Fundamental and applied soil science*. 2013. Т. 14, №3-4. С. 6-17. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/grunt_2013_14_3-4_3
9. Лапик В.П., Французов В.С., Адылин И.П. Исследование уплотнения почвы МТА. *Вестник БГСХА*. №1 2012. С. 35-37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-uplotneniya-pochvy-mta/viewer>
10. Цюк О.А., Центило Л.В., Мельник В.І. Структурно-агрегатний склад ґрунту залежно від основного обробітку та удобрення. *Біоресурси і природокористування*. 2018. Том 10, №5-6. С. 139-145. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/bio2018.05.017>.
11. Медведев В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана): монография. Харьков. Изд. «13 типография». 2008, 406 с.
12. Jasinska E., Wetzel H., Baumgartl T., & Horn R. Heterogeneity of Physico-Chemical Properties in Structured Soils and Its Consequences. *Pedosphere*. 2006. V. 16. Issue 3. P. 284-296. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(06\)60054-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(06)60054-4).
13. Медведев В.В. Физические свойства и обработка почв в Украине. Харьков: Изд-во «Городская типография», 2013. 224 с..
14. Koszinski S., Wendroth O., Lehfeldt J. Field scale heterogeneity of soil structural properties in a moraine landscape of north-eastern germany *Int. Agrophys.* 1995, 9(3). P. 201–210. URL: <http://www.international-agrophysics.org/Field-scale-heterogeneity-of-soil-structural-properties-in-a-moraine-landscape-of,107136,0,2.html>
15. Бець Т.Ю. Просторова неоднорідність твердості ґрунту та її зв'язок з електричною провідністю ґрунту та продуктивністю соняшника. *Біологічний вісник МДПУ*. 2013. 2(8). С. 30-44. DOI: [http://dx.doi.org/10.7905/bbmspu.v0i3\(6\).543](http://dx.doi.org/10.7905/bbmspu.v0i3(6).543).
16. Медведев В.В. Твердость почв. Харьков: Изд. КГ1 «Городская типография», 2009. 152 с.
17. Погромська Я.А. Динаміка кількості опадів за кліматичних змін в умовах Донецького регіону. «Екологічна наукова діяльність: в концепції сталого розвитку» Збірник статей науково-практичної конференції з міжнародною участю. Житомир С. 239-244: Вид-во ЕЦ «Укрекобіокон», 2018. URL: <http://repository.vsa.org/getfile.php/19230.pdf>
18. Мірошніченко М.М., Ревтьєв-Уварова А.В., Гладких Є.Ю., Панасенко Є.В. Оцінка ефективності аміачної води за удобрення соняшнику. *Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області*. 2018. Вип. 24. С. 190-198.
19. Гудзь В.П., Примак І.Д., Будьонний Ю.В., Танчик С.П. Землеробство: підруч. 2-ге вид. перероб. та доп. ; за ред. В.П. Гудзя. Київ: Центр учбової літератури, 2010. 464 с.
20. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. Москва: Агропромиздат, 1986. 416 с.
21. Романенко О.Л., Конова С.Р., Солодушко М.М., Бальошенко С.В. Вологозабезпеченість ґрунту та продуктивність різновікових рослин пшениці озимої в зоні південного Степу. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2015. Вип. 18. С. 87-95.
22. Демиденко О.В. Післяжнивні рештки в ґрунтозахисному землеробстві як енергетика ґрунтоутворення в агроценозах Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Черкаського інституту агропромислового виробництва : Міжвід. темат. зб. наук. пр.* Черкаси, 2005. Вип. 5. С. 13–26.
23. Центило Л.В., Цюк О.А. Динаміка змін твердості ґрунту залежно від його основного обробітку. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. №1. С. 147-153. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.01.19>.
24. Долгов С.И., Бахтин П.У. Шкала для оценки готовности почв к посеву по ее структурному состоянию. Москва: Наука, 1966. С. 67.
25. Артёмов М.П. Вплив зміни вертикальних прискорень машинно-тракторних агрегатів на ущільнення ґрунту при виконанні агротехнічних операцій. *Інженерія природокористування*. 2017. №2(8). С. 90-95.
26. Медведев В.В., Лындина Т.Е., Лактионова Т.Н. Плотность сложения почв. Генетический, экологический и агрономический аспекты. Харьков: 13 типография, 2004. 244 с.
27. Медведев В.В. Агрозем как новое 4-мерное полигенетическое образование. *Gruntoznastvo*. 2016. 17, №. 1-2. С. 5-21. DOI: <https://doi.org/10.15421/041601>.
28. Медведев В.В., Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В., Пліско І.В. Агрофізика ґрунту. Навчальний посібник. Київ, 2018. 272 с.
29. О закономерных связях между гидрофизическими и общими физическими свойствами почв / Т.Н. Лактионова, В.В. Медведев, О.Н. Бигун, [и др.]. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2007. № 67. С. 42-53.

UDC 631.4:551.3;631.59

Dynamics of heterogeneity of the agrophysical quality of ordinary chernozem within the farm field

Ya. A. Pogromska

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
 Kharkiv, Ukraine
 E-mail: joanap@i.ua

The article presents data on monitoring the physical characteristics of the soil in a field under corn (after sunflower) in a grain-row crop rotation with minimal tillage technology. Soil – Calcic Chernozem, light-medium clayey, weakly xeromorphic on loess in the Donetsk region in the Steppe climate zone of southeastern Ukraine. The research carried out in a stationary field experiment to study the effectiveness of abandoning plowing under the soil and climatic conditions of the region. During the growing season of corn for grain, the physical characteristics of the soil monitored – bulk density, penetration resistance, and moisture content; before sowing the crop, the structural condition was determined. Measurements carried out in three locations – zones of the field, which differ on the intensity of compaction by agricultural machinery. All physical characteristics were investigated in separate layers (0–10, 10–20, and 20–30 cm) within the arable layer; reserves of productive moisture — in the entire soil profile. Meteorological data were obtained by own observations at a weather station in the nearby village of Sukha Balka. According to the results of the correlation and dispersion analysis of ANOVA, the presence and nature of the relationship between stability characteristics, rheological features and the water regime of the soil with its structural composition within the arable layer recorded before sowing revealed. Uneven distribution within the field of intensity of mechanical pressure on the soil forms differences in the structural composition and physical characteristics of the soil. For example, according to the state of moisture in a layer of 0–10 cm, the soil in different parts of the field is in a state of overwetting, overdried or optimal. The bulk density of the upper soil layer is related not only to its own structural characteristics, but also to the composition of aggregates in the layer located below. High penetration resistance, high aggregate content of 5–3 mm and low aggregate content of 2–1 mm in the upper layers can cause deep soil deformation under machine pressure. The dynamicity of the bulk density of the upper soil layer, its low content of aggregates of 5–3 mm and high content of 2–1 mm provides protection against compaction of the soil layers located below.

Keywords: agrophysical heterogeneity; bulk density; penetration resistance; soil moisture; structural composition.

Citing: Pogromska Ya. A. (2023). Dynamics of heterogeneity of the agrophysical quality of ordinary chernozem within the farm field. *Agrochemistry and Soil Science*. 94. 39-53. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/acss94-05>

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ STUDIES OF YOUNG SCIENTISTS

УДК 631.47

Досвід найвідоміших ґрунтових інформаційних систем світу. Аналітичний огляд

В. В. Лебедь

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 31.05.2023 Отримано після доопрацювання 19.07.2023 Затверджено до видання 25.07.2023 Доступно онлайн 10.08.2023	Оглядову статтю присвячено аналізу практичного досвіду відомих світових центрів накопичення інформації про ґрунти у базах даних та ґрунтових інформаційних системах. Розглянуто світовий досвід інформаційного забезпечення ґрунтових досліджень та впровадження інформаційних технологій для менеджменту ґрунтових ресурсів. Вказано на важливість розробки баз даних ґрунтових параметрів та властивостей методами, стандартизованими та гармонізованими з міжнародними. Окреслено основні поняття ґрунтових інформаційних систем та наведено їх класифікацію за географічними рівнями діяльності. Визначено набір критеріїв, якими окреслюється мета створення системи ґрунтової інформації, її структура, комплекс даних, що мають до неї надходити, міра їх доступності користувачам та міра застосовності у менеджменті ґрунтів. Проведено огляд найбільших ґрунтових інформаційних систем світу, визначено принципи їх побудови, функціонування та шляхи взаємодії одна з одною. Найбільшими ґрунтовими інформаційними системами є глобальні GLOSIS (FAO GSP) та WoSIS (ISRIC), регіональна ESDAC (країни ЄС), національні NASIS (Сполучені Штати Америки), CanSIS (Канада) та ASRIS (Австралія). Їх можна розглядати як основні моделі у процесі побудови та налаштування функціональних можливостей національної ґрунтової інформаційної системи, що дозволить Україні інтегруватися у міжнародну систему обміну даними про ґрунти. Визначено частку участі нашої держави у міжнародних системах ґрунтової інформації та роль ННЦ "ІГА імені О.Н. Соколовського" у поповненні ґрунтових баз даних світу. Найбільша кількість ґрунтових профілів України представлена у WoSIS, до якої надходить інформація про ґрунти з багатьох національних та регіональних баз даних.

E-mail: swdiscover@gmail.com

Форма цитування: Лебедь В.В. Досвід найвідоміших ґрунтових інформаційних систем світу. Аналітичний огляд. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 94. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 54-61. <https://doi.org/10.31073/acss94-06>

1. Актуальність теми

Від початку виникнення науки ґрунтознавства було накопичено значний обсяг даних та інформації про параметри та властивості ґрунтів. З подальшим розвитком ґрунтознавчої науки кількість даних невпинно зростала, що пов'язано із активізацією досліджень ґрунтового покриву та появою нових методів аналізу ґрунтів. Відтак постала необхідність систематизації отриманих експериментальних даних та впровадження відповідних інформаційних технологій.

Для успішного менеджменту ґрунтових ресурсів та управління родючістю ґрунтів важливим є використання засобів забезпечення інформаційної основи щодо стану ґрунтів та еволюції їхніх функцій на сучасному етапі використання. Важливим фактором ефективного використання ґрунтової інформації є вільний доступ до даних, забезпечення їх постійного оновлення, безперешкодний обмін даними та створеннями, з їх допомогою, інформаційними продуктами.

Останніми роками посилилася активізація ґрунтознавців Європи і світу у прагненні створити Глобальну ґрунтово-інформаційну систему, тому активна участь України у цьому процесі є вагомим підставою для оцінювання якості національних ґрунтових даних з позиції їх сумісності з міжнародними, а, отже й доступності для міжнародних баз даних та дослідницьких проєктів. Тим більше, що євроінтеграційні прагнення України повинні підтверджуватися зокрема і створенням дієвої ґрунтової інформаційної системи.

2. Основні поняття ґрунтової інформаційної системи

Основними поняттями інформаційних технологій, що застосовуються у ґрунтознавстві є бази даних (БД) та інформаційні системи. База даних зберігає дані про ґрунт та складається з однієї або декількох таблиць, певним способом пов'язаних між собою. Таким чином, ведеться збір даних через їх внесення в таблиці та збереження для подальшого використання. На цьому функція бази даних фактично закінчується. ґрунтова інформаційна система [1], крім збереження даних, здатна підтримувати функції обробки та формування запитів щодо ґрунтової інформації шляхом

застосування систем управління базами даних (СУБД). Також важливою частиною повноцінної ґрунтової інформаційної системи є наявність веб-ресурсів для поширення інформації про ґрунти онлайн.

У ґрунтознавстві інформаційна система визначається як «система, що включає методи аналізу, апаратне та програмне забезпечення, носії інформації і дані про ґрунти і ґрунтовий покрив, які можуть бути використані для виконання необхідних інформаційних процесів» [2].

За результатами аналізу джерел інформації, що надходить до найвідоміших ґрунтових інформаційних систем, виділяємо основні:

- Дані польових обстежень (характеристика місця закладення розрізу та відбирання проб, морфологічна будова профілю);
- Аналітичні та експериментальні дані (на основі лабораторно визначених параметрів ґрунтових властивостей);
- Дані дистанційного зондування земної поверхні (космічні знімки для вивчення ґрунтового покриву).

Всі ці джерела нерозривно пов'язані між собою та становлять основу для оцінювання якості ґрунтових ресурсів. Таке завдання постало перед ґрунтознавцями всього світу, відтак було прийнято основні принципи збирання, збереження, оброблення та розповсюдження інформації про ґрунти.

На цей час у світі вже існують десятки ґрунтових інформаційних систем, які відрізняються між собою певним набором критеріїв. На основі аналізу наявних ґрунтово-інформаційних систем ми виділили такі критерії:

- мета створення;
- методологія створення (розробки)
- принципи побудови (структури);
- особливості накопичення даних, джерела їх надходження;
- перелік найменувань даних, що накопичуються в системі;
- доступ до даних;
- використання продуктів, розроблених на основі накопичених даних.

Для створення української ґрунтово-інформаційної системи потрібно перш за все враховувати національні особливості надходження ґрунтових даних та методів визначення параметрів ґрунтів. Також, зважаючи на євроінтеграційні прагнення України, ґрунтово-інформаційна система нашої держави повинна базуватись саме на принципах побудови європейських систем. При цьому, бажано використовувати досвід створення й інших баз даних та систем, таких як WoSIS (Світова ґрунтова інформаційна служба), SOTER (База даних ґрунтів і земель) та інші [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Перш ніж перейти до огляду конкретних ґрунтових інформаційних систем, слід зазначити, що вони поділяються на декілька рівнів або сфер діяльності — глобальні, національні (державні), регіональні (територіальні), установ та окремих програм (проектів) наукових досліджень [10, 11, 12].

Глобальні ґрунтові інформаційні системи за їх сутністю розділяємо на дві категорії. Одна з них об'єднує певну кількість національних систем у єдину мережу. При цьому кожна із об'єднаних систем зберігає свою унікальність з огляду на способи наповнення ґрунтовими даними, їх кількість та якість. Спільним залишається тільки модель комунікації та обміну даними між окремими системами, що об'єднані у глобальну. До таких систем відноситься GLOSIS (Глобальна ґрунтова інформаційна система) від організації FAO та GSP (Глобальне ґрунтове партнерство) [13].

Другу категорію становлять глобальні ґрунтові інформаційні системи, які створені у межах окремої установи. При цьому збір даних здійснюється з багатьох джерел по всьому світу, а їх накопичення відбувається за єдиною методикою та за допомогою чітко визначених алгоритмів. Такою системою, наприклад, є WoSIS, створена на базі ISRIC (Міжнародний ґрунтовий довідково-інформаційний центр) [8, 14].

Національні ґрунтові інформаційні системи призначено для вирішення певних завдань на рівні окремої країни, що залежить, передусім, від мети їх створення. Вони можуть відрізнятися за принципами побудови, особливостями структури, функціонування та надходження даних тощо.

Регіональні ґрунтові інформаційні системи створюються для окремих адміністративно-територіальних одиниць (інформаційні системи областей, районів, окремих громад). Збір та обробка даних проводиться з метою управління ґрунтовими ресурсами та прийняття необхідних рішень на локальному рівні.

Ґрунтові інформаційні системи також можуть діяти в окремих установах, наприклад для інформаційного супроводу наукових досліджень. Кожен структурний підрозділ установи може, а в ідеалі — повинен, розвивати власну систему збирання та обробки даних для підтримки певного виду діяльності. Однак, у випадку відмінностей у структурі та принципах роботи ґрунтових інформаційних систем постає питання їх сумісності одна з одною. Тому національна мережа ґрунтових інформаційних систем повинна відповідати певним визначеним стандартам накопичення та обміну даними.

Окремо виділяємо ще одну типізацію ґрунтових інформаційних систем та подібних до них об'єктів за принципами побудови та функціонування:

- бази даних як сховище ґрунтових даних без підтримки СУБД та відкритого доступу через веб-сервіси;
- ізольовані інформаційні системи, у яких відсутні протоколи передачі даних;
- відкриті повнофункціональні інформаційні системи, пристосовані для передачі даних в мережі Інтернет через стандартні сервіси.

У світовій практиці найбільше представлено останній вид інформаційних систем з відкритим доступом до даних та можливістю їх пошуку завдяки налагодженим веб-сервісам.

3. Глобальні ґрунтові інформаційні системи та центри

3.1. Глобальна ґрунтова інформаційна система GLOSIS

Глобальна ґрунтова інформаційна система GLOSIS відноситься до мережі взаємопов'язаних систем. GLOSIS об'єднує національні ґрунтові інформаційні системи (SIS) різних країн світу для вирішення питань глобального масштабу, пов'язаних із ґрунтами, та для забезпечення досліджень більш локального характеру у разі відсутності необхідної ґрунтової інформації. При цьому країни можуть розвивати свої національні інформаційні системи як довідкові центри щодо параметрів та властивостей ґрунтів [13].

В основі GLOSIS лежить інфраструктура просторових даних, яка об'єднує різні компоненти GLOSIS і надає інструменти для зберігання, обробки та спільного використання просторових даних. Інфраструктуру бази спрямовано на обмін та пошук інформації про ґрунти, зібраної національними інститутами через веб-платформу. Цей процес відбувається децентралізовано, коли установи-постачальники даних здебільшого зберігають свої дані та контролюють зовнішній доступ до своїх продуктів.

Необхідність обмінюватися даними про ґрунти, що надходять з різних країн та інститутів, вимагає прийняття спільних нормативних документів (стандартів) для процедури обміну даними. На основі побудови загального дизайну GLOSIS виділяються чотири основні структурні блоки:

1) Модель домену. Це структурний компонент GLOSIS, який визначає засоби обміну даними та структуру бази даних, яка лежить в основі еталонного вузла GLOSIS.

2) Стандарти обміну даними. Стандарти публікації та обміну даними дозволяють зацікавленим сторонам надсилати та отримувати ґрунтові точкові дані через певне середовище. Зокрема, для GLOSIS можуть бути прийнятними чинні стандарти, видані Open Geospatial Consortium (OGC).

3) Вузол GLOSIS і вузол підтримки. Ґрунтова інформаційна система, підключена до Інтернету та здатна публікувати ґрунтові дані відповідно до специфікацій обміну даними GLOSIS. Вузол підтримки — це спеціалізований екземпляр вузла GLOSIS, який розміщується та підтримується GSP. Він призначений для розміщення даних від установ, які за різних причин не можуть створити власний вузол GLOSIS.

4) Відкритий центр обміну даними. Веб-шлюз до вузлів GLOSIS, що пропонує функції перегляду даних у GLOSIS. Він об'єднує всі вузли в єдину точку доступу для користувачів та, зазвичай, складається з послуг перегляду та каталогу даних. Такий центр обміну даними зберігає та підтримує реєстр доступних послуг, специфічних термінів та їх визначень у вигляді словників.

Через GLOSIS поширюються два типи даних про ґрунти — точкові та растрові. Ґрунтовий профіль і точкові дані надаються відповідно до дворівневої моделі.

На першому рівні присутні мінімальні вимоги до якості чи репрезентативності даних. Метою даного рівня представлення є надання доступу до якомога більшої кількості цифрових даних ґрунтового профілю. Для другого рівня характерні докладно описані та проаналізовані ґрунтові профілі, з тематичними підмножинами мінімально необхідних даних, узгоджених та оцінених за якістю.

Загалом архітектура GloSIS дозволяє постачальникам даних приєднатися, як вузол у системі, відповідно до трьох рівнів участі:

1. Спеціальна реалізація. Постачальники даних з готовою SIS, впроваджують протокол обміну даними GloSIS у своїх службах даних;

2. Еталонна реалізація. Постачальники даних створюють свою SIS на основі еталонної реалізації GloSIS (програмне забезпечення з відкритим кодом, що виконує функції вузла GloSIS);

3. Підтримка реалізації. Постачальники даних, які не можуть налаштувати та підтримувати власну SIS, зберігають та публікують свої дані через вузол підтримки GloSIS.

GSP підтримує участь країн та інших постачальників даних у GloSIS через програму «Country Soil Information System – CountrySiS». З цією метою було розроблено керівні принципи для цієї програми, а також посібник з її впровадження. Приклади національних та регіональних ґрунтових інформаційних систем країн світу, що розроблені за підтримки GloSIS: CamSIS (Камбоджа), MaSIS (Македонія), ArmSIS (Вірменія), LeSIS (Лесото), SuSIS (Судан), SISAf (Афганістан), SISLAC (Латинська Америка та Кариби).

GloSIS, як об'єднана система GSP і допоміжна програма розвитку потенціалу, розширить можливості країн та інших постачальників даних, сприяючи створенню стандартизованої інфраструктури ґрунтових даних та обміну даними про ґрунти на національному, інституційному, регіональному та міжнародному рівнях [13].

У подальшому ми передбачаємо розробку ґрунтової інформаційної системи для Українського ґрунтового інформаційного центру, де планується використання першого рівня участі в GLOSIS.

Національна ґрунтова інформаційна система України повинна інтегруватися в GLOSIS, що відповідає принципам відкритості ґрунтових даних для світової спільноти. Взаємний обмін даними відкриває перспективи співробітництва між ґрунтознавцями та зацікавленими особами у глобальному масштабі, допомагає у вирішенні питань продовольчої безпеки шляхом оцінки якості і стану ґрунтових ресурсів.

3.2. Всесвітня ґрунтова інформаційна служба WoSIS

Найбільш потужним світовим центром накопичення ґрунтових даних є Міжнародний центр ґрунтової інформації ISRIC (Вагенінген, Нідерланди). Головна мета ISRIC полягає у поширенні даних та інформації про ґрунти на глобальному, національному та регіональному рівнях для потреб раціонального управління ґрунтами і ґрунтовими ресурсами. Спеціалісти цієї незалежної організації створили велику кількість продуктів на основі зібраних даних параметрів властивостей ґрунтів. ISRIC тісно співпрацює зі світовими установами та організаціями, зокрема FAO та GSP.

Найбільшою ґрунтово-інформаційною системою, розробленою в ISRIC є WoSIS. Це Всесвітня служба ґрунтової інформації, яка має на меті надавати користувачам вибірку стандартизованих і гармонізованих даних ґрунтових профілів. Оцінка даних проводиться за якістю, після чого вони можуть бути використані для цифрового картографування ґрунтів на глобальному рівні. WoSIS є важливою складовою частиною інфраструктури даних ISRIC, що постійно розвивається, з можливістю пошуку необхідних користувачам даних [5, 6, 7].

Головні принципи роботи WoSIS [6, 7]:

- Захист світових даних про ґрунти «як є» (стосується насамперед архівних даних);
- Обмін стандартизованими та гармонізованими точковими даними ґрунтових профілів;
- Надання стандартизованих даних про ґрунти з оцінкою їх якості для цифрового картографування ґрунтів і ряду інших робіт.

Усі дані, надані до WoSIS, спочатку зберігаються «як є» в репозиторії даних ISRIC WDC-Soils із супровідними ліцензіями. Згодом, відповідно до ліцензії, вони оцінюються якісно (тобто перевіряються на правдоподібність), стандартизуються, імпортується в саму модель даних WoSIS і, де це можливо, гармонізуються за допомогою послідовних процедур.

Основними ґрунтовими даними, що входять до складу системи є параметри фізичних властивостей (гранулометричний склад ґрунту (пісок, мул і глина), об'ємна щільність, грубі фрагменти та водоутримувальна здатність), хімічних властивостей (органічний вуглець, загальний вуглець, загальний карбонатний еквівалент, загальний азот, фосфор — екстрагований, загальний та увібраний, pH ґрунту, ємність катіонного обміну) та електропровідності.

Параметри згруповано відповідно до аналітичних процедур (агреговано по категоріях), що дає змогу оперативного їх порівнювати. Також для кожного профілю надається оригінальна класифікація ґрунтів (FAO, WRB, USDA та їх версії) та позначення горизонтів, якщо вони були вказані у вихідних базах даних.

Дані ґрунтових профілів у систему WoSIS надходять із широкого кола джерел. Для всіх точкових даних існує три показники можливої «придатності для використання»:

- точна геоприв'язка (розташування) точкових даних;
- початкова інформація про використані аналітичні методи, за якими досліджувалися ґрунти;
- дата відбирання проби ґрунту.

Наведені показники у подальшому враховуються у цифровому картографуванні ґрунтів та моделюванні. За можливості постачальниками даних надається додаткова інформація щодо аналітичних методів, за якими формується "доменна структура" (наприклад, обмеження розміру часток для текстурних фракцій ґрунту або дрібноземної фракції). Ця додаткова інформація забезпечує основу для остаточної гармонізації — кінцевої довгострокової мети WoSIS. Дані, які надаються з WoSIS, надаються відповідно до ліцензії, визначеної кожним постачальником даних.

Досвід WoSIS з упередження можливості дублювання профілів під час збирання інформації, цілком може бути застосованим для формування Української БД, де передбачається об'єднання декількох баз і наборів даних, які накопичені в різних організаціях [8].

Усього в системі WoSIS на 2019 р. були доступними близько 197 000 геоприв'язаних стандартизованих точкових даних ґрунтових профілів (що становить близько 6 мільйонів записів про ґрунти), які обслуговуються через онлайн-сервіс [15, 16]. У більшості вихідних наборів даних фізичні

параметри властивостей ґрунту представлені менше ніж хімічні; за кількістю вимірювань поверхневі горизонти ґрунтів представлені більш широко ніж глибокі.

Важливим застосуванням стандартизованих даних WoSIS в ISRIC, у співпраці з партнерами, є створення карт властивостей ґрунтів для всього світу. Такі дані можна використовувати для цифрового картографування ґрунтів (наприклад, SoilGrids, карта GSP GSOC), заповнення регіональних баз даних (наприклад, GSP SISLAC), для розробки педотрансферних функцій та інших продуктів, отриманих із попередньої обробки даних (наприклад, візуалізація).

Отримані продукти перебувають у вільному доступі для міжнародної спільноти через ISRIC Soil Data Hub.

Стандартизовані набори даних, вибраних із бази даних WoSIS, поширюються двома способами. До найновішої останньої (динамічної) версії WoSIS можна отримати доступ через OGC-сумісну службу веб-функцій (WFS). Крім того, набори даних WoSIS Snapshot (статичні) у форматі TSV (значення, розділені табуляцією) надаються для послідовного цитування у наукових дослідженнях [15,16].

Система WoSIS побудована з застосуванням багаторічного досвіду та передових технологій, тому може бути використана як еталонна для створення національної ґрунтової інформаційної системи.

3.3. *Європейський центр ґрунтових даних (European Soil Data Centre – ESDAC)*

Європейський центр даних про ґрунти (ESDAC), організований Об'єднаним дослідницьким центром Європейської Комісії (JRC), є центром для ґрунтових даних та інформаційної підтримки досліджень ґрунтів для країн Європейського Союзу (ЄС) [17]. ESDAC створено для надання узгодженої інформації щодо ґрунтів державам-членам ЄС. Це онлайн веб-платформа, на якій розміщуються набори даних, карт і документів, пов'язаних із ґрунтами. Загальною метою ESDAC є надання інформації про ґрунти як основи політики ЄС та полегшення доступу до відповідних даних для наукових досліджень. ESDAC є невід'ємною частиною нещодавно створеної Ґрунтової обсерваторії Європейського Союзу (EUSO) та Об'єданого дослідницького центру Європейської комісії (JRC), яка має на меті відігравати ще більшу роль у підтримці політики ЄС і регіонів.

Ключовими моментами, що визначають успіх ESDAC, можна назвати такі: політика відкритого доступу до даних, необхідна документація, робоча служба підтримки та регулярні оновлення.

Користувачі можуть запитувати дані через простий веб-інтерфейс після реєстрації із зазначенням своїх метаданих і причини запиту, після чого вони одержують електронний лист із детальною інформацією про те, як отримати доступ до даних. Більшість даних ESDAC можна використовувати для будь-яких цілей з єдиним обмеженням — не поширювати дані третім особам і з вимогою належного цитування даних під час використання в публікаціях або продуктах.

Що стосується доступності, то деякі набори даних є доступними для безкоштовного завантаження, інші — після попередньої реєстрації через спеціальну форму на офіційному сайті ESDAC [17].

Точкові дані ґрунтових розрізів та місць відбирання проб у Центрі представлено на декількох ресурсах. Найбільшим є Європейська база даних ґрунтів (ESDB), із загальноєвропейським набором даних параметрів властивостей ґрунтів [18,19,20].

Ця база даних містить у собі чотири окремі набори даних:

- ґрунтово-географічна база даних Євразії масштабу 1:1 000 000 (SGDBE), разом з базою даних педотрансферних правил (PTRDB);

- аналітична база даних ґрунтових профілів Європи (SPADBE);

- база даних гідрологічних властивостей ґрунтів (HYPRES).

Далі розглянемо докладніше бази точкових даних ґрунтових параметрів. Тут виділяються дві окремі категорії ґрунтових даних — поверхневого шару ґрунту (LUCAS) та ґрунтових профілів (SPADE).

Що стосується даних ґрунтових профілів європейської ґрунтової інформаційної системи, то спочатку виникла ідея включення даних профілю в ґрунтову базу даних, яка полягала в тому, щоб розширити вже існуючі якісні дані бази SGDBE (наприклад, градації — високий, низький, середній) кількісними даними. Такі дані дозволять проводити будь-яке моделювання набагато ефективніше.

Оригінальна аналітична база даних ґрунтового профілю, включена до Європейської бази даних ґрунтів (ESDB) і відома як база даних SPADE-1, має обмеження при застосуванні моделей у загальноєвропейському контексті. Головною проблемою цієї бази даних була недостатня кількість даних відносно ґрунтових одиниць SGDBE. Проміжним варіантом для забезпечення повноти даних була SPADE-8, однак і там присутні недоліки, пов'язані із якістю самих даних. Тому наступну базу даних SPADE-2 було розроблено для отримання відповідної характеристики даних ґрунтових профілів для типологічних одиниць ґрунту (STU) у географічній базі даних ґрунту ESDB [21]. SPADE 2 має забезпечити надання достатньої кількості даних про параметри ґрунтів для підтримки вищого рівня моделювання ґрунтових властивостей.

Головним чином, ґрунтові дані країн Європи базувалися на національних архівах, тому для деяких параметрів, зокрема гранулометричного складу, використовувалися найрізноманітніші аналітичні методи, що відрізняються один від одного за результатами вимірювань. Через це, необроблені дані національних постачальників були гармонізовані та перевірені, щоб забезпечити єдиний файл даних, який можна легко використовувати разом із SGDBE [18,19].

Слід зазначити, що база даних SPADE-2 складається з трьох типів даних:

- дані про властивості ґрунту для кожного генетичного горизонту;
- дані, що стосуються кожного типу ґрунту;
- дані, що стосуються кожної номенклатурної одиниці ґрунтової карти.

Згодом, в існуючу аналітичну базу даних ґрунтового профілю SPADE додали розрахункові аналітичні дані для основних ґрунтових одиниць бази даних SGDBE.

Наступна версія європейської бази даних ґрунтових профілів називається SPADE14, яка ввібрала в себе найкращі характеристики попередників та побудована на основі концепції, використаної в SPADE 1 і 8. Таким чином, відбулося оновлення існуючих баз даних до повного охоплення ґрунтовими даними домінуючих STU в системі SGDBE [20].

Функціонування SPADE14 відбувається за трьома головними напрямками:

1. Внесення виправлень в оригінальну базу даних SPADE;
2. Оновлення оригінальної бази даних SPADE за допомогою гармонізованих даних, надісланих із держав-членів ЄС;
3. Заповнення відсутніх даних через алгоритми розрахунку (це приблизно у 32 % домінуючих STU) з використанням довідкових даних із різних джерел.

Атрибути бази даних SPADE14 включають такі ґрунтові характеристики: глибина залягання генетичного горизонту; назва горизонту; об'ємна щільність; співвідношення вуглецю і азоту (C:N); загальний вміст карбонатів; вміст гіпсу; ємність катіонного обміну; електропровідність; обмінні кальцій, калій, магній і натрій; частка (відсоток) обмінного натрію; текстура; вміст органічної речовини; pH; пористість; структура; водоутримувальна здатність.

Всього у SPADE14 містяться дані для 1078 ґрунтових профілів з 28 країн Європи (з них 571 ґрунтовий профіль від попередньої SPADE8, 349 ґрунтових профілів, залучених із сусідніх країн для ідентичних типів ґрунтів і додано 158 нових профілів).

Останньою на даний час є версія бази ґрунтових профілів SPADE18, що містить 1820 профілів (на 40 % більше ніж у SPADE14) [20].

3.4. Інші центри ґрунтової інформації

Існує ще багато інших баз даних та ґрунтових інформаційних систем у складі регіональних та національних центрів зі збирання та поширення ґрунтових даних.

Збиранням ґрунтових даних у Сполучених Штатах Америки займається агенція національного обстеження ґрунтів (NCSS). Головною базою даних ґрунтових обстежень США є національна ґрунтова інформаційна система (NASIS) [22], метою створення якої є перехід від формування статичних паперових звітів про обстеження ґрунтів до надання динамічного інформаційного ресурсу про ґрунти для широкого спектру потреб [23]. Структура NASIS складається з кількох взаємопов'язаних баз даних та ґрунтових інформаційних продуктів. Ця система даних спрямована на збирання, зберігання, обробку та розповсюдження інформації про ґрунти.

Для поширення інформації про ґрунти створена система Web Soil Survey (WSS), що надає ґрунтові дані через відповідний веб-сервіс. Електронний доступ до відповідної інформації про ґрунти забезпечено сільськогосподарським виробникам, агентствам, постачальникам технічних послуг та іншим організаціям для прийняття рішень щодо землекористування та менеджменту ґрунтових ресурсів.

Основними напрямками застосування системи WSS є доступ до повної звітності про дослідження ґрунтів і, зокрема до найновіших даних та надання клієнтам можливості завантажувати просторові, табличні та тематичні дані про ґрунти для їх використання в ГІС.

Подібними за своєю суттю до NASIS та WSS є ґрунтові інформаційні системи Канади — CanSIS (база даних NSDB) [24, 25] та Австралії — ASRIS [26, 27]. Їх спільні особливості — підтримка держави, використання на всіх рівнях державного управління, доступ до інформації через веб-портали.

Також, багато країн мають власні ґрунтові інформаційні системи, що відрізняються за метою створення, особливостями функціонування та кінцевими результатами роботи.

4. Участь України у міжнародних проєктах з наповнення ґрунтових баз даних

Україна є активним учасником поповнення баз даних різних ґрунтових інформаційних систем світу. Одним із найбільших постачальників даних є ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», де джерелом даних про ґрунти слугують архівні матеріали, накопичені від початку великомасштабного обстеження та база даних «Властивості ґрунтів України» [28, 29, 30].

На попередніх етапах роботи над створенням оновленої бази даних для майбутньої ґрунтової інформаційної системи Українського ґрунтового інформаційного центру було проведено інвентаризацію наявних ґрунтових даних. Також здійснено стандартизацію та гармонізацію параметрів властивостей ґрунтів відповідно до національних та міжнародних стандартів [31, 32].

Що стосується участі України у розглянутих системах ґрунтової інформації, то спостерігається такий розподіл точкових ґрунтових даних [15, 16, 33]:

1) ISRIC:

- WoSIS — всього 462 точки відбору від України, з них від ННЦ ІГА — 79
- ISRIC-WISE Harmonized Global Soil Profile Dataset — 81, UA-SOTER — 52.

2) ESDAC:

- EU-HYDI — 95 профілів (від ННЦ ІГА) [34].

Таким чином, найбільше представництво України та ННЦ ІГА зокрема, спостерігається у WoSIS і SOTER від ISRIC. Меншу кількість профілів у європейському інформаційному просторі можна пояснити тим, що ESDAC збирає дані з країн ЄС, а Україна брала участь тільки в окремих проєктах. Однак у майбутньому пріоритетною буде саме європейська ґрунтова інформаційна система, адже наша держава обрала для себе євроінтеграційний шлях розвитку.

5. Висновки

Короткий огляд відомостей про функціонування світових баз ґрунтових даних свідчить, що розробка національної ґрунтової інформаційної системи є пріоритетним напрямом цифровізації ґрунтознавства. Створення такої системи потребує врахування попередніх напрацювань міжнародних організацій задля інтеграції у світовий інфопростір. Інформаційна система повинна відповідати принципам відкритого доступу до даних, що є важливим для кооперації ґрунтознавців у вирішенні глобальних викликів, пов'язаних із забезпеченням продовольчої безпеки та збереження екологічних функцій ґрунтів.

Світовий досвід показує, що надходження даних відбувається за типовим сценарієм, коли спочатку в інформаційну систему потрапляють "сирі", часто архівні дані попередніх обстежень, що потребують приведення до певних стандартів. Далі настає етап стандартизації та гармонізації даних, необхідний для однозначної ідентифікації ґрунтових параметрів у системі. Досвід свідчить, що за потреби згодом може початися процес доповнення систем новою інформацією про ґрунти та коригування вже існуючої, заповнення прогалин щодо ґрунтових даних тощо. Всі ці кроки спрямовані на підтримку повноцінної ґрунтової інформаційної системи, яка в змозі забезпечити ефективне виконання покладених на неї функцій.

Для побудови власної бази даних ґрунтів та ефективно працюючої ґрунтової інформаційної системи необхідне поглиблене вивчення принципів побудови та структури існуючих систем ґрунтової інформації у світі, особливостей функціонування їх апаратної та програмної частини для розуміння того, яким чином повинна розвиватися національна ґрунтова інформаційна система.

Список використаних джерел

1. Schelling J. The role of soil information systems. *Soil Information systems*, Pudoc, Wageningen, 1975.
2. Ямелинець Т. *Інформаційне ґрунтознавство: монографія*. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. 352 с. URL: <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/05/YAmelynets-Infomatsiynne-gruntozn-2022-book1.pdf>
3. WoSIS Soil Profile Database (WoSIS). *The WoSIS register*. URL: <https://www.isric.org/explore/wosis> (дата звернення 28 Apr 2023)
4. Tempel P. *SOTER – Global and National Soils and Terrain Digital Databases*. Database Structure v3. Working paper and preprint 02/01. ISRIC – World Soil Information, Wageningen, 2002.
5. Van Engelen V.W.P., Batjes N.H., Dijkshoorn K., Huting J. Harmonized Global Soil Resources Database (Final Report). *FAO and ISRIC – World Soil Information*, Wageningen, 2005. URL: https://www.researchgate.net/publication/40118456_Harmonized_Global_Soil_Resources_Database_Final_Report
6. Batjes N.H. ISRIC-WISE Harmonized Global Soil Profile Dataset (Ver. 3.1). Report 2008/02. *ISRIC – World Soil Information*, Wageningen, 2008. URL: https://www.isric.org/sites/default/files/isric_report_2008_02.pdf
7. Batjes N.H. Harmonized soil profile data for applications at global and continental scales: updates to the WISE database. *Soil Use and Management*, 2009. 5:124–127. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00202.x>
8. Лактіонова Т.М., Бігун О.М., Накісько С.Г., Уваренко К.Ю. Конструктивні та функціональні особливості провідних світових баз ґрунтових даних. Аналітичний огляд. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. зб. Вип. 89. Харків: ННЦ ІГА. 2020. С. 4-17. <https://doi.org/10.31073/acss89-01>.
9. Ямелинець Т.С. Аналіз сучасних ґрунтових інформаційних систем і баз даних ґрунтів країн світу. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*, 2020. 25(2(37), С. 128–139. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2\(37\).216566](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2(37).216566)
10. Вовчак І.С. *Інформаційні системи та комп'ютерні технології в менеджменті*. Навч. посіб. Тернопіль: Карт-Бланш, 2001. 354 с.
11. *Основи інформаційних систем*: навчальний посібник. Вид. 2-ге, перероб. і доп. За ред. В.Ф. Ситника. Київ: КНЕУ, 2001.
12. Томашевський О.М., Цегелик Г.Г., Вітер М.Б., Дудук В.І. *Інформаційні технології та моделювання бізнес-процесів*. Навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2012. 296 с.
13. The Global Soil Information System (GloSIS) – concept and design./ B. Kempen, Y. Yigini, K. Viatkin [et al.]. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 21, EGU2019-9236. EGU General Assembly 2019 URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-9236.pdf>
14. The World Soil Information Service (ISRIC). *The ISRIC register*. 2023. URL: <https://www.isric.org>. Accessed 28 Apr 2023

15. Batjes N.H., Ribeiro E., van Oostrum A. Standardised soil profile data to support global mapping and modelling (WoSIS snapshot, 2019). *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* 2019. <https://doi.org/10.5194/essd-2019-164>.
16. Batjes N.H., Ribeiro E., van Oostrum A. Standardised soil profile data for the world (WoSIS Snapshot, September 2019). <https://doi.org/10.17027/isric-wdcsoils.20190901>
17. European Soil Data Centre (ESDAC) *The ESDAC register*. URL: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu>. Accessed 28 Apr 2023
18. Georeferenced Soil Database for Europe. Manual of procedures./ P. Finke, R. Hartwich, R. Dudal [et al.]. Version 1.1. European Soil Bureau, Scientific Committee, EUR 18092 EN, Luxembourg, 2001. URL: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/georeferenced-soil-database-europe-manual-procedures-version-11>
19. Montanarella L., Jones R. Latest developments of the European Soil Information System. EUROSOIL 2004, Symposium 15: «*Soil Information Systems*».
20. Development of a harmonised soil profile analytical database for Europe: a resource for supporting regional soil management./ J.A Kristensen, T. Balstrøm, R.J. Jones [et al.]. *Soil*. 2019. 5(2). P. 289-301.
21. SPADE-2: The Soil Profile Analytical Database for Europe (version 1.0)/ J.M. Hollis, R.J.A. Jones, C.J. Marshall [et al.]. EUR 22127 EN 2006. URL: https://www.researchgate.net/publication/228714146_SPADE-2_the_soil_profile_analytical_database_for_Europe_version_10
22. The National Soil Information System (NASIS). The NASIS register, 2023. URL: <https://www.nrcs.usda.gov/resources/education-and-teaching-materials/national-soil-information-system-nasis>. Accessed 25 Apr 2023
23. Daigle J.J., Hudnall W.H., Gabriel W.J. The National Soil Information System (NASIS): Designing soil interpretation classes for military land-use predictions. *Journal of Terramechanics*. 2005. 42(3-4). P. 305-320.
24. Canadian Soil Information Service (CanSIS) (2020) The CanSIS register. <http://sis.agr.gc.ca/cansis>. Accessed 25 Apr 2023
25. MacDonald K.B., Valentine K.W.G. CanSIS/NSDB A General Description. Centre for Land and Biological Resources Research. Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa. 1992. CLBRR Contribution Number
26. The Australian Soil Resource Information System (ASRIS) The ASRIS register. 2023. URL: <https://www.asris.csiro.au>. Accessed 25 Apr 2023
27. The Australian Soil Resource Information System (ASRIS) Technical specifications./ N.J. McKenzie, D.W. Jacquier, D.J. Maschmedt [et al.]. Version 1.6. National Committee on Soil and Terrain Information/Australian Collaborative Land Evaluation Program, Canberra, 2012.
28. База даних «Свойства почв Украины» (структура и порядок использования). / Т.Н. Лактионова, В.В. Медведев, К.В. Савченко [и др.]. Изд. 2-ое дополненное. Харьков: Цифрова друкарня №1, 2012. 150 с.
29. Ukrainian soil properties database and its application. / T.N. Laktionova, V.V. Medvedev, K.V. Savchenko [et al.]. *Agricultural Science and Practice*. 2015. 2(3). С. 3-8. <https://doi.org/10.15407/agrisp2.03.003>
30. Лактионова Т.М. Досвід створення і використання семи баз даних в лабораторії Геоекофізики ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Мiжвiд. тем. наук. зб. Вип. 87. Харків: ННЦ ІГА. 2018. С. 63-71. <https://doi.org/10.31073/acss87-10>
31. Лактионова Т.М., Соловей В.Б., Лебедь В.В. Систематизований перелік гармонізованих атрибутів бази даних «Ґрунти України». Інструкція для формування бази даних. Наукова редакція С.А. Балюка, Т.М. Лактионової та М.М. Мірошниченка. Харків: ФОП Бровін О.Б., 2020. 48 с.
32. Соловей В.Б., Лебедь В.В., Лактионова Т.М. Науково-методичні основи функціонування Українського ґрунтового інформаційного центру. *Bulletin of Agricultural Science*. 2022. Том 100, № 9. С. 26-33 <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202209-03>
33. European Hydropedological Data Inventory (EU-HYDI). M. Weynants, L. Montanarella, G. Toth [et al.] (2013) EUR 26053. Publications Office of the European Union. JRC81129, Luxembourg, 2013. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b4aa57bb-2e11-48cc-985c-84a384901027/language-en>
34. Soil data from Ukraine/ T. Laktionova, V. Medvedev, O. Bigun [et al.]. In: *European Hydropedological Data Inventory (EU-HYDI)*. European Commission, Joint Research Centre. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. (pp. 106-110). <https://doi.org/10.2788/5936>

UDC 631.47

Experience of the world's most famous soil information systems. Analytical review.

V. V. Lebed

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",

Kharkiv, Ukraine

E-mail: swdiscover@gmail.com

The review article is devoted to the analysis of the practical experience of famous world centers for the collection of soil information in databases and soil information systems. The article examines the global experience of information provision of soil research and implementation of information technologies for soil resource management. The importance of developing databases of soil parameters and properties using methods standardized and harmonized with international ones is indicated. The main concepts of soil information systems are outlined and their classification by activity levels is given. A set of criteria has been defined that outlines the purpose of creating a soil information system, its structure, the set of data that should be supplied to it, the degree of their availability to users and the degree of applicability in soil management. An overview of the largest soil information systems in the world was conducted, the principles of their construction, functioning and ways of interaction with each other were determined. The largest soil information systems are global GLOSIS (FAO GSP) and WoSIS (ISRIC), regional ESDAC (EU countries), national NASIS (United States of America), CanSIS (Canada) and ASRIS (Australia). They can be considered as the main models for building and configuring the functionality of the national soil information system, which will allow Ukraine to integrate into the international soil data exchange system. The share of our state's participation in international soil information systems and the role of the NSC "ISSAR named after O.N. Sokolovsky" in replenishing the world's soil databases have been determined. The largest number of soil profiles of Ukraine is presented in WoSIS, which receives information about soils from many national and regional databases.

Keywords: data; information; soil; soil profile; database; information technology; soil information system.

Citing: Lebed V. V. Experience of the world's most famous soil information systems. Analytical review. *AgroChemistry and Soil Science*. 94, 54-61. [doi:10.31073/acss94-06](https://doi.org/10.31073/acss94-06) [in Ukrainian].