



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК  
УКРАЇНИ



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

# АГРОХІМІЯ і ҐРУНТОЗНАВСТВО

---

МІЖВІДОМЧИЙ  
ТЕМАТИЧНИЙ  
НАУКОВИЙ  
ЗБІРНИК

---

88

**Агрохімія і ґрунтознавство.** Міжвідомчий тематичний науковий збірник.  
Випуск 88. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2019. 137 с.

**AGROCHEMISTRY AND SOIL SCIENCE.** Collected papers.  
No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, 2019. 137 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 від 29.12.2014 № 1528 збірник внесено до Переліку наукових фахових видань України в галузях сільськогосподарські та біологічні науки за спеціальностями:

03.00.18 – ґрунтознавство (біологічні науки),

06.01.03 – агроґрунтознавство і агрофізика (сільськогосподарські науки),

06.01.04 – агрохімія (сільськогосподарські науки).

Мови видання: українська, російська, англійська

#### **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.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. Іваніна д.с.-г.н.**; Інститут енергетичних культур і цукрових буряків НААН  
**Т.М. Лактіонова к.с.-г.н.** (відп. секретар); ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»  
**М.В. Лісовий д.с.-г.н.**; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»  
**В.В. Медведєв д.б.н.**; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»  
**М.М. Мірошниченко д.б.н.** (заст. відп. редактора); 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»  
**О.І. Старченко к.б.н.**; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»  
**Т. Лях д.с.-г.н.**; Ін-т педології, агрохімії та захисту ґрунтів "Н. Дімо"(Молдова)  
**Р.С. Трускавецький д.с.-г.н.**; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»  
**А.І. Фатєєв 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.

**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](mailto:agrochemsoilsci.org@gmail.com)  
[www.agrochemsoilsci.org](http://www.agrochemsoilsci.org)

**Збірник представлено**

- у базі даних CrossRef

- на порталі Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського,

- у загальнодержавній реферативній базі даних (РБД) «Україніка наукова»

- у виданні УРЖ «Джерело» Інституту проблем реєстрації інформації НАН України (ІПРІ)

**Збірник індексується**

Science Index (Російський індекс наукового цитування)

**Рекомендовано до видання Вченою радою ННЦ ІГА, протокол № 10 від 19.08.2019 р.**

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

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

# ЗМІСТ

## ГРУНТОЗНАВСТВО

<i>Viatkin K.V., Zalavskiy Y.V., Lebed V.V., Sherstyuk O.I., Bihun O.M., Plisko I.V., Nakisko S.G.</i> Digital mapping of soil organic carbon stocks in Ukraine.....	5
<i>Белоліпський В.О., Другова О.П., Другов О.Н.</i> Аналіз гідрологічної функції ґрунтів степових агроландшафтів: математичні моделі міграційних процесів.....	12
<i>Лебедь В.В., Соловей В.Б.</i> Кількісна діагностика ґрунтів різного ступеню гідроморфності на однолесових терасах річок Лівобережного Лісостепу України.....	22
<i>Чорний С.Г., Вільна (Поляшенко) Н.В.</i> Модифікація «Індексу Продуктивності Пірса» та його використання для оцінки якості чорноземних ґрунтів Правобережного Степу України.....	31
<i>Дмитрук Ю.М., Демид І.Е.</i> Оцінка профільного розподілу вуглецю лабільної та водорозчинної форм органічної речовини ґрунтів.....	40
<i>Паньків З.П., Малик С.З.</i> Процес лесиважу у профільно-диференційованих ґрунтах Пригорганського Передкарпаття.....	48
<i>Вожегов С.Г., Дудченко К.В.</i> Сольовий баланс ґрунтів рисових сівозмін .....	54
<i>Цапко Ю.Л., Зубковська В.В., Холодна А.С., Калініченко В.М., Водяк Я.М.</i> Особливості іммобілізації-мобілізації деяких макроелементів ґрунту на осушуваних заплавах земель під насадженнями енергетичних культур.....	61
<i>Крилич С.І.</i> Ріст та продуктивність кореневої системи сільськогосподарських культур залежно від агрофізичних характеристик ґрунту.....	68

## АГРОХІМІЯ

<i>Скрильник Є.В., Кутова А.М., Гетманенко В.А., Артемьєва К.С., Ніконенко В.М.</i> Вплив систем удобрення на органічну речовину та агрохімічні показники чорнозему типового.....	74
<i>Revte-Uvarova A.V.</i> Evaluation of the effect of symbiotic nitrogen fixation on the yield of soybean and nitrogen state of soil..	79
<i>Зінчук М.І., Бойко П.К., Дяків С.В., Аджієва Л.Г., Павлюк В.С., Комович Л.В., Коробейко Л.С.</i> Вплив прямих сонячних променів за різної експозиції на чисельність видового складу бактеріального препарату «Azoter SC», внесеного у ґрунт.....	89
<i>Pogromska Ya. A.</i> Effect of tillage on productivity of crop rotation and nitrate contain in topsoil under unstable of atmospheric precipitation.....	95
<i>Хромяк В.М., Наливайко В.В., Будков С.П.</i> Баланс гумусу й поживних речовин у ґрунтах Луганської області та шляхи подолання дефіциту...	101

## ІСТОРІЯ НАУКИ

<i>Дишлюк В.Є.</i> Еволюція чорнозему південного за тривалого зрошення біологічно очищеними міськими стічними водами в умовах степового Криму.....	106
<i>Тютюнник Н.В., Коляда В.П.</i> 50-річна історія досліджень ґрунтозахисних технологій на Донецькій протиерозійній дослідній станції.....	120

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ

<i>Ніконенко В.М.</i> Вплив тривалого внесення мінеральних добрив на вміст обмінних катіонів у ґрунті.....	124
<i>Рокитянський А.Б.</i> Дія органо-мінерального мікродобрива як засобу послаблення негативного впливу гербіцидів на ґрунтові мікроорганізми.....	128

## CONTENT

### SOIL SCIENCE

<i>Viatkin K.V., Zalavskiy Y.V., Lebed V.V., Sherstyuk O.I., Bihun O.M., Plisko I.V., Nakisko S.G.</i> Digital mapping of soil organic carbon stocks in Ukraine.....	5
<i>Belolipskiy V.O., Druhova O.P., Druhov O.N.</i> Analysis of the soil hydrological function of steppe agrolandscapes: a mathematical model of migration processes.....	12
<i>Lebed V.V., Solovey V.B.</i> Quantitative diagnostics of soils varying hydromorphy degrees of one-loess terraces of rivers in the Forest-Steppe.....	22
<i>Chornyi S.G., Vilna (Poliashenko) N.V.</i> Updating of "The Index Productivity of Peirce» and its application for an estimation of chernozem soils quality in the Right-bank Steppe of Ukraine.....	31
<i>Dmytruk Y.M., Demyd I.E.</i> Assessment of profile distribution of carbon of labile and water-soluble form of soil organic matter.....	40
<i>Pankiv Z.P., Malyk S.Z.</i> The process of lessivage in profile-differentiated soils of the Pregorganian Precarpathian region.....	48
<i>Vojegov S.G., Dudchenko K.V.</i> Salt regime of soils in rice crop rotations.....	54
<i>Tsapko Yu.L., Zubkovska V.V., Kholodna A.S., Kalinichenko V.M., Vodyak Ya.M.</i> Features of immobilization-mobilization of some macroelements of soil on drained floodplain lands under energy crops.....	61
<i>Krylach S.I.</i> Growth and productivity of the agricultural crops root system depending on soil agrophysical characteristics.....	68

### AGROCHEMISTRY

<i>Skrylnyk Ie.V., Kutova A.M., Hetmanenko V.A., Artemieva K.S., Nikonenko V.M.</i> Influence of fertilizers application systems on soil organic matter and agrochemical characteristics of the chernozem typical.....	74
<i>Revtie-Uvarova A.V.</i> Evaluation of the effect of symbiotic nitrogen fixation on the yield of soybean and nitrogen state of soil.....	79
<i>Zinchuk M.I., Boyko P.K., Diakiv S.V., Adzhyeva L.G., Pavliuk V.S., Komovych L.V., Korobeyko L.S.</i> Influence of different conditions of solar radiation on the quantity of species composition of bio-fertilizer "Azoter SC", applied into the soil.....	89
<i>Pogromska Ya. A.</i> Effect of tillage on productivity of crop rotation and nitrate contain in topsoil under unstable of atmospheric precipitation.....	95
<i>Khromiak V.M., Nalyvaiko V.V., Budkov S.P., Vasylenko Yu.S., Vasylenko Ye.V.</i> The balance of humus and nutrients in the soils of the Lugansk region and ways to overcome the deficit...101	101

### HISTORY OF SCIENCE

<i>Dyshliuk V.Ye.</i> Evolution of the chernozem southern during long-term irrigation with biologically treated urban wastewater under conditions of the Steppe Crimea.....	106
<i>Tiutiunnyk N.V., Koliada V.P.</i> 50-years history of soil technologies research to combat erosion on Donetsk erosion-preventive research station.....	120

### RESEARCH OF YOUNG SCIENTISTS

<i>Nikonenko V.M.</i> The influence of long-term application of mineral fertilizers on the content of exchange cations in the soil.....	124
<i>Rokityanskyi A.B.</i> The action of organo-mineral microfertilizer as a means of mitigating the negative effects of herbicides on soil microorganisms.....	128

# ҐРУНТОЗНАВСТВО

## SOIL SCIENCE

UDC 004.9:631.4(477)

### Digital mapping of soil organic carbon stocks in Ukraine

K.V. Viatkin<sup>1</sup>, Y.V. Zalavskiy<sup>2</sup>, V.V. Lebed<sup>2\*</sup>, O.I. Sherstyuk<sup>2</sup>,  
O.M. Bihun<sup>2</sup>, I.V. Plisko<sup>2</sup>, S.G. Nakisko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Global Soil Partnership Secretariat, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy

<sup>2</sup>NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Received 02.07.2019 Received in revised form 22.07.2019 Accepted 19.08.2019 Available online 01.09.2019</p> <hr/> <p><b>Keywords:</b></p> <p><i>digital soil mapping; Global Soil Organic Carbon Map; GSOCmap; organic carbon; soil cover of Ukraine.</i></p>	<p><b>Aim.</b> Create a digital map of organic carbon stocks in the soils of Ukraine using digital soil mapping technologies. <b>Methods.</b> To create a digital map, spatial prediction methods were applied using R programming language. <b>Results.</b> Based on information on the organic carbon content in soil of Ukraine, legacy soil maps, remote sensing materials and additional topographic and climatic characteristics using the digital mapping technology, a national digital map of soil organic carbon stocks in a 0-30 cm layer with a resolution of 1x1 km was created. Modelling of the spatial distribution of organic carbon stocks in mineral soils was performed using the Random Forest algorithm, in peatlands – using the kriging method. The most significant predictors for spatial distribution of soil organic carbon stocks in the country's soil cover were soil type, climate variables, spectral reflectance of bare soil in the near infrared range of the spectrum. <b>Conclusions.</b> The digital map of organic carbon stocks in Ukraine's soils was developed in accordance with the specifications of the Global Soil Partnership of the United Nation Food and Agriculture Organization (FAO) and integrated into the FAO Global Soil Organic Carbon Map (GSOCmap). The created national digital map of carbon stocks in the soils of Ukraine can be used as a basis for further monitoring of organic carbon stocks, however, this task can be achieved only if a unified national soil information system is created, in which information on field surveys is accumulated and updated.</p>

\*Corresponding author: [swdiscover@gmail.com](mailto:swdiscover@gmail.com)

*Citing:* Viatkin K.V., Zalavskiy Y.V., Lebed V.V., Sherstyuk O.I., Bihun O.M., Plisko I.V., Nakisko S.G. 2019. Digital mapping of soil organic carbon stocks in Ukraine. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 5-11. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-01>.

## 1. Introduction

Soil organic carbon (SOC) is one of the fundamental components of the soil that is crucial for food production as well as for soil health and its ability to provide ecosystem services [1]. The importance of soil carbon for food security and resilience against climate change has been widely recognized on the international level, thus SOC became of the sub-indicators for Sustainable Development Goals (SDG) target 15.3.1 (Proportion of land that is degraded over total land area) contained in the United Nations Resolution A/RES/70/1 of 25 September 2015. According to the Status of the World's Soil Resources (SWSR) report [2], around 33 % of the world soils are in currently in degraded state, which means significant loss of soil organic carbon around the world. This creates the necessity of estimation and monitoring of SOC stocks and their spatial distribution on the global, regional and nation levels. Several global maps of SOC stocks have been created to date which show the overall spatial distribution of carbon on Earth [3], however, they lack the precision to be applicable on the national level. In order to improve the knowledge of SOC in the world, FAO's Global Soil Partnership (GSP) launched an initiative to create a global soil organic map based on the distributed approach where each country would create its own map according to the GSP methodology and using the best available local data and knowledge. As a member of the GSP, and taking into account the importance of Ukrainian chernozem soils for food security, Ukraine participated in this global process by creating the national map of soil organic carbon stocks. The creation of the national soil organic carbon map of Ukraine was conducted according to the agreement between FAO/GSP and National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky» (NSC ISSAR). The methodology was applied according to the GSP Guidelines for sharing national data/information to compile a Global Soil Organic Carbon map [4] and the Cookbook [5].

## 2. Materials and methods

### 2.1. Collection of SOC Database

**SOC content.** Since the beginning of the Project, a total number of 4134 points of SOC data have been collected. The major method for determining of soil organic carbon content in Ukraine is method of wet oxidation by Tyurin. Soil organic matter (SOM) content is derived from applying a conversion factor - the classic conversion factor is 1.724 for mineral soils.

**Bulk density.** In the collected database, 3775 samples (91 % of all data) had the information about bulk density of soil based on field measurements according to ISO 11272:1998. For the samples in which bulk density was not determined in the field, the following methods were used to derive density parameters:

- 196 samples – calculated from humus (SOM) content and physical clay (granulometric fractions <0,01 mm) content using the pedotransfer function, developed by the scientists of NSC ISSAR for Ukrainian soils [6] with the formula:

$$BD = 1,6929 - 0,0103 * FG - 0,0645 * Humus + 0,0001 * FG^2 - 0,0001 * FG * Humus + 0,0006 * Humus^2, \quad (1)$$

where  $BD$  - bulk density,  $g/cm^3$ ;  $Humus$  - humus (SOM) content, %;  $FG$  - physical clay (granulometric fractions < 0.01 mm) content, %;

- 24 samples – derived from literature data [7];
- 139 samples – calculated with Truskavetsky method (for peat soils) [8].

**Coarse fragments.** Stoniness is not a common characteristic for soil in most of regions of Ukraine, therefore, estimation of coarse fragments content is not a part of a standard soil survey. Out of 4134 samples in the database, only 11 had indication of stoniness estimated visually. Because of the lack of data on this parameter, correction coefficient for stoniness was not included in the calculation of SOC stocks.

**SOC stocks.** For the calculation of SOC stocks the basic formula was used [4]:

$$SOC = d * BD * (C_{tot} - C_{min}) * CF_{st} \quad (2)$$

where  $SOC$  – soil organic carbon ( $kg/m^2$ );  $C_{tot}$  and  $C_{min}$  – total and mineral (or inorganic) carbon ( $g \cdot g^{-1}$ ), to be considered for calcareous soils, and if dry combustion is used with typically high temperatures (otherwise:  $C_{tot}$  equals  $C_{min}$ );  $d$  – depth of horizon/depth class (m);  $BD$  – bulk density ( $kg/m^3$ );  $CF_{st}$  – correction factor for stoniness and gravel content:

$$CF_{st} = 1 - \frac{gravel(\%) + stones(\%)}{100} \quad (3)$$

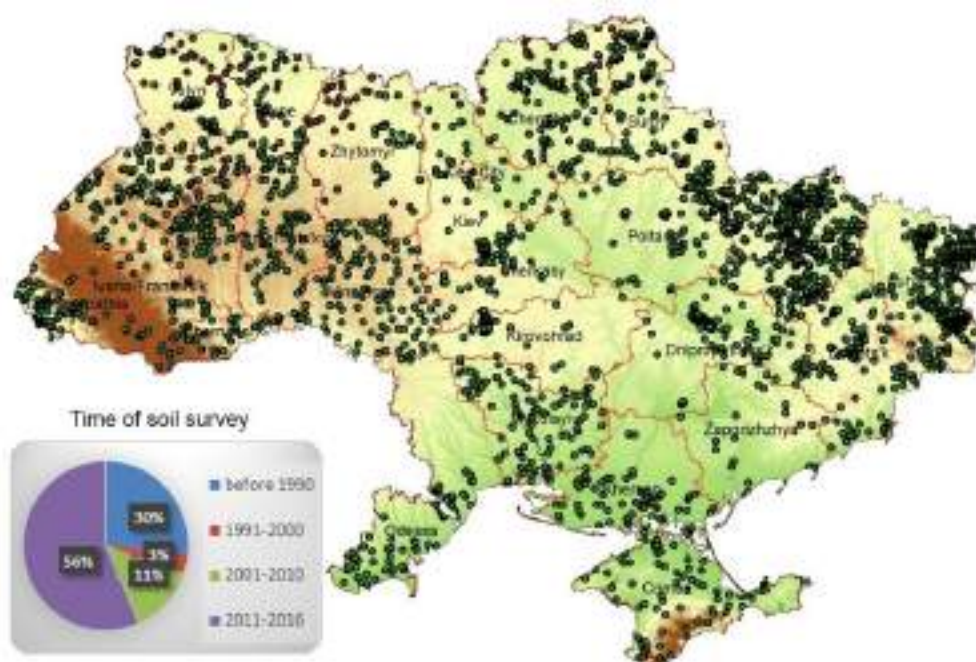
However, since Tyurin method of wet oxidation determines only organic carbon, and there is no sufficient stoniness data, the formula was reduced to the following:

$$SOC_{stock} = SOC * d * BD \quad (4)$$

**Soil types.** The collected data covers most of the major Ukrainian soil types according to the national classification. The majority of samples represent Chernozems and Podzolized soils, which corresponds to the structure of Ukrainian soil cover. The Cinnamonic soils that are not represented in the database are a rare soil type for Ukraine, which form only under specific conditions on the south coast of Crimea. Other underrepresented soil types correspond to specific forms of gleyed and salinity.

The majority of samples were taken within last two decades with 56 % from 2011 until 2016; 30 % of samples were taken before 1990 starting from 1960s. Because of the gaps in coverage, a lot of archive data were used, resulting in significant percentage of outdated points. The spatial distribution of SOC data points covers all regions and climate zones of Ukraine (Fig. 1).

However, a significant amount of points come from archive data with time of sampling prior to 1991. The use of archive data allowed to cover most of the "white spots", however it means that the resulting model is based on the mixed data originating from different decades, thus it does not fully represent the current status of SOC stocks in Ukrainian soils. The fact that almost all peat data is outdated means that it does not have accurate georeferencing which significantly reduces the accuracy of the model. Therefore, more up-to-date soil surveys need to be conducted all over the country, especially on the peat soils, to improve the accuracy of assessment of current status of SOC stocks in Ukraine.



**Fig. 1.** SOC point data spatial distribution

## 2.2. Digital Soil Mapping Methods

In accordance with digital soil mapping methodology [9] the rasters of environmental covariates have been created. The main parameters to be included based on S.C.O.R.P.A.N model are: soil, climate, organisms and land cover, relief, parent material, age, spatial or geographic position.

To include these parameters in the model a number of rasters were created by means of digitization of a soil map, processing of satellite imagery and relief data.

To derive soil properties a soil map of Ukraine at scale 1:750 000 was digitized. The original map was produced by NSC ISSAR under supervision of prof. M.K. Krupsky in 1975 based on soil survey of 1961-1963. The map consists of 7026 polygons each of them containing the attributes such as soil type and subtype, soil texture class, parent material, type of gley, complexes with salinized soils, type of salinization, stoniness. According to soil texture class, average physical clay content (*FG*) was assigned to each polygon.

As a source of elevation data, tiles of USGS product GMTED2010 were downloaded at 7.5 arcsec resolution. From this DEM the following relief parameters were derived using SAGA GIS 3.0 [10]: slope, aspect, longitudinal curvature, cross-sectional curvature, topographic wetness index, relative slope position, closed depressions, topographic position index.

The European Space Agency's CCI land cover product at 300 m resolution [11] was chosen as a baseline land cover layer. Land cover classes were aggregated into 8 categories: arable land, grassland and shrubs, broadleaf forest, needle leaf (coniferous) forest, mixed forest, artificial (urban) areas, bare land and water bodies. The water bodies and artificial areas were used to mask out corresponding pixels from all raster data.

### *Satellite imagery.*

MODIS imagery was chosen as a main source of satellite data. 2 MODIS products were used for NIR reflectance mosaic raster, NDVI and EVI rasters and for Primary Productivity raster.

Previous researches showed that NIR reflectance of bare soil has strong correlation with organic carbon content [12]. To acquire a continuous layer of bare soil reflectance it was necessary to make a mosaic of multi-temporal images. April was chosen as the best month for bare soil observation. Typical crop rotation in Ukraine is a 5-year cycle, so images from last 5 years 2012-2016 were taken for mosaicing. Considering MOD13Q1 product is a 16-days composite, there were 2 April images for each year, 10 images for each tile, 40 images for the whole Ukraine.

The procedure of creating bare soil NIR raster was performed in several steps, including the following: extract NIR, NDVI and Pixel Reliability rasters, create and apply NDVI values mask, normalize NIR raster, calculate mean values of all NIR rasters, apply water and urban area masks from land cover data and fill-in the gaps in coverage using natural neighbor

interpolation. This procedure was performed using R programming language.

For modeling vegetation effect on SOC, mean values of vegetation indices NDVI and EVI from all 16-day composites March-October 2012-2016 (300 images) were calculated taking into account pixel reliability of each image. Also, a layer of mean Primary Productivity throughout 15 years (2000-2014) was derived from MOD17A3H product.

As for the climate data, it has been shown by Ukrainian scientists [13] the key factor determining soil characteristics in Ukraine is the Hydro-Thermal Coefficient (HTC) which is the ratio of precipitation (P) in mm during the period with average air temperatures above 10 °C to the sum of temperatures ( $\Sigma t$ ) over the same time reduced 10 times:

$$HTC = \frac{P * 10}{\Sigma t}, \quad (5)$$

To assess this parameter the data from 137 meteorological stations throughout Ukraine was collected and average yearly values from 100 years of observations (1890-1990) were calculated for precipitation during the year, precipitation during warm period (May-September), sum of temperatures during warm period (May-September). From these values, HTC was calculated for each meteorological station. Then raster layers for precipitation, temperatures and HTC were created by interpolating point values with inverse distance weighting method.

Additionally, World Climate Data grids [14] at resolution of 1 km with mean monthly temperature and precipitation for the years 1960-1990 were downloaded. The rasters like sum of temperatures and mean precipitation of warm/cold period and hydro-thermal coefficient (HTC) were created from these layers.

As a next step, it appears necessary to combine meteorological stations derived data with World Climate derived data for better quality of climate layers.

ISRIC World Soil Information (Wageningen, the Netherlands) provided 3 stacks of rasters representing different environmental variables for all countries participating in the GSP's GSOCmap project. Out of this data, 48 rasters were selected and added to the data prepared by NSC ISSAR to be used in modeling.

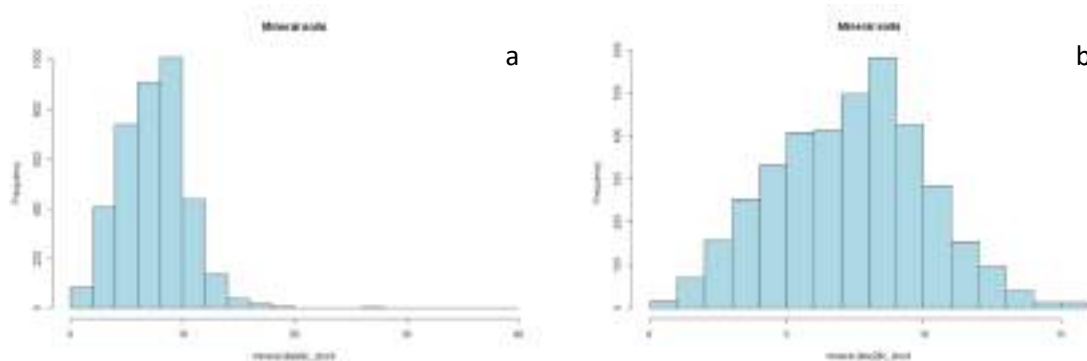
Since relief and satellite data has resolution of 250 m or better it was decided to use 250 m template for all layers.

#### *Spatial modelling.*

The work was done with the R script using R studio software [15]. First, point data were loaded into the program and tested for duplicates and missing values. As a result, 203 points out of 4134 were removed as duplicates.

Analysis of data distribution showed that organic carbon stock values for mineral soils and peat soils were incomparable. High concentrations of SOC in the peat soils was in bright contrast with low concentrations of the nearby mineral soil because of different process of carbon accumulation and different factors influencing it. Furthermore, the available SOC stocks data for peat soils had the values for the full depth of peat, while for the mineral soils the standard depth was 30 cm of topsoil. As a result, it was decided to split the data in 2 groups: mineral soils and peat soils, and make separate models for each. The splitting was done based on the soil type, indicated in the database. After splitting, 3792 points were classified as mineral soils, and 139 points - as peat soils. Thereafter, the mineral soil data and peat soil data were analyzed separately.

Analysis of the histogram of SOC stocks in mineral soils allowed to identify outliers with extremely high values which were subsequently removed (Fig. 2.)



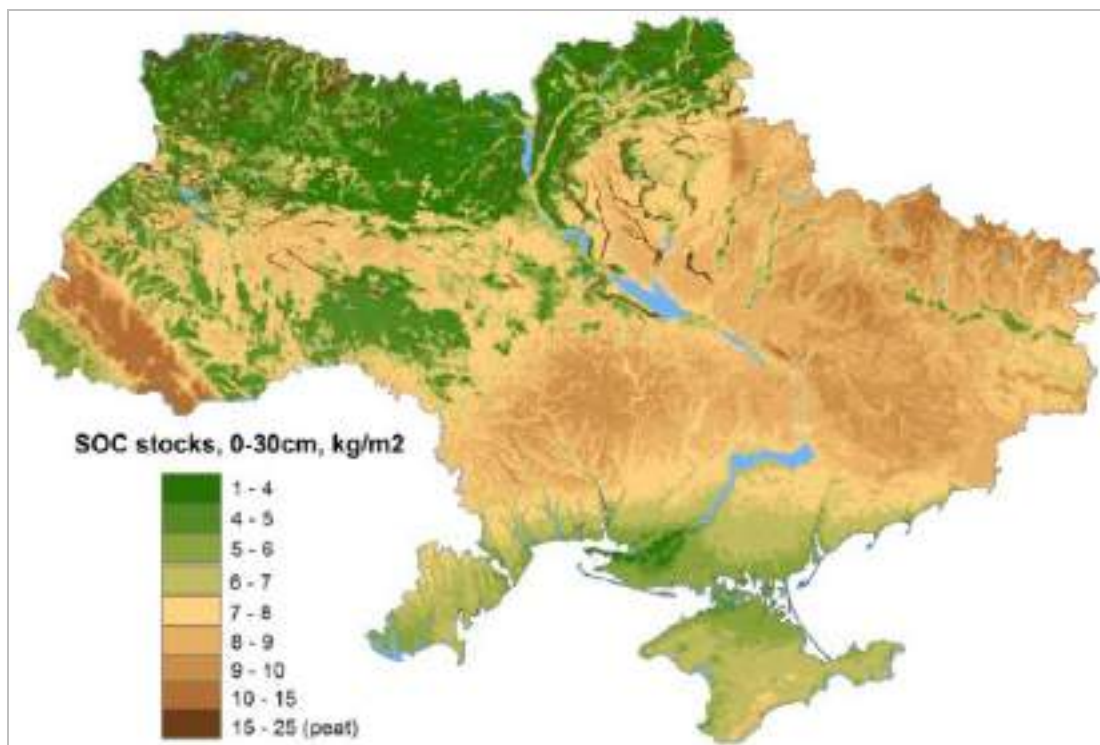
**Fig.2.** Histograms of distribution of SOC stocks in mineral soils: a) before removing outliers; b) after removing outliers

Then the auxiliary rasters were loaded into the program and their values were extracted to the points with SOC data, thus creating a regression matrix. In the situation when soil class extracted from the map did not coincide with the soil class indicated in the point database, the preference was given to point data observations due to possible inaccuracy and generalized nature of the soil map. The categorical variables in the matrix: soil class, parent material and land cover class were transformed from numeric to factor data type.

Random Forest [16] algorithm was applied to model the spatial distribution of SOC stocks in mineral soils. For peat data regression models did not show any ability to describe the variation using the auxiliary parameters, resulting in  $R^2$  around 0.1. Yet, the SOC stock values showed some spatial correlation, therefore it was decided to use ordinary kriging to model the SOC spatial distribution for peat soils. To generate the final layer, SOC stocks predictions for mineral soils and peat soils were combined to produce the final map. To comply with the GSOCmap specifications, the map was resampled from 250m to 1km resolution.

### 3. Results and Discussion

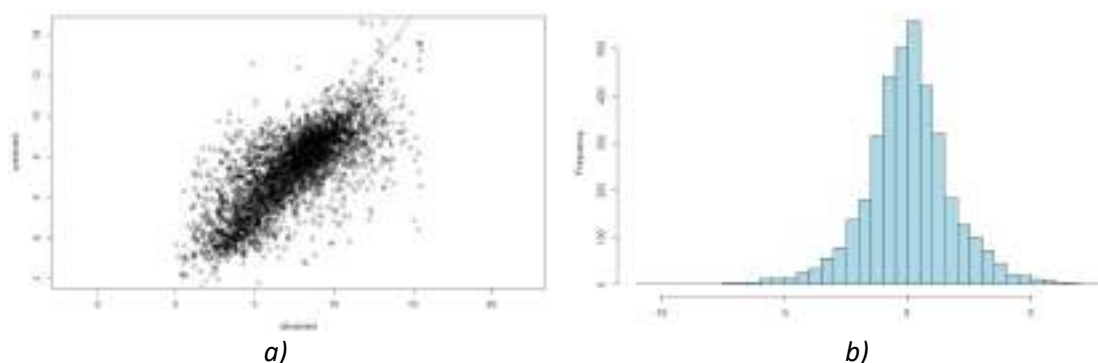
The final map (Fig. 3) shows the predicted values of SOC stocks in Ukrainian soils at 1 km resolution. The rich in carbon Chernozem zone is clearly distinguishable on the map, the lowest values correspond to sandy podzolic soils of Northern Ukraine as well as the arid area in the South. The effect of relief is also clearly visible. Overall, the model's output is consistent with the expectations of soil organic carbon distribution. However, the Carpathian Mountains show rather high values of SOC stock, which could be due to the features of soil genesis in these conditions and indeed high humus content (up to 15 % in the upper horizon) and, consequently, organic carbon.



**Fig. 3.** SOC stocks map of Ukraine

The uncertainty of the model was assessed using such parameters as determination coefficient ( $R^2$ ) and root mean squared error (RMSE), which were obtained through cross-validation. The result showed reasonably good model fit with  $R^2=0.56$  and  $RMSE=1.82$  for mineral soils (Fig. 4, a). Analysis of residuals showed their normal distribution which proves that the model is not biased (Fig. 5, b).

To assess the importance of the predictors in the model, the Random Forest's IncMSE and IncNodePurity parameters were used. IncMSE is the increase in mean squared errors of predictions as a result of a certain variable being permuted (randomly shuffled). IncNodePurity measures how many the splits of Random Forest decision trees with a certain parameter reduce node impurity (difference of mean squared errors before and after split).



**Fig. 4.** a) Random Forest model goodness of fit; b) distribution of residuals

Based on IncMSE, the most important parameters in the model were the following:

- soil type 4 (Soddy-podzolic soils);
- soil type 5 (Gray forest soils);
- temperature seasonality
- near-infrared reflectance of the bare soil
- precipitation of the cold period (December-February)

Based on IncNodePurity, the most important predictors were:

- temperature seasonality;
- near-infrared reflectance of bare soil;
- soil type 4 (Soddy-podzolic soils);
- hydro-thermal coefficient;
- soil type 1 (Chernozem).

Summing up, we can say that soil type, climate and infrared reflectance of soil were the most important predictors in the model.

After the completion of the National Soil Organic Carbon map of Ukraine it was integrated into the Global Soil Organic Carbon map by the Global Soil Partnership Secretariat along with the contributions from other countries [17].

#### 4. Conclusions

The National Soil Organic Carbon map of Ukraine is Ukrainian contribution to the Global Soil Organic Carbon map (GSOC map). It is the first map of Ukrainian soil properties that was created using state-of-the-art digital soil mapping techniques.

The map of SOC stocks in Ukraine is representative for the SOC spatial distribution and is the most accurate assessment of SOC stocks available to date. However, it is based on the dataset, 30% of which comes from before the year 1991. This means that to establish a baseline for SOC monitoring in Ukraine, further research and additional data is required. The model for SOC stocks in peat soils has a high uncertainty due to insufficient amount and quality of data. Addition study of Ukrainian peat soils is required to have an accurate estimation of their present status.

The map of SOC stocks in Ukraine should be constantly updated and improved upon acquiring new data. The most effective way of organizing this process would be through establishing a digital soil information system in Ukraine, which would allow processing the incoming data and transforming it for digital soil mapping procedures.

#### 5. Acknowledgements

We acknowledge financial and methodological support from the Global Soil Partnership. We acknowledge ISRIC for implementing the training on digital soil mapping and preparing the covariate layers for spatial modelling. We acknowledge authors of Ukrainian scientific and educational institutions which contributed their data for the project, namely: National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky» and its Polisska Experimental Station; National Scientific Center "Institute of Agriculture of NAAS"; Cherkasy State Agricultural Experimental Station of NSC "Institute of Agriculture of NAAS"; Rice Research Institute; Institute of Agricultural Microbiology and Agroindustrial Production NAAS; Institute of Agriculture of Carpathian Region NAAS; Volyn State Agricultural Experimental Station of the Institute of Agriculture of Western Polissya; Kirovograd State Agricultural Experimental Station; Luhansk Institute of Agroindustrial Production NAAS;

Ukrainian Research Institute of Forestry and Agricultural Forest Melioration named after G.M. Vysotsky; Ivan Franko National University of Lviv; Odessa I.I. Mechnikov National University; Zhytomyr National Agroecological University; Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchaev; Lviv National Agrarian University.

## References

1. Lal R. 2016. Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*. 5(4):212–222.
2. *Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report*. Rome, FAO and ITPS. 2015; 650 p.
3. Hiederer R., Köchy M. 2011. Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database. Luxembourg, Publications Office of the European Union. 79 p.
4. *GSP Guidelines for sharing national data/information to compile a Global Soil Organic Carbon (GSOC) map*. Rome, FAO. 2016. 25 p.
5. *Soil Organic Carbon Mapping Cookbook*. 2nd edition. Ed Yigini Y., Olmedo G.F., Reiter S., Baritz R., Viatkin K., Vargas R. Rome, FAO. 2018. 220 p.
6. Medvedev V.V., Plysko I.V., Bihun O.M. 2015. Experience of pedotransfer modelling in the soil physics researches. *Bulletin of Agricultural Science*. 1:17–24. (Ukr.).
7. Medvedev V.V., Laktionova T.M., Plysko I.V., Bihun O.M., Sheiko S.M., Nakisko S.G. 2012. Agronomy-oriented arable lands' zoning-division per soil properties (substantiation, methods and examples). Kharkiv: City printing house. 100 p. (Ukr.).
8. Truskavetsky R.S. 2010. Peat soils and peat lands of Ukraine. Kharkiv: Miskdruk. 277 p. (Ukr.).
9. McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*. 117(1-2):3–52.
10. Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., Fischer E., Gerlitz L., Wehberg J., Wichmann V., Boehner J. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*. 8(7):1991–2007.
11. Guisan A., Weiss S.B., Weiss A.D. 1999. GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology*. 143(1):107–122.
12. Truskavetsky S.R. 2003. Modern approaches to mapping of soil cover of Ukrainian Polissya. *Bulletin of Kharkiv national agrarian university named after V.V. Dokuchayev*. 1:120–124. (Ukr.).
13. Polupan M.I., Solovey V.B., Velichko V.A. Classification of Ukrainian soils. Kyiv: Agrarian Science. 2005. 298 p. (Ukr.).
14. Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25(15):1965–1978.
15. Malone B.P., Minasny B., McBratney A.B. 2017. Using R for Digital Soil Mapping. Switzerland, Springer. 262 p.
16. Breiman L. Bagging predictors. 1996. *Machine Learning*: 24(2):123–140.
17. *Global Soil Organic Carbon Map (GSOCmap)*. Technical Report. Rome, FAO and ITPS. 2018. 162 p.

УДК 004.9:631.4(477)

## Цифрове картографування запасів органічного вуглецю у ґрунтах України

К.В. Вяткін<sup>1</sup>, Ю.В. Залавський<sup>2</sup>, В.В. Лебедь<sup>2\*</sup>, О.І. Шерстюк<sup>2</sup>,  
О.М. Бігун<sup>2</sup>, І.В. Пліско<sup>2</sup>, С.Г. Накісько<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Секретаріат Глобального ґрунтового партнерства, Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, Рим, Італія

<sup>2</sup>ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

\*E-mail: swdiscover@gmail.com

Метою роботи було створення цифрової карти запасів органічного вуглецю в ґрунтах України із застосуванням технологій цифрового картографування ґрунтів. Для створення цифрової карти були застосовані методи просторового прогнозування із використанням мови програмування R. Результати. На основі інформації про вміст у ґрунтах України органічного вуглецю, архівних ґрунтових карт, матеріалів дистанційного зондування та додаткових топографічних і кліматичних характеристик із використанням технологій цифрового картографування була створена національна цифрова карта запасів ґрунтового органічного вуглецю у шарі 0-30 см із роздільною здатністю 1x1 км. Моделювання просторового розподілу запасів органічного вуглецю в мінеральних ґрунтах було виконано з використанням алгоритму Random Forest, торфовищах – методом крігінга. Найбільш вагомими предикторами для прогнозування просторового розподілу запасів органічного вуглецю у ґрунтового покриві країни є тип ґрунту, кліматичні зміни, спектральний коефіцієнт відбиття відкритого ґрунту у ближньому інфрачервоному діапазоні спектра. Висновки. Цифрова карта запасів органічного вуглецю в ґрунтах України була розроблена відповідно до специфікацій Глобального ґрунтового партнерства Продовольчої і сільськогосподарської Організації Об'єднаних Націй (ФАО) і інтегрована в Глобальну карту ґрунтового органічного вуглецю ФАО (GSOCстар). Створена національна цифрова карта запасів вуглецю у ґрунтах України може бути використана, як базова для подальшого моніторингу запасів органічного вуглецю, однак реалізація цього завдання, можлива лише за умови створення єдиної національної ґрунтової інформаційної системи, у якій буде акумулюватись та оновлюватись інформація щодо польових обстежень ґрунтів.

**Ключові слова:** Глобальна карта запасів ґрунтового органічного вуглецю; GSOCстар; ґрунтовий покрив України; органічний вуглець; цифрове картографування ґрунтів.

Форма цитування: Digital mapping of soil organic carbon stocks in Ukraine / K.V. Viatkin, Yu.V. Zalavskiy, V.V. Lebed [et. al] *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 5-11. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-01>.

УДК 631.421:57.087

## Аналіз гідрологічної функції ґрунтів степових агроландшафтів: математичні моделі міграційних процесів

В.О. Белоліпський<sup>1\*</sup>, О.П. Другова<sup>2</sup>, О.Н. Другов<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup>ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

<sup>2</sup>ТОВ Землевпорядна фірма «ЛАН», Старобільськ, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 04.12.2018 Отримано після доопрацювання 28.03.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019</p> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>агроландшафт; гідрологічна функція; ґрунт; матриця; модель; фактори.</p>	<p>Математичні моделі процесів міграції та накопичення вологи в ґрунтах степових агроландшафтів розроблено за результатами аналізу їх гідрологічної функції на прикладі чорнозему звичайного на території дослідного поля Синельниківської дослідної станції у типовому степовому агроландшафті з періодично промивним водним режимом. Математичне моделювання гідрологічних процесів міграції і накопичення вологи у шарах ґрунту і підґрунті (до 1000 см) з використанням квадратної матриці аналізу. Розрахунки зроблено за архівними та опублікованими даними досліджень і спостережень, проведених у період з 1967 до 2000 р. В результаті за даними натурних визначень баланс вмісту вологи у чорноземі звичайному з періодично промивним водним режимом встановлено, що у шарі ґрунту 0-10 см із 497 мм опадів 33,5 % (240 мм) витрачається на випаровування з поверхні ґрунту; 5,5 % (37 мм) – на стік; 23,7 % (160,4 мм) – на транспірацію рослинами; 8,8 % (59,6 мм) – на просочування у глибинні шари. Розроблено математико-статистичні моделі вологонакопичення у досліджуваному ґрунті під чорним паром для чотирьох зон (шарів) ґрунту: зона формування основної маси кореневої системи (0-150 см); зона зміни гранулометричного складу ґрунту з його обважненням (150-320 см); зона з низьким умістом вологи (320-500 см); зона капілярної кайми (глибше 500 см). Для шару 0-150 см виявлено провідні чинники і розраховано ступінь їхнього впливу на вологозабезпеченість ґрунту: щільність будови (57,2 %); вміст гранулометричної фракції &lt;0,001 мм (26,8 %); вміст суми фракцій &lt;0,01 мм (9,1 %); порозність ґрунту (5,6 %); найменша (польова) вологемність (1,3 %). За результатами досліджень сформульовано практичні рекомендації для землекористувачів: поліпшити гідрологічний режим шарів ґрунту і створити резерви накопичення вологи для території з агроценозами з глибини можливо шляхом формування на орних землях комплексу екологічних ніш із промивним водним режимом ґрунту (наприклад, система лісомеліоративних смуг), тобто, шляхом забезпечення взаємодії різних агрофонів з лісомеліоративними прийомами.</p>

E-mail: \*belolipskiy-42@ukr.net, \*\*drugov-a.n@ukr.net

Форма цитування: Белоліпський В.О., Другова О.П., Другов О.Н. Аналіз гідрологічної функції ґрунтів степових агроландшафтів: математичні моделі міграційних процесів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2019. С. 12-21. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-02>.

### 1. Вступ

Моделювання гідрологічної функції ґрунтового покриву в натурних умовах з метою аналізу механізму міграційних процесів вологи є широко поширеним методом дослідження в природничих науках [1-4]. Ця функція означає діяльність ґрунту, спрямовану на формування певного глибкопрофільного режиму вологозабезпеченості рослин в агроландшафті [5, 6].

Виявляється варіабельність вмісту вологи, як у часі, так і у просторі, є визначальним фактором для формування чорноземних ґрунтів та їх водно-фізичних властивостей і режимів. Випадаючи з атмосферними опадами на поверхню ґрунту волога мігрує в різні шари ґрунту і витрачається в системі «рослини (тип агрофону, транспірація) → ґрунт (випаровування, фільтрація, стік)».

Анізотропність ґрунту, як відмінності у властивостях по вертикалі і горизонталі, визначає характер і тип його зволоження, що обумовлюється кількістю атмосферних опадів, характером розподілу їх по профілю у низхідному, висхідному і бічному напрямках і типом рослинності, що використовує вологу. Об'єми вологи у цих «потоках» змінюються в межах багаторічних, річних і сезонних циклів, проте, завжди досягають деякого рівноважного стану, оцінюваного балансом вологи. Саме тому кількісні показники балансу та його складові в агроландшафтах представляють інтерес для вивчення з метою математичного моделювання міграційних процесів.

Метод математичного моделювання складних процесів є не лише найбільш ефективним способом їх аналізу, але й способом проведення «математичних експериментів» [1] для вивчення реакції модельованої системи на ті або інші деградаційні процеси.

У публікаціях [1, 2] сформульовано задачі побудови математичної моделі процесів

міграції хімічних елементів, як у природних, так і штучно створених компонентах біосфери, а також в умовах різного роду забруднення з метою аналізу механізмів складного природного процесу, прогнозів його перебігу та обґрунтування заходів для його регулювання.

В роботі В.В. Медведєва [3] узагальнено результати досліджень геохімічної і гідрологічної функцій ґрунтового покриву в умовах ґрунтово-екологічного полігону у верхніх (0-20 та 0-100 см) шарах ґрунту. Ці матеріали показують можливість трансформації характеру розвитку агроландшафту від деградаційного до якісно нового – етапу стійкого збереження його позитивних властивостей.

У результатах стаціонарних досліджень О.П. Другової [5,6] у період 1967-1992 рр. оцінено водно-фізичні властивості чорноземів звичайних і представлено дані ґрунтових процесів і глибокопрофільних (диференційовано по глибинах 0-1,5; 3-5; 5-10 м) режимів, характерних для гідрологічного профілю (згідно з класифікацією О.А. Роде [7]) степових агроландшафтів України. Вивчення цього матеріалу дозволяє зазначити, що база даних для розробки функціональних моделей накопичення вологи в гідрологічному профілі має включати інформацію з таких аспектів: 1) вологонакопичення в окремих елементах агроландшафту й екосистем (агрофон, поле сівозміни); 2) вологість шарів ґрунту від поверхні до верхнього або нижнього водоносних горизонтів; 3) випаровування з поверхні ґрунту; 4) транспірація вологи рослинами; 5) втрата води зі стоком.

В основу теоретичного обґрунтування моделі необхідно закласти кількісно збалансовану схему розподілу водних потоків по всіх структурних категоріях гідрологічного профілю ґрунту. Це означає, що потрібно знайти баланс розподілу води атмосферних опадів по всіх горизонтах ґрунту і материнської породи, з урахуванням води, витягнутої рослинами з кожного горизонту, та води, яка випаровується з поверхні ґрунту. Аналіз процесів переміщення вологи по елементах поля міграції можливий тільки на основі такої деталізованої схеми.

Мета дослідження – провести аналіз гідрологічної функції ґрунтів степових агроландшафтів і розробити математичні моделі процесів міграції та накопичення вологи.

## 2. Методичні підходи до проведення досліджень

Для аналізу гідрологічної функції ґрунтів було використано методи структурної алгебри та математичного моделювання: 1) побудова сіткових графів розподілу потоків води (мігрантів). Граф - інформаційна модель, на якій представлено сукупність об'єктів (вершини) зі зв'язками між ними (лінії), які з'єднують пари цих об'єктів; 2) аналіз із застосуванням матричних алгоритмів [1]; 3) побудова математико-статистичних моделей [8,12]. При цьому структурними категоріями моделі можна вважати, передусім, яруси розрізу квадратного майданчика в межах біогеоценозу, в число яких входять рослинність (Р) і генетичні горизонти ґрунтово-геологічного профілю (П, В, С, Г) аж до верхнього водоносного шару (Х). Крім того, вводимо узагальнені категорії: «атмосфера» (А), як джерело поверхневої вологи, «верхній (Д) і нижній (Н) сусідні райони», як джерело і приймач частини поверхневого і глибинного припливу і стоку на дослідному майданчику і, нарешті, «вихід із біогеоценозу» (У), тобто, витрата вологи на випаровування, на стік і винос мігрантів зі збиранням урожаю та за інших штучних заходів (Табл. 1).

### Таблиця 1

Усереднені параметри гідрологічних показників степового агроландшафту (ґрунти - чорноземи звичайні)

Гідрологічні категорії	Шар ґрунту, h, см	Δ h, см	Щільність будови ґрунту, г/см <sup>3</sup>	ПВ	НВ	Маса коренів	
				мм		кг/см <sup>3</sup>	частка у профілі, %
Атмосфера (А)	Атмосферні опади 497 мм						
Верхній сусід (Д)	Поверхневий стік - 37 мм						
Рослинність (Р)		3,6		66,9			
Поверхневий шар (П)	0-10	10	1,17	48,0	34,8	1,057	40,2
Верхній шар (В)	10-100	90	1,35	41,3	30,4	1,428	54,3
Середній шар (С)	100-150	50	1,38	41,8	39,6	0,087	3,3
Глибинний шар (Г)	150-350	200	1,40	40,6	30,2	0,058	2,2
Водоносний шар (Х)	350-560	210	1,36	39,5	31,1		
Нижній сусід (Н)							
Відхід (втрати) з біогеоценозу (У)	Випаровування (И) - 676 мм, в тому числі, безпосередньо з поверхні - 240 мм						

Примітка: ПВ – повна вологоємність; НВ – найменша (синонім - польова) вологоємність

Для дослідження використовували результати розрахунку балансу вологи в чорноземі звичайному на дослідному полі Синельниківської дослідної станції у типовому степовому агроландшафті з періодично промивним водним режимом. Необхідну інформацію щодо цього агроландшафту взято з опублікованих робіт О.П. Другової [5,6] про динаміку вологості ґрунтів у межах Синельниківського стаціонару, та робіт В.О. Белоліпського зі співавторами, де зібрано ерозійно-гідрологічні показники ґрунтів у степових агроландшафтах [8,12] з усередненням великої кількості результатів спостережень і досліджень за періоди 1967-1970 та 1980-2000 рр. і доповнено з монографії Є.А. Афанасьєвої [9]. Середні багаторічні параметри гідрологічних показників, використаних у моделюванні, представлено в таблиці 1.

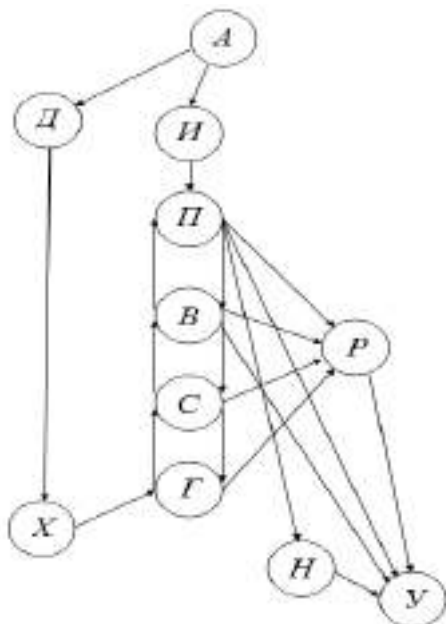
### 3. Результати досліджень та їх обговорення

#### 3.1. Теоретичне обґрунтування напряму дослідження

Водний режим степового агроландшафту з чорноземами звичайними залежить від погодних особливостей року. У періоди переважання років з великим атмосферним зволоженням можливим є наскрізне промочування ґрунту і породи, навіть до горизонту, що залягає тут на глибинах 8,0-10,0 м. У посушливі роки водний режим виявляється непромивним, а баланс вологи, що надходить з атмосферними опадами, – від'ємним. Тобто, з майданчика біогеоценозу в середньому за рік витрачається вологи більше, ніж надходить з опадами. За даними тривалих спостережень О.П. Другової [6] від'ємний баланс вологи є характерним для ландшафтів чорноземного степу і багаторічне середньорічне значення коефіцієнту зволоження (КЗ) на чорному пару дорівнює 0,97, на посівах кукурудзи – 0,74, озимої пшениці по чорному пару – 0,59, тобто, як правило, <1. Це підтверджується також висновками Є.А. Афанасьєвої [9].

Щоб пояснити можливість функціонування агроландшафту в умовах тривалого, досить стабільного водного режиму з дефіцитом вологи, очевидно, слід припустити наявність компенсації дефіциту поверхневої вологи за рахунок поповнення з підґрунтових вод. Джерела насичення підземних вод розташовуються, за межами даного ландшафту.

Схему зв'язків компонентів агроландшафту та водного режиму чорнозему звичайного зображено на рис.1, де кожен структурну категорію гідрологічного профілю ґрунту показано літерою згідно з поясненням у табл. 1. Категорія, з якої виходить стрілка потоку, є "донором", а категорія, на яку вказує стрілка – "акцептором".



**Рис. 1.** Схема зв'язків аналізованих компонентів степового ландшафту за Анохіним [1].

(Символи на рисунку пояснено у таблиці 1)

Перша особливість цього процесу полягає в тому, що загальним джерелом всієї циркулюючої вологи і головним донором є атмосфера (А), яка живить не тільки досліджуваний об'єкт степового агроландшафту, але й інші, що лежать за його межами, сусідні райони (Д), з яких поповнюються ресурси підземних вод (Х), які й покривають дефіцит поверхневого зволоження. Позначаємо ці потоки стрілками «АД», «ДХ» і «ХГ».

Другою особливістю графа є чергування протягом року низхідних потоків (А-И) по ланцюгу «П→В→С→Г» з потоками, висхідними по тому ж ланцюгу: «Г→С→В→П».

Епізодична зміна низхідних потоків висхідними відбувається в будь-яких біогеоценозах. З розгляду результатів спостережень, наведених у роботах [6, 9], констатовано, що промочування ґрунту поверхневою вологою рідко простягається глибше верхньої частини шару "Г". Ця волога, за теорією О.А. Роде [7], знаходиться у «підвішеному» стані й глибше неї лежать шари з вологістю не більше найменшої (польової) вологоємності ґрунту (НВ), що не утворюють рідинного зв'язку з водоносним горизонтом, який в цих умовах залягає на великих глибинах. Вважають [10], що в таких випадках поповнення вологи верхніх шарів ґрунту здійснюється шляхом переміщення водяної пари, наприклад, у зимовий час, коли вода з водоносного горизонту, що має додатну температуру, переміщується в охолоджені верхні шари. У літній період висушування верхніх шарів ґрунту може простягатися на велику глибину, і тоді підйом води з більш глибоких горизонтів може відбуватися шляхом капілярного підняття рідкої води по ланцюжках «Г→С→В» та «В→П». Поверхневий стік відбувається переважно за рахунок весняного танення снігового покриву і позначений ланцюгом «П→Н».

Живлення рослин, як показують результати власних досліджень авторів [6] і узагальнення Є.А. Афанасьєвої [9], здійснюється з великої товщі ґрунту: коренева система степової рослинності в пошуках вологи проникає до глибини 200 см і більше, не поступаючись у цьому лісовій рослинності, і навіть захоплює шар «Г»; це показано ланцюгом «Г→Р».

Для кількісного аналізу водного режиму замінимо приведений граф схемою зв'язку гідрологічних показників чорнозему звичайного степового агроландшафту, яка представлена у формі квадратної матриці (Табл. 2), в якій число рядків збігається з числом стовпців при 10- рівневому порядку, а елементи (a<sub>ij</sub>) утворюють головну діагональ матриці, що розділяє різне поєднання елементів (a<sub>ij</sub> ... a<sub>in</sub>) низхідних і висхідних потоків вологи.

**Таблиця 2**

Схема зв'язку гідрологічних показників чорнозему звичайного степового агроландшафту, представлена у формі квадратної матриці. (Позначення показників - у таблиці 1)

1 2	А	Д	П	В	С	Г	Р	Х	Н	У	Σ
А		<u>26,5</u> 179	<u>73,5</u> 497								<u>100</u> 676
Д								<u>100</u> 26,5* 179			<u>100</u> 26,5* 179
П				8,8* 59,6			<u>40,2</u> 23,7* 160,4		5,5* 37,0	35,5* 240	73,5* 497
В		<u>0</u>			<u>45,7</u> 4,0* 27,2		<u>54,3</u> 32,0* 216,6				<u>100</u> 36,0* 243,8
С				27,2* 184,2		<u>96,7</u> 3,9* 26,3	<u>3,3</u> 2,0* 13,2				<u>100</u> 33,1* 223,7
Г					<u>97,8</u> 29,1* 196,5		<u>2,2</u> 1,3* 8,8				<u>100</u> 30,4* 205,3
Р										<u>100</u> 59,0* 399	<u>100</u> 59,0* 399
Х						<u>100</u> 26,5* 179,0					<u>100</u> 26,5* 179,0
Н									<u>100</u> 5,5* 37,0		<u>100</u> 5,5* 37,0
У											
Σ		26,5* 179	73,5* 497	36,0* 243,8	33,1* 223,7	30,4* 205,3	59,0* 399	26,5* 179	5,5* 37	100 676	

Примітка: 1 - Прихід вологи; 2 - Витрата вологи; \* - Дефіцит вологи (%) від випаровування;  
Одиниці вимірювання: підкреслення — - мм; = - %

Так, для рядка «А» (атмосфера) ми знаємо, що загальна сума опадів (497 мм), яка надходить на майданчик не покриває обсяг випаровування на цій території (676 мм). Отже для дотримання водного балансу в чарунку «АД» пишемо 179 мм (26,5 % від загального випаровування).

Щодо категорії «Д» (верхній сусід) ми не знаємо скільки води надходить з більш високих територій на майданчик. Але, виходячи з водного балансу, ця кількість повинна відповідати дефіциту вологи від випаровування (179 мм, 26,5%).

По рядку «П» (поверхневий шар ґрунту) щодо розподілу водних потоків з поверхні, ми знаємо, що на випаровування йде 35,5 % (чарунка «ПУ»), а на поверхневий стік – 5,5 % («ПН»). Щоб врахувати частку водного ресурсу, що витрачається на живлення рослин, обчислюємо витрату вологи на транспірацію з поверхневого шару «ПР», використовуючи дані Афанасьєвой [9] (Див. табл.1) і додаємо можливу кількість вологи, що просочується з поверхневого шару («ПВ»).

Рядок «В» (верхній шар ґрунту) буде формувати ресурс вологи по складанню показників виводу вологи на транспірацію з чарунки «ВР» плюс на просочування з «ВС».

Рядок «С» (середній шар ґрунту). Ресурс вологи ґрунту формується по складанню показників вологи на транспірацію з шару «С» (клітина СР) плюс волога, що просочилася в шар «СГ».

Рядок «Г» (глибинний шар ґрунту). У ньому відбувається перенесення вологи в глибину і з'єднання з глибинними потоками вологи.

Щоб звести позначений баланс у горизонтальних рядках внесено донорів, а в клітини їх перетину зі стовпцями – напрям стрілки графа до відповідних акцепторів та їх параметри за матричними алгебраїчними розрахунками. Запис вихідних даних у квадратній матриці (Табл. 2) проводимо по рядках: «А» - кількість опадів (497 мм), випаровування (676 мм), «П» - поверхневий стік (37 мм) і випаровування з поверхні (240 мм) як розподіл ресурсів шару «П» (див. Табл. 1).

При цьому враховуємо найголовнішу відмінність алгоритмів обчислення графів, що мають замкнуті цикли, яка полягає в даному разі в тому, що ми повинні окремо порахувати низхідний потік і окремо – висхідний, перевіряючи результати зведенням балансу вологи по кожному горизонтальному та вертикальному рядку за такими етапами:

**Етап 1.** Визначення дефіциту вологи в рядку «А», як різниці між випаровуванням і опадами:  $676-497=179$  мм (26,5 %);

**Етап 2.** Визначення параметра транспірації вологи рослинністю (стовпець «рослинність Р») який розраховується як різниця між сумарним випаровуванням, випаровуванням з поверхні і стоком:  $676-240-37 = 399$  мм (59%). Цю цифру ми рознесемо по рядках пропорційно розподілу коренів: 40,2 % в чарунці "ПР", 54,3 – в "ВР", 3,3 – в "СР" і 2,2 % – в "ГР" і визначаємо кількість транспірації вологи з поверхневого шару 0-5 см (160,4 мм), шару 5-90 см (216 мм), шару «С»-13,8 мм і «Г»-8,8 мм і їх відсоток від випаровування (676 мм) відповідно 23,7; 32,0; 2,0 і 1,3;

**Етап 3.** Визначення кількості вологи, що залишається для просочування у верхній шар ґрунту. З поверхні «П» на рослинність «П→Р», на стік в нижній район «П→Н» та на випаровування «П→У» витрачається  $160,4 + 37,0 + 240,0 = 437,4$  мм вологи. Отже, з опадів, що випали на поверхню, 497 мм (підсумок стовпця «П») залишається на просочування у верхній шар «П→В» 59,6 мм;

**Етап 4.** Визначення кількості вологи, що просочилася в шар «В» і «С». Волога з шару «В» на 54,3 % витрачається на транспірацію, отже, 45,7 % вологи, що просочилася зверху (59,6 мм), тобто 27,2 мм, піде в більш глибокий горизонт «С», що відображено в чарунці «ВС». З шару «С» тільки 3,3 % вологи йде на транспірацію і, значить, 96,7 % вологи, що просочилась, або 26,3 мм, потрібно записати в чарунку «СГ»;

**Етап 5.** Визначення джерела поповнення дефіциту вологи в загальному балансі. Цим джерелом в ресурсі глибинного шару може бути нове джерело висхідної вологи, яка приходить з віддалених районів по ланцюгу «АД→ДХ→ХГ», заповнює дефіцит вологи в розмірі  $676 - 497 = 179$  мм (26,5%) – шар «АД». В результаті стовпця «Г» нам слід записати суму  $26,3 + 179,0 = 205,3$  мм як ресурс цього шару. З цієї кількості 8,8 мм йде на транспірацію, і, отже, різниця  $205,3 - 8,8 = 196,5$  мм піднімається вгору по шляху «ГС»;

**Етап 6.** Визначення балансу вологи. У стовпці «С» у результаті виявляється  $27,2 + 196,5 = 223,7$  мм. З них 13,2 мм йде на транспірацію, а крім того, 26,3 мм стікають назад у шар «Р». Таким чином, піднімається вгору  $223,7 - (13,2+26,3) = 184,2$  мм, що показано в чарунці «СВ».

Ресурс вологи шару «В» складається з  $59,6 + 184,2 = 243,8$  мм і він повністю витрачається на транспірацію «ВР» = 216,7 і на просочування вниз «ВС» = 27,2 мм. Таким чином, баланс зведений правильно, так як фундаментальна властивість матричних алгоритмів — це рівність сум однойменних вертикальних стовпців і горизонтальних рядків,

дотримується. Ця властивість слугує критерієм для перевірки правильності складання матриці на всіх етапах [2].

Таким чином, за допомогою матриці показано алгоритми рішення системи рівнянь:

- |                                   |                                           |
|-----------------------------------|-------------------------------------------|
| 1) $P=73,5$                       | 7) $C=B*CG$                               |
| 2) $A+Ad+0,735=1$                 | 8) $G=C*GP$                               |
| 3) $PB + 0,237+0,055+0,355=0,735$ | 9) $X=G$                                  |
| 4) $BC+0,543=1$                   | 10) $P=P 0,402+B 0,543+C 0,033+G 0,022=1$ |
| 5) $CG+0, 033=1$                  | 11) $H=P 0,055$                           |
| 6) $B=P*BC$                       | 12) $Y=P 0,355+P 0,590+H 0,055=1$         |

За викладеним матеріалом можна зробити такі узагальнення:

#### *I. За розподілом атмосферних опадів у системі шарів ґрунту («П-В-С-Г»).*

У поверхневому шарі (0-10 см) із суми атмосферних опадів (497 мм) 33,5 % (240 мм) витрачається на фізичне випаровування з поверхні; 5,5 % (37 мм) – на поверхневий стік; 23,7 % (160,4 мм) – на транспірацію рослинами; 8,8 % (59,6 мм) – на просочування, накопичення і транспірацію рослинами вологи по глибинних шарах (27,2 мм – в верхньому шарі «В», 26,9 мм – в середньому шарі «С» і 6,1 мм – у глибинному шарі «Г»).

Такий розподіл витрат і накопичення вологи створює дефіцит від загальної суми випаровування (676 мм) за період вегетації рослин у розмірі 179 мм і обумовлює вибір таких агроеліоративних прийомів в зоні активного вологообігу у ґрунті (320 см):

- атмосферна іригація, що забезпечує формування денної роси в шарі ґрунту 0-70 см і більше при створенні перепаду (зменшення) температури в ньому до рівня «льоху» і за системою І. Овсинського [11].

- регулювання випаровування (використання мульчі з рослинних залишків, поліпшення структури ґрунту);

- підвищення водопроникної здатності ґрунту агроприйомами (чизелювання, щілювання);

- використання впливу лісомеліоративних насаджень на орних землях для посилення проникнення вологи в середні і глибокі шари ґрунту з метою накопичення вологи для живлення агроценозів у глибинних шарах ґрунту і в підґрунті.

#### *II. За вибором глибин міграції вологи для побудови математичних моделей можна позначити 4 зони:*

- 1) 0-150 см – зона максимального формування кореневої системи в умовах меншої щільності ґрунту ( $1,18-1,38 \text{ г/см}^3$ ) і високої порозності ґрунту до 49-51 % з вмістом фізичної глини 55-56 %;

- 2) 150-320 см – зона зміни гранулометричного складу ґрунту (обважнення) через збільшення вмісту фізичної глини до 56-61%;

- 3) 320-500 см – зона з низьким вмістом вологи (до 15-13 %), обумовленим вмістом мулу (частинки  $<0,001 \text{ мм}$ ) у ґрунті 18-25 %. Вологість ґрунту в цій зоні коливається в межах від НВ до вологості розриву капілярів (ВРК);

- 4) Глибше 500 см – зона капілярної кайми, обумовлена глибиною підґрунтових вод 6-8 м та глибше і глинистим гранулометричним складом ґрунту (36-45 % мулу).

#### *III. За обґрунтуванням факторів влагонакопичення виділено таке поєднання:*

- 1) атмосферні опади; 2) витрата (транспірація вологи) через диференціацію агрофонів: пар, озимі по пару, кукурудза на зерно за безвідвального обробітку ґрунту; 3) гідрологічний фактор (стік + фізичне випаровування вологи з поверхневого шару ґрунту), обумовлений фізичними параметрами ґрунту (гранулометричний склад, щільність будови, порозність, найменша вологоємність). Параметри означених факторів були використані у розробці математичних моделей міграційних процесів.

### *3.2. Математичні моделі міграції вологи в ґрунті*

Кількісна оцінка вологозабезпеченості агроландшафту в більшості наукових повідомлень носить загальний характер і не відображає багатфакторних умов акумулювання, утримання і витрачання вологи.

Дослідження умов формування вологозапасів у ґрунті під чорним паром проводили на дослідному водозборі протягом вегетації залежно від параметрів фізичних чинників, згрупованих у 5 факторах, по шарах ґрунту 0-150 і 0-200 см, та у 6 факторах по шарах 0-500 і 500-1000 см:

$X_1$ щільність будови ґрунту ( $\text{г/см}^3$ );	$X_4$ порозність ґрунту (%);
$X_2$ вміст мулу (часточки розміром $<0,001$ мм) (%);	$X_5$ найменша вологоємність (НВ) (%);
$X_3$ вміст фізичної глини (ФГ - часточки розміром $<0,01$ мм) (%);	$X_6$ шар ґрунту (см).

Значення фізичних параметрів в окремих шарах ґрунту наведено в табл. 3.

**Таблиця 3**

Фізичні параметри чорнозему звичайного під чорним паром (за матеріалами [6] в нашій обробці)

Шар ґрунту, см	Фізичні параметри ґрунту					Зона зволоження
	Вміст мулу / ФГ, %	Щільність будови, $\text{г/см}^3$	Порозність, %	Вологість (середня за вегетацію) % / n	Вологоємність найменша (НВ), %	
0-50	36,4 / 56,0	1,18	55,1	19,65 / 45	26,8	А
60-100	36,6 / 55,7	1,35	49,4	18,68 / 45	22,6	А
100-150	34,6 / 56,7	1,38	48,2	18,9 / 36	22,2	А
160-200	34,6 / 61,0	1,43	45,9	19,03 / 32	21,7	А
230-350	35,9 / 53,5	1,38	48,7	19,08 / 39	20,8	А
380-530	23,9 / 36,8	1,36	49,4	14,48 / 44	17,0	Б
560-680	22,3 / 29,5	1,42	48,0	18,83 / 35	19,5	КК
710-860	20,1 / 29,7	1,43	47,0	24,03 / 37	27,8	КК
890-1000	40,2 / 56,0	1,65	36,0	30,85 / 36	34,5	РПВ

Примітка: А – Зона активного вологообігу; Б – Зона постійного зволоження; КК – Зона капілярної кайми; РПВ – Рівень підґрунтових вод; n – Кількість спостережень

Для побудови математико-статистичної моделі вологонакопичення у шарі ґрунту 0-150 см степового агроландшафту дані експериментальних досліджень впливу п'яти чинників були проаналізовані за методикою парних зв'язків з послідовним виключенням значущих чинників [12]. Методика дозволяє отримати задовільну точність апроксимації даних, хорошу графічну наочність інформації на агрофоні, представленому чорним паром (Рис. 2). На графіку А показано найбільш тісний регресійний зв'язок запасів вологи у ґрунті та щільності його будови, апроксимований рівнянням  $Y_1 = 27,05X_1^{-0,98}$  за випадкових значень  $X_2 - X_5$ .

Подальші регресійні зв'язки показано після послідовного виключення досліджуваних чинників:  $Y_2$  – після виключення  $X_2$ ,  $Y_3$  – після  $X_3$ ,  $Y_4$  – після  $X_4$ ,  $Y_5$  – після  $X_5$ . При цьому залишковий результат значення коефіцієнта зволоженості ґрунту (наприклад,  $Y_2$ ) залежить від чинника  $X_2$  при випадковому поєднанні ще не досліджених чинників  $X_3 - X_5$ .

Комплексна емпірична модель залежності вологозапасів ґрунту виражається рівнянням регресії:

$$Y_{\text{заз}} = A * X_1^{-0,98} * X_2^{0,461} * X_3^{-0,15} * X_4^{-0,09} * X_5^{0,022},$$

де А – постійний коефіцієнт, кореляційне відношення  $\eta = 0,998$ .

Виявлено провідні фактори, що впливають на вологозабезпеченість та визначено ступінь (частку, %) впливу кожного з них:  $X_1$  – щільність будови ґрунту, (57,2 %);  $X_2$  – вміст мулу, (26,8 %);  $X_3$  – вміст ФГ, (9,1 %);  $X_4$  – порозність ґрунту, (5,6 %);  $X_5$  – НВ, (1,3 %).

### 3.3. Порівняльний аналіз вологозабезпеченості за вегетаційний період по шарах ґрунту (гідрологічного профілю)

Порівняльним аналізом вологозапасів і параметрів у моделях агроландшафту в період вегетації (травень-жовтень) виявлено провідні групи факторів керування гідрологічним режимом ґрунту [12] (Табл. 4). Так, у шарах 0-150 і 0-200 см провідними факторами формування вологозапасів є  $X_1$  – щільність будови ґрунту (57,2 і 65,9 %) і  $X_2$  – вміст мулу (25,5 і 26,8 %). У шарі ґрунту 0-1000 см запас вологи визначається фактором  $X_5$  – найменша вологоємність ґрунту (93,6 %). У шарі 0-500 см зі збільшенням глибини гідрологічного профілю провідними факторами є також  $X_1$  (41-42 %),  $X_2$  (39,1 %) і зростає роль фактора глибини  $X_6$  (13,3 %).

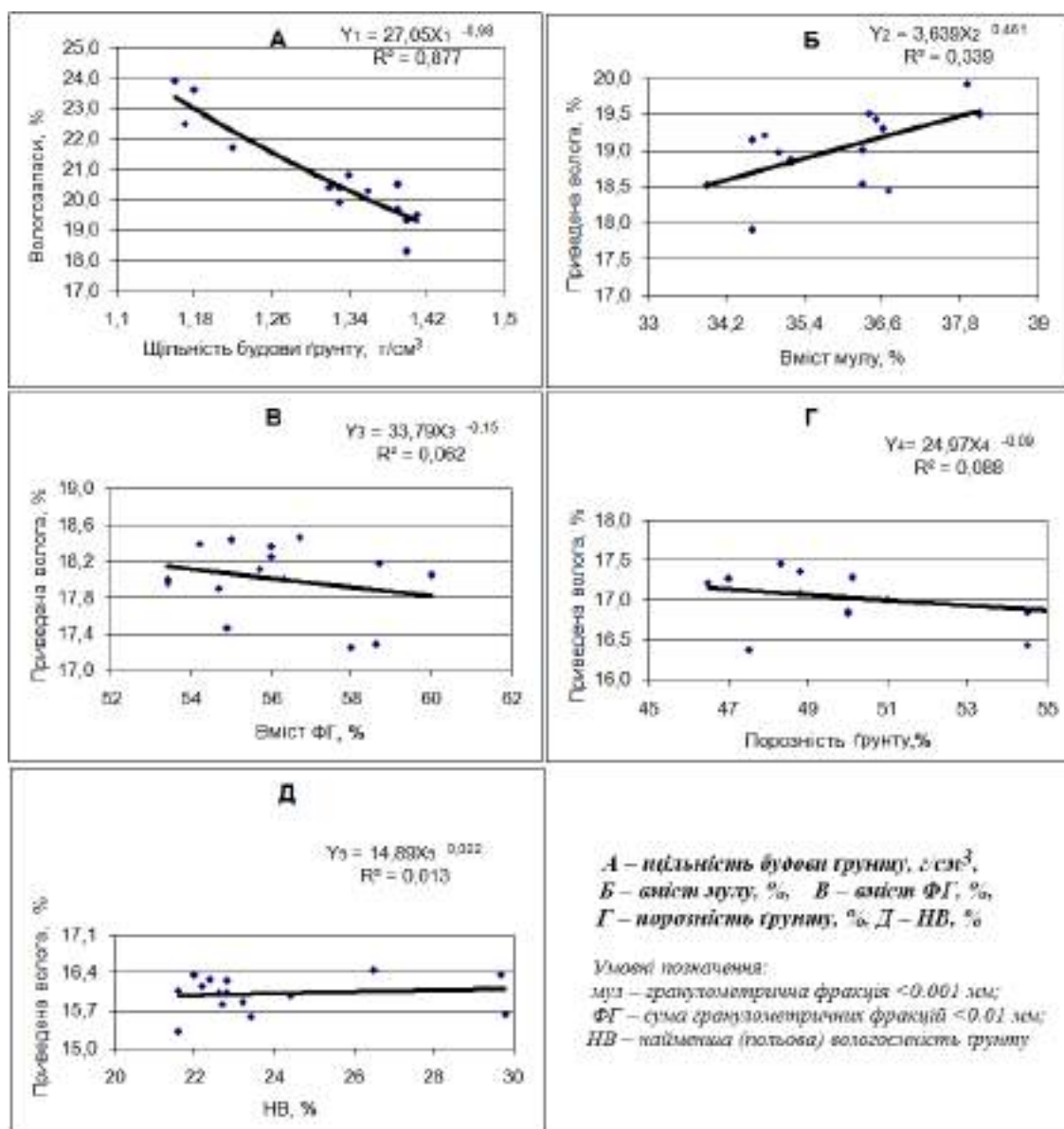


Рис. 2. Залежність запасів води у шарі ґрунту 0-150 см від фізичних параметрів

Таблиця 4

Параметри факторів і моделі запасів води у різних шарах ґрунту

Шар ґрунту, см	Фактори, їх порядок та їх вплив (%); модель, коефіцієнт кореляції ( $\eta$ ), відносна помилка (E, %)				
0-150	$X_1 - 57,2$	$X_2 - 26,8$	$X_3 - 9,1$	$X_4 - 5,6$	$X_5 - 1,3$
	$Y = 13,31403 X_1^{-0,986} X_2^{0,4617} X_3^{-0,1565} X_4^{-0,098} X_5^{0,0226}$ ( $\eta=0,998$ , E=0,012)				
0-200	$X_1 - 65,9$	$X_2 - 25,5$	$X_4 - 6,6$	$X_5 - 2$	-
	$Y = 9,53433 X_1^{-0,9489} X_2^{0,3669} X_4^{-0,0943} X_5^{0,0294}$ ( $\eta=0,999$ , E=0,013)				
0-500	$X_6 - 13,3$	$X_2 - 39,1$	$X_1 - 41,2$	$X_5 - 1,9$	$X_4 - 4,5$
	$Y = 6,34516 X_6^{-0,1233} X_2^{0,3622} X_1^{0,3817} X_5^{-0,0173} X_4^{0,0421}$ ( $\eta=0,980$ , E=1,21)				
500-1000	$X_6 - 88,8$	$X_1 - 7,4$	$X_2 - 1,9$	$X_4 - 1,6$	$X_3 - 0,3$
	$Y = 0,00994 X_6^{1,1599} X_1^{0,0961} X_2^{-0,0254} X_4^{0,0025} X_3^{0,0153}$ ( $\eta=0,997$ , E=0,18)				
0-1000	$X_5 - 93,6$	$X_6 - 1,7$	$X_3 - 1,0$	$X_2 - 1,8$	$X_1 - 1,9$
	$Y = 0,986195 X_5^{0,9228} X_6^{0,0169} X_3^{-0,01} X_2^{0,0179} X_1^{0,0208}$ ( $\eta=0,998$ , E=0,087)				

*Примітка.* Фактори:  $X_1$  – щільність будови;  $X_2$  – мул (гранулометрична фракція <0.001 мм);  $X_3$  – ФГ (сума гранулометричних фракцій <0.01 мм);  $X_4$  – порозність;  $X_5$  – НВ (найменша вологостійкість);  $X_6$  – глибина гідрологічного профілю;  $Y$  – запаси води, %

Таким чином, на підставі встановлених закономірностей формування вологозапасів ґрунту за розробленими математико-статистичними моделями можна стверджувати, що в степовому агроландшафті керування гідрологічним режимом у біологічно активному шарі 0-150 (0-200) см є можливим з використанням ґрунтоводоохоронних агротехнічних прийомів, спрямованих на забезпечення повного поглинання опадів і зменшення випаровування, що збігається з теоретичним обґрунтуванням (див. табл. 2).

Однак ущільнення ґрунту у шарах 50-100 см (до  $1,35 \text{ г/см}^3$ ), 100-150 см (до  $1,38 \text{ г/см}^3$ ) і 150-200 см (до  $1,43 \text{ г/см}^3$ ) (Табл. 3) обумовлює виникнення прошарків висушування ґрунту з їх негативним впливом у передпосівний період та період формування врожаю сільгоспкультур [6,13].

Поліпшити гідрологічний режим цих і більш глибоких шарів ґрунту (до 500 см) і створити резерви накопичення вологи на території з агроценозами з глибини можна шляхом формування на орних землях комплексу екологічних ніш з промивним гідрологічним режимом ґрунту (система лісомеліоративних смуг), тобто створити комплекс взаємодії різних агрофонів з лісомеліоративними прийомами [13].

#### 4. Висновки

1. На основі сіткового графа розподілу потоків по структурних категоріях фактичного геологічного розрізу квадратних майданчиків описано балансові розрахунки водних режимів чорнозему звичайного степового агроландшафту з періодично промивним водним режимом.

2. За структурою вологонакопичення в системі горизонтальних шарів ґрунту ("П-В-С-Г") у поверхневому шарі (0-10 см) із 497 мм опадів 33,5 % (240 мм) витрачається на фізичне випаровування з поверхні ґрунту; 5,5 % (37 мм) – на поверхневий стік; 23,7 % (160,4 мм) – на транспірацію рослинами; 8,8 % (59,6 мм) на просочування, накопичення і транспірацію рослинами вологи по глибинних шарах (27,2 мм – у верхньому шарі "В", 26,9 мм – у середньому шарі "С" і 6,1 мм – в глибинному шарі «Г»). Такий розподіл витрат і накопичення вологи створює дефіцит вологи за період вегетації рослин у розмірі 179 мм і обумовлює вибір агроеліоративних прийомів у зоні активного вологообігу ґрунту (0-320 см).

3. За вибором глибин міграції вологи для побудови математичних моделей можна позначити чотири зони:

- 0-150 см – зона максимального формування кореневої системи в умовах меншої щільності будови ґрунту (до  $1,38 \text{ г/см}^3$ ) і високої порозності ґрунту (до 51 %) з умістом фізичної глини 55-56 %;

- 150-320 см – зона збільшення вмісту фізичної глини до 57-61%;

- 320-500 см – зона з низьким умістом вологи – до 15-13 %;

- глибше 500 см – зона капілярної кайми, глибина залягання і потужність якої обумовлена глибиною залягання підґрунтових вод (6-8 м) та більш важким гранулометричним складом ґрунту (вміст мулу – 36-45 %).

4. За обґрунтуванням факторів вологонакопичення виділено таке поєднання: атмосферні опади; витрата (транспірація вологи) через диференціацію агрофонів: пар, озимі по пару, кукурудза на зерно з безвідвальним обробітком ґрунту; гідрологічний фактор, обумовлений фізичними параметрами ґрунту (гранулометричний склад, щільність будови, порозність, найменша вологоємність).

5. За розробленою математико-статистичною моделлю вологонакопичення у ґрунті степового агроландшафту під чорним паром для шару ґрунту 0-150 см виявлено провідні фактори і ступінь (частку) їхнього впливу (%) на вологозабезпеченість:  $X_1$  – щільність будови ґрунту (57,2 %) →  $X_2$  – вміст мулу (26,8 %) →  $X_3$  – вміст ФГ (9,1 %) →  $X_4$  – порозність ґрунту (5,6 %) →  $X_5$  – НВ (1,3 %).

6. Порівняльним аналізом вологозапасів і параметрів у моделях агроландшафту в період вегетації (травень-жовтень) виявлено провідні групи факторів керування гідрологічним режимом ґрунту у різних шарах:

- 0-150 і 0-200 см провідними факторами вологозапасів є  $X_1$  – щільність будови ґрунту (57,2-65,9 %) і  $X_2$  – вміст мулу (25,5-26,8 %);

- 0-500 см зі збільшенням глибини гідрологічного профілю провідними факторами також залишаються  $X_1$  (41-42 %),  $X_2$  (39,1 %) і зростає роль фактора глибини –  $X_6$  (13,3 %);

- 0-1000 см формування вологозапасів визначається фактором  $X_5$  – найменша вологоємність ґрунту (93,6 %).

### Список використаних джерел

1. Анохин В.Л. Алгоритмы исчисления водного режима ландшафтов суши для математической модели миграционных процессов. *Почвоведение*. 1971. № 1. С.92-101.
2. Anokhin V.L., Svirzhev Y.M., Tyuryukanov A.N. The mathematical model of process migration of the radioisotope strontium in the soil. *Proceed. intern. Sympos. on Radioecology*. Stockholm, 1966, Pergamon Press, N. Y., 1967. P. 32-40.
3. Медведев В.В. Мониторинг почв Украины. Концепция. Итоги. Задачи. (2-ое пересмотренное и дополненное издание). Харьков: Изд. КП «Городская типография», 2012. 536 с.
4. Будник С.В. Оптимизация агроландшафтов. Житомир: Изд. ЖГУ им. И.Франка, 2007. 311 с.
5. Другова О.П., Кисіль В.Д. Глибокопрофільне дослідження вологості в Північному Степу України. *Вісник с.-г. науки*. 1974. №3. С. 47-52.
6. Другова О.П. До формування функціональної моделі «чорноземи» степу. *Вісник ХНАУ*. 2011. №1. С. 61-65.
7. Роде А.А. Методы изучения водного режима почв. Москва: Изд. АН СССР, 1960. 243 с.
8. Шелякин Н.М., Белоліпський В.А., Головченко И.Н.. Контурно-мелиоративное земледелие на склонах. Киев: Урожай, 1990. 168 с.
9. Афанасьева Е.А. Черноземы Среднерусской возвышенности. Москва: Наука, 1966. 228 с.
10. Селезнёв К.Г. Изменение влажности от поверхности до уровня грунтовых вод в южной степи УССР. *Почвоведение*. 1970. № 9. С. 44-53.
11. Овсинский И.Е. Новая система земледелия. К 110-летию первого издания и к 100-летию второго издания. Киев: Зерно, 2010. 331 с.
12. Белоліпський В.О. Ґрунтоводоохоронна оптимізація агроландшафтів: Навчальний посібник. Суми: Університетська книга, 2012. 399 с.
13. Белоліпський В.О., Полулях М.М. Оцінка функціонування агроландшафту за показниками вологозабезпеченості та параметри його оптимізації (методичні рекомендації). За ред. доктора с.-г. наук В.О. Белоліпського. Харків, 2015. 74 с.

UDC 631.421:57.087

### Analysis of the soil hydrological function of steppe agrolandscapes: mathematical models of migration processes

V.O. Belolipskiy<sup>1\*</sup>, O.P. Druhova<sup>2</sup>, O.N. Druhov<sup>2\*\*</sup><sup>1</sup>NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine<sup>2</sup> Land management company "Lan", Starobilsk, Ukraine

E-mail: \*belolipskiy-42@ukr.net, \*\*drugov-a.n@ukr.net

Mathematical models of the processes of migration and accumulation of moisture in the soils of steppe agrolandscapes were developed according to the results of the analysis of soil hydrological function. As an example, chernozem ordinary was taken on the territory of the experimental field of the Sinelnikovskiy experimental station in a typical steppe agrolandscape with a periodically leaching water regime. Methodical approaches. Mathematical modeling for hydrological processes of migration and accumulation of moisture in different layers of soil to a depth of 1000 cm. A square matrix of analysis was used. The calculations were performed using archival and published results of studies and observations conducted from 1967 to 2000. According to the results of field determination of moisture balance in chernozem ordinary with periodically leaching water regime, it was found: in a soil layer 0-10 cm from 497 mm of precipitation 33.5 % (240 mm) consumed for evaporation from the soil surface; 5.5 % (37 mm) go to stock; 23.7 % (160.4 mm) - for transpiration by plants; 8.8 % (59.6 mm) - filtered in deep layers. Mathematical-statistical models of moisture accumulation were developed for four vertical zones (layers) of the studied soil under black fallow: (1) zone of formation of the main root mass (0-150 cm); (2) zone of the soil texture weighting (150-320 cm); (3) zone of low moisture content (320-500 cm); (4) capillary moisture area (deeper than 500 cm). For a layer of 0-150 cm, the leading factors are established and the share of their participation in the soil moisture balance is calculated: soil bulk density (57.2 %); the content of particle size fraction <0,001 mm (26.8 %); total content of fractions <0.01 mm (9.1 %); soil porosity (5.6 %); field water capacity (1.3 %). Based on the research results, practical recommendations for land users were formulated: improvement of the soil hydrological regime and creation of reserves for moisture accumulation in the deeper layers can be achieved by forming a wide range of ecological niches with leaching water regime on arable lands (for example, a system of reclamation forest belts). Thus, the efficiency of moisture accumulation in the agrolandscape was achieved by ensuring the interaction of various agricultural backgrounds with forest-reclamation methods.

**Keywords:** hydrological function; soil; agrolandscape; matrix; model; factors.

*Citing:* Belolipskiy V.O., Druhova O.P., Druhov O.N. 2019. Analysis of the soil hydrological function of steppe agrolandscapes: a mathematical model of migration processes. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 12-21. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-02>.

УДК 631.47

## Кількісна діагностика ґрунтів різного ступеню гідроморфності на однолесових терасах річок Лівобережного Лісостепу України

В.В. Лебедь\*, В.Б. Соловей

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 14.06.2019 Отримано після доопрацювання 23.07.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019	У статті визначено особливості гумусонакопичення у профілях ґрунтів з метою уточнення їх класифікаційної приналежності. Об'єктами дослідження були ґрунти різного ступеню гідроморфності на однолесових терасах річок на території Сумської, Полтавської та Харківської областей у межах Лівобережного Лісостепу України. Методи дослідження: традиційний польовий опис морфологічних характеристик ґрунту; аналітичне визначення загального вмісту гумусу, вмісту гранулометричної фракції <0,01 мм (фізична глина) та обмінних катіонів; розрахунки параметрів гумусонакопичення та перерозподілу гумусу у профілі ґрунту за коефіцієнтами профільного накопичення гумусу (КПНГ), відносної акумуляції гумусу (КВАГ) і регресивності органопрофілю (КРО); польові спостереження за сезонними пульсаціями рівня підґрунтових вод методом свердловин. Показано, що полігенетичний характер ґрунтів однолесових терас обумовлено специфічною динамікою чинників ґрунтоутворення. Визначено вплив пульсуючого рівня підґрунтових вод на морфогенез ґрунтів та інтенсивність гумусонакопичення. Доведено доцільність застосування параметризованих оцінок у діагностиці класифікаційної приналежності ґрунтів дискусійного генезису. Виявлено прояв процесів опідзолювання у напівгідроморфних і гідроморфних ґрунтах за вмістом та розподілом обмінних катіонів по профілю як наслідок періодичного поселення лісової рослинності на території однолесових терас. Результатом роботи стало уточнення генетичного статусу ґрунтів однолесових терас та встановлення приналежності їх до певних класифікаційних одиниць надтипового і типового рівнів організації педосфери.
<i>Ключові слова:</i>  <i>гідроморфні ґрунти; гумусонакопичення; кількісна діагностика; напівгідроморфні ґрунти; однолесові тераси; підґрунтові води; регресивність орґанопрофілю; ступінь гідроморфності.</i>	

\*E-mail: swdiscover@gmail.com

*Форма цитування:* Лебедь В.В., Соловей В.Б. Кількісна діагностика ґрунтів різного ступеню гідроморфності на однолесових терасах річок Лівобережного Лісостепу України. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2019. С. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-03>.

### 1. Вступ

Однолесові тераси наймолодші за віком серед інших лесових терас річок та є перехідними між першою надзапальною (боровою) та дволесовою терасами. Ґрунтовий покрив почав формуватися на шарі лесу після останнього зледеніння, близько 12 тис. років тому, в період голоцену. Єдиний лесовий шар різної потужності покриває алювіальні піски давньої борової тераси, тому на однолесовій терасі є багато форм мікрорельєфу, успадкованих від попереднього етапу формування, що вплинуло на особливості ґрунтоутворювального процесу. На поверхні простежується чергування западин та підвищень, що разом з глибиною підстилання ґрунтів давньоалювіальними пісками, впливає на водний режим ґрунтів та рівень підґрунтових вод, часто мінералізованих. Рівень підґрунтових вод тут не є постійним і залежить від сезону, погодних умов і водного режиму території, що ускладнює діагностику ґрунтів різного ступеню гідроморфності [1]. Також може мати місце періодичне поселення лісової рослинності через близькість борової тераси, що має вплив на умови формування ґрунтів [2]. Гранулометричний склад ґрунтів, зазвичай, більш легкий порівняно з терасами більш високого гіпсометричного рівня. Всі ці природні чинники обумовлюють полігенетичний характер ґрунтів та поєднання різних за властивостями ґрунтів на однолесових терасах. Однак, генетичні особливості таких ґрунтів не знайшли належного відображення на великомасштабних картах ґрунтів України та у наукових публікаціях.

Деякі дослідники виявили специфіку ґрунтового покриву на річкових терасах [3], та звернули увагу на природні фактори, які мають першочергове значення. До них належать рельєф (як найбільш інтегрований показник), літологія ґрунотвірних порід, умови поверхневого і підґрунтового зволоження, а також агрогенетична природа властивостей ґрунтів.

Строкатість ґрунтового покриву однолесових терас створює труднощі в діагностиці ґрунтів. Традиційні морфологічні критерії є певним чином суб'єктивними, оскільки не завжди дозволяють чітко ідентифікувати той чи інший ґрунт. Тому дослідження ґрунтового покриву однолесових терас потребує розробки нових об'єктивних критеріїв оцінювання. Такі діагностичні критерії є основою кількісних методів визначення генетичного статусу ґрунтів, їх властивостей та потенційної родючості.

Вміст гумусу – один із пріоритетних показників еколого-генетичного статусу ґрунту. Він є індикатором умов вологозабезпечення, адже за однакового гранулометричного складу ліпша забезпеченість вологою обумовлює більш інтенсивне накопичення гумусу. Особливості розподілу гумусу по профілю описуються параметрами гумусонакопичення через використання спеціальних коефіцієнтів. Українські ґрунтознавці розробили методичні підходи до визначення параметричних коефіцієнтів регресивності органопродію (КРО), профільного накопичення гумусу (КПНГ) і відносної акумуляції гумусу (КВАГ), що дозволяють визначати місце ґрунту на надтиповому, типовому та видовому рівнях відповідно [4, 5].

Дотепер були спроби параметризувати профільний розподіл гумусу [6, 7, 8], хоча оцінювалися тільки параметри гумусонакопичення по окремих горизонтах в абсолютних величинах або без урахування вмісту фізичної глини в моделях.

У діагностиці також важливу роль відіграє вміст обмінних катіонів та їх розподіл у профілі ґрунту, що є надійним індикатором зміни ґрунтових властивостей навіть за умови сталого вмісту гумусу [9,10].

Мета – апробувати набір критеріїв для визначення (кількісної діагностики) класифікаційної приналежності полігенетичних ґрунтів на однолесових терасах. Використанням у роботі параметричних відносних коефіцієнтів забезпечено комплексний підхід до визначення класифікаційної приналежності ґрунтів.

## 2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Дослідження проведено на однолесових терасах річок Ворскла, Псел, Сула та Сиверський Донець на території Сумської (Охтирський район), Полтавської (Семенівський і Козельщинський райони) та Харківської (Печенізький район) областей в межах Лівобережного Лісостепу. Використовували також архівні фондові матеріали, карти та експериментальні дані з результатів досліджень минулих років. Було закладено 20 розрізів на ґрунтах різного ступеню гідроморфності (від автоморфних до гідроморфних). Перелік ґрунтів, їх грансклад та ступінь гідроморфності представлено в таблиці 2. Гранулометричний склад ґрунтів різнився від легкосуглинкового до важкосуглинкового. Материнська порода – лес, підстелений давньоалювіальними пісками різної глибини залягання. Гідротермічний коефіцієнт вегетаційного періоду ( $ГТК_{V-IX}$ ) коливається у межах 0,9-1,0, що відповідає помірно зволоженій підзоні Лісостепу [4].

Закладання ґрунтових розрізів і відбирання проб ґрунту здійснювали впродовж теплих періодів 2015-2018 років згідно з ДСТУ 4287-2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб». Описування профілів ґрунтів виконано згідно з ДСТУ 7535:2014 «Якість ґрунту. Морфолого-генетичний профіль. Правила і порядок описування». Для кожного профілю визначено географічні координати за допомогою приладу супутникового геопозиціонування (GPS).

У відібраних пробах ґрунту визначали такі показники: (1) загальний вміст гумусу за Тюрнім (ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини); (2) гранулометричний склад ґрунту методом піпетки в модифікації Качинського (ДСТУ-4730:2007); (3) склад обмінних катіонів згідно з ДСТУ 7861:2015.

За визначеними параметрами показників розраховано такі параметричні коефіцієнти:

- КПНГ – коефіцієнт профільного накопичення гумусу. Розраховували у межах шару 0-100 см як відношення вмісту гумусу (%) до вмісту фізичної глини (сума гранулометричних фракцій <0.01 мм, %). Розрахунки вмісту гумусу і фізичної глини здійснювали відповідно схемі відбирання проб ґрунту з урахуванням фактичних потужностей генетичних горизонтів або суцільною колонкою – для кожних 10 см профілю;

- КВАГ – коефіцієнт відносної акумуляції гумусу. Розраховували як відношення середнього вмісту гумусу (%) до середнього вмісту фізичної глини (%) у шарі 0-30 см, віднесене до 10 % останньої;

- КРО – коефіцієнт регресивності органопродію. Розраховували як відношення середнього вмісту гумусу (%) у шарі 0-30 см до середнього вмісту гумусу у шарі 30-100 см.

Як контроль для порівняння використовували властивості автоморфних чорноземів типових з глибоким (понад 7 м) рівнем підґрунтових вод.

Колівання рівня підґрунтових вод у ґрунтах різного ступеню гідроморфності фіксували за допомогою свердловин навесні – в період весняного водопілля, та влітку – в межень.

### 3. Результати й обговорення

#### 3.1. Особливості гумусонакопичення у ґрунтах різного ступеню гідроморфності

Об'єктивно існуючим законом природи є зональність, яка знаходить адекватне відображення у властивостях ґрунтів, перш за все – в інтенсивності гумусонакопичення. Додаткове зволоження за рахунок підґрунтових вод і, частково, вод поверхневого стоку функціонально обумовлює збільшення інтенсивності гумусонакопичення. У зв'язку з непостійним рівнем підґрунтових вод описова морфологічна діагностика напівгідроморфних та гідроморфних ґрунтів повинна доповнюватись кількісною, з використанням розрахункових критеріїв.

Раніше було виявлено [4], що параметри профільного гумусонакопичення (КПНГ) у напівгідроморфних ґрунтах вище, ніж в автоморфних. Тобто, у профілі напівгідроморфних лучно-чорноземних ґрунтів може міститися на 20 % відносно більше гумусу за однакового з автоморфними ґрунтами вмісту фізичної глини (Табл. 1). Також встановлено, що чорноземно-лучні ґрунти, на відміну від лучно-чорноземних, характеризуються однаковими, порівняно з автоморфними ґрунтами, параметрами профільного гумусонакопичення або меншими, у разі розвитку процесів оглеєння у нижній частині профілю, і відповідно меншою потужністю гумусованої частини.

**Таблиця 1**

Вплив гідроморфності на параметри відносного гумусонакопичення (КВАГ і КПНГ) у ґрунтах Лісостепу [за 4]

ГТК <sub>V-IX</sub>	Зональний автоморфний ґрунт (фон)		Лучно-чорноземний ґрунт (напівгідроморфний)		Чорноземно-лучний ґрунт (гідроморфний)	
	КВАГ	КПНГ	КВАГ	КПНГ	КВАГ	КПНГ
0,90-1,10	0,98-1,10	0,075-0,100	1,20-1,35	0,090-0,125	1,20-1,35	0,060-0,080

Для перевірки параметрів гумусонакопичення у профілях обраних ґрунтів на території однолесових терас річок було розраховано показники КВАГ і КПНГ за архівними та власними даними вмісту гумусу і вмісту фізичної глини (Табл. 2).

**Таблиця 2**

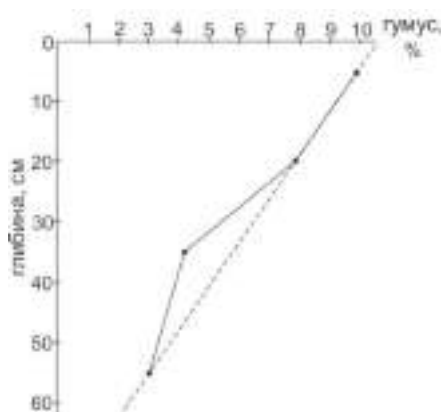
Параметри гумусонакопичення ґрунтів різного ступеню гідроморфності у регіонах дослідження (ГТК<sub>V-IX</sub> 0,9-1,0)

Регіон	Назва ґрунту	Гідроморфність <sup>1</sup>	КВАГ	КПНГ
			0-30 см	0-100 см
Полтавська область, Семенівський район	Чорнозем типовий важкосуглинковий	А	1,05	0,090
	Лучно-чорноземний середньосуглинковий	НГ	1,30	0,100
	Чорноземно-лучний середньосуглинковий	Г	1,30	0,080
	Лучно-чорноземний легкосуглинковий	НГ	1,30	0,100
Полтавська область, Козельщинський район	Чорнозем типовий важкосуглинковий	А	1,00	0,100
	Чорнозем опідзолений середньосуглинковий	А	0,95	0,085
	Лучно-чорноземний середньосуглинковий	НГ	1,10	0,080
	Чорноземно-лучний легкосуглинковий, підстелений супіском	Г	1,35	0,075
Харківська область, Печенізький район	Лучно-чорноземний легкосуглинковий	НГ	1,14	0,092
	Чорнозем типовий важкосуглинковий	А	1,10	0,100
	Чорнозем опідзолений важкосуглинковий	А	0,98	0,100
	Лучно-чорноземний опідзолений важкосуглинковий	НГ	1,00	0,084
Сумська область, Охтирський район	Чорноземно-лучний слабосолонцюватий легкосуглинковий, неглибоко підстелений супісками	Г	1,30	0,080
	Лучно-болотний легкосуглинковий	Г	1,60	0,100
	Чорнозем типовий важкосуглинковий	А	1,12	0,100
	Лучно-чорноземний середньосуглинковий	НГ	1,37	0,100
Сумська область, Охтирський район	Лучно-болотний важкосуглинковий на мергелистому оглеєному суглинку	Г	1,85	0,110
	Болотний осолоділий важкосуглинковий	Г	1,54	0,072
	Чорноземно-лучний середньосуглинковий	Г	1,50	0,080
	Лучно-болотний важкосуглинковий	Г	1,71	0,150

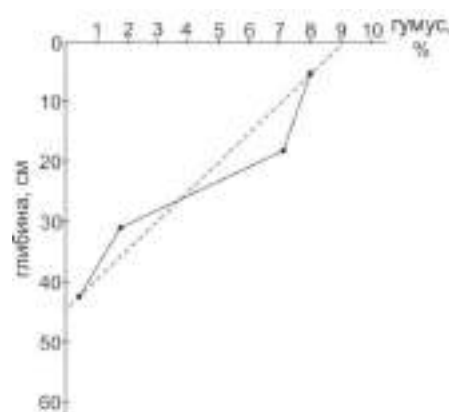
<sup>1</sup> Позначення гідроморфності ґрунтів: А – автоморфний; НГ – напівгідроморфний; Г – гідроморфний

Розраховані параметри гумусонакопичення свідчать про відмінності у розподілі гумусу по профілю напівгідроморфних та гідроморфних ґрунтів однолесових терас порівняно з уже відомими закономірностями ґрунтів дво- і трилесових та давніх терас річок Лівобережного Лісостепу. Головна відмінність однолесових терас – нижчий гіпсометричний рівень та близькість борової тераси. Це обумовлює полігенетичний характер ґрунтів, на що впливають пульсації рівня підґрунтових вод, підстилення давньоалювіальними пісками та періодичне поселення лісової рослинності. Тому, з одного боку, ґрунти однолесової тераси мають більш високі значення КВАГ через додаткове зволоження капілярними водами висхідного спрямування, а з іншого – нижчі значення КПНГ через значне полегшення гранулометричного складу вниз по профілю. Це стосується як напівгідроморфних, так і гідроморфних ґрунтів, хоча останні, як і на інших територіях, мають ознаки оглеєння в гумусованому профілі, що ще більше знижує параметри профільного гумусонакопичення.

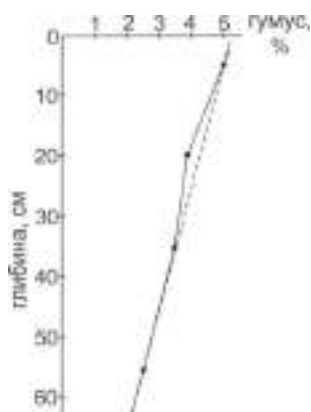
Для більш наочного відображення закономірностей розподілу гумусу по профілю було побудовано відповідні графіки для ґрунтів різного ступеню гідроморфності на території однолесової тераси р. Ворскла в Сумській області (Рис.1).



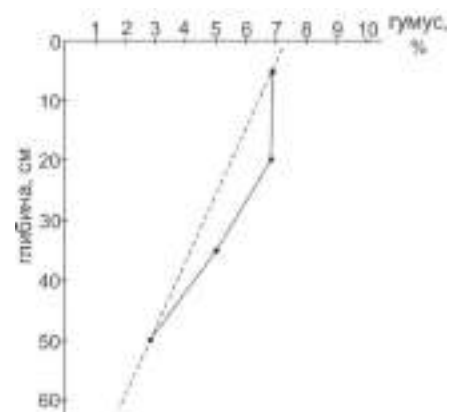
Лучно-болотний важкосуглинковий (Г)



Болотний осолоділий важкосуглинковий (Г)



Лучно-чорноземний середньосуглинковий (НГ)



Чорноземно-лучний середньосуглинковий (Г)

**Рис. 1.** Профільний розподіл гумусу в ґрунтах різного ступеню гідроморфності на території однолесової тераси р. Ворскла в Сумській області (НГ – напівгідроморфний; Г – гідроморфний)

У напівгідроморфних ґрунтах падіння вмісту гумусу по профілю не таке різке, як у гідроморфних. Пов'язано це з різною глибиною залягання оглеєного горизонту, який у гідроморфних ґрунтах знаходиться в межах профілю. При цьому вміст фізичної глини у всіх представлених ґрунтах залишається майже однаковим, з різницею в декілька відсотків.

Характер розподілу гумусу по профілю цих ґрунтів частково обумовлюється вмістом обмінних катіонів (Табл. 3). В автоморфних ґрунтах зі знизеним умістом органічної речовини меншою є і ємність катіонного обміну, особливо за рахунок  $\text{Ca}^{2+}$  та, меншою мірою,  $\text{Mg}^{2+}$ . Це є характерним, звичайно, тільки для безкарбонатних горизонтів, адже карбонати кальцію сприяють збільшенню вмісту зазначених катіонів, при цьому вміст органічної речовини продовжує зменшуватись.

Таблиця 3

Характеристика деяких ґрунтів різного ступеню гідроморфності

Ґрунт; регіон; ступінь гідроморфності <sup>1</sup>	Гене- тичний гори- зон	Шар, см	Вміст гумусу, %	Вміст обмінних катіонів, ммоль/100 г					Вміст фізичної глини (<0,01 мм), %
				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Σ	
Болотний осолоділий	Hd(t)	0-10	8,0	47,70	4,60	0,17	0,23	52,68	45,66
важкосуглинковий на лесі; тераса р. Ворскла; Сумська обл.; Г	H(gl)	10-27	7,3	50,10	4,86	0,31	0,12	55,36	43,34
	HGI	27-35	1,9	4,70	0,77	0,13	0,04	5,65	19,17
	PHGI	35-50	0,5	12,80	1,63	0,07	0,01	14,53	31,16
		50-60	0,2	12,80	2,88	0,13	0,13	15,94	-
Лучно-чорноземний опідзолений важкосуглинковий на лесі; тераса р. Сіверський Донець; Харківська обл.; НГ	H	0-10	5,0	17,80	3,06	0,08	0,97	21,88	44,28
		15-25	4,0	15,00	2,52	0,05	0,49	18,04	45,00
	Hr	30-40	4,0	12,50	2,16	0,02	0,19	14,86	40,69
		60-70	1,8	6,30	1,11	0,04	0,24	7,69	38,50
Ph(gl)	80-90	0,8	4,80	0,87	0,04	0,17	5,89	40,44	
Чорноземно-лучний слабосолонцюва- тий легкосуглин- ковий, неглибоко підстелений супісками; тераса р. Сіверський Донець; Харківська обл.; Г	He	0-10	3,7	13,70	2,10	0,05	0,20	16,05	22,92
		10-20	3,5	8,90	1,20	0,02	0,13	10,21	21,50
	Hr(i)	40-50	2,4	7,20	0,80	0,02	0,11	8,06	19,03
		60-70	0,9	3,90	0,50	0,02	0,10	4,52	11,06
P <sub>2</sub> hgl	80-90	0,7	2,50	0,30	0,02	0,06	2,92	-	
Чорноземно-лучний середньосуглинко- вий на оглеєному мергелистому суглинку; тераса р. Псел; Полтавська обл.; Г	H(gl)	0-10	6,7	11,90	3,77	0,11	0,48	16,26	33,52
		15-25	1,3	8,20	4,12	0,07	0,22	12,61	33,34
	Hr(gl)	30-40	1,2	8,36	4,43	0,11	0,28	13,18	31,67
		50-60	0,7	9,00	4,30	0,22	0,36	13,88	35,88
	70-80	0,2	10,06	3,95	0,35	0,37	14,73	38,31	

<sup>1</sup> Ступінь гідроморфності: НГ – напівгідроморфний; Г – гідроморфний

Для гідроморфних ґрунтів характерним є поступове зниження вмісту гумусу, ємності катіонного обміну та вмісту фізичної глини в оглеєних (gl) шарах та різке – в глеевих (GI). Такі особливості притаманні ґрунтам з непостійним, пульсуючим рівнем підґрунтових вод. Адже відомо, що навіть за відсутності візуально помітних ознак оглеєння зменшення ємності катіонного обміну є ознакою спорадичного виникнення анаеробних процесів [11].

### 3.2. Рівень підґрунтових вод у ґрунтах різного ступеню гідроморфності

Рівень підґрунтових вод є винятково важливим у морфогенезі напівгідроморфних та гідроморфних ґрунтів. Саме цей фактор впливає на розвиток процесів оглеєння в місцях застою води та на різний ступінь зволоження і, відповідно, гумусонакопичення в таких ґрунтах.

Для ґрунтів різного ступеню гідроморфності властиві коливання рівня підґрунтових вод залежно від сезону, що продемонстровано на прикладі однолесової тераси р. Ворскли в Сумській області. Найменшу амплітуду коливання рівня підґрунтових вод спостерігали у лучно-чорноземному ґрунті, найбільшу – у чорноземно-лучному. Ці зміни знайшли відображення у морфогенетичній будові профілів ґрунтів.

На прикладі болотного та лучно-болотного ґрунтів можна побачити, що коливання рівня підґрунтових вод проявилися по-різному (Рис. 2). У болотному ґрунті, з перепадом рівнів близько 47 см (від 23 см весною до 70 см у межень), процеси оглеєння розвиваються більшою мірою, що відбувається за тривалого застою вод після весняного водопілля. Це знайшло відображення в різкому переході верхнього гумусового горизонту до перехідного та зменшенні потужності гумусованого профілю.

У лучно-болотному ґрунті рівень підґрунтових вод нижчий весною (60 см) та коливається в межах 40 см (від 60 см до 100 см). Вода тут застоюється на коротший термін і за морфологічними ознаками профілю видно, що процеси оглеєння протікають не так довго й не так інтенсивно.

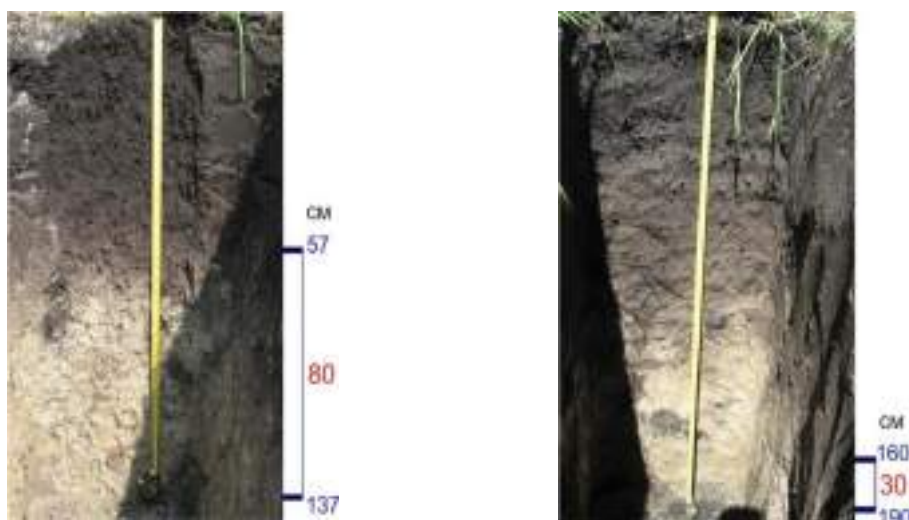


Болотний осолоділий важкосуглинковий

Лучно-болотний важкосуглинковий

**Рис. 2.** Ознаки коливання рівня підґрунтових вод у межах профілів гідроморфних ґрунтів (Сумська область)

У чорноземно-лучного (гідроморфного) ґрунту діапазон коливання рівня підґрунтових вод є найбільшим – 80 см. Ознаки оглеєння, спровоковані застоєм вод, помітні в нижній частині профілю. Профіль лучно-чорноземного (напівгідроморфного) ґрунту, з найменшими коливаннями в межах 30 см, не зазнає впливу процесу оглеєння, який розвивається тільки в материнській породі (Рис. 3).



Чорноземно-лучний середньосуглинковий (Г)

Лучно-чорноземний середньосуглинковий (НГ)

**Рис. 3.** Ознаки коливання рівня підґрунтових вод у межах профілів чорноземно-лучного та лучно-чорноземного ґрунтів (Сумська обл.)

### 3.3. Регресивність органопрофілю ґрунтів

Для виявлення приналежності ґрунтів до надтипового рівня організації педосфери раніше було обраховано коефіцієнт регресивності органопрофілю (КРО) [12], яким характеризується стрімкість зниження вмісту гумусу з глибиною у профілі ґрунту. Його значення для кожного ряду ґрунтоутворення практично ідентичні і не залежать від зональних гідротермічних умов (Табл. 4). Визначальним чинником параметра КРО є відношення маси коренів трав'янистих рослин, як основного джерела гумусу в ґрунтах, до коренів дендрофлори.

Для оцінки регресивності органопрофілю напівгідроморфних та гідроморфних ґрунтів однолесових терас було відповідно розраховано значення КРО (Табл. 5). У результаті виявилось, що гідроморфні ґрунти, такі як чорноземно-лучні, а особливо лучно-болотні, займають місце між опідзоленим та підзолистим рядами ґрунтоутворення, що діагностується за різким зниженням вмісту гумусу у шарі 30-100 см порівняно з шаром

0-30 см (Див. табл. 3). Тобто, вони мають найвищі серед досліджених ґрунтів значення коефіцієнту регресивності органопрофілю. Це пов'язано зі значним вмістом кореневої маси трав'янистих рослин у верхньому шарі та розвитком процесів оглеєння у середній та нижній частинах гумусованого профілю.

**Таблиця 4**

*Коефіцієнти відносного гумусонакопичення в ґрунтах різних рядів ґрунтоутворення у зоні Лісостепу [за 12]*

Ряд	ГТК <sub>v-ix</sub>	Ґрунт	Коефіцієнти відносного гумусонакопичення		
			КПНГ	КВАГ	КРО
Акумулятивний	0,90-1,40	Чорнозем типовий	0,075-0,100	0,98-1,35	1,5-1,6
	1,00-1,80	Чорнозем опідзолений	0,051-0,070	0,74-1,15	1,8-2,3
Опідзолений	1,05-1,80	Темно-сірий опідзолений	0,040-0,050	0,63-0,95	2,1-3,1
	1,17-1,80	Сірий лісовий	0,031- 0,040	0,40-0,70	2,1-3,6

Напівгідроморфні лучно-чорноземні ґрунти характеризуються більш рівномірним розподілом гумусу через відсутність ознак оглеєння у профілі та меншим умістом органічної речовини у верхньому шарі порівняно з гідроморфними. При цьому за розподілом гумусу вони подібні до ґрунтів акумулятивного ряду ґрунтоутворення, хоча за значенням КРО – до опідзоленого ряду.

**Таблиця 5**

*Значення КРО ґрунтів різного ступеню гідроморфності у регіонах дослідження*

Регіон	Ґрунт	Гідроморфність <sup>1</sup>	КРО
Харківська область, Печенізький район	Чорнозем типовий важкосуглинковий	А	1,60
	Чорнозем опідзолений важкосуглинковий	А	2,04
	Лучно-чорноземний опідзолений важкосуглинковий	НГ	2,05
	Чорноземно-лучний легкосуглинковий	Г	3,10
	Лучно-болотний легкосуглинковий	Г	3,90
Сумська область, Охтирський район	Чорнозем типовий важкосуглинковий	А	1,60
	Лучно-чорноземний середньосуглинковий	НГ	2,70
	Болотний осолоділий важкосуглинковий	Г	6,10
	Чорноземно-лучний середньосуглинковий	Г	3,40
	Лучно-болотний важкосуглинковий	Г	4,60

<sup>1</sup> Ступінь гідроморфності ґрунтів: А – автоморфний; НГ – напівгідроморфний; Г – гідроморфний



**Рис. 4.** Чорнозем опідзолений важкосуглинковий (Харківська область)

При цьому на однолесових терасах є свої, локальні особливості розподілу гумусу по профілю ґрунтів. Наприклад, ґрунт, попередньо визначений як чорнозем типовий (Рис. 4), у шарі 0-30 см містить менше гумусу, ніж чорноземи давніх терас та вододілів. За значенням КРО цей ґрунт можна віднести до опідзолених чорноземів, що пов'язано з періодичним поселенням лісової рослинності на території однолесової тераси [2].

За розподілом гумусу в профілі та, відповідно, значеннями КРО (від 2,05 до 2,7), напівгідроморфні ґрунти однолесових терас подібні до ґрунтів опідзоленого ряду ґрунтоутворення, а більшість гідроморфних (3,1-6,1) виходять за його межі. Це пов'язано з близькістю борової тераси, неоднаковим рівнем підґрунтових вод і різними за генезисом та глибиною підстилання породами.

#### 4. Висновки

Ґрунтовий покрив однолесової тераси має полігенетичний характер через поєднання різних чинників ґрунтоутворення та умов, які впливають на властивості ґрунтів. Дослідження ґрунтів з використанням морфологічного (профільного) методу є досить суб'єктивним. У зв'язку з цим виникає необхідність застосування кількісних діагностичних критеріїв для уточнення генетичного статусу ґрунтів. Розраховані параметри показників гумусонакопичення вказують на відмінності профільного розподілу гумусу в ґрунтах різного ступеню гідроморфності однолесових терас порівняно з ґрунтами терас вищого рівня та вододілів.

Досить часто ґрунтам однолесових терас притаманний пульсуючий рівень підґрунтових вод залежно від сезону, що призводить до утворення горизонтів з ознаками оглеєння, часто не помітних візуально. Тому використання показників вмісту гумусу та ємності катіонного обміну дозволяє діагностувати наявність оглеєних горизонтів.

За допомогою показника КРО було доведено наявність опідзолених чорноземів на однолесових терасах, які попередньо були діагностовані як чорноземи типові. Також встановлено вплив процесів опідзолення на формування ґрунтів різного ступеню гідроморфності, на що вказує не тільки вміст гумусу та його розподіл по профілю, а й вміст обмінних катіонів при близькому вмісті фізичної глини.

Використання параметрів гумусонакопичення в поєднанні з даними вмісту обмінних катіонів у ґрунтах дозволяє більш точно визначити їхні властивості та приналежність до певних класифікаційних одиниць надтипового й типового рівнів організації педосфери.

#### Список використаних джерел

1. Романова Т.А., Капилевич Ж.А. Водный режим как элемент генетической характеристики почв. *Почвоведение*. 1981. № 12. С. 5–15.
2. Соловей В.Б., Лебедь В.В. Опідзолени ґрунти однолесових терас річок Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 12. С. 26-33. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201812-03>.
3. Гринь Г.С. Агроґрунтові райони Лісостепової зони лівобережного високого та низовинного Лісостепу. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 12. Харків: "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 1969. С. 62-90.
4. *Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України* / М.І. Полупан, В.Б. Соловей, В.І. Кисіль, В.А. Величко. Київ: Колообіг, 2005. 304 с.
5. Полупан М.І. Соловей В.Б. Родючість ґрунту як природно-антропогенна його властивість, її види та параметрична оцінка. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 2. С. 17-24.
6. Маринина О.А., Терехин Э.А. Профильное распределение почвенных свойств и его значение для земельно-оценочных целей. *Научные ведомости БелГУ. Серия естественные науки*. 2014. № 10 (181). Вып. 27. С. 133-137.
7. Математическая модель профильного распределения гумуса в почве / Т.Б. Махлин, З.И. Поляк, И.И. Шилихина, М.М. Энтензон. *Почвоведение*. 1981. №6. С. 27–37.
8. Щеглов Д.И. Гумусовый профиль черноземов: морфогенетический анализ. *Вестник ВГУ. Серия химия, биология*. 2001. №1. С.111-115. URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2001/01/scheglov.pdf>.
9. Тронза Г.Е. Содержание и состав поглощенных катионов лугово-каштановых солонцеватых почв Крымского Причерноморья под различными фитоценозами и его трансформация при длительном рисосеянии. *Вісник ХНАУ. Серія Ґрунтознавство* № 2. 2013. С. 33-36.
10. Цвик Т.І. Особливості формування ґрунтів з диференційованим профілем в Карпатській гірсько-лісовій провінції. Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича. *Біологічні системи*. Т. 4. Вип. 1. 2012. С. 108-111.
11. Зайдельман Ф.Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв. МГУ, 1998. 301 с.
12. Пат. 101351 Україна, МПКG 01 N 33/24. Спосіб кількісного визначення надтипового рівня ґрунтоутворення / Соловей В.Б.; заявник та патентовласник Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». № u201501869; заявл. 03.03.2015; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 17.
13. *Генезис, эволюция и типология почвообразующих пород северо-востока Украины: Учеб. пособие* / Н.И. Лактионов, Д.Г. Тихоненко, Н.А. Горин [и др.]. Харьк. с.-х. ин-т им. В.В. Докучаева. Харьков, 1988. 72 с.
14. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Ленинград: Наука, 1980. 319 с.
15. Роде А.А. Генезис почв и современные процессы почвообразования. Москва: Наука, 1984. 256 с.
16. Crocker R.L. Soil genesis and the pedogenic factors. *Q. Rev. Biol.* 1952. 27. P. 139-168.
17. *Soil Genesis and Classification, Sixth Edition* / S.W. Buol, R.J. Southard, R.C. Graham, P.A. McDaniel. Wiley-Blackwell, 2011. 560 p. <https://doi.org/10.1017/S0014479711001402>.

UDC 631.47

**Quantitative diagnostics of soils varying hydromorphy degrees of one-loess terraces of rivers in the Forest-Steppe of Ukraine****V.V. Lebed\*, V.B. Solovey****NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky» Kharkiv, Ukraine**\*E-mail: [swdiscover@gmail.com](mailto:swdiscover@gmail.com)

The article specifies the features of humus accumulation in the soil profiles of one-loess terraces in order to clarify their classification belonging. The objects of the study were soils of varying degrees of hydromorphism on one-loess terraces of river's left-bank on the territory of Sumy, Poltava and Kharkiv regions within the limits of the Forest-Steppe of Ukraine. Methods of research: traditional field description of soil morphological characteristics; analytical determination of the total content of humus, content of granulometric fraction <0.01 mm (physical clay) and exchange cations; calculations of the parameters of humus accumulation and humus redistribution in the soil profile by the coefficients of profile accumulation of humus (CPAH), relative accumulation of humus (CRAH) and regression of organoprofile (CROP); field observations of groundwater seasonal ripples by wells. It is shown that the polygenetic nature of the soils in one-loess terraces is due to the specific dynamics of soil formation factors. The influence of the groundwater pulsing level on the soil morphogenesis and the intensity of humus accumulation have been determined. The expediency of application of parametrized estimations in the diagnostics of soils with discussion genesis has been proved. The identified of podzolization processes in semihydromorphic and hydromorphic soils based on content and distribution of exchange cations in profile as a consequence of the periodic settlement of forest vegetation on the territory of first-loess terraces. As a result was clarification the genetic status of the soils of one-loess terraces and establishment of their belonging to the overtypical and typical levels of the pedosphere organization.

**Keywords:** *degree of hydromorphism; humus accumulation; hydromorphic soils; one-loess terraces; quantitative diagnostics; regression of organoprofile; semihydromorphic soils; subsoil water.*

*Citing:* Lebed V.V., Solovey V.B. 2019. Quantitative diagnostics of soils varying hydromorphy degrees of one-loess terraces of rivers in the Forest-Steppe. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 22-30. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-03>.

УДК 631.474

## Модифікація «Індексу Продуктивності Пірса» та його використання для оцінки якості чорноземних ґрунтів Правобережного Степу України

С.Г. Чорний, Н.В. Вільна (Поляшенко)

Миколаївський національний аграрний університет, Миколаїв, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 18.02.2019 Отримано після доопрацювання 22.06.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019	Комплексна оцінка якості ґрунтів є необхідною процедурою у розробці системи агрохімічних, агротехнічних, фітосанітарних, меліоративних, протиерозійних та інших заходів у процесі активного землекористування. Вона необхідна також у процедурах вартісної оцінки сільськогосподарських земель, оцінки виробничої діяльності господарств та рослинницьких підрозділів окремих сільськогосподарських підприємств тощо. Метою досліджень була розробка процедури адаптації до умов Правобережного Степу України популярного у багатьох країнах світу Індексу Продуктивності Пірса. Окремими завданнями, які витікають з поставленої мети, були модифікація структури цього індексу, трансформація структури параметра $WF_i$ (частка коренів у кожному шарі ґрунту) з урахуванням структури посівних площ, яка існує в регіоні, проведення польових досліджень для визначення профільного розподілу попередньо визначених показників родючості та комплексна оцінка якості як чорноземів повнопрофільних звичайних і південних на вододілах, так і еродованих ґрунтів на схилах. Проведені процедури адаптації та розрахунки показали, що схилі короткопрофільні (еродовані) ґрунти мають суттєво менші значення Індексу Продуктивності порівняно з нееродованими ґрунтами на вододілах. Так, за розрахунками на шар ґрунту 0-100 см, модифікований індекс продуктивності (MPI) чорноземів звичайних на вододілах був на 10-17 % більшим, ніж на схилах: 0,69-0,64 на вододілах та 0,58-0,59 на схилах. Що стосується чорноземів південних, то ця різниця була ще більшою: 0,68 на вододілах та 0,40 на схилах. Це пояснюється тим, що еродовані ґрунти мають в цілому гірші характеристики щільності будови, вмісту гумусу, рухомого фосфору та калію. Найбільший контраст між властивостями еродованих та нееродованих відмін спостерігається у верхніх шарах ґрунтів, а з глибиною ця різниця зникає. Запропонована процедура оцінки якості ґрунту через модифікований індекс продуктивності може бути застосованою як у Правобережному Степу України, так і в інших ерозійно небезпечних регіонах з чорноземами та великою часткою схилених земель; цей показник об'єктивно характеризує зміну родючості ґрунту в умовах інтенсивного прояву ерозійних процесів.
<i>Ключові слова:</i>  <i>індекс продуктивності; якість ґрунтів; чорнозем звичайний; чорнозем південний; еродовані ґрунти.</i>	

\* E-mail: s.g.chorny@ gmail.com

*Форма цитування:* Чорний С.Г., Вільна (Поляшенко) Н.В. Модифікація «Індексу Продуктивності Пірса» та його використання для оцінки якості чорноземних ґрунтів Правобережного Степу України. *Агрехімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2019. С. 31-39. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-04>.

### 1. Вступ

Комплексне оцінювання якості ґрунтів шляхом їх бонітування або використання інших методик з інтегрованими показниками родючості – необхідна процедура для розробки й визначення черговості проведення агрохімічних, агротехнічних, фітосанітарних, меліоративних, протиерозійних та інших заходів за активного землекористування в конкретних господарствах, адміністративних районах та областях. Інколи такі методики є необхідними для вартісної оцінки сільськогосподарських земель, оцінки виробничої діяльності господарств та рослинницьких підрозділів сільськогосподарських підприємств.

Важливою проблемою комплексного оцінювання якості ґрунтів сільськогосподарського призначення є те, що показники, які використовуються у розрахунках, повинні бути зв'язані з урожайністю певних сільськогосподарських культур на певній території. Але, як правило, вибір критеріїв оцінювання спирається на суб'єктивну експертну оцінку авторів методик, що є (ймовірно) джерелом помилок.

В літературі зустрічаються різні підходи щодо комплексного оцінювання якості ґрунтів, які мають як універсальне значення для досить великих територій, так і локальне застосування. Це, наприклад, «відносний індекс комплексу агрохімічних властивостей ґрунту» [1], «узагальнений показник якості ґрунтів» [2], «комплексна оцінка якості ґрунтів за технологією SMAF» [3], «Індекс Продуктивності Пірса» [4], та інші показники, відносно повний перелік яких висвітлено в роботі [5].

Треба зазначити, що для комплексного оцінювання якості ґрунтів у більшості

випадків використовують стандартні показники, які визначаються в процесі виготовлення Агрехімічного (або еколого-агрехімічного) паспорту земельної ділянки. Основним недоліком такого переліку показників ґрунтової родючості є неврахування властивостей ґрунту поза орним шаром. Лише в деяких методиках фігурує «потужність гумусового горизонту» як окремий критерій родючості, але властивості ґрунту у профілі, а також властивості підґрунтя в розрахунку не використовуються. Неврахування властивостей всього ґрунтового профілю в оцінці якості ґрунтів може дати особливо спотворені результати у розрахунках продуктивності схилкових і короткопрофільних ґрунтів різного ступеню еродованості, коли орний шар ґрунту може мати найкращі характеристики, але весь ґрунту межах гумусового горизонту або іншого фіксованого шару, який визначає урожайність сільськогосподарських культур, буде набагато нижчої якості порівняно з повнопрофільними ґрунтами вододілів.

Слід зазначити, що кардинальна перевага методики з використанням Індексу Продуктивності [4] полягає в тому, що у розрахунок беруть не тільки характеристики орного шару, а й параметри властивостей у метровому шарі ґрунту, визначені через кожні 10 см. А отже, згідно з вихідними роботами американських авторів [4], які проводили свої дослідження у межах Зернового поясу США, Індекс Продуктивності (PI, Productivity Index) ґрунтів пропонується розраховувати як суму кількісної пошарової оцінки родючості метрової товщі:

$$PI = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot C_i \cdot D_i \cdot WF_i), \quad (1)$$

де  $A_i$  – здатність ґрунту до утримання вологи,  $C_i$  – щільність ґрунту,  $D_i$  – рН ґрунтового розчину,  $WF_i$  – параметр, що показує на частку коренів у кожному шарі ґрунту в середніх умовах його зволоження,  $n$  – кількість шарів ґрунту,  $i$  – номер шару ґрунту. Показники  $A_i$ ,  $C_i$ ,  $D_i$ ,  $WF_i$  нормовані від 0 до 1.

Параметр  $WF$  розраховується як [4]:

$$WF = 0,35 - 0,152 \times \lg \left( h + \sqrt{h^2 + 6,45} \right), \quad (2)$$

де  $h$  – глибина ґрунту, см.

Приведені вище показники родючості авторами розглядалися як «незамінні», тобто такі, які не піддаються поліпшенню шляхом застосування певних елементів агротехніки у процесі вирощування сільськогосподарських культур або впровадження спеціальних програм меліорації. У більш пізніх роботах різних авторів для розрахунку Індексу Продуктивності Пірса фігурують інші показники, наприклад, вміст водорозчинних солей, вміст обмінного натрію, водопроникність ґрунту, електропровідність, вміст гумусу, вміст окремих поживних елементів, параметри гранулометричного складу ґрунту тощо [6, 7, 8 та ін.]. Підхід Пірса зі співавторами до оцінки якості ґрунтів виявився настільки продуктивним, що різні модифіковані варіанти моделі (1) були застосовані в інших частинах Сполучених Штатів та в різних країнах не тільки для кількісної оцінки родючості, але й для вирішення інших прикладних завдань – оцінки деградації ґрунтів під впливом ерозії, оцінки допустимих норм ерозії тощо [9, 10, 11, 12].

Отже, враховуючи вище сказане, метою наших досліджень було вивчення можливості адаптації моделі (1) до умов Правобережного Степу України з модифікацією структури моделі та з урахуванням наявності в регіоні великих площ схилів, зайнятих короткопрофільними еродованими ґрунтами. Окремими завданнями, які витікають з поставленої мети, були такі: визначення нового переліку показників, які повинні фігурувати в розрахунках, згідно з (1); трансформація структури показника  $WF_i$  з урахуванням наявної структури посівних площ в регіоні; проведення польових досліджень для визначення внутрішньопротильного розподілу показників родючості; комплексне оцінювання (за експериментальними даними) родючості як повнопрофільних чорноземів на вододілах, так і еродованих ґрунтів на схилах.

## 2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Для досягнення мети було зроблено аналіз існуючих реалізацій моделі Пірса в різних частинах Світу та проведено польові дослідження. Зокрема, в Миколаївському і Братському районах Миколаївської області було закладено чотири пари розрізів, по одному на вододілах та по одному на схилах з короткопрофільними еродованими ґрунтами. Досліджувані ґрунти були представлені чорноземами південними та звичайними. Характеристику місць закладення ґрунтових розрізів наведено у таблиці 1.

**Таблиця 1**  
Характеристика місць закладення ґрунтових розрізів

№	Ґрунт	Гумусований шар (Н+Нр), см	Елемент рельєфу	Район	Координати розрізів	
					N	E
1	Чорнозем звичайний нееродований (ЧЗне-1)	78	вододіл	Братський	47°53'08,5"	31°48'10,6"
2	Чорнозем звичайний еродований (ЧЗе-1)	54	схил	Братський	47°53'06,1"	31°48'26,0"
3	Чорнозем південний нееродований (ЧПне-1)	47	вододіл	Миколаївський	46°55'20,5"	31°40'56,2"
4	Чорнозем південний еродований (ЧПе-1)	32	схил	Миколаївський	46°54'35,4"	31°40'04,4"
5	Чорнозем звичайний нееродований (ЧЗне-2)	72	вододіл	Братський	47°53'28,8"	31°49'11,3"
6	Чорнозем звичайний еродований (ЧЗе-2)	52	схил	Братський	47°53'03,1"	31°49'17,0"
7	Чорнозем південний нееродований (ЧПне-2)	55	вододіл	Миколаївський	46°53'54,0"	31°40'55,9"
8	Чорнозем південний еродований (ЧПе-2)	42	схил	Миколаївський	46°53'41,7"	31°40'37,0"

З кожного розрізу було відібрано проби ґрунту з кожних 10 см профілю ґрунту у порушеному та непорушеному станах. У лабораторних умовах, згідно зі стандартизованими методиками, визначали такі властивості ґрунтів: гранулометричний склад [13]; щільність будови ґрунту [14];  $pH_{H_2O}$  ґрунтового розчину [15]; вміст гумусу [16]; вміст рухомих сполук фосфору і калію [17]. Як буде показано нижче, саме ці властивості ґрунтів були використані в процедурах модифікації індексу продуктивності та його адаптації до умов Правобережного Степу України.

### 3. Результати досліджень

#### 3.1. Модернізація структури моделі (1)

Недоліком математичної моделі (1) є те, що нормовані параметри, якими визначено родючість ґрунтів, є рівноцінними між собою, що є певним перебільшенням. Зокрема, очевидно, що функція  $WF$  не має прямого відношення до продуктивності ґрунту, а показує лише вагу коренів кожного шару ґрунту в формуванні загальної продуктивності всього ґрунту. Слід також зазначити, що функція (2) в оригінальній роботі [4] розроблена лише на основі даних розподілу кореневої системи кукурудзи в ґрунтах штату Вісконсін у США і не може бути універсальною для всіх випадків. А тому, на наш погляд, зберігаючи ідеологію моделі (1), ми можемо вибрати більш точний підхід до комплексного оцінювання родючості чорноземних ґрунтів Правобережного Степу України на основі індексу продуктивності, провівши певну модернізацію вихідної моделі (1).

Деякі аспекти модифікації моделі (1) вже були опубліковані в наших роботах [11], присвячених використанню моделі Пірса для оцінки допустимої норми ерозії. Зокрема, в цих роботах пропонується розраховувати пошарове значення індексу як середнє геометричне тільки «ґрунтових», визначених окремо, складових індексу, перемножене на величину функції  $WF$  по кожному шару ґрунту.

Що стосується переліку показників родючості, які необхідно використовувати в рівнянні (1), то це ті параметри, які застосовуються в Україні для бонітування степових чорноземних ґрунтів. У найбільш сучасній та детальній методиці з бонітування українських ґрунтів, на підставі існуючих кореляційних зв'язків у системі «ґрунт-урожай», рекомендується використовувати 6 показників, які найбільш повно характеризують ґрунтову родючість чорноземної зони України [18]. Це вміст гумусу,  $pH$  ґрунтового розчину, вміст фізичної глини за гранулометричним аналізом, щільність будови, вміст рухомих форм фосфору та калію. Але аналіз вихідних даних показав, що у всіх ґрунтових профілях чорноземів звичайного та південного Правобережного Степу України гранулометричний склад є досить одноманітним: вміст фізичної глини змінюється в діапазоні 55-60 %, а тому вирішального впливу на родючість цей показник у таких умовах не чинить.

Отже, в нашому випадку, для чорноземів Правобережного Степу модифікований Індекс Продуктивності (MPI) буде мати такий вигляд:

$$MPI = \sum_{i=1}^n (h_i \cdot \rho h_i \cdot \gamma_i \cdot \rho_i \cdot \kappa_i)^{0,2} \cdot WF_i \quad (3)$$

де  $i$  – номер кожного з шарів ґрунту ( $i=1, 2, 3, \dots, 10$ );  $h_i, \rho h_i, \gamma_i, \rho_i, \kappa_i$  – відповідно, нормовані від 0 до 1 значення вмісту гумусу, рН, щільності будови, вмісту рухомого фосфору й обмінного калію в  $i$ -му шарі ґрунту;  $WF_i$  – параметр, що показує частку коренів рослин від їх загальної кількості в кожному  $i$ -му шарі.

### 3.2. Нормування складових моделі (1)

Опрацювання літературних даних щодо впливу вмісту гумусу на урожайність сільськогосподарських культур [18, 19] показало, що в умовах Степу України вміст гумусу в 3,5 % можна вважати максимально «критичним» значенням для сільськогосподарських культур. Значення вмісту гумусу вище 3,5 % вже не впливає на врожайність, а тому після нормування цього показника в моделі MPI (3) він буде дорівнювати 1. А отже, загальний вираз процедури нормування буде мати таку структуру:

$$h_i = \begin{cases} h/3,5, & \text{якщо } h \leq 3,5 \% \\ 1, & \text{якщо } h > 3,5 \% \end{cases} \quad (4)$$

де  $h$  – фактичний вміст гумусу в кожному шарі ґрунту, %.

Вплив рН ґрунтового розчину на продуктивність ґрунту, як правило, визначається певним «оптимальним діапазоном», що є найбільш сприятливим для росту і розвитку більшості сільськогосподарських культур. Він дорівнює значенню  $pH_{H_2O}$  від 6,5 до 7,7 [18]. Надмірно високий (більше 8,0) та надмірно низький (менше 6,0) показники  $pH_{H_2O}$  ґрунту негативно діють на кореневі системи рослин. В ґрунтах, які досліджувалися, рівень  $pH_{H_2O}$  в цілому знаходиться в межах 6,0-8,5. Враховуючи це, а також використовуючи узагальнювальні роботи щодо впливу рН на врожайність сільськогосподарських культур [зокрема, 18], ми отримали певну залежність, яку можна застосовувати для нормування значень  $pH_{H_2O}$  у базовій моделі модифікованого Індексу Продуктивності (3):

$$\rho h_i = -0,067 \cdot (pH)^2 + 0,875 \cdot (pH) - 1,863, \quad (5)$$

де  $pH$  – фактичне значення кислотності (лужності) ґрунтового розчину.

Вплив щільності будови українських ґрунтів на їх продуктивність наведено у монографії [20]. Для важкосуглинкових та глинистих чорноземів південних та звичайних у цій публікації пропонується залежність між продуктивністю, яка має вираз у частках одиниці, та щільністю будови ґрунту. Якщо скористатися цією функцією, то процедуру нормування слід виконувати за такою технологією:

$$\gamma_i = \begin{cases} \gamma_i = 1 - 5,00 \times (Y - 1,20)^2 & \text{якщо } Y \leq 1,65 \text{ г/см}^3 \\ \gamma_i = 0,1, & \text{якщо } Y > 1,65 \text{ г/см}^3 \end{cases} \quad (6)$$

де  $Y$  – щільність будови ґрунту,  $\text{г/см}^3$ .

Для розробки процедури нормування вмісту рухомого фосфору для моделі MPI (3) було опрацьовано ряд літературних джерел [19, 21]. Виходячи з цих робіт, було визначено, що коли вміст рухомого фосфору у ґрунтах вище ніж 45 мг/кг ґрунту, то його подальше зростання вже не впливає на врожайність сільськогосподарських культур. А тому:

$$\rho_i = \begin{cases} P/45, & \text{якщо } P \leq 45 \\ 1, & \text{якщо } P > 45 \end{cases} \quad (7)$$

де  $P$  – вміст рухомого фосфору, мг/кг.

Узагальнення щодо впливу обмінного калію на продуктивність ґрунтів, зроблені в роботах [19, 22], дали змогу виявити, що вміст обмінного калію більше ніж 300 мг/кг ґрунту не впливає на врожайність сільськогосподарських культур. А тому процедура нормування показника  $\kappa_i$  буде мати такий вигляд:

$$\kappa_i = \begin{cases} K/300, & \text{якщо } K \leq 300 \\ 1, & \text{якщо } K > 300 \end{cases} \quad (8)$$

де  $K$  – вміст обмінного калію, мг/кг.

### 3.3. Модифікація показника $WF$

Як сказано вище, показник  $WF$  є показником впливу конкретного шару ґрунту на його загальну продуктивність в умовах середньої зволоженості ґрунту. Приведена вище реалізація цієї функції (2) не може використовуватися в умовах Правобережного Степу України, тому що не враховує специфічний набір культур, які вирощуються в цьому регіоні. Узагальнення щодо розподілу в ґрунті кореневих систем основних сільськогосподарських культур помірного природного поясу Світу проведено в роботі [23]. База даних, яку було покладено в основу вихідної моделі, була скомпільована з журналів та книжкових розділів шляхом пошуку джерел, індексованих у Scopus та Google Scholar. Усього в базу даних було включено 96 корневих профілів для 11 сільськогосподарських культур. Узагальнення відбувалося через побудову кумулятивної кривої розподілу маси корневих систем у ґрунті за допомогою рівняння логістичної кривої «доза-ефект» [23]:

$$Y(h) = \frac{1}{1+(\frac{h}{d_a})^c} + \left[ 1 - \frac{1}{1+(\frac{d_{max}}{d_a})^c} \right] \cdot \frac{h}{d_{max}}, \quad (9)$$

де  $Y_i(h)$  – значення кумулятивної кривої вмісту коренів певної сільськогосподарської культури в частках одиниці в точці профілю ґрунту  $h$ , см;  $d_a$  та  $c$  – параметри кривої,  $d_{max}$  – максимальна довжина коренів певної культури, см.

Значення цих параметрів для основних сільськогосподарських культур помірної природної зони Світу визначені в роботі [23]. Для отримання деякого середнього показника для умов регіону Правобережного Степу України були розраховані параметри  $d_a$ ,  $c$ ,  $d_{max}$  як середньозважені з урахуванням площ сільськогосподарських культур в регіоні (Табл. 2).

**Таблиця 2**

Параметри визначення показника  $WF$

Сільськогосподарська культура	Частка у структурі посівних площ регіону	$d_a$	$c$	$d_{max}$
Озима пшениця	0,28	17,2	-1,286	150,4
Кукурудза	0,07	14,9	-1,151	118,3
Ярий та озимий ячмінь	0,18	11,8	-1,060	146,1
Бобові культури (горох, соя)	0,02	16,2	-1,115	104,8
Олійні культури (соняшник, ріпак)	0,35	10,0	-0,671	133,0
Багаторічні трави	0,01	20,7	-1,032	176,8
Інші	0,09	15,0	-1,117	141,9
Середнє зважене	-	13,4	-0,999	139,9

Примітка.  $d_a$  та  $c$  – параметри кумулятивної кривої вмісту коренів;  
 $d_{max}$  – максимальна довжина коренів певної культури, см

Показники структури посівних площ регіону за кілька останніх років було взято з сайту Державної служби статистики [24]. Очевидно, що значення  $WF_i$  у шарі ґрунту  $h$  у базовій моделі оцінки продуктивності (3) можна буде визначити таким чином:

$$WF_i = Y(h)_j - Y(h)_i, \quad (10)$$

де  $Y(h)_j$  – значення функції (9) на верхній межі шару ґрунту  $h$ ;  $Y(h)_i$  – значення функції (9) на нижній межі шару ґрунту  $h$ .

#### 4. Обговорення результатів досліджень

Результати розрахунків базової моделі модифікованого Індексу Продуктивності (3) за даними восьми профілів чорноземів південних та звичайних наведено в таблиці 3.

Як видно з таблиці 3, схиліві коротко профільні (еродовані) ґрунти мають суттєво менше значення модифікованого індексу порівняно з нееродованими ґрунтами вододілів. Так, за результатами розрахунків у шарі ґрунту 0-100 см, *MPI* чорноземів звичайних на вододілах, був на 10-17 % вищим, ніж в аналогічних еродованих відмінах на схилах: 0,69-0,64 на вододілах та 0,58-0,59 на схилах. Приблизно таке ж зменшення величини індексу спостерігається і у шарах ґрунту 0-50 та 0-30 см (Табл. 3). Що стосується чорноземів південних, то в парі розрізів ЧП<sub>не</sub>-1 та ЧП<sub>е</sub>-1 ситуація є ще більш різкою. Схиліві короткопрофільні ґрунти на 70 % мають менші значення *MPI* в шарі 0-100 см: 0,68 на нееродованих ґрунтах та 0,40 – на еродованих. Приблизно таке ж співвідношення спостерігається у розрахунках модифікованого індексу продуктивності і для інших шарів ґрунту (0-30 та 0-50 см).

**Таблиця 3**

Значення *MPI* для чорноземних ґрунтів Правобережного Степу України

Шар ґрунту, см	Значення <i>MPI</i>							
	ЧЗне-1	ЧЗе-1	ЧЗне-2	ЧЗе-2	ЧПне-1	ЧПе-1	ЧПне-2	ЧПе-2
0-30	0,57	0,51	0,61	0,52	0,62	0,36	0,53	0,51
0-50	0,62	0,55	0,66	0,56	0,65	0,39	0,57	0,55
0-100	0,64	0,58	0,69	0,59	0,68	0,40	0,60	0,57

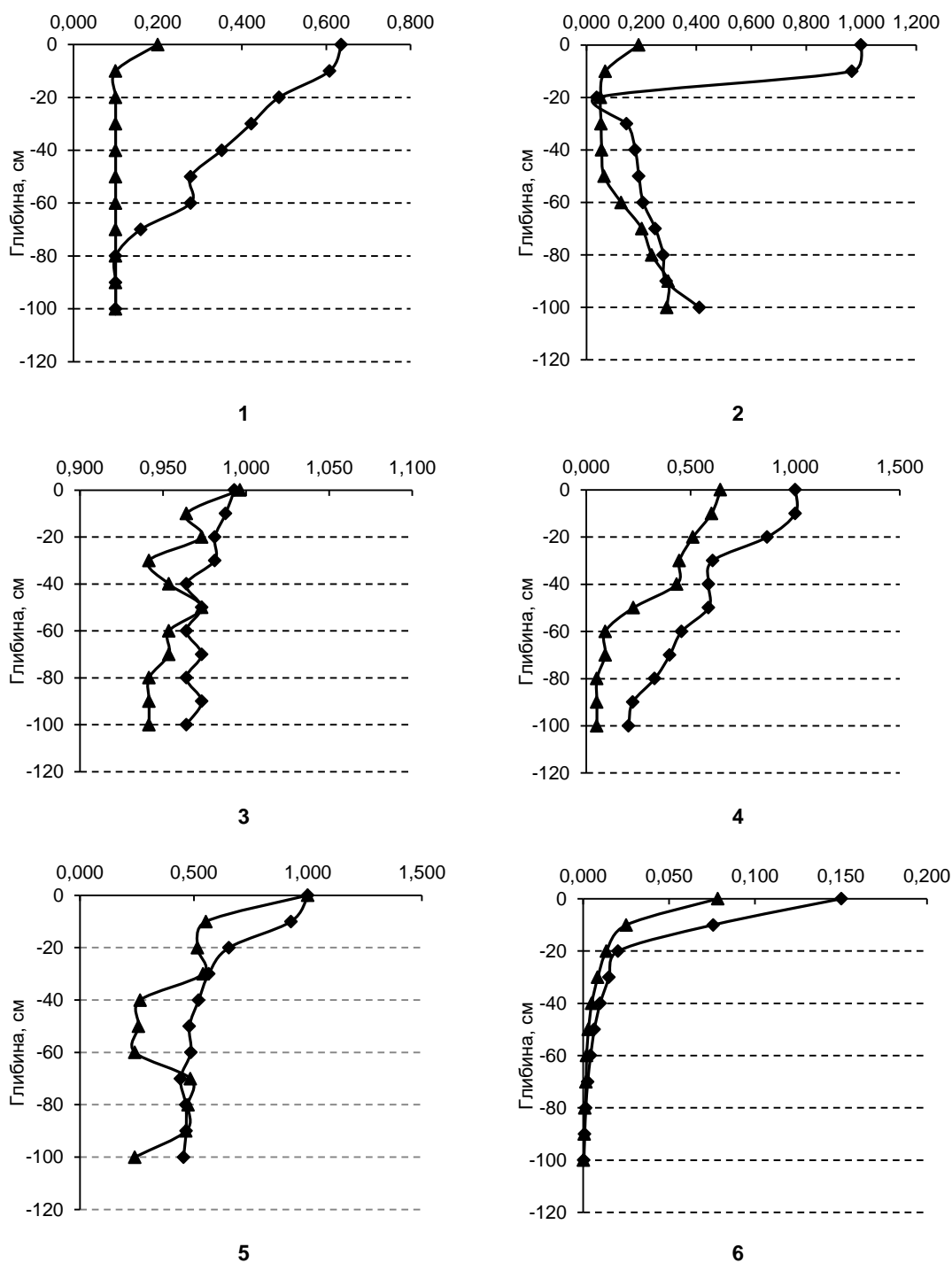
Формальне погіршення родючості схилівих еродованих ґрунтів, що зафіксовано запропонованою методикою, підтверджується результатами конкретних польових досліджень властивостей ґрунтів, результати яких покладено в основу розрахунків за формулами (3-10). На рисунку зображено профільний розподіл нормованих значень параметрів ґрунтової родючості для розрізів ЧП<sub>не</sub>-1 та ЧП<sub>е</sub>-1, на якому показано, що еродовані ґрунти мають гірші характеристики щільності будови, вмісту гумусу, рухомого фосфору та калію. Очевидних змін не виявлено лише в профільному розподілі нормованого значення рН.

Очевидно, що розрахунки, згідно з базовою моделлю (3), вказують на те, що і профільні розподіли добутку  $(h_i \cdot ph_i \cdot \gamma_i \cdot \rho_i \cdot \kappa_i)^{0,2} \times WF_i$  на вододілі і на схилах в одних і тих самих шарах ґрунту будуть сильно розрізнятися між собою (Рис. 1). Тим більше, що величина  $WF_i$  для кожного шару ґрунту має фіксоване значення, яке не залежить від ступеню еродованості ґрунту.

В той же час, внаслідок зменшення величин ґрунтових складових індексу, величина пошарового добутку  $(h_i \cdot ph_i \cdot \gamma_i \cdot \rho_i \cdot \kappa_i)^{0,2} \times WF_i$ , як для нееродованих, так і для еродованих ґрунтів, особливо за межами орного шару, швидко зменшується з глибиною (Рис. ).

Результати розрахунків показують, що добуток  $(h_i \cdot ph_i \cdot \gamma_i \cdot \rho_i \cdot \kappa_i)^{0,2} \times WF_i$  в чорноземних ґрунтах у межах орного шару зменшується приблизно на 5-8 % на кожні 10 см в глибину. Нижче орного шару, у більшості випадків, зниження цього добутку не перевищує 2,5 % на кожний 10-сантиметровий шар ґрунту. В цілому, різниця між еродованими і нееродованими ґрунтами досягає максимуму у верхніх шарах, і мінімуму – у нижніх. Останнє пояснюється тим, що зі збільшенням глибини, як у межах гумусового горизонту, так і поза його межами, і на схилі, і на вододілі, властивості ґрунтів швидко погіршуються і на глибині в 60-70 см вони приблизно однакові і більш притаманні вихідній лесовій материнській породі з її високою щільністю та невеликим умістом гумусу і поживних елементів. А тому різниця добутку  $(h_i \cdot ph_i \cdot \gamma_i \cdot \rho_i \cdot \kappa_i)^{0,2} \times WF_i$  між еродованими та нееродованими відмінами в цих шарах практично зникає.

Але в цілому слід сказати, що методика оцінки родючості через модифікований індекс продуктивності (3) добре реагує на еродованість ґрунтів і може бути застосована для кількісних визначень якості ґрунтів у Правобережному Степу України та і в інших регіонах з великою часткою схилівих земель і небезпекою ерозії ґрунту.



**Рис.** Розподіл по профілю чорноземів південних нормованих значень: 1 – щільність будови ґрунту; 2 – вміст рухомого фосфору; 3 –  $pH_{H_2O}$ ; 4 – вміст гумусу; 5 – вміст обмінного калію; 6 – добуток  $(h_i \cdot p h_i \cdot \gamma_i \cdot \rho_i \cdot \kappa_i)^{0,2} \times W F_i$ . ▲ - ЧП<sub>e</sub>-1; ◆ - ЧП<sub>не</sub>-1.

## 5. Висновки

1. Огляд літератури показав, що математична структура Індексу Продуктивності Пірса може бути використана для комплексної кількісної оцінки якості ґрунтів Правобережного Степу України за певної модифікації.

2. Процедура модифікації Індексу Продуктивності складалась зі зміни його структури, визначення нового переліку показників родючості ґрунту (щільність будови, вміст гумусу, pH ґрунтового розчину, вміст рухомого фосфору та обмінного калію), що притаманні умовам Правобережного Степу України та трансформації структури показника  $W F_i$  з урахуванням співвідношення посівних площ в регіоні.

3. Розрахунки за даними восьми ґрунтових профілів показали, що схилові короткопрофільні ґрунти мають суттєво менші значення модифікованого індексу порівняно з нееродованими ґрунтами вододілів. Так, у розрахунках на шар ґрунту 0-100 см, МРІ чорноземів звичайних на вододілах, був на 10-17 % більшим ніж аналогічних еродованих відмін на схилах: 0,69-0,64 на вододілах та 0,58-0,59 на схилах. Що стосується чорноземів південних, то в одній парі розрізів різниця була ще більшою: 0,68 на нееродованих ґрунтах та 0,40 на еродованих. Еродовані ґрунти мають в цілому гірші характеристики щільності будови, вмісту гумусу, рухомого фосфору та обмінного калію. Очевидних змін не виявлено лише в профільному розподілі нормованого значення рН. Найбільший контраст між властивостями еродованих та нееродованих відмін спостерігається у верхніх шарах ґрунту, а з глибиною ця різниця зникає.

4. Запропонована методика оцінювання ґрунту через модифікований Індекс Продуктивності може використовуватися для кількісних визначень якості ґрунтів у Правобережному Степу України та інших ерозійно небезпечних регіонах з великою часткою схилових земель тому, що він дозволяє об'єктивно висвітлити зміну родючості в умовах інтенсивного прояву ерозійних процесів.

### Список використаних джерел

1. Кулаковская Т.Н. Роль химизации в решении проблемы расширенного воспроизводства почвы. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1983. № 10. С. 37-46.
2. Гринченко Т.А., Егоршин А.А. Комплексная оценка эволюции плодородия почв и степени их окультуренности при длительном воздействии мелиорации и удобрений. *Агротехника*. 1984. № 11. С. 45-53.
3. Karlen D.L., Stott D.E.; Cambardella C. A.; Kremer R.J., McCarty G.W. Surface soil quality in five Midwestern cropland Conservation Effects Assessment Project watersheds. *J. Soil Water Conserv.* 2014. № 69. P. 393-401. doi:10.2489/jswc.69.5.393.
4. Pierce F.J., Larson W.E., Dowdy R.H., Graham W.A.P. Productivity of soils: assessing long-term changes due to erosion. *J. Soil and Water Conservation*. 1983. №38. P. 39-44. URL: <http://www.jswconline.org/content/38/1/39.short>.
5. Чорний С.Г. Оцінка якості ґрунтів: навчальний посібник. Миколаїв: МНАУ. 2018. 233 с. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/3259>.
6. Mulengera M.K., Payton R.W. Modification of the productivity index model. *Soil and Tillage Research*. 1999. № 52. P. 11-19. URL: [https://www.researchgate.net/publication/240391515\\_Modification\\_of\\_the\\_productivity\\_index\\_model](https://www.researchgate.net/publication/240391515_Modification_of_the_productivity_index_model).
7. Duan X., Xie Y, Fen Y.J. Study on the method of soil productivity assessment in northeast black soil regions of China. *Scientia Agriculturae Sinica*. 2009. № 42(5). P. 1656-1664. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1671292708602345>.
8. Sambodo A.P., Setiawan M.A., Rokhmaningtyas R.P. The evaluation of modified productivity index method on the transitional volcanic-tropical landscape. International Conference on Climate Change. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 200.2018. 012011. doi:10.1088/1755-1315/200/1/012011.
9. Pierce F.J., Larson W.E., Dowdy R.H. Soil loss tolerance: Maintenance of long-term soil productivity. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1984. №39 (2). P. 136-138. URL: <http://www.jswconline.org/content/39/2/136.short>.
10. Duan X., Xie Y., Liu B., Liu G., Feng Y., Gao X. Soil loss tolerance in the black soil region of Northeast China. *J. Geogr. Sci.* 2012. № 22(4). P. 737-751. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11442-012-0959-5>.
11. Черный С.Г., Поляшенко Н.В. К вопросу определения допустимой нормы эрозии. *Научный вестник Херсонського державного університету*. Серія Географічні науки. 2016. Вип. 3. С. 42-50. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/3709>.
12. El-Nad M.A. Evaluation of the Productivity of Two Soils Using Productivity Index. *Egypt. J. Soil. Sci.* 2015. Vol. 55. № 2. P. 171-184. URL: [https://ejss.journals.ekb.eg/article\\_314\\_7bde7e6f433a844ab62caecf087571fb.pdf](https://ejss.journals.ekb.eg/article_314_7bde7e6f433a844ab62caecf087571fb.pdf).
13. *Якість ґрунту*. Визначення гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського: ДСТУ 4730:2007 [Чинний від 2008-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 18 с.
14. *Якість ґрунту*. Визначення щільності складення на суху масу (ISO 11272-1998, IDT) : ДСТУ ISO 11272-2001. [Чинний від 2003-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 12 с.
15. *Якість ґрунту*. Визначення рН (ISO 10390:2005, IDT): ДСТУ ISO 10390:2007. [Чинний від 2009-10-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2012. 13 с.
16. *Якість ґрунту*. Методи визначення органічної речовини: ДСТУ 4289:2004. [Чинний від 2005-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.
17. *ґрунти*. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачігіна : ДСТУ 4114:2002. [Чинний від 2003-03-01]. Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. 10 с.
18. Медведев В.В., Плиско И.В. Бонитировка и качественная оценка пахотных земель Украины. Харьков: Изд-во «13 типография», 2006. 386 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/384956/>.
19. *Якість ґрунту*. Показники родючості ґрунтів: ДСТУ 4362:2004. [Чинний 2006-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 22 с.
20. Медведев В.В., Лындина Т.Е., Лактионова Т.Н. Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты). Харьков: Изд-во «13 типография». 2004. 244 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/472566/>.
21. Носко Б.С. Фосфатний режим ґрунтів і ефективність добрив. Київ: Урожай, 1990. 223 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/542075/>.
22. Носко Б.С. Антропогенна еволюція чорноземів. Харків: Вид. «13 типографія», 2006. 239 с.

23. Fan J., McConkey B., Wang H., Janzen H. Root distribution by depth for temperate agricultural crops. *Field Crops Research*. 2016. № 189. P. 68–74. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.013>.

24. Рослинництво України. Статистичний збірник. [Електронний ресурс] / URL: [https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat\\_u/publ7\\_u.htm](https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ7_u.htm). Останнє звернення: 09.02.2019. Назва з екрану.

UDC 631.474

## Updating of "The Productivity Index of Pierce» and its application for an estimation of chernozem soils quality in the Right-bank Steppe of Ukraine

S.G. Chorny, N.V. Vilna (Poliashenko)

Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, Ukraine

E-mail: [s.g.chorny@gmail.com](mailto:s.g.chorny@gmail.com)

Complex evaluation of soil quality is the necessary procedure in development of agrochemical, agro technology, phytosanitary, land betterment, soil-loss control and other actions in the course of the active land use. It is necessary also in procedures of cost assessment of farmlands, assessment of production activity of farms and crop divisions of the agricultural company and so forth. Development of procedures of adaptation to conditions of the Right-bank Steppe of Ukraine of the world of the Index Productivity of Pierce, popular in many countries, was the purpose of research. Modification of structure of this index, transformation of the WF-parameter based a regional ratio of cultivated area was separate tasks which follow from a goal, carrying out field research for definition of profile distribution beforehand of particular parameters of fertility and complex quality test as is full of profile ordinary and southern chernozems of watersheds, and eroded soils of slopes. The carried-out procedures of adaptation and calculations that eroded shortly profile soils have significantly smaller values of the Productivity Index in comparison with not eroded soils of watersheds showed. So when calculating on a layer of soil in 0-100 cm, the Index for chernozems ordinary, located on watersheds, was 10-17 % more than at the eroded soils: 0.69-0.64 on watersheds and 0.58-0.59 on slopes. As for the chernozems southern, the difference in values of the Productivity Index was larger: 0.68 on not eroded soils and 0.40 on eroded soils. This results from the fact that eroded soils have in general the inferior characteristics of bulk density, content of humus, the mobile phosphorus and exchange potassium. The greatest contrast between properties of eroded and not eroded soils in high layers, however with in deep soil layers this difference disappears is observed. The offered assessment procedure of soil quality by means of the modified Productivity Index in the Right-bank Steppe of Ukraine and in other erosive and dangerous regions with chernozem soils and larger share of slope lands can be used, as this index give objective coverage to change of soil fertility in the conditions of intensive manifestation of erosive processes.

**Keywords:** *chernozem ordinary; chernozem southern; eroded soils; Productivity Index; soil quality.*

*Citing:* Chorny S.G., Vilna (Poliashenko) N.V. 2019. Updating of "The Index Productivity of Peirce» and its application for an estimation of chernozem soils quality in the Right-bank Steppe of Ukraine. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 31-39. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-04>.

УДК 631.417.1:547

## Оцінка профільного розподілу вуглецю лабільної та водорозчинної форм органічної речовини ґрунтів

Ю.М. Дмитрук\*, І.Е. Демид

Чернівецький національний університет імені Ю. Федьковича, Чернівці, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 23.06.2019 Отримано після доопрацювання 04.07.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019	Дослідження органічної речовини ґрунтів (ОРГ) і вуглецю у складі органічної речовини (Сорг) мають тривалу історію. Але їхня актуальність не зменшується через необхідність формування баз даних і зміни методів дослідження. Доведено, що для верифікованого прогнозу та моделювання процесів кругообігу Карбону потрібні дані не тільки про його вміст у верхньому шарі (0-30 см) ґрунту, але й в усьому профілі. Важливим індикатором змін довкілля є лабільна органічна речовина ґрунтів. Тому мета нашої роботи – оцінка профільних змін вмісту вуглецю лабільної (Слаб) і водорозчинної (Свод) органічних речовин у ґрунтах різних типів і різного використання.
<i>Ключові слова:</i>	Досліджували ґрунти опідзоленого ряду (сірий лісовий середньосуглинковий та чорнозем опідзолений середньосуглинковий) і лучно-чорноземний важкосуглинковий ґрунт, розміщені в агроєкосистемах катени одного схилу. У зразках ґрунтів, відібраних за генетичними горизонтами до ґрунтоутворювальної породи включно, було визначено вміст Сорг і гумусу, Слаб, Свод та параметри окремих показників ґрунтів (гранулометричний склад, рН, вміст обмінних катіонів кальцію та магнію і лужногідролізованого азоту). Результати аналізів обробляли статистично та з використанням багатовимірної аналізування.
<i>вуглець лабільної та водорозчинної органічних речовин; генезис; органічна речовина ґрунту; профіль ґрунту.</i>	Виявлено, що основний вплив на вміст та розподіл Слаб і Свод чинить спосіб землекористування та пов'язаний з ним вид рослинності: сірий лісовий слабозмитий ґрунт під багаторічними травами характеризується найвищим умістом органічних речовин; найнижчі параметри зафіксовано на ріллі інтенсивного використання для лучно-чорноземного ґрунту; чорнозем опідзолений характеризується середніми значеннями вмісту Слаб і Свод, причому, на ріллі ці значення істотно менші, ніж на залуженому екоотопі. В цілому, у всіх профілях вміст Слаб і Свод зменшується з глибиною, що корелює зі змінами загального вмісту гумусу. Вміст обмінних катіонів магнію також однозначно зменшується із глибиною для всіх профілів, незалежно від їхнього генезису. Останній факт потребує окремих більш детальних досліджень.

\*E-mail: [y.dmytruk@chnu.edu.ua](mailto:y.dmytruk@chnu.edu.ua)

*Форма цитування:* Дмитрук Ю.М., Демид І.Е. Оцінка профільного розподілу вуглецю лабільної та водорозчинної форм органічної речовини ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2019. С. 40-47. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-05>.

### 1. Вступ

У більшості випадків оцінюють запаси органічної речовини (органічного вуглецю) та їхню динаміку для верхнього наддіяльного шару ґрунту (0-30 см). Проте, є бачення в глобальному контексті необхідності оцінки вмісту (динаміки) органічної речовини (вуглецю) у ґрунтового профілі загалом. Такий підхід, зокрема, обраний ініціативою «4 проміллі» [1]. Постійність вмісту органічного вуглецю у ґрунтах також піддається сумнівам, а його зміни очевидно пов'язані з окремими формами, найперше – лабільними [2]. Результати досліджень вертикального за профілем ґрунту розподілу органічного вуглецю необхідні також для оцінки впливу змін клімату на ґрунтовий покрив, тобто в контексті моделювання та прогнозу динаміки органічного вуглецю в умовах глобальних змін та антропогенних імпаکتів [3].

Вуглець органічної речовини ґрунту (SOC) недостатньо вивчений, але важливий компонент глобального циклу Карбону. E.U. Hobbey та B. Wilson [4] дослідили розподіл SOC у ґрунтах східної Австралії. Їхня гіпотеза будувалася на залежності вмісту органічного вуглецю у поверхневих шарах ґрунту від його вологості та на зв'язку профільних змін SOC з локальними чинниками ґрунтогенезу, типом землекористування і температурою.

Вплив землекористування на запаси вуглецю у ґрунті тривалий час досліджується в межах різноманітних міжнародних програм. Аналіз свідчить, що запаси вуглецю зменшуються зі зміною природних екосистем аграрними, як і в разі зміни видів природної рослинності (наприклад, широколистяні ліси не впливали на кількість вуглецю, тоді як соснові – зменшували його на 15 %). Але база таких даних незначна і потребує істотного доповнення. Більшість даних щодо органічної речовини ґрунтів і вуглецю стосуються поверхневих горизонтів – до 30 см. Водночас для розуміння впливу кореневих систем та

різних методів землекористування на вміст вуглецю необхідні дослідження його кількості та розподілу за профілем ґрунтів [5].

З позицій генетичного ґрунтознавства не менш цікаво охопити загальну картину профільного розподілу вмісту органічної речовини ґрунтів, як і органічного вуглецю. Тому мета цього дослідження – оцінка профільних змін вмісту найбільш динамічної частини органічної речовини та органічного вуглецю (лабільної та водорозчинної форм) у ґрунтах різних типів та в умовах різного землекористування.

## 2. Об'єкти і методи досліджень

Об'єктами дослідження слугували профілі ґрунтів у катені агроєкосистем Прут-Дністерського межиріччя [6]. Загальні відомості про ґрунти, місце закладення розрізів і генетичні формули ґрунтів представлено у таблиці 1.

**Таблиця 1**

Загальні відомості про об'єкти дослідження

Розріз	Ґрунт	Індекси генетичних горизонтів (формула профілю)	Місце закладення, спосіб використання
1	Сірий лісовий середньосуглинковий слабозмитий	HE(орн.) + HE + lh + l(h)(gl) + lp(gl) + Pi(gl);	Середня частина схилу; багаторічні трави
5	Чорнозем опідзолений середньосуглинковий намитий	He (орн.) + H + He+ Ni + Phi + Pi + Pk	Підніжжя схилу; на час досліджень розораний; городи
6	Лучно-чорноземний важкосуглинковий	H(орн.) + H + Hp(k)(gl) + Hpk(gl) + Phkgl + PkGl	Вирівняне пониззя; рілля інтенсивного використання
7	Чорнозем опідзолений середньосуглинковий намитий	H (орн.) + H + H(e) + Ni + Hp + Ph	Підніжжя схилу; залужений екотоп; частково збережена природна лучна рослинність

Проби ґрунту відбирали в третій декаді вересня 2016 року, з середньої частини генетичних горизонтів, готували до аналізів та в процесі лабораторних досліджень в них визначали: вміст вуглецю органічної речовини (Сорг) ґрунтів (вміст гумусу за Тюрнімом у модифікації Симакова), % [7]; вміст вуглецю водорозчинної органічної речовини ґрунтів (Свод), мг·кг<sup>-1</sup> [8]; вміст вуглецю доступної (лабільної) органічної речовини (Слаб), мг·кг<sup>-1</sup> [9]; вміст кальцію і магнію (мг-екв/100 г) - трилометричним методом (ДСТУ 7861:2015); рН ґрунту - потенціометричним методом [10]; вміст лужногідролізованого азоту (мг/кг) за Корнфілдом, (ДСТУ 7863:2015).

Визначення гранулометричного складу проведено методом лазерної дифракції на лазерному аналізаторі розмірів частинок Mastersizer 3000 (аналітик – Солоха М.О., ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського», м. Харків); поділ на гранулометричні фракції відповідає таким самим розмірам, як і в традиційному аналізі за модифікацією Качинського (мул – < 0,001 мм; пил – 0,001 – 0,05 мм; пісок 0,05 – 1,0 мм).

Статистичну обробку результатів, кореляційний та кластерний аналізи, а також багатовимірний (факторний) аналіз проведено з використанням програм «Statistica» та «Excel» (p<0,05).

## 3. Результати досліджень

Загальний вміст гумусу (Табл. 2) у верхніх генетичних горизонтах ґрунтів і його середньозважена за профілем кількість є такими: найнижчі у сірому лісовому ґрунті (розріз 1), найвищі у лучно-чорноземному ґрунті (розріз 6). Деяко підвищена варіабельність загального вмісту гумусу спостерігається в сірому лісовому ґрунті (розріз 1) та лучно-чорноземному ґрунті (розріз 6), а найвища варіабельність вуглецю лабільної органічної речовини – в чорноземі опідзоленому орному (розріз 5).

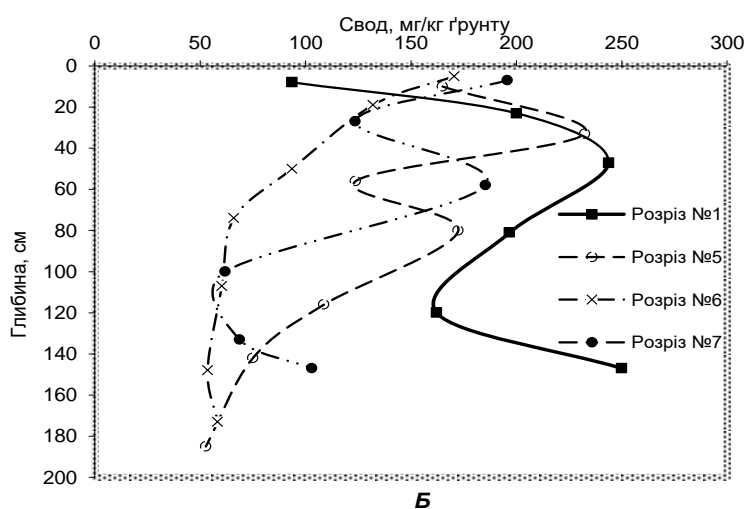
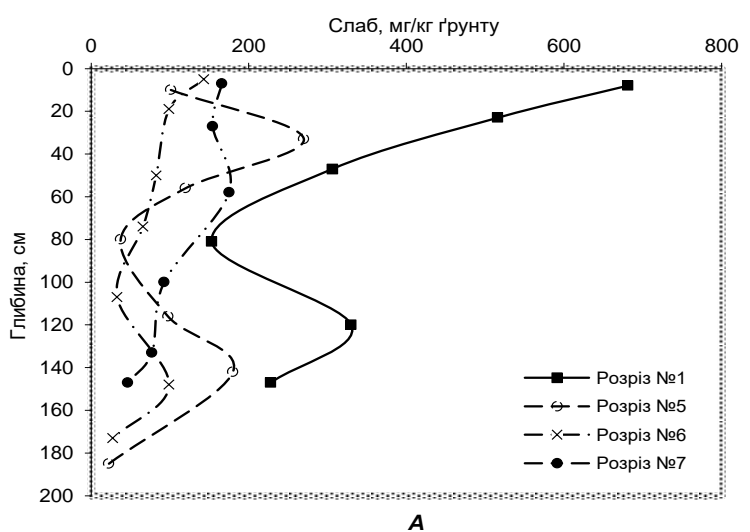
Закономірностей щодо зміни кількості вуглецю лабільної та водорозчинної органічних речовин, як у верхніх горизонтах, так і в середньозважених значеннях, не виявлено, очевидно через їхню більшу динамічність внаслідок впливу як генетичних особливостей ґрунтів, так і типу їх використання.

**Таблиця 2**

Вміст гумусу та вуглецю лабільної та водорозчинної органічних речовин ґрунтів

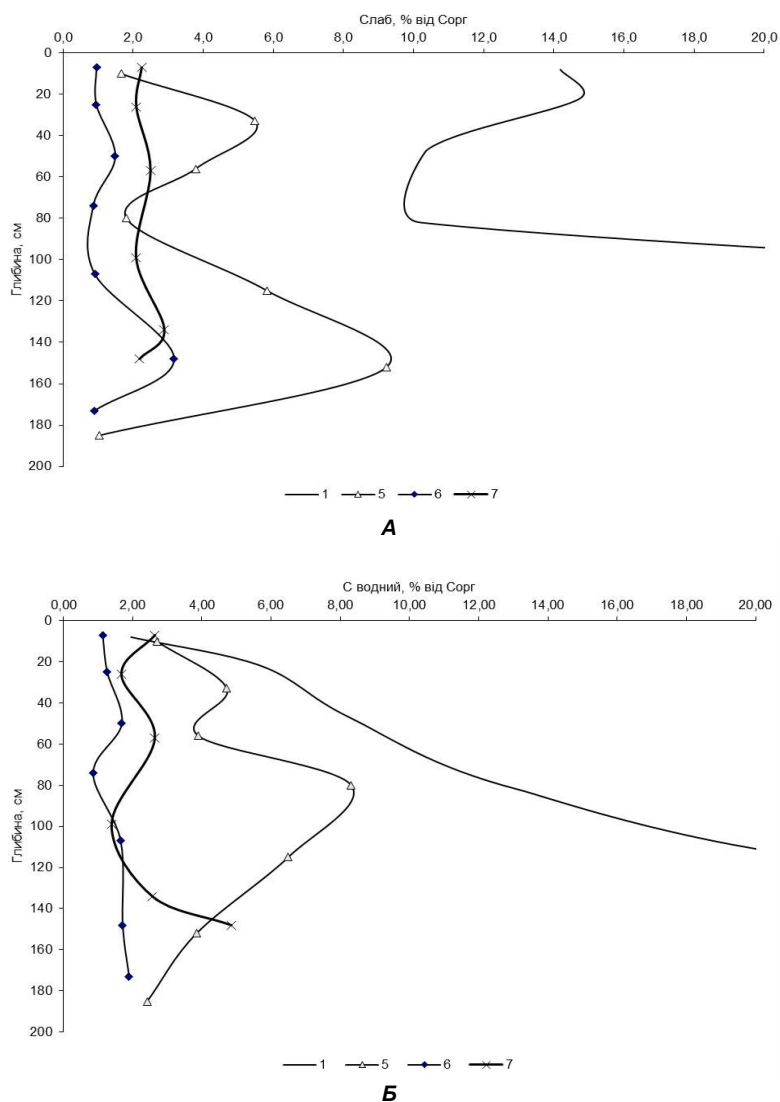
Розріз	Вміст гумусу, %		Вміст Слаб, мг·кг <sup>-1</sup>		Вміст Свод, мг·кг <sup>-1</sup>	
	середній у верхньому горизонті	середньо-зважений у профілі	середній у верхньому горизонті	середньо-зважений у профілі	середній у верхньому горизонті	середньо-зважений у профілі
1	1,92	0,91±0,71	681	369±195	93,7	191±57,7
5	2,45	1,13±0,69	101	90,2±84,9	165	120±61,9
6	6,02	2,78±1,80	143	78,5±40,5	170	90,6±44,8
7	2,96	2,07±0,97	166	119±53,5	196	123±57,0

Поступове зменшення вмісту гумусу вниз за профілями ґрунтів традиційно дає підстави характеризувати той чи інший ґрунт відповідно до його генезису. Різностриховані зміни за профілями абсолютного вмісту Свод і Слаб важко однозначно трактувати з погляду генетичних особливостей (Рис. 1).



**Рис. 1.** Профільний розподіл вмісту вуглецю лабільної (А) та водорозчинної (Б) органічних речовин

Ми використали відносні, щодо вуглецю органічної речовини ґрунтів, величини їхнього вмісту. У такому випадку (Рис. 2) чітко виокремлюється сірий лісовий ґрунт (розріз 1) і лучно-чорноземний ґрунт (розріз 6). Відповідно й розподіл за абсолютним вмістом за профілями ґрунтів Слаб і Свод (Рис. 1) відрізняється від такого ж розподілу відносної (Слаб і Свод щодо вуглецю органічної речовини ґрунтів) їх кількості (Рис. 2).



**Рис. 2.** Зміни за профілями ґрунтів відносного вмісту вуглецю лабільної (А) та водорозчинної (Б) органічних речовин ґрунтів

Так, тренди змін вмісту вуглецю лабільної органічної речовини ґрунтів (Слаб) свідчать про зменшення його кількості вниз за профілями ґрунтів (Рис. 1А). Тотожною, за винятком сірого лісового ґрунту, (Рис. 1Б) є й поведінка вмісту вуглецю водорозчинної органічної речовини (Свод). Аналіз рисунка 2 дозволяє, по-перше, підтвердити особливості профільного розподілу органічних речовин сірого лісового ґрунту, очевидно і як результату його генезису. По-друге, характеризувати їхні зміни як досить рівномірні в лучно-чорноземного ґрунту та чорноземі опідзоленому залуженому. По-третє, констатувати притаманні для розрізу 5 іманентні особливості профільного розподілу Слаб і Свод (Рис. 2). Загалом спостерігається тенденція зростання вмісту Слаб та Свод в нижньому перехідному генетичному горизонті всіх ґрунтів.

Доцільно проаналізувати можливі зв'язки між кількістю Слаб і Свод та окремими показниками ґрунтів. Для цього було проведено кореляційний і кластерний аналізи. Згідно з результатами першого (Табл. 3) виявлено окремі істотно значущі залежності (з  $p < 0,05$ ; тут і надалі ми характеризуватимемо тільки такої тісноти зв'язки) вмісту гумусу в розрізі 1 від кількості обмінних катіонів кальцію та магнію, лужногідролізованого азоту та вмісту гранулометричної фракції мулу ( $< 0,001$  мм); для Слаб та Свод у цьому профілі не спостерігали значущих кореляційних зв'язків з властивостями сірого лісового ґрунту.

**Таблиця 3**Наявність парної кореляції ( $p < 0,05$ ) між досліджуваними показниками ґрунтів

Розріз	Загальний вміст гумусу	Вміст Слаб	Вміст Свод
1	N; Ca <sup>2+</sup> ; Mg <sup>2+</sup> ; мул	-	-
5	N; Mg <sup>2+</sup> ; мул	-	pH; Mg <sup>2+</sup> ; мул; пісок
6	Слаб; Свод; N; Mg <sup>2+</sup> ; мул; пісок	Вміст гумусу; Свод; N; Mg <sup>2+</sup> ; пісок	Вміст гумусу; Слаб; N; Mg <sup>2+</sup> ; мул; пил; пісок
7	Слаб; Ca <sup>2+</sup> ; Mg <sup>2+</sup>	Вміст гумусу; N; Ca <sup>2+</sup> ; Mg <sup>2+</sup>	-

Примітка. Гранулометричні фракції: мул – < 0,001 мм; пил – 0,001 – 0,05 мм; пісок 0,05 – 1,0 мм

У чорноземі опідзоленому орному (розріз 5) вміст гумусу залежить від вмісту обмінних катіонів магнію, лужногідролізованого азоту та гранулометричної фракції мулу, що загалом тотожно з кореляціями, виявленими для сірого лісового ґрунту. Але також спостерігається залежність Свод від кількості обмінних катіонів магнію, кислотності та вмісту гранулометричних фракцій мулу і піску (1–0,5 мм). Водночас для чорнозему опідзоленого залуженого (розріз 7) встановлено залежності Слаб від кількості обмінних катіонів кальцію та магнію, лужногідролізованого азоту та вмісту гумусу.

Найбільшу кількість істотно значущих залежностей виявлено для лучно-чорноземного ґрунту: вміст гумусу корелює із кількістю обмінних катіонів магнію, вмістом лужногідролізованого азоту, Слаб і Свод та гранулометричним складом; вміст Слаб – з умістом обмінних катіонів магнію, лужногідролізованого азоту, Свод та гранулометричним складом; вміст Свод – з умістом обмінного магнію, лужногідролізованого азоту та гранулометричним складом.

Кластерним аналізом підтверджено зв'язки між умістом гумусу, обмінних катіонів магнію, лужногідролізованого азоту, Слаб і Свод та окремих фракцій гранулометричного складу для лучно-чорноземного ґрунту (Рис. 3Б); Вміст Свод найперше пов'язаний з гранулометричним складом та, меншою мірою, з умістом гумусу, обмінних катіонів магнію та лужногідролізованого азоту – для чорнозему опідзоленого (розріз 5), а для такого ж типу ґрунту (розріз 7) вміст Слаб пов'язаний з умістом гумусу, обмінних катіонів магнію та лужногідролізованого азоту (Рис. 3В – 3Г).

Водночас для сірого лісового ґрунту (розріз 1) Слаб та Свод розділені в два окремі кластери, причому перший утворює гілки з умістом гумусу, обмінних катіонів магнію та лужногідролізованого азоту (як і для розрізу 7); другий (Свод) – з гранулометричним складом та кислотністю (Рис. 3А).

За таких різнобічних тенденцій ми доповнили кореляційний і кластерний аналізи ще одним видом багатовимірної аналізу – факторним. Останній (Табл. 4) проведено двома методами: 1) принципів компонентів і 2) принципів осей; для обох методів застосовано варіанти без обертання осей та з їх обертанням (варімакс нормалізований).

**Таблиця 4**

Узагальнені результати факторного аналізу показників ґрунтів

Фактор 1		Фактор 2		Фактор 3	
до обертання	після обертання	до обертання	після обертання	до обертання	після обертання
<i>Принципових компонентів метод</i>					
pH; Ca <sup>2+</sup> ; му	pH; Ca <sup>2+</sup> ; Слаб; Свод	гумус; N; Mg	гумус; N; Mg	пил	пил; мул; пісок
<i>Принципових осей метод</i>					
pH, мул, пісок	pH; Ca <sup>2+</sup>	гумус; N; Mg	гумус; N; Mg	-	пил; пісок

Примітка: виділено показники, значущість яких підтверджується первинними і вторинними факторними навантаженнями

Згідно з методом принципів компонентів дисперсія характеризованих показників ґрунтів визначається трьома факторами, частка яких становить 38,3 %, 26,6 % та 16,5 %, відповідно. Незалежно від процедури обертання осей, другий фактор включає такі властивості як вмісту гумусу, лужногідролізованого азоту та обмінних катіонів магнію (всі вони підтверджуються як первинними, так і вторинними факторними навантаженнями). Третій фактор включає гранулометричний склад, дія якого постає істотною після процедури обертання осей, що також підтверджується первинними і вторинними факторними навантаженнями. Перший фактор видається нам більш варіабельним щодо

властивостей ґрунтів, які сюди включені – кислотність, вміст обмінних катіонів кальцію та мулу. Після обертання осей фактор перший зберігає кислотність, і вміст обмінних катіонів кальцію та єдиний раз тут додаються Слаб і Свод. Власне останній факт спонукав нас розширити варіанти факторного аналізу за рахунок методу принципів осей.

Для цього методу дисперсія характерних показників ґрунтів також визначається трьома факторами, частка яких становить 35,8 %; 24,7 % та 14,9 %, відповідно. В кінцевому результаті фактор другий залишився без змін і ми бачимо цей фактор як власне склад та показники органічної речовини ґрунтів; фактор три з меншою достовірністю зберіг значення гранулометричного складу – тобто цей фактор – це мінеральна складова ґрунтів; перший фактор, очевидно, узагальнює кислотно-лужні параметри ґрунтів. Всі три фактори пов'язані з особливостями ґрунтоутворення та наступними змінами під впливом використання ґрунтів.

Слаб і Свод на достовірному рівні до жодного з виявлених факторів, перебуваючи найближче за величинами коефіцієнтів до першого фактора. Необхідно пам'ятати, що три фактори пояснюють 75-82 % дисперсії, тобто інші фактори, дію яких не враховано, можуть включати в себе аналізований нами вміст вуглецю лабільної та водорозчинної органічної речовини.

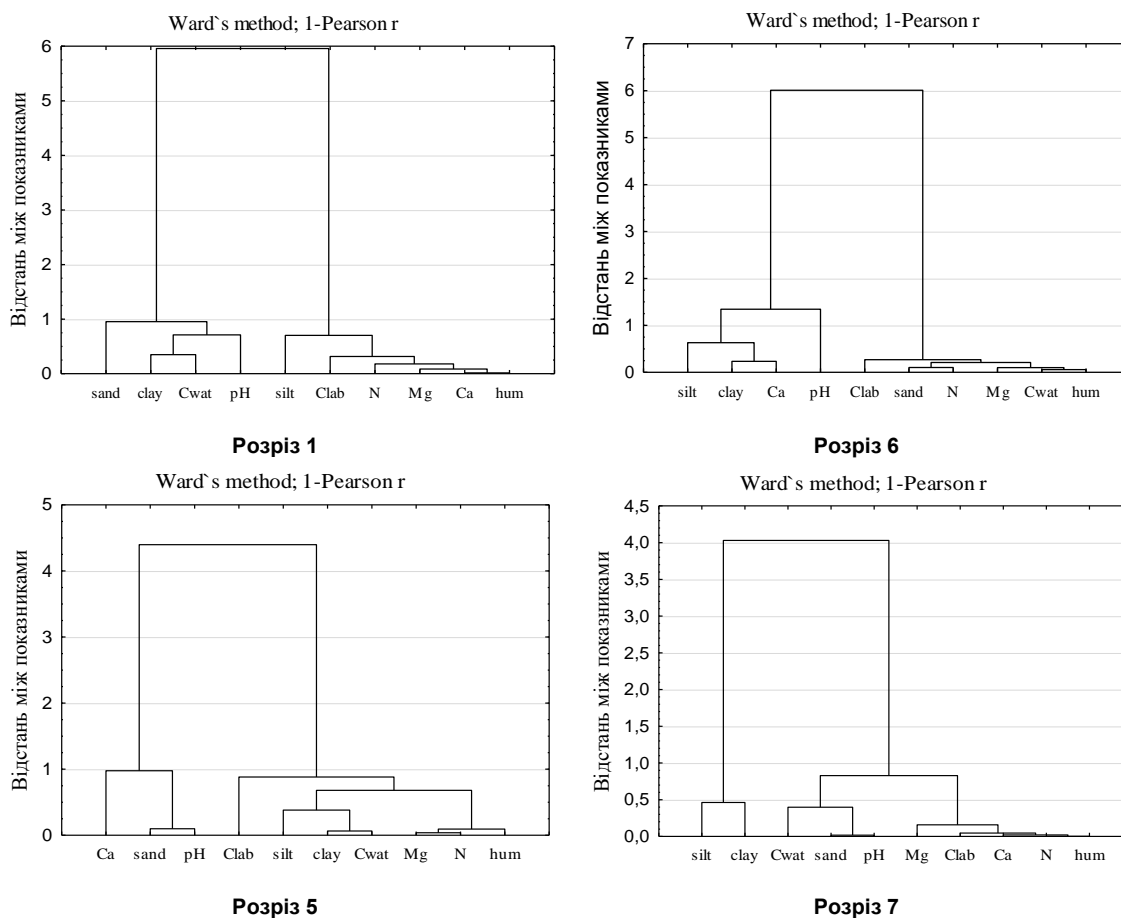


Рис. 3. Древа зв'язків показників ґрунтів та вуглецю лабільної і водорозчинної форм органічної речовини

#### 4. Обговорення результатів

Лабільні фракції вуглецю органічної речовини ґрунтів часто застосовують як індикатори змін клімату, рослинності, землекористування з їх відповідними впливами на функції ґрунтів [11]. На основі запасів вуглецю у ґрунтах моделюють біосферні процеси та системи. Для цього необхідні якомога точніші дані про вміст вуглецю, але не тільки у верхньому горизонті (шарі) ґрунтів, але й, щонайменше, в метровій товщі ґрунту і глибше. Не et.al. [2] показали, що вік карбону у такому випадку складатиме не 430, а майже 3100 років, а тому й можливості його секвестрації відрізнятимуться в менший бік від реальних на 40 %. Ці ж автори виділяють швидкі, повільні та пасивні пули в запасах вуглецю у ґрунтах, що підтверджується радіовуглецевим датуванням. Як видно з наведених даних (Табл.1; Рис. 1) з глибиною вміст органічного вуглецю на загал зменшується. Проте, ці зміни не лінійні, часто досить складні (тренд апроксимується поліномом 3-4-го а то й 5-го

ступенів). Тому розширення бази даних за рахунок показників ґрунтів, сформованих в різних умовах ґрунтогенезу – не менш важливе завдання дослідників.

Вуглець лабільної органічної речовини ґрунтів – досить важливий компонент кругообігу Карбону через його динамічність та сенситивність до змін у довкіллі. Але не встановлено як трансформуються процеси мінералізації вуглецю органічної речовини ґрунтів у відповідь на кліматичні зміни, що обмежує можливості прогнозу та моделювання [12]. Вміст органічного вуглецю у верхньому шарі ґрунту, як визначено модельними розрахунками та регресійною апроксимацією [4], залежить від кліматичних параметрів, найперше – сезонної кількості опадів. У підповерхневих горизонтах на кількість вуглецю органічної речовини впливають локальні особливості розміщення, перш за все, тип ґрунту і його щільність (близько 20 %), а також вид землекористування (до 60 %) і кліматичні особливості (близько 20 %). Так, наприклад, органічний вуглець інтенсивніше мінералізується у ґрунтах екосистем, розміщених на більших абсолютних висотах. Водночас власне якісні параметри вуглецю органічної речовини ґрунтів можуть бути другорядним чинником впливу на процеси мінералізації.

Зважаючи на близьке розміщення розрізів досліджуваних нами ґрунтів, вплив клімату практично нівелюється (вологість і температура), а вплив генетичних особливостей (тип ґрунту) вже прослідковано вище, в описі результатів кореляційного, кластерного і факторного аналізів (Табл. 2–3; рис. 2).

Отож значущість типу землекористування видається досить істотною: 1) сірий лісовий слабозмитий ґрунт під багаторічними травами в ґрунтозахисній сівозміні характеризується найвищою кількістю вуглецю як лабільної, так і водорозчинної органічних речовин (Табл. 1; рис. 1). Вміст вуглецю лабільної та водорозчинної органічних речовин найменший на ріллі інтенсивного використання для лучно-чорноземного ґрунту, де природний вміст гумусу є найвищим. Чорнозем опідзолений (розрізи 5 і 7) характеризується середніми значеннями вмісту вуглецю лабільної і водорозчинної органічної речовини. Причому, під ріллею (городи) ці значення істотно менші, як результат певного способу обробітку ґрунту (розріз 5), тоді як залужений екотоп (розріз 7) характеризується більш високими значеннями вмісту вуглецю.

На загал, кількість вуглецю лабільного пулу органічної речовини ґрунтів зменшується з глибиною, що підтверджено зокрема й [13]. Це корелює зі змінами вмісту гумусу та вуглецю органічної речовини ґрунтів. Цікаво й те, що вміст обмінних катіонів магнію також однозначно зменшується із глибиною для всіх профілів, незалежно від їхнього генезису.

Рослинність, яка корелює із мікробіотою ґрунтів природних екосистем – головний чинник для кількості вуглецю органічної речовини ґрунтів [14]. Зрозуміло, що для агроекосистем визначальним (при збереженні ролі кліматичних параметрів) постає вид землекористування, за якого склад рослинності є опосередкованим фактором дії. Вважають [14], що зміни в землекористуванні призводять, за однакових тепло- і вологозабезпеченості, до перебудови структури мікробних угруповань ґрунтів, і як наслідок, зміни рослинності. При цьому виникають додаткові відмінності органіки, яка надходить у ґрунти. Це різновекторно, але кардинально вплине на якісні та кількісні параметри органічної речовини ґрунтів та її окремих фракцій, насамперед лабільної компоненти. Доцільно також вказати, що кореляційна матриця для всіх генетичних горизонтів всіх ґрунтів ( $n=26$ ) показує істотно значущу залежність вмісту Слаб і Свод від кислотності ґрунтів (-0,53 для обох параметрів); від вмісту обмінного кальцію (-0,51 та -0,57, відповідно) та обмінного магнію (+0,39 і +0,46, відповідно), а також вмісту Свод від вмісту мулу (+0,37). Отже, крім вказаних впливів способу землекористування та рослинності, кислотно-лужні параметри ґрунтів найбільше впливають на розподіл Слаб і Свод. Додаткових досліджень і пояснень потребують зв'язки вмісту обмінного магнію з вмістом вуглецю лабільної і водорозчинної органічних речовин ґрунтів.

## 5. Висновки

Вміст вуглецю лабільної та водорозчинної форм органічної речовини нелінійно зменшується вниз по профілю всіх досліджуваних ґрунтів. Кількість Слаб і Свод неоднозначно корелює з окремими показниками ґрунтів (рН, вмістом обмінних катіонів кальцію та магнію, вмістом мулу), що пояснюється особливістю генезису ґрунтів. Виражений вплив на вміст і профільний розподіл Слаб і Свод мають вид землекористування та пов'язаний з ним характер рослинного покриву або стан поверхні. Відповідно, підвищений вміст аналізованих параметрів спостерігається під багаторічними травами, тоді як рілля характеризується їхньою меншою кількістю, незважаючи на апіорі вищий тут вміст гумусу.

## Список використаних джерел

1. Minasny B., Malone B.P., McBratney A.B [et. al]. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*. 2017. Vol. 292. P. 59–86. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.05.025.
2. Radiocarbon constraints imply reduced carbon uptake by soils during the 21st century / Y. He, S.E. Trumbore, M.S. Torn [et. al]. *SCIENCE*. 2016. Vol. 353, Iss. 6306. P. 1419-1424. DOI: 10.1126/science.aad4273.
3. Vertical distribution of soil organic carbon in China. S. Wang, M. Huang, X. Shao [et. al]. *Environmental Management*. 2004. Vol. 33(1). P. S200–S209. DOI: 10.1007/s00267-003-9130-5.
4. Hobbey E.U., Wilson B. The depth distribution of organic carbon in the soils of eastern Australia. *Ecosphere*. 2016. Vol. 7. No. 1. P. 1-21. DOI: 10.1002/ecs2.1214.
5. Luo Z., Wang E., Sun O.J. Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agroecosystems: A review and synthesis. *Geoderma*. 2010. Vol. 155. Issues 3–4, P. 211–223. DOI: 10.1016/j.geoderma.2009.12.012. Luo, Z; Wang, E; Sun, O-J
6. Дмитрук Ю.М., Собко В.І. Вміст та перерозподіл фосфору в ґрунтах агроєкосистем Західного Лісостепу. *Агроєкологічний журнал*. 2018. №2. С. 38-44. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2018.157571>.
7. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. [Чинний від 2005–07–01]. Київ, 2005. С. 14.
8. ДСТУ 4731: 2007. Якість ґрунту. Методи визначання водорозчинної органічної речовини. [Чинний від 01.01.2008]. Київ, 2008. С. 12.
9. ДСТУ 4732:2007. Якість ґрунту. Методи визначання доступної (лабільної) органічної речовини. [Чинний від 2008–01–01]. Київ, 2008. С. 13.
10. ДСТУ ISO 10390-2001. Якість ґрунту. Визначення рН (ISO 10390:1994, IDT). [Чинний від 2002-01-04]. Київ, 2003. С.11.
11. Ussiri D.A.N., Johnson C.E. Organic matter composition and dynamics in a northern hardwood forest ecosystem 15 years after clear-cutting. *Forest Ecology and Management*. 2006. Vol. 240. (1-3). P. 131-142. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.12.017.
12. Consistent temperature sensitivity of labile soil organic carbon mineralization along an elevation gradient in the Wuyi Mountains, China / Q. Li, C. Xiaoli, L. Yiqi [et.al]. *Applied Soil Ecology*. 2017. Vol. 117-118. P. 32–37. DOI: 10.1016/j.apsoil.2017.04.018.
13. Variation of Soil Labile Organic Carbon Pools along an Elevational Gradient in the Wuyi Mountains, China / X. Xia, C. Xiao-Li, Z. Yan [et.al]. *Journal of Resources and Ecology*. 2010. Vol. 1. (4). P. 368-374. DOI: <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1674-764x.2010.04.010>.
14. Schimel J.P., Schaeffer S.M. Microbial control over carbon cycling in soil. *Frontiers in Microbiology*. 2012. Vol. 3(348):348. P. 1-11. DOI: 10.3389/fmicb.2012.00348.

UDC 631.417.1:547

## Assessment of profile distribution of carbon of labile and water-soluble form of soil organic matter

Y.M. Dmytruk\*, I.E. Demyd

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Agrotechnologies and Soil Science Department, Chernivtsi, Ukraine

\*E-mail: [y.dmytruk@chnu.edu.ua](mailto:y.dmytruk@chnu.edu.ua)

For a long time, scientists are researching the soil organic matter (SOM) and soil organic Carbon (SOC). But their relevance does not diminish because there are importance for scientists as to form databases for simulation and forecast as use the latest research methods. It is proved that for the verified forecasting and modeling of Carbon cycle processes, data is needed throughout the soil profile, not only just in its upper layer (0-30 cm). An important indicator of environmental change is the labile organic matter of soils. Therefore, the purpose of our work is to evaluate the profile changes of the SOC, its labile and water soluble forms in soils of different types and different uses.

We studied the soils of the podzolized series (gray forest and chernozem podzolized) and meadow-chernozem soil, located in the agroecosystems of a single-slope catena. The samples of soils selected from the genetic horizons from top horizons to the parent materials for the analysis of the contents of the SOM, SOC and some soil properties (acidity, soil texture, exchange cations of Calcium and Magnesium, Nitrogen). The results of laboratory analyzes were processed statistically and using multivariate methods.

We have found that land use and associated with it the type of vegetation have a major impact on the quantity and distribution of SOC as labile as water soluble forms. Therefore, we discovered that the gray forest eroded soil under the perennial grasses has the highest mean of labile and water soluble forms of SOC. The same indices are the smallest under intensive use arable land for meadow-chernozem. Chernozem podzolized is characterized by average values of content of SOC of labile and water soluble forms. Moreover, these values are significantly lower for arable land, while the ecotope is under grassland, these values are higher. In general, labile and water soluble forms of SOC decreases downwards with a depth; that correlated with the same changes of humus content. The content of exchange cations of Magnesium and clearly decreases with depth profiles for all soils, regardless of their origin. The latter fact requires some more detailed research.

**Keywords:** soil organic matter (SOM), SOC; Carbon of labile and water-soluble organic matter; genesis, soil profile.

*Citing:* Dmytruk Y.M., Demyd I.E. 2019. Assessment of profile distribution of carbon of labile and water-soluble form of soil organic matter. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 40-47. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-05>.

УДК: 631.4

## Процес лесиважу у профільно-диференційованих ґрунтах Пригорганського Передкарпаття

З.П. Пеньків\*, С.З. Малик

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 11.07.2019 Отримано після доопрацювання 29.07.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019</p> <hr/> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p><i>аргілани; гранулометричний склад; лесиваж; мулиста фракція; Пригорганське Передкарпаття; профільно-диференційовані ґрунти.</i></p>	<p>Профільно-диференційовані ґрунти Передкарпаття сформувалися за рахунок сукупної дії процесів опідзолення, лесиважу та глее-елювіювання, для діагностики яких використовуються розрізнені діагностичні ознаки, що обумовлює генетичні та класифікаційні проблеми. Найбільш дискусійною є діагностика процесу лесиважу. Метою дослідження є встановлення морфологічних і хімічних діагностичних ознак лесиважу у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття. Методи: порівняльно-географічний, профільний, лабораторно-аналітичний. Об'єкт дослідження: профільно-диференційовані ґрунти Пригорганського Передкарпаття. В процесі польових морфологічних обстежень в межах I (e) m gl горизонту досліджуваних ґрунтів на поверхні валунів та гальки діагностовано аргілани білуватого або брудно-білуватого забарвлення потужністю до 1 см, які мають різку межу із контактною поверхнею. Гранулометричний склад аргілан важчий порівняно з горизонтом, в якому вони знаходяться, а вміст мулу на 24 % більший, що є діагностичною ознакою лесиважу. В аргіланах акумулюються півтораоксиди, лужні та лужноземельні елементи (<math>Kx &gt; 1,0</math>). Діагностичною ознакою лесиважу у профільно-диференційованих ґрунтах є рівномірний розподіл у межах профілю молярних співвідношень <math>SiO_2:R_2O_3</math> у мулистій фракції (3,01-3,04); акумуляція <math>Fe_2O_3</math> та <math>R_2O_3</math> в ілювіальній частині профілю порівняно з породою; додатні значення <math>EAF_{Fe_2O_3}</math>, <math>EAR_{R_2O_3}</math>, <math>EAt</math> та <math>EAm</math> мулистої фракції в ілювіальній частині профілю; переважання мінералів монтморилітової групи у межах усього профілю, що діагностується за співвідношенням <math>SiO_2:Al_2O_3</math> у мулистій фракції (3,73-3,78). Профільно-диференційовані ґрунти Передкарпаття формуються за рахунок сукупної дії різних ґрунтоутворних процесів, а для їхньої діагностики доцільно використовувати сукупність морфологічних, хімічних, мінералогічних показників, що дозволить встановити особливості генези та класифікаційний статус.</p>

\*E-mail: zpankiv@gmail.com

Форма цитування: Пеньків З.П., Малик С.З. Процес лесиважу у профільно-диференційованих ґрунтах Пригорганського Передкарпаття. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2019. С. 48-53. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-06>.

### 1. Вступ

Ґрунтово-географічна область Передкарпаття розташована між південно-західним краєм Подільської височини і північно-східним уступом Українських Карпат, що зумовило формування у його межах строкатого ґрунтового покриву. У науковій літературі впродовж тривалого періоду ведуться дискусії щодо генезису та діагностики ґрунтоутворних процесів у ґрунтах регіону [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Пригорганське Передкарпаття розташоване між долинами р. Свіча на північному заході та р. Лючка на південному сході, а поширення ґрунтів у його межах зумовлене висотною поясною. Саме зміна абсолютних і відносних висот визначає зміни кліматичних параметрів, рівня залягання підґрунтових вод, типів рослинних формацій, що в сукупності обумовлює морфологічні особливості, фізичні та фізико-хімічні властивості й генетичну природу ґрунтів. В межах IV-VII надзаплавних терас переважають ґрунти із елювіально-ілювіальним типом профілю, які сформувалися в результаті складного поєднання та різної інтенсивності елементарних ґрунтоутворних процесів (ЕҐП). На основі великомасштабних ґрунтових обстежень (1957-1961 рр.) в Передкарпатті виділено два типи профільно-диференційованих ґрунтів: дерново-підзолисті та буроземно-підзолисті. Впродовж усього періоду дослідження підзолистих ґрунтів домінують дві гіпотези їхньої профільної диференціації: опідзолення та лесиваж [7]. До 50-х років ХХ століття у дослідженнях ґрунтів Передкарпаття домінувала теорія формування їх під переважаючою дією процесу опідзолювання, для обґрунтування якої використовувалися різні концепції: колоїдно-хімічна, біохімічна та фізико-хімічна. Європейські вчені для обґрунтування генезису профільно-диференційованих ґрунтів, сформованих на суглинкових породах, запропонували теорію лесиважу – як процесу суспензійної міграції та ілювіальної акумуляції мулистих часточок без хімічного руйнування [8, 9, 10].

Теорія лесиважу отримала розвиток у працях радянських, а в подальшому – українських ґрунтознавців. У працях, присвячених вивченню профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття, більшість учених стверджують, що вони сформувалися на основі комплексу процесів – опідзолювання, лесиважу, глее-елювіювання, які доповнюються сегрегацією, внутрішньоґрунтовим оглиненням і кислим гумусоутворенням [8, 9, 11, 12].

Для діагностики ЕґП, особливо лесиважу, у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття використовуються розрізнені діагностичні показники. Для встановлення генетичної природи профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття, діагностики інтенсивності процесу лесиважу необхідно визначити єдиний комплекс діагностичних ознак.

Метою дослідження є виявлення комплексу морфологічних, фізичних і хімічних діагностичних ознак процесу лесиважу у профільно-диференційованих ґрунтах Пригортанського Передкарпаття.

## 2. Об'єкти і методи досліджень

На основі опрацювання карт ґрунтів на території Пригортанського Передкарпаття у межах поширення буроземно-підзолистих оглеєних грубопилувато-важкосуглинкових середньокам'янистих ґрунтів закладено ключову ділянку «Камінь» (висота 515 м, рівень сьомої тераси, N 48°55.861' пн. ш. і E 24°17.159' сх. д.). На ділянці, з використанням порівняльно-географічного та профільно-географічного методів, закладено шість розрізів як на сільськогосподарських угіддях, так і під природними біоценозами (ялиново-дубовий ліс). В польових умовах відібрали проби ґрунту із генетичних горизонтів, ґрунтоутворної породи (давньоалювіальні суглинки) та новоутворень (аргілани). В лабораторних умовах із ґрунтових зразків проведено відмивання мулистої фракції за методикою Н.І. Горбунова [13]. У зразках ґрунту (дрібнозему), мулистій фракції та аргіланах визначили валовий хімічний склад за методикою Е.В. Аринушкіної [14]. Гранулометричний склад ґрунту (дрібнозему) та аргілан визначали за методом Н.А. Качинського з підготовкою зразків пірофосфатним методом за С. Долговим і А. Лічмановою [15]. На основі даних валового хімічного складу мулу, ґрунту та аргілан розраховували: молярні відношення за методикою Г. Герасовіца (показники диференціації профілю) [11]; «фактор вилугування» за методикою Г. Йенні [12]; ЕА коефіцієнти  $Fe_2O_3$ ,  $R_2O_3$ ,  $EAt$  (загальний елювіально-аккумулятивний коефіцієнт для усіх оксидів) та  $EAm$  (елювіально-аккумулятивний коефіцієнт усіх оксидів, крім оксиду-свідка) за методикою О.А. Роде [16]. Для встановлення генези аргілан розраховували коефіцієнт накопичення ( $Kx$ ), як відношення вмісту елементу валового хімічного складу ( $x$ ) в аргілані до вмісту елементу ( $x$ ) у ґрунті (дрібноземі) горизонту, що містить аргілану [17]. Вміст гумусу визначали за методом І.В. Тюріна у модифікації В.Н. Сімакова [14]; груповий і фракційний склад гумусу – за методом І.В. Тюріна в модифікації В.В. Пономарьової і Т.А. Плотнікової [14].

## 3. Результати досліджень та їх обговорення

Профільно-диференційовані ґрунти Передкарпаття сформувалися на делювіальних та давньоалювіальних суглинкових відкладах в умовах надлишкового зволоження і застійно-промивного типу водного режиму під мішаними та широколистяними лісами із трав'яним покривом у результаті складного поєднання ґрунтоутворних процесів. За сукупної дії чинників ґрунтоутворення сформувався різкодиференційований тип профілю зі збідненою на мул і півтораоксиди та збагаченою на кремнезем верхньою елювіальною частиною та збагаченою мулом і півтораоксидами ілювіальною частиною профілю.

Формування генетичного типу ґрунту зумовлюється основним ЕґП та можливою участю кількох сукупних процесів [18]. Проте, в профільно-диференційованих ґрунтах жоден окремо взятий ґрунтоутворний процес не може сформувати ґрунт як цілісне природне тіло. Такі ґрунти формуються за участю тих чи інших поєднань конкретних ЕґП, але ніколи не утворюються тільки одним процесом [19].

У сучасному українському ґрунтознавстві питання утворення профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття є найбільш дискусійним. Погляди науковців щодо формування елювіально-ілювіальної диференціації профілю є неоднозначними, що зумовлено суперечливістю діагностичних критеріїв ґрунтоутворних процесів – опідзолювання, лесиважу та глее-елювіювання, які дають аналогічні результати [5].

Найбільш дискусійними є діагностичні критерії процесу лесиважу, оскільки його відносно недавно почали діагностувати та вивчати у ґрунтах Передкарпаття. Для його

діагностики дослідники використовують розрізнені критерії: накопичення  $R_2O_3$  в ілювіальному горизонті порівняно з породою [20]; накопичення  $SiO_2$  в елювіальному горизонті [7]; глинисті кутани на поверхні педів в ілювіальному горизонті та натічні форми глин у порах [8, 21, 22]; однаковий вміст монтморилоніту у межах профілю [5].

Для обґрунтування діагностичних критеріїв процесу лесиважу у профільно-диференційованих ґрунтах Пригорганського Передкарпаття ми використовували відомі теоретичні напрацювання, які доповнили результатами власних досліджень морфологічних особливостей аргілан, валового хімічного складу ґрунту, мулистої фракції та аргілан, гранулометричного складу аргілан і горизонту, що їх містить.

Більшість дослідників стверджують, що профільно-диференційовані ґрунти Передкарпаття сформувалися за переважаючої дії процесів опідзолювання, лесиважу, глее-елювіювання, які доповнюються вилуговуванням, сегрегацією, внутрішньоґрунтовим оглиненням, кислотним гумусоутворенням [2, 3, 5, 6].

Лесиваж – процес механічного переміщення глинистого і колоїдного матеріалу з верхньої частини ґрунтового профілю та акумуляції його на деякій глибині у вигляді локальних або суцільних утворень на поверхнях педів, уламків порід, стінках пор. Найбільш достовірною морфологічною ознакою процесу лесиважу є глинисті кутани, які вповнюють тріщини та покривають грані структурних окремоностей. Кутани – це зміни текстури або складення на природних поверхнях у ґрунтовому матеріалі внаслідок концентрації будь-яких компонентів ґрунту або модифікації плазми *in situ*. За мінералогічною природою виділяють аргілани, сесквани, мангани, сілани, скелетани, складні кутани [23].

У процесі польових морфологічних досліджень профільно-диференційованих ґрунтів Пригорганського Передкарпаття у межах I(e)m gl горизонту на верхніх та бічних поверхнях включень валунів і гальки діагностовано аргілани білуватого, брудно-білуватого забарвлення потужністю до 1 см. Аргілани у межах ілювіального горизонту виділяються за забарвленням, складенням та мають різку межу із контактною поверхнею. З метою діагностики аргілан визначили їхній гранулометричний склад та грансклад ґрунту (дрібнозему) генетичного горизонту, що їх вміщує. У таблиці 1 представлено середні значення вмісту гранулометричних фракцій, розраховані з оригінальних результатів визначень у кожному з шести розрізів.

**Таблиця 1**

*Гранулометричний склад ґрунту (дрібнозему) й аргілан в ілювіальних горизонтах I(e)m gl профільно-диференційованих ґрунтів Пригорганського Передкарпаття (n=6)*

Об'єкт	Вміст гранулометричних фракцій (%) за їх розміру (мм)						Сума фракцій <0,01	Назва за гранулометричним складом
	Фізичний пісок		Фізична глина					
	Пісок / sand		Пил / silt		Мул / clay			
	1- 0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	<0,001	<0,01	
Ґрунт	2,4	5,6	32,5	8,1	14,9	36,5	59,5	Грубопилувато- легкоглинистий
Аргілана	1,0	2,2	16,1	4,4	15,8	60,5	80,7	Мулуватो- важкоглинистий

Результати таблиці 1 вказують, що гранулометричний склад аргілани важчий порівняно з гранскладом генетичного горизонту, а вміст мулу в аргіланах на 24 % більший ніж у I(e)m gl горизонті, що є наслідком процесу лесиважу. Для діагностики процесу лесиважу у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття доцільно використовувати результати гранулометричного складу аргілани та генетичного горизонту, в якому її знайшли, а вміст мулу в аргіланах має бути більше 50 %. Суспензійна міграція мулу і його подальше накопичення в ілювіальних горизонтах можуть відбуватися як у вигляді чистих суспензій, так і в суміші з більш великими фракціями силікатного матеріалу, із сполуками заліза або гумусу. Тому наявність саме глинистих кутан (аргілан) ілювіювання, а не пилуватих чи піщано-пилуватих кутан, є основною діагностичною ознакою лесиважу [21, 24].

В аргіланах разом із мулистою фракцією акумулюються гумусові речовини. За результатами досліджень виявлено, що загальний вміст гумусу в них становить 0,48-0,53 %, а у межах ілювіального горизонту – 0,21-0,35 %. Відомо, що профільно-диференційовані ґрунти Пригорганського Передкарпаття характеризуються фульватним типом гумусу ( $C_{гк}:C_{фк}=0,3-0,5$ ), і в аргіланах акумулюються фульвокислоти, які мігрують із NEgl горизонту.

З метою виявлення генетичної природи аргілан проведено визначення і порівняння валового хімічного складу аргілан та ґрунту в межах ілювіального генетичного горизонту у всіх досліджуваних профілях (Табл. 2).

**Таблиця 2**

Валовий хімічний склад ґрунту (дрібнозему), мулу й аргілан в ілювіальних горизонтах (l(e)m gl) профільно-диференційованих ґрунтів Пригортанського Передкарпаття (n=6)

Генетичний горизонт	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
l (e) m gl (ґрунт)	76,30	12,47	5,28	17,75	0,76	0,59	1,18	1,80	0,98	0,02
l (e) m gl (мул)	56,55	25,79	10,63	36,42	1,01	0,63	1,95	2,41	1,01	0,00
Аргілана	71,28	16,46	5,34	21,80	0,75	0,62	2,14	2,23	1,14	0,04

За узагальненими даними валового хімічного складу розраховано коефіцієнти накопичення елементів (Kx) як відношення вмісту елементу (x) в аргілані до вмісту елементу (x) у ґрунті генетичного горизонту, який містить аргілану (Табл. 3).

**Таблиця 3**

Коефіцієнт накопичення елементів (Kx) в аргіланах профільно-диференційованих ґрунтів Пригортанського Передкарпаття

Генетичний горизонт	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
l(e)m gl (n=6)	0,93	1,32	1,01	1,23	0,98	1,05	1,81	1,24	1,16	2,0

Здобуті результати свідчать, що в аргіланах акумулюються півтораоксиди Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Kx=1,32) та Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Kx=2,0). Акумуляція в аргіланах MgO, K<sub>2</sub>O та Na<sub>2</sub>O є результатом процесу вилугування лужних, лужноземельних елементів із HEgl горизонту та їхньої міграції в межах профілю. Така закономірність зумовлена тим, що мулиста фракція, яка переважає в аргіланах, складена, в основному, глинистими мінералами, які характеризуються високим вмістом Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O.

У мулистій фракції досліджуваних ґрунтів переважають мінерали монтморилонітової групи, що підтверджується співвідношенням SiO<sub>2</sub>:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Табл. 4). В аргіланах не акумулюються сполуки SiO<sub>2</sub> (Kx=0,93), що зумовлено їхнім більшим розміром і обмеженою можливістю переміщення в межах профілю.

Одним із найбільш достовірних і широко розповсюджених методів діагностики генетичної природи ґрунтів, сукупної дії усіх або окремо взятих ЕГП є валовий хімічний аналіз ґрунту та його мулистої фракції і розраховані на його основі показники: молярні співвідношення, EA<sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></sub>, EA<sub>R<sub>2</sub>O<sub>3</sub></sub>, EA<sub>t</sub> та EA<sub>m</sub> (Табл. 4).

**Таблиця 4**

Діагностичні критерії лесиважу за валовим хімічним складом мулу та ґрунту (дрібнозему) у профільно-диференційованих ґрунтах Пригортанського Передкарпаття (n=6)

Генетичний горизонт	У мулі		Вміст у дрібноземі (%)		У мулі			
	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	EA <sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></sub>	EA <sub>R<sub>2</sub>O<sub>3</sub></sub>	EA <sub>t</sub>	EA <sub>m</sub>
HE gl	3,46	4,30	2,96	10,83	-4,70	-11,52	-0,04	-0,11
Eh gl	3,01	3,87	4,12	12,58	+24,48	+3,20	+0,01	+0,03
EI gl	3,01	3,80	5,82	18,16	+17,91	+2,67	+0,01	+0,03
l(e)m gl	3,01	3,73	5,28	17,75	+18,87	+4,45	+0,02	+0,05
Pi gl	3,01	3,75	5,42	17,69	+21,34	+4,55	+0,03	+0,06
P gl	3,04	3,71	4,75	16,41	-	-	-	-

За відсутності технічної можливості визначити мінералогічний склад мулу, ми скористалися теоретичними напрацюваннями характеристики глинистих мінералів за співвідношенням  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ . Встановлено, що таке співвідношення у мулистій фракції для коаліну та галуазину рівне 2,0, для групи слюд та іллітів – 3,0-3,5, а для мінералів монтморилітової групи – 3,5-4,0 [25]. Співвідношення  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$  у мулистій фракції в межах профілю становить 3,73-3,87, що дозволяє стверджувати про переважання в мулі мінералів монтморилітової групи, які є найбільш лабільними та мігрують у процесі лесиважу. Приблизно однакові значення співвідношення  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$  свідчать про переважання мінералів монтморилітової групи у межах усього профілю. Діагностичною ознакою лесиважу у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття є рівномірний розподіл у межах профілю співвідношення  $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3$  у мулистій фракції (3,01-3,04), акумуляція  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{R}_2\text{O}_3$  у межах ілювіальної частини (збільшення вмісту порівняно з породою), позитивні значення  $E_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ ,  $E_{\text{R}_2\text{O}_3}$ ,  $E_{\text{At}}$  та  $E_{\text{Am}}$  у мулистій фракції в ілювіальній частині профілю.

#### 4. Висновки

На основі власних польових і аналітичних досліджень запропоновано діагностувати процес лесиважу у профільно-диференційованих ґрунтах Пригортанського Передкарпаття за наявністю в межах ілювіального горизонту аргілан, які мають більш важкий гранулометричний склад порівняно з генетичним горизонтом; вміст мулу в аргіланах повинен бути більше 50 %.

Для аргілан не є характерною акумуляція  $\text{SiO}_2$  ( $K_x < 1$ ), а натомість акумулюються півтораоксиди  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$  та лужноземельні елементи.

Діагностичною ознакою лесиважу є рівномірний розподіл у межах профілю мінералів монтморилітової групи, що діагностується за співвідношенням  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$  у мулистій фракції (3,71-3,87).

Достовірною ознакою лесиважу у досліджуваних ґрунтах є рівномірний розподіл у межах профілю співвідношення  $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3$  у мулистій фракції (3,01-3,04) та акумуляція  $\text{R}_2\text{O}_3$  в ілювіальному горизонті порівняно з породою, що діагностується за їхнім валовим вмістом. Підтверджують процес лесиважу позитивні значення  $E_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ ,  $E_{\text{R}_2\text{O}_3}$ ,  $E_{\text{At}}$  та  $E_{\text{Am}}$  у мулистій фракції в ілювіальній частині профілю.

#### Список використаних джерел

1. Андрущенко Г.О. Ґрунти західних областей УРСР. Ч. 2. Львів-Дубляни: Вільна Україна. 1970. 116 с.
2. Назаренко И.И. Окультуривание подзолистых оглеенных почв. Москва: Наука, 1981. 184 с.
3. Паньків З.П., Позняк С.П. Дерново-підзолисті поверхнево-оглеєні ґрунти північно-західного Передкарпаття, Львів: Меркатор, 1998. 132 с.
4. Польшина С.М., Смага І.С. Діагностика профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття на основі їх валового хімічного складу. Науковий Вісник ЧНУ ім. Ю. Федьковича. 2009. №455. С.111–115.
5. Смага І.С. Проблеми діагностики елементарних ґрунтових процесів і профільно-диференційованих ґрунтів у Передкарпатті. Ґрунтознавство. 2016. №1–2. С. 40–48. DOI: 10.15421/041604.
6. Смага І.С. Проблеми ідентифікації кислих оглеєних профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття. Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 69. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2008. С.142–146.
7. Фридланд В.М. Об оподзоливания и иллимизации (обезиливания). Почвоведение, 1958. №1. С. 27–38. URL: <http://www.pochva.com/index.php>.
8. Duchaufour Ph. Lessivage et podzolisation. Revue forestiere francaise. 1951. №10. P. 18–27.
9. Kubiena W.L. Zur Micromorphologie. Systematik und Entwicklung der rezenten und fossilen Lossboden. Eiszeitalter und Gegenwart. 1956. №7. P. 27–29.
10. Muckenhausen E. Der Wasserhaushalt der Pseudogley und dessen Bedeutung für die Pflanzen. Verhandl. II und IV Kommiss. Int. Bodenk. Ges. 1958. №2. P. 201–214.
11. Harrassowitz H. Laterit. Fortschr. Geolog. und Palaont. 1926.
12. Jenny H. Behavior of potassium and sodium during the process of soil formations. Missouri Agris. Exp. Sta. Res. Bull. 1931. №162. P. 24–52.
13. Горбунов Н.И. Методика подготовки почв, ґрунтов, взвесей рек и осадков морей к минералогическому анализу. Почвоведение. 1960. №11. С. 79–84. URL: <http://www.pochva.com/index.php?content=5&journal=Почвоведение&year=1960&number=11>
14. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв, Москва: Издательство Московского университета, 1970. 488 с. URL: <https://mexalib.com/view/39693>.
15. Качинский Н.А. Физика почвы. Москва: Высшая школа. Ч. 1. 1965. 324 с. URL: [http://www.pochva.com/?content=3&book\\_id=0441](http://www.pochva.com/?content=3&book_id=0441).
16. Роде А.А. Избранные труды. Подзолообразовательный процесс. Москва: ГНУ Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии. 2008. 480 с.
17. Dawson B.S.W., Ferguson J.E., Campbell A.S., Cutler E.J.B. Distribution of elements in some Fe-Mn nodules and an iron-pan in some gley soils of New Zealand. Geoderma. 1985. №35. P. 127–143.

18. Зонн С.В. Развитие генетической диагностики почв на основе элементарных почвенных процес сов. *Почвоведение*. 1994. № 4. С. 12–20. URL: <http://www.pochva.com/index.php>.
19. Таргульян В.О. Почвообразование и элементарные почвообразовательные процессы. *Почвоведение*. 1985. №11. С. 36–45. URL: <http://www.pochva.com/index.php>.
20. Роде А.А. Генезис почв и современные процессы почвообразования. Москва: Наука. 1984. 256 с.
21. Бронникова М.А., Таргульян В.О. Кутанный комплекс текстурно-дифференцированных почв. Москва: Академкнига, 2005. 197 с.
22. Зайдельман Ф.Р.. Диагностика подзолистых и лессивированных, псевдоподзолистых, псевдоглеевых и оглеенных подзолистых почв на современном этапе. *Почвоведение*. 1973, №1. С. 130–140. URL: <http://www.pochva.com/index.php>.
23. Розанов Б.Г. Морфология почв. Москва: Издательство Московского университета, 1988. 320 с. URL: <http://www.pochva.com/?content>.
24. *Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий* (коллективная монография). / Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. Москва: Изд-во ЛКИ, 2008. 692 с. URL: <http://www.pochva.com/?content>.
25. Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толпешта И.И. Глинистые минералы в почвах. Тула: Гриф и К, 2005. 336 с. URL: <http://www.pochva.com/?book>.

UDC: 631.11

## The process of lessivage in profile-differentiated soils of the Pregorganian Precarpathian region

Z.P. Pankiv, S.Z. Malyk

Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine  
E-mail: [zpankiv@gmail.com](mailto:zpankiv@gmail.com)

Profile-differentiated soils of the Precarpathian region were formed due to the combined effect of the processes of podzolization, lessivage, gley-eluvium, for the diagnosis of which researchers use disparate diagnostic features, leads to divergences in the interpretation of their genesis and classification. The most controversial is the diagnosis of the lessivage process. The object of the study is to establish morphological and chemical diagnostic features of lessivage in the profile-differentiated soils of the Precarpathian region. Methods: comparative-geographic, profile, laboratory-analytical. Object of study: the Pregorganian Precarpathian profile-differentiated soils. In the process of field morphological research of profile-differentiated soils of the Pregorganian Precarpathian region within the limits of the I (e)m gl horizon on the upper and lateral surfaces of the boulders and pebbles inclusions, the argillanes of whitish, dirty-whitish coloring up to 1 cm are diagnosed. The granulometric composition of the argillanes is heavier compared to the contents of the horizon, and the content of clay in argillanes is 20 % higher than in the I(e)m gl horizon, which is the result of the lessivage process. The accumulation in the argillanes peroxides of alkaline, alkaline-earth elements ( $Kx > 1,0$ ). The diagnostic feature of the lessivage of the profile-differentiated soils is equal distribution of within the profile, the ratio of  $SiO_2:Al_2O_3$  in the clay fraction (3,01–3,04). The diagnostic feature of the lessivage of the profile-differentiated soils is equal distribution of within the profile, which is diagnosed by the ratio of  $SiO_2:Al_2O_3$  in the clay fraction (3,71–3,87); the accumulation of  $Fe_2O_3$  and  $R_2O_3$  in the illuvial horizon in comparison with the parent material; the positive values of  $EA_{Fe_2O_3}$ ,  $EA_{R_2O_3}$ ,  $EAt$  and  $EAm$  in the clay fraction, which are diagnosed in the illuvial part of the profile; predominance of the montmorillonite group minerals within the profile, which is diagnosed by the ratio of  $SiO_2:Al_2O_3$  in the clay fraction (3,73–3,78). Profile-differentiated soils of the Precarpathian region were formed due to the combined effect of different soil-forming processes, and for their diagnosis it is expedient to use a set of morphological, chemical, mineralogical indicators that will allow to establish the features of genesis and classification status.

**Keywords:** *argillanes; clay fraction; granulometric composition; lessivage; Precarpathian Region; profile-differentiated soils.*

*Citing:* Pankiv Z.P., Malyk S.Z. 2019. The process of lessivage in profile-differentiated soils of the Pregorganian Precarpathian region. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 48-53. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-06>.

УДК 631.672:631.587:633.18 (477)

**Сольовий баланс ґрунтів рисових сівозмін****С.Г. Вожегов, К.В. Дудченко\***

Інститут рису НААН, Скадовськ, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 11.12.2018 Отримано після доопрацювання 30.03.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019	Метою дослідження є визначення сольового балансу ґрунтів, використовуваних для вирощування рису у рисових сівозмінах за діючої агротехнології. Дослідження протягом 10 років проводили на території рисової 8-пільної сівозміни в дослідному господарстві Інституту рису НААН у Скадовському районі Херсонської області. Об'єктом дослідження були різні ґрунти на трьох дослідних ділянках: темно-каштановий солонцюватий; лучно-каштановий солонцюватий; солонець лучний. Всі ділянки розміщено у межах однієї зрошувальної системи. Режим зрошення рису та супутніх сільськогосподарських культур не змінювався впродовж описаного періоду. Зрошувальна система відкритого типу, магістральні канали облицьовані бетонними плитами, дренажно-скидні – в ґрунтовому руслі. Зміну стану сольового балансу ґрунтів фіксували за такими показниками: вміст у ґрунті легкорозчинних солей; рівень та мінералізація підґрунтових вод. Виявлено: вміст легкорозчинних солей зменшився у темно-каштановому солонцюватому ґрунті на 20,8-25,5 %, у лучно-каштановому солонцюватому ґрунті – на 11,1-51,5 % і у солонці лучному – на 8,0-13,2 %. Також констатовано зміни у складі гіпотетичних солей у всіх досліджуваних ґрунтах; зокрема, у темно-каштановому солонцюватому ґрунті та солонці лучному відбулась заміна соди ( $\text{NaHCO}_3$ ) гідрокарбонатом магнію ( $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ). У темно-каштановому солонцюватому та лучно-каштановому солонцюватому ґрунтах відмічено підвищення рухомості системи «хлорид натрію – сульфат магнію». Результати досліджень свідчать, що за умови експлуатації рисової зрошувальної системи у проектному режимі, та дотримання насиченості сівозміни рисом не більше 50 %, відбувається зменшення вмісту солей у темно-каштановому солонцюватому ґрунті на 11,7 %, лучно-каштановому солонцюватому – на 30,7 %, солонці лучному – на 29,2 %, тобто, відбувається позитивна зміна сольового балансу.
<i>Ключові слова:</i>  <i>лучно-каштановий солонцюватий ґрунт; солонець лучний; сольовий баланс; рис; рисова зрошувальна система; темно-каштановий солонцюватий ґрунт.</i>	

\*E-mail: [catherin.dudchenko@gmail.com](mailto:catherin.dudchenko@gmail.com)

Форма цитування: Вожегов С.Г., Дудченко К.В. Сольовий баланс ґрунтів рисових сівозмін. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2019. С. 54-60. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-07>.

**1. Вступ**

Загальна світова площа посівів рису становить 164 млн га, 75 % щорічного врожаю рису вирощено з постійним затопленням [1]. Такий водно-повітряний режим ґрунту спричинює розвиток процесів заболочування, оглеєння, засолення, вторинного осолонцювання та призводить до зниження родючості ґрунту [1-4], внаслідок чого зменшується вміст гумусу, змінюються азотний та фосфорний режими ґрунту [5, 6]. Затоплення спричиняє зміну нітратної форми азоту на аміачну і значне підвищення рухомості сполук фосфору, що призводить до їх виносу зі скидами. Після ж осушення чеків, кількість рухомих фосфатів зменшується до нуля і сполуки фосфору, що залишились, закріплюються в ґрунті.

Стверджують [7] що «рисові» ґрунти утворились внаслідок трансформації повнопрофільних ґрунтів, які було частково або повністю порушено в результаті планування поверхні та будівництва рисових чеків. Зміна характеру протікання основних ґрунтових процесів, за вирощування рису в умовах постійного затоплення, може призвести до заміни природного ґрунтоутворювального процесу на зовсім новий, не властивий природним умовам території. Дослідники вказують, що можливим є розвиток ґрунтоутворних процесів за декількома сценаріями [8-10]. За одним із них новий тип ґрунтоутворювального процесу може наслідувати основний природний процес. Це найбільш вірогідно для умов заплави та дельти річок, де затоплення не вносить значних змін у водно-повітряний та інші режими ґрунту, і де докорінної зміни якості ґрунтів під рисом не зафіксовано. До таких ґрунтів належать лучні, болотні та інші оглеєні і глейові ґрунти, які утворились і розвивались в умовах перезволоження [11, 12].

Різка зміна ґрунтоутворювальних факторів, внаслідок вирощування рису, може призвести до сповільнення процесу ґрунтоутворення, що є найбільш характерним для ґрунтів зони Степу. В Україні зафіксовано випадки деградації ґрунтового покриву під посівами рису, особливо за монокультури [13-14]. Можливою також, є така зміна ґрунтоутворювального процесу, що призводить, навіть, до формування нового типу ґрунту [8]. Тому, постійний моніторинг якості ґрунту є необхідним для своєчасного виявлення та запобігання розвитку деградаційних процесів.

Метою дослідження є визначення динаміки сольового балансу ґрунтів, тривалий час використовуваних для вирощування рису у рисових сівозмінах за діючої агротехнології.

## 2. Об'єкти і методи досліджень

Дослідження проводили на території дослідного господарства Інституту рису НААН, що знаходиться у Скадовському районі Херсонської області.

Клімат регіону помірно-континентальний. Середня тривалість безморозного періоду – 224 дні. Сумарне випаровування 1000-1500 мм. Переважаючий напрям вітрів – східний і північно-східний; швидкість вітру сягає іноді до 25 м/с. Сума активних температур за вегетаційний період становить 2815-3464 °С.

Об'єктом дослідження є ґрунти у межах відкритої рисової зрошувальної системи (РЗС) краснодарського типу (певний тип будови карт полів рисової системи – схема розміщення розподільчих скидів та зрошувачів), площею 190 га. Сівозміна 8-пільна, насиченість культурою рису – 50 %. Іншими культурами сівозміни є соя, пшениця озима, ячмінь ярий і люцерна.

Згідно зі структурою ґрунтового покриву і відповідними агроеліоративними умовами територію зрошувальної системи поділено на три дослідні ділянки, характеристики яких представлено у таблиці 1 (агрохімічні параметри ґрунту і вміст гумусу визначено у шарі 0-20 см).

**Таблиця 1**

*Характеристика досліджуваних об'єктів*

Ділянка	Ґрунт	Вміст у ґрунті поживних речовин, мг/кг			Вміст гумусу (за Тюриним), %	Рівень підґрунтових вод, м	
		азот (за К'ельдалем)	фосфор (за Мачигінім)	калій (за Мачигінім)		на-весні	восени
1	Лучно-каштановий солонцюватий легкоглинистий	41,7	21,8	305,4	1,48	2,2-1,9	1,9-1,6
2	Солонець лучний легкоглинистий	35,7	27,2	229,4	1,80	1,9-1,6	1,6-1,4
3	Темно-каштановий солонцюватий легкоглинистий	41,7	30,1	361,2	1,48	2,2-1,8	2,15-1,5

Морфологічна будова лучно-каштанового солонцюватого ґрунту складається з таких генетичних горизонтів: HE (0-33 см) гумусово-елювіальний темно-сірого кольору, порохувато-грудкуватої структури, злитий, ґрунт скипає на глибині 30 см; Hl (33-67 см) гумусово-ілювіальний каштанового кольору, помітно пухкіший, ніж попередній горизонт; Hр1 (67-110 см) верхній перехідний світло-каштанового кольору, ущільнений. Білозірка, у вигляді плям знаходиться в шарі 67-110 см; Phi/k (110-138 см) нижній перехідний бурого кольору з коричневим відтінком та грудкувато-призматичною структурою.

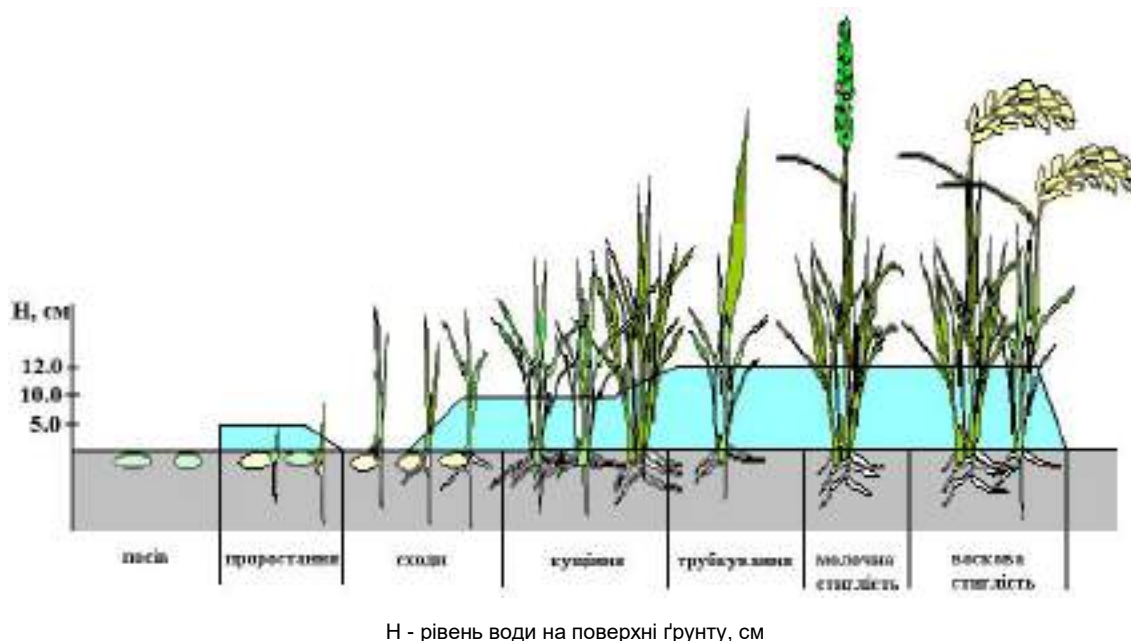
Профіль солонця лучного потужністю 78 см складається з гумусово-елювіального (HE), ілювіального (Hl) та перехідного (Phi) горизонтів. HE (34 см) каштаново-сірого кольору з бурими плямами, структура пилювато-грудкувата, пухка. Hl (26 см) – темно-коричневого кольору з бурим відтінком, структура ущільнена горіхувато-грудкувата. Скипає на глибині 37 см. Phi (18 см) – коричнево-палевого кольору, присутня білозірка. Структура горіхувато-грудкувато-призматична.

Морфологічна будова профілю темно-каштанового солонцюватого ґрунту включає гумусовий (Hea), верхній перехідний (Hр1), нижній перехідний (Phi) горизонти, загальною потужністю 66 см. Hea (20 см) темно-сірого кольору з каштановим відтінком, порохувато-грудкуватої структури. Hр1 (30 см) темно-каштанового кольору з бурим відтінком, ущільнений. Phi (16 см) бурувато-бруднопалевого кольору з затіканнями, помітно ущільнений. Скипає на глибині 52 см. Материнська порода з рясною білозіркою.

Ячмінь ярий та люцерна вирощуються в рисовій сівозміні без зрошення. Впродовж вегетаційного періоду сої здійснюється 3-4 поливи нормою 600-800 м<sup>3</sup>/га. Озиму пшеницю поливають 1 раз нормою 800 м<sup>3</sup>/га [15].

Режим зрошення рису на відкритій РЗС витримується згідно з Технологією вирощування рису з урахуванням вимог охорони навколишнього середовища [15] – зрошувальна норма становить 15-18 тис. м<sup>3</sup>/га, а технологічні скиди – 2-3 тис. м<sup>3</sup>/га. На рисунку 1 представлено схему режиму зрошення рису протягом вегетації [15].

Джерело зрошувальної води – Краснознам'янський магістральний канал. Вода відповідає I класу якості [16].



H - рівень води на поверхні ґрунту, см

**Рис. 1.** Режим зрошення згідно з технологією вирощування рису з урахуванням вимог стосовно охорони навколишнього середовища [15]

Періодичність випадіння опадів впродовж року зазвичай несприятлива для потреб галузі рослинництва (під час розрахунку режимів зрошення сільськогосподарських культур опади навіть не враховуються, тому що продуктивна їх частина мізерна). Влітку опади часто випадають у вигляді зливових дощів. Загальна кількість опадів 300-330 мм на рік.

Розрахунок сольового балансу виконали згідно з рівнянням:

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = S_5 + S_6 + S_7 + S_9 \pm S_{10},$$

де,  $S_1$  – запаси солей в зоні аерації ґрунту на початок розрахункового періоду;

$S_2$  – запаси солей в ґрунтових водах балансового шару на початок розрахункового періоду;

$S_3$  – надходження солей зі зрошувальною водою;

$S_4$  – надходження солей з добривами;

$S_5$  – запаси солей в зоні аерації ґрунту на кінець розрахункового періоду;

$S_6$  – запаси солей в ґрунтових водах балансового шару на кінець розрахункового періоду;

$S_7$  – винесення солей з дренажно-скидними водами;

$S_9$  – винесення солей з урожаєм;

$S_{10}$  – солеобмін з нижніми горизонтами [17].

Проби ґрунту для дослідження сольового режиму відбирали методом суцільної колонки через кожні 20 см до 100 см, та через кожні 50 см на глибині від 100 до 200 см до посіву та після збирання урожаю сільськогосподарських культур [18]. Шар ґрунту від 0 до 200 см названо балансовим шаром. Вміст солей у ґрунті і воді визначали за такими методиками: хлорид-іон – аргентометричним методом за Мором (ДСТУ 7908:2015); сульфат-іон – об'ємним методом у присутності індикатора ніторохромазо (ДСТУ 7909:2015); іони карбонатів та бікарбонатів (ДСТУ 7943:2015) – титруванням розчином сульфатної кислоти до рН 8,3 (визначення карбонатів), рН 4,4 (визначення бікарбонатів); іони кальцію та магнію – комплексометричним методом (ДСТУ 7945:2015); іони натрію і калію – полуменево-фотометричним методом (ДСТУ 7944:2015).

Розрахунок гіпотетичного складу солей виконано за методикою Н.І. Базилевич та Е.І. Панкової [19]. Проби зрошувальної та дренажно-скидної води відбирали 1 раз на місяць впродовж вегетаційного періоду рису.

### 3. Аналіз результатів досліджень

Результати досліджень показали, що вирощування рису на рисових зрошувальних системах відкритого типу у сівозміні з наповненістю основною культурою 50 % призводить

до розсолення ґрунтів. В середньому, величина розсолення (солеобмін з нижніми горизонтами) ґрунтового профілю за 10 років експлуатації становить 11,72-30,68 % (Табл. 2). Доведено, що вирощування рису сприяє промиванню ґрунтового профілю, а супутніх сільськогосподарських культур, навпаки, – збільшенню вмісту солей у ґрунті, що зумовлено, в основному, режимом зрошення та його впливом на рівень підґрунтових вод.

**Таблиця 2**

Сольовий баланс поля рисової зрошувальної системи за період експлуатації (2007-2017 рр.)

Показники	Ґрунт					
	Темно-каштановий солонцюватий		Лучно-каштановий солонцюватий		Солонець лучний	
	т/га	%	т/га	%	т/га	%
	<i>Надходження солей</i>					
Запаси солей у ґрунті, квітень	29,90	33,58	31,97	38,07	25,46	22,17
Запаси солей у ґрунтових водах, квітень	18,30	20,55	6,90	8,22	39,00	41,14
Надходження солей зі зрошувальною водою	36,15	40,61	39,04	46,49	44,47	46,91
Надходження солей з добривами	4,68	5,26	6,06	7,22	5,91	5,15
Всього солей у шарі 0-200 см	89,03	100,00	83,97	100,00	114,84	100,00
	<i>Винос солей</i>					
Запаси солей у ґрунті, жовтень	37,00	41,56	32,26	38,42	31,08	27,06
Запаси солей у ґрунтових водах, жовтень	24,73	27,78	9,52	11,34	34,45	30,00
Винос солей з дренажно-скидними водами	9,45	10,61	10,95	13,04	10,30	8,97
Винос солей з урожаєм	7,41	8,32	5,47	6,51	5,47	4,76
Солеобмін з нижніми горизонтами	10,44	11,72	25,76	30,68	33,54	29,20
Всього солей у шарі 0-200 см	89,03	100,00	83,97	100,00	114,84	100,00

Надходження солей у ґрунт відбувається із запасів солей у ґрунтових і підґрунтових водах до посіву сільськогосподарських культур (квітень), зі зрошувальної води і з добрив. Витратними статтями балансу є запаси солей у підґрунтових водах після збирання сільськогосподарських культур (жовтень), винос солей з урожаєм, винос солей з дренажно-скидними водами та солеобмін з нижніми горизонтами.

Запаси солей в усіх ґрунтах у квітні першого року проведення досліджень були приблизно однаковими за всіх ландшафтно-меліоративних умов 25,46-31,97 т/га (22,17-38,07 %), через 10 років експлуатації рисової зрошувальної системи (РЗС) цей показник незначно збільшився на всіх стаціонарних ділянках.

Режим зрошення рису формує режим рівня підґрунтових вод – сприяє підняттю до 0,5-1,6 м. Вирощування супутніх сільськогосподарських культур, навпаки, призводить до зниження рівня підґрунтових вод до 1,8-2,0 м і нижче. Мінералізація підґрунтових вод коливається від 0,60 до 4,20 г/дм<sup>3</sup>. Вміст солей у підґрунтових водах у жовтні є, здебільшого, вищим ніж у квітні. Ця стаття сольового балансу становить 8,22-41,14 %

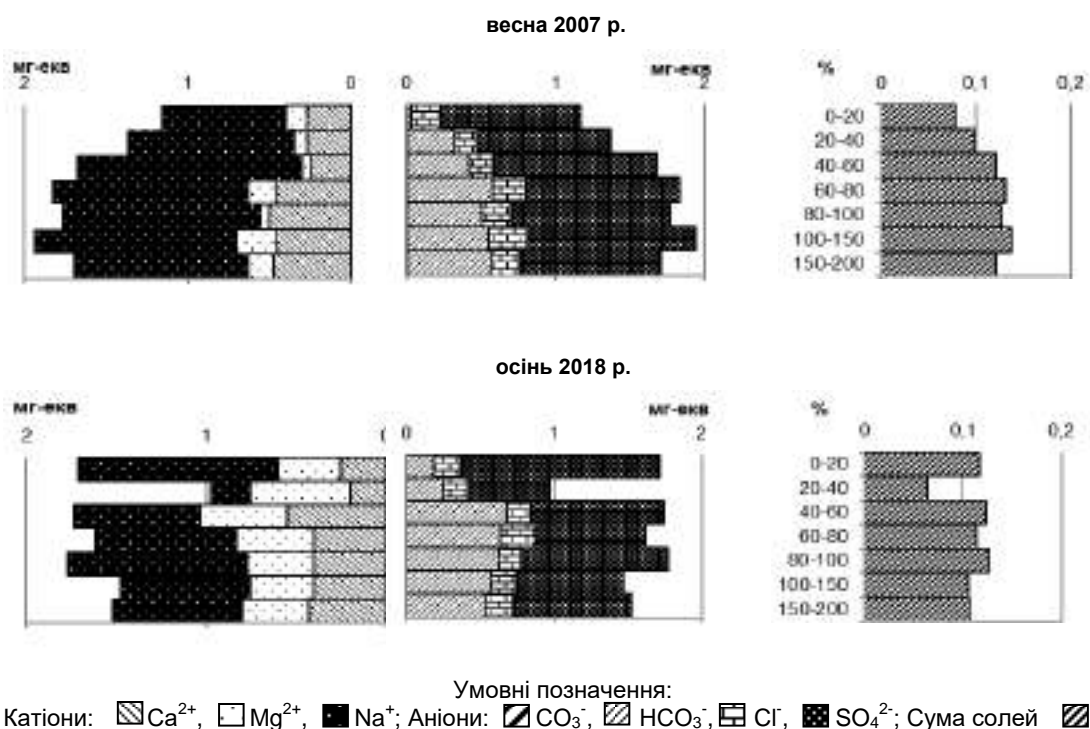
Мінералізація зрошувальної води за період досліджень коливалась у межах 0,30-0,57 г/дм<sup>3</sup>. Надходження солей із зрошувальною водою становить 36,15-44,47 т/га, що дорівнює 40,61-46,91 %.

Надходження солей з добривами за період досліджень становило 4,68-6,06 т/га (5,26-7,22 %).

Об'єм дренажно-скидних вод за вегетаційний період рису за роки досліджень становив 2,3-3,5 тис. м<sup>3</sup>/га, а мінералізація скидів – 0,49-0,71 г/дм<sup>3</sup>. Винос солей з дренажно-скидними водами дорівнює 9,45-10,95 т/га (10,61-13,04 %). Винос солей з урожаєм сільськогосподарських культур становить 5,47-7,41 т/га (4,76-8,32 %).

За вирощування рису за діючою технологією на полях встановлюється промивний водний режим ґрунту. Багаторічна експлуатація рисової зрошувальної системи призводить до змін типу та ступеню засоленості ґрунтового профілю. На інтенсивність солеобміну впливають насиченість сівозміни рисом, режим рівня підґрунтових вод впродовж року, їх мінералізація та тип ґрунту.

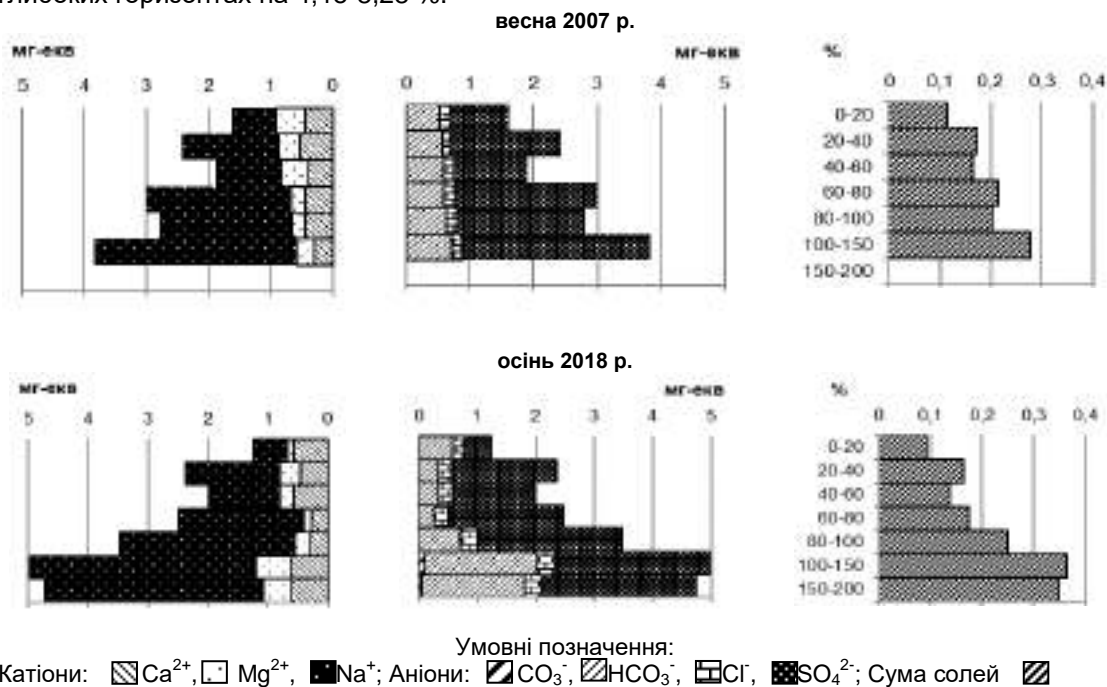
Моніторинг сольового режиму темно-каштанового солонцюватого ґрунту за 10 років експлуатації рисової зрошувальної системи показав, що відбулося розсолення ґрунтового профілю на 2,56-35,71 %, про що свідчить оцінка проаналізованих шарів ґрунтового профілю, як незасолених (Рис. 1). Частка токсичних солей у загальній засоленості зменшилася на 0,59-19,23 %.



**Рис. 1.** Зміна аніонно-катіонного складу у профілі темно-каштанового солонцюватого ґрунту за тривалий час експлуатації РЗС

Відбулись зміни у складі гіпотетичних солей темно-каштанового солонцюватого ґрунту – заміна хлориду натрію на сульфат магнію і гідрокарбонату натрію на гідрокарбонат магнію. Зміна складу гіпотетичних солей призвела до зміни типів засолення у поверхневому шарі ґрунту – за аніонним складом з хлоридно-сульфатного на сульфатний, а, за катіонним складом – з кальцієво-натрієвого на магнієво-натрієвий.

Багаторічна експлуатація лучно-каштанового солонцюватого ґрунту в рисовій сівозміні призвела до розсолення поверхневих шарів (0-40 см) на 5,20-20,18 % та збільшення вмісту легкокорозинних солей в більш глибоких горизонтах на 18,88-23,97 %, які характеризуються як слабо- та середньозасолені (Рис. 2). При цьому відсоток токсичних солей у поверхневих шарах зменшився на 6,71-18,09 %, та збільшився у більш глибоких горизонтах на 4,18-8,28 %.

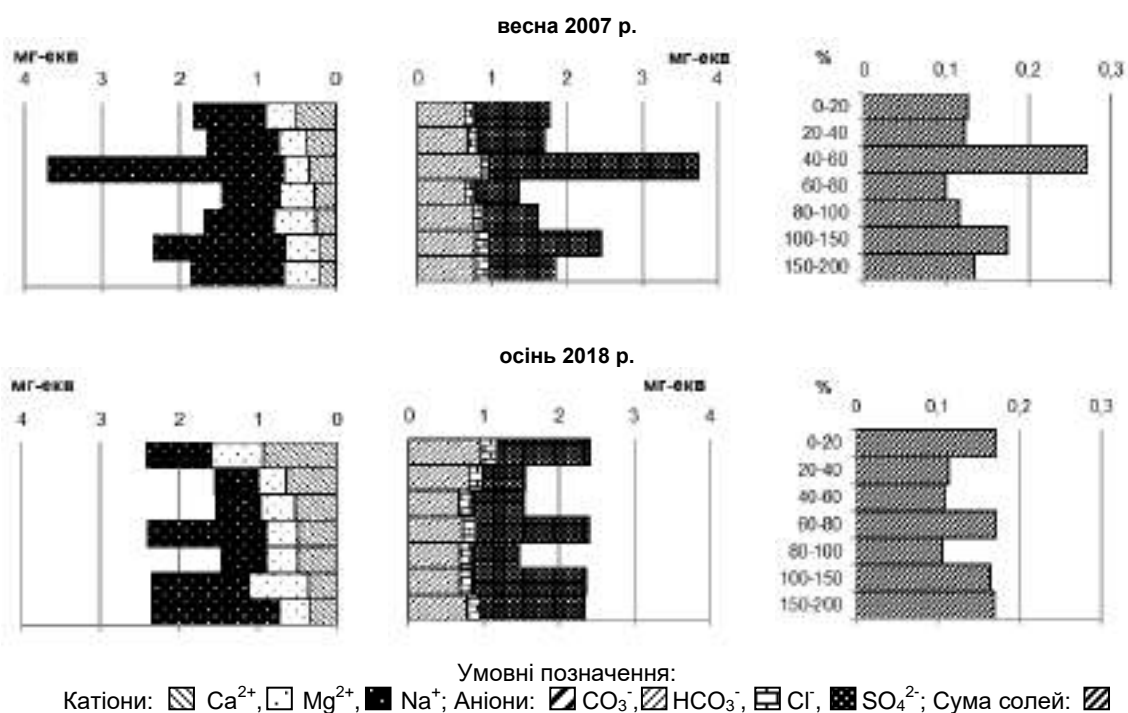


**Рис. 2.** Зміна аніонно-катіонного складу у профілі лучно-каштанового солонцюватого ґрунту за тривалий час експлуатації РЗС

Аналіз складу гіпотетичних солей показав, що за період експлуатації відбулась заміна сульфату магнію хлоридом натрію, у поверхневих шарах (до 60 см), з'явилась нетоксична сіль сульфат кальцію, а нижче 100 см зафіксовано наявність карбонату натрію та гідрокарбонату магнію. Сода, ж зникла з поверхневих шарів ґрунту, до 100 см. Зміни складу гіпотетичних солей не відобразились на типі засолення, який залишився – сульфатним кальцієво-натрієвим.

Експлуатація солонця лучного у рисовій сівозміні протягом 10 років призвела до розсолення шарів ґрунту 20-60 см та 80-150 см на 6,29-59,78 %, та до підвищення вмісту легкорозчинних солей в інших шарах ґрунту на 26,12-42,69 % (Рис. 3). При цьому, відбулось збільшення частки токсичних солей у всіх досліджених горизонтах ґрунту на 1,53-29,49 %.

Порівнюючи склад гіпотетичних солей у 2007 р. та 2018 р., констатували заміну соди гідрокарбонатом магнію. При цьому змінився тип засолення ґрунту за аніонним складом із содово-сульфатного на хлоридно-сульфатний та сульфатний. Відбулись зміни і у типі засолення ґрунту за катіонним складом до 100 см з магнієво-натрієвого на натрієво-кальцієвий (0-40 см) та кальцієво-натрієвий (40-100 см). У 2018 р. всі досліджені шари ґрунту характеризуються як незасолені.



**Рис. 3.** Зміна аніонно-катіонного складу у профілі солонця лучного за тривалий час експлуатації РЗС

#### 4. Висновки

Багаторічне вирощування рису в сівозміні з насиченістю основною культурою 50 % приводить до розсолення темно-каштанового солонцюватого ґрунту на 11,7 %, лучно-каштанового солонцюватого ґрунту – на 30,7 %, солонця лучного – на 29,2 %.

Процес розсолення ґрунту в умовах РЗС відкритого типу є імпульсним. За вирощування рису відбувається зменшення вмісту легкорозчинних солей, в середньому, на 20,75-25,55 % в умовах темно-каштанового солонцюватого ґрунту, на 8,01-13,23 % – солонця лучного, та на 11,14-51,45 % на ділянці з лучно-каштановим солонцюватим ґрунтом. При цьому відбуваються зміни у складі гіпотетичних солей всіх досліджених ґрунтів, зокрема, у темно-каштановому солонцюватому ґрунті та солонці лучному відбулась заміна соди гідрокарбонатом магнію. У темно-каштановому та лучно-каштановому солонцюватих ґрунтах відмічено рухливість системи хлорид натрію – сульфат магнію.

### Список використаних джерел

1. Szabolcs I. 1994. Prospects of soil salinity for the 21st Century. In: Proceedings of the 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science (ISSS), Acapulco, Mexico. V. 1. P. 123-141.
2. Методы прогноза солевого режима грунтов и грунтовых вод / Н.Н. Веригин, С.В. Васильев, Н.П. Куранов [и др.] под ред. Н.Н. Веригина. Москва: Колос, 1979. 336 с.
3. Железо в питании и продуктивности риса / А.Х. Шейджен, В.В. Прокопенко, Т.Н. Бондарева, М.Н. Броун. Майкоп, 2004. 152 с.
4. Морфологические особенности и изменение магнитной восприимчивости почв рисового агроценоза и богары / А.Х. Шейджен, О.А. Гуторова, Т.А. Зубкова [и др.]. *Международный исследовательский журнал*. 2016. №9 (51), часть 3. С. 133-137. DOI: <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.51.010>.
5. Dobermann A, Witt C. 2000. The potential impact of crop intensification on carbon and nitrogen cycling in intensive rice systems. In: Kirk G.D., Oik D., editors. Carbon and Nitrogen Dynamics in Flooded Soils. Laguna, Philippines: International Rice Research Institute. P. 1-25.
6. Ладатко В.В. Влияние возделывания риса на содержание подвижных соединений азота и фосфора в почве. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015. №11 (42), часть 6. С. 53-67. DOI: 10.18454/IRJ.2015.42.018.
7. Зубкова Т.А., Гуторова О.А., Шейджен А.Х. Матричная организация почв рисовых агроландшафтов Кубани. *Научный журнал КубГАУ*. №134 (09). 2017. С. 1-19. DOI: 10.21515/1990-4665-133-069.
8. Кольцов А.В., Титков А.А. Эволюция рисовых ландшафтно-мелиоративных систем на юге Украины. Симферополь, 2004. 308 с.
9. Growth and yield response of grain legumes to different soil management practices after rainfed lowland rice / G. Kirchof, H.B. So, T. Adisarwanto [et. al]. *Soil and Tillage Research*. 2000. 56(1-2). P. 51-66.
10. Фридланд В.М. Почвы и коры выветривания влажных тропиков. Москва: Наука, 1964. 311 с.
11. Янчковский Ю.Ф. Солевой режим на рисовых полях. *Гидротехника и мелиорация*. 1973. №9. С. 63-67.
12. Гусев П.Г., Бажанов В.Ф. Влияние монокультуры риса на содержание и запасы гумуса в луговых солонцах Крымского Присивашья. *Бюл. Почвенного института им. В.В. Докучаева*. Москва, 1976. Вып. 13. С. 27-33.
13. Кириенко Т.Н. Рисовые поля Украины и пути оптимизации почвообразовательных процессов. Львів: Вища школа, 1984. 184 с.
14. Полупан Н.И. Изменение свойств почв под культурой риса. *Почвоведение*. 1985. Вып. 18. С. 61-67.
15. Технологія вирощування рису з урахуванням вимог охорони навколишнього середовища в господарствах України / Дудченко В.В. Лісовий М.М., Вожегова Р.А. [та ін.]. Херсон, 2011. 84 с.
16. ДСТУ 2730:2015. Захист довкілля. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 9 с.
17. Рис в Україні: [колективна монографія] / За ред. В.А. Сташука, А.М. Рокочинського, Л.М. Грановської. Херсон, 2014. 976 с.
18. ДСТУ 7850:2015. Якість ґрунту. Порядок проведення ґрунтово-сольової зйомки земель. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 7 с.
19. Морозов В.В., Грановська Л.М., Поляков М.Г. Еколого-мелиоративні умови природокористування на зрошуваних ландшафтах України: навчальний посібник. Київ-Херсон, 2003. 208 с.

UDC 631.672:631.587:633.18 (477)

### Salt regime of soils in rice crop rotations

**S.G. Vojegov, K.V. Dudchenko\***

*Institute of rice NAAS, Skadovsk, Ukraine*

\*E-mail: [catherin.dudchenko@gmail.com](mailto:catherin.dudchenko@gmail.com)

Investigation's goal was soil salt regime definition of the main soil types of rice irrigation systems in active rice growing practice conditions. Salt soil regime was investigated on the 8 fields of Institute of rice NAAS. Investigation duration was 10 years. Dark chestnut, meadow chestnut and solonetz meadow soil types were researched. Process of soil desalinization is pulse type in rice irrigation systems conditions. Rice growing causes decrease of soil salt content, in average, to 20,8-25,5 % for dark chestnut soil, to 8,0-13,2 % for solonetz meadow soil, and to 11,1-51,5 % for meadow chestnut soil. There are changes in the composition of hypothetical salts of all investigated soils types; in particular, in the dark chestnut saline soil and solonetz meadow soil there was a replacement of soda ( $\text{NaHCO}_3$ ) with magnesium bicarbonate ( $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ). In the dark chestnut soil and meadow chestnut saline soil, the mobility of the sodium chloride system - magnesium sulfate was noted. Investigations illustrated desalinization of rice irrigation systems' soil, in project work conditions and rice content not more than 50 %. Soil desalinization to 11,7 % for dark chestnut soil, to 30,7 % for meadow chestnut soil, and to 29,2 % for solonetz meadow soil was fixed.

**Keywords:** dark chestnut soil; meadow chestnut soil; rice; rice irrigation system; salt soil balance; solonetz meadow.

*Citing:* Vojegov S.G., Dudchenko K.V. 2019. Salt regime of soils in rice crop rotations. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 54-60. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-07>.

УДК 631.413

## Особливості іммобілізації-мобілізації деяких макроелементів ґрунту на осушуваних заплавах земель під насадженнями енергетичних культур

Ю.Л. Цапко\*, В.В. Зубковська\*\*, А.С. Холодна\*\*\*,  
В.М. Калініченко, Я.М. Водяк

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 23.06.2019 Отримано після доопрацювання 31.07.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019</p> <hr/> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>вуглець; залізо; енергетичні культури; іммобілізація; мікроелементи; мобілізація; нітроген; осушені ґрунти</p>	<p>У статті наведено особливості процесів іммобілізації-мобілізації основних макроелементів осушуваних алювіальних ґрунтів за вирощування енергетичних культур. Об'єктами дослідження були лучний алювіальний важкосуглинковий та лучно-болотний алювіальний важкосуглинковий осушені ґрунти, в межах дослідної земельної ділянки на території заплави р. Вільховатка, у Харківській області України. На ділянці у 2016 р. висаджено багаторічні енергетичні культури – вербу енергетичну та міскантус гігантський. Методи дослідження: польовий – моніторинг рівня підґрунтових вод та щорічне (2017-2019) відбирання проб ґрунту; лабораторно-аналітичний – визначення вмісту у ґрунті основних органогенних елементів (гідроген, вуглець і нітроген) та заліза; статистично-математичний – оцінка достовірності результатів дослідження. Визначено, що на фоні змін клімату в напрямку аридизації властивості алювіальних осушуваних ґрунтів суттєво впливають на перегрупування пулу заліза в ґрунті, на якому вирощують енергетичні культури. Встановлено, що у верхніх шарах лучного алювіального важкосуглинкового ґрунту під рослинами верби енергетичної та міскантуса гігантського протягом трьох років відбулися позитивні зрушення в аспекті перебігу процесів акумуляції-дисипації рухомого заліза, що відобразилося у зменшенні вмісту його двовалентної форми, яка є токсичною для рослин. Вплив вирощування енергетичних культур впродовж трьох років на процеси іммобілізації-мобілізації основних макроелементів на лучному алювіальному важкосуглинковому ґрунті свідчить про переважання іммобілізаційних процесів щодо нітрогену, яке відображується у розширенні співвідношення <math>C_{\text{орг}}/N_{\text{зар}}</math>, яке на третій рік становило у шарах 0-20 та 20-40 см, відповідно, 16,6 і 16,3 та 17,4 і 16,5 під вербою та під міскантусом, тоді як на контрольному варіанті (під аборигенною рослинністю) дорівнювало 15,1 і 15,9. Аналогічні процеси відбуваються і в лучно-болотному алювіальному ґрунті. Помічені позитивні зміни у складі ґрунтів під енергетичними культурами є обґрунтованою перспективою в плані широкого залучення незайманих у сільськогосподарському виробництві земель для виробництва енергетичної сировини та ремедіації ґрунту.</p>

E-mail: \*tsapkoul@i.ua; \*\*v.zubkovskya@gmail.com; \*\*\*lonakalt@gmail.com

*Форма цитування:* Особливості іммобілізації-мобілізації деяких макроелементів ґрунту на осушуваних заплавах земель під насадженнями енергетичних культур / Ю.Л. Цапко, В.В. Зубковська, А.С. Холодна [та ін.]. *Агрехімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2019. С. 61-67. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-08>.

### 1. Вступ

Раціональне використання ґрунтово-земельних ресурсів і, зокрема, осушених земель є одним із важливих чинників збалансованого розвитку аграрної сфери виробництва в Україні. У теперішній час гостро стоїть питання щодо раціонального використання осушених і перезволожених земель, які в державі займають площу близько 4,5 млн га, в тому числі, органогенних (торфових і оторфованих) майже 1,4 млн га, а загальна площа осушених ґрунтів становить близько 3,3 млн га, з них за призначенням не використовується, через вихід з ладу осушувальної мережі та з інших причин, біля 1,1 млн га [1, 2]. Деградаційні процеси, що виникають в осушуваних ґрунтах - вторинне заболочування, галогенізація, оглеєння, озалізнення, дегуміфікація, кольматаж, ущільнення, призвели до заростання значних площ осушуваних земель чагарниковою та низькоякісною рослинністю, внаслідок чого відбувається помітне погіршення агроекологічної ситуації і неможливість використання земель за призначенням. За останнє десятиріччя у сільському господарстві не використовується від 8 до 12 % площі осушених земель [1].

У Західних країнах існують державні програми, спрямовані на збереження та ренатуралізацію гідроморфних ландшафтів, поновлення їх важливих біосферних функцій. Так, у США фермерам на вигідних умовах виділяють не вигідні для сільськогосподарського використання, низькобонітетні перезволожені землі [3, 4]. У Німеччині значну увагу приділяють реалізації проектів ренатуралізації осушених торфових земель [5]. Тобто, погляди на роль заболочених земель в системі земельних ресурсів тут корінним чином

змінились і зараз уже вважається, що осушення заболочених земель і трансформація їх у сільськогосподарські угіддя є менш важливою для людства, ніж збереження їх природних екологічних і гідрологічних властивостей і функцій.

Одним із напрямів використання захарашчених осушених ґрунтів є вирощування енергетичних культур. В останні роки, через глобальну енергетичну кризу, питання «зеленої енергетики» як у державі, так і в цілому в світі, набуло надзвичайної актуальності. Наприклад, відомо, що в Швеції за рахунок біопалива отоплюється 63 % будівель, в Австрії – 37 %, Данії – 35 %, Фінляндії – 32 % [6]. В Україні проблематика вирощування енергетичних культур висвітлена у працях П.І. Лакиди [7], Г.Г. Гелетуки [8] та інших. Теперішнє розширення і зростання енергетичних ринків в результаті проведення нової енергетичної й екологічної політики змінює роль сільського господарства. Біоенергія у теперішній час є новим напрямом попиту на продукцію фермерів, що сприяє формуванню доходів виробників і створенню робочих місць. Фахівці Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів (НАЕР) стверджують, що швидке впровадження відновлюваних джерел енергії (біоетанолу, біодизельного палива, біомаси, сонячної і геотермальної енергії тощо) дозволить зменшити загальне споживання традиційної енергії в Україні на 30 % умовного палива щороку [9]. Вирощування енергетичних культур, насамперед міскантусу гігантського та верби енергетичної, дозволяє не тільки продукувати значу кількість фітомаси, а й безпосередньо відновлювати початкові властивості ґрунтів, завдяки ремедіаційній дії цих культур [10], що є особливо важливим для деградованих ґрунтів на осушуваних землях. Вирощування енергетичних культур на осушених територіях дозволяє не лише отримати значний економічний зиск у вигляді енергетичної сировини, але й значно поліпшити агроекологічний стан ґрунтів і навколишнього середовища [11, 12]. Таким чином, нові наукові знання щодо особливостей перебігу процесів іммобілізації-мобілізації (аккумуляції-дисипації) основних макроелементів в осушених ґрунтах, на яких вирощують енергетичні культури, мають важливе теоретичне та практичне значення.

**Мета** – виявити вплив вирощування енергетичних культур на процеси іммобілізації-мобілізації основних макроелементів в осушених ґрунтах.

## 2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Перебіг процесів іммобілізації-мобілізації основних макроелементів ґрунту досліджували протягом 2017-2019 рр. в умовах польового досліду на контрольній ділянці, що належить фермерському господарству ТОВ «Карат», у заплаві р. Вільховатка на території Ново-Водолазького району Харківської області (Лісостеп Лівобережний). Контрольна ділянка осушена відкритим дренажем за допомогою відкритих каналів, стік з яких надходить безпосередньо до русла річки. На двох осушених ґрунтах – лучному алювіальному важкосуглинковому та лучно-болотному алювіальному важкосуглинковому, який розташований у пониженій частині ділянки, три роки поспіль вирощували дві енергетичні культури – вербу енергетичну (*Salix spp.*) та міскантус гігантський (*Miscanthus spp.*). Методи дослідження: польовий – щорічне відбирання проб ґрунту та два рази на рік визначення рівня залягання підґрунтових вод; лабораторно-аналітичний – визначення вмісту основних органічних елементів (гідроген, вуглець, нітроген) та заліза у досліджуваних ґрунтах; статистично-математичний – встановлення достовірності результатів дослідження.

Схема польового досліду включала три варіанти на кожному з ґрунтів: контроль (лучна та лучно-болотна аборигенна рослинність); верба енергетична (4 рядки); - міскантус гігантський (4 рядки). Рослини висаджували вручну у травні 2016 р. Вербу енергетичну (сорт Марціяна) висаджено черенками за схемою: відстань між рослинами в рядку 0,65 м, ширина міжрядь 0,75 м. На ділянці було висаджено 35 рослин верби. Схема посадки міскантусу гігантського (сорт Осінній зорецьвіт) дещо відрізняється від схеми посадки верби енергетичної. Міскантус висаджували ризомами, відстань між рослинами в рядку становила 1,00 м, а ширина міжряддя – 1,30 м. Всього висаджено 16 рослин міскантусу. Рослини швидко розросталися і вже на 2-3 рік в середині вегетації рослини в міжряддях зімкнулися.

Проби ґрунту відбирали у рядках культур і міжряддях рендомізовано в травні кожного року, у трикратній повторності (у рядках безпосередньо під трьома рослинами) згідно з ДСТУ 4287:2004. Рівень залягання підґрунтових вод у досліджуваних ґрунтах визначали шляхом буріння свердловин на контрольних варіантах двічі на рік – у травні і липні.

У підготовлених зразках ґрунту визначали такі показники: активна кислотність,  $pH_{\text{водн}}$  (згідно з ДСТУ 7862:2015); загальний вміст макроелементів – органічного вуглецю (за методом І.В. Тюріна, згідно з ДСТУ 4289:2004), нітрогену (методом Й. К'ельдаля, згідно з ДСТУ 7926:2015, заліза (за ДСТУ 7913:2015); вміст мінеральних форм нітрогену (нітратного й амонійного) за модифікованою методикою ННЦ ІГА (ДСТУ 4729:2007). Дані аналітичних досліджень статистично оброблено згідно з методикою польового досліді Б.О. Доспехова.

### 3. Результати й обговорення

#### 3.1. Рівень залягання підґрунтових вод та акумуляція-дисипація рухомих форм заліза в осушених ґрунтах, на яких вирощують енергетичні культури

Проведеними дослідженнями встановлено середній рівень залягання підґрунтових вод у вегетаційний період – навесні та в середині літа на лучному алювіальному важкосуглинковому та лучно-болотному алювіальному важкосуглинковому осушених ґрунтах, протягом 2017-2019 рр., табл. 1. Кліматичні зміни в бік підвищення середньорічних температур обумовили інтенсифікацію аридизаційних (опустелювальних) процесів, що відображується у стійкому щорічному зниженні рівня залягання підґрунтових вод. Так, порівняно з 2017 роком, в останні два роки рівень залягання підґрунтових вод поступово знизився у лучному алювіальному важкосуглинковому ґрунті в травні на 18 см, а в липні на 13 см; у лучно-болотному алювіальному важкосуглинковому ґрунті – в травні на 29 см, у липні на 20 см.

**Таблиця 1**

Рівень залягання підґрунтових вод у роки досліджень на осушеній земельній ділянці заплави р. Вільховатка (на контрольних варіантах досліді)

Ґрунт	Рівень підґрунтових вод, см					
	2017		2018		2019	
	травень	липень	травень	липень	травень	липень
Лучний алювіальний важкосуглинковий	69	120	89	126	87	133
Лучно-болотний алювіальний важкосуглинковий	47	75	68	89	76	95

Встановлено, що осушення ґрунту призводить до домінування процесів окиснення. Зміна глибини залягання підґрунтових вод та спрямованість окисно-відновних процесів у бік окиснення суттєво впливають на процеси трансформації у складі ґрунту композиції рухомих форм заліза з помітним збільшенням вмісту його форм з максимальною валентністю (Табл. 2, 3).

**Таблиця 2**

Динаміка вмісту рухомих форм заліза в лучному алювіальному важкосуглинковому ґрунті у роки досліджень

Шар ґрунту, см	Вміст заліза, мг/кг								
	Fe (II)			Fe (III)			Fe (II) + Fe (III)		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
	<i>Верба енергетична</i>								
0-20	74	61	65	28	85	98	102	146	163
20-40	90	71	57	468	550	582	558	621	639
40-60	26	35	22	853	920	996	879	955	1018
	<i>Міскантус гігантський</i>								
0-20	89	58	46	46	63	59	135	121	105
20-40	102	74	63	428	442	502	530	516	565
40-60	46	35	30	704	739	676	750	774	706

Зазначимо, що вирощування значної фітомаси енергетичних культур може також суттєво впливати на перебіг ґрунтових процесів і, в першу чергу, на процеси акумуляції-дисипації основних макроелементів.

Вміст рухомого заліза в лучному алювіальному важкосуглинковому ґрунті під енергетичними культурами наведено в таблиці 2. Встановлено, що на другий та третій роки вирощування енергетичних культур у верхніх шарах (0-20 та 20-40 см) лучного

алювіального важкосуглинкового ґрунту відчутно зменшується вміст закисного заліза Fe (II) та відбувається збільшення вмісту його окисної форми Fe (III). Тобто, простежується зменшення вмісту в ґрунті токсичної для рослин форми заліза, що поліпшує екологічні умови їх зростання.

З іншого боку, відчувається і вплив міскантусу та верби на процеси акумуляції-дисипації рухомих форм заліза у лучному алювіальному важкосуглинковому ґрунті. Результати досліджень свідчать, що вміст окиснених форм заліза під вербою енергетичною, в шарі ґрунту 40-60 см був найбільш високим порівняно з верхніми шарами, і вищим, ніж у цьому шарі під міскантусом; вміст закисної форми з глибиною зменшується.

У часовому вимірі (по роках) також відчутно помітне збільшення вмісту окисненого заліза. Доволі високим є вміст окисної форми у всі роки досліджень, який збільшується з глибиною, навіть у 2017 році. Це можна пояснити накопиченням тривалентних оксидів заліза в попередні роки в так званих «рудякових горизонтах», розчинення яких відбувається повільно, про що йдеться в роботі [13]. Вплив верби енергетичної на акумуляцію тривалентного заліза в верхніх шарах ґрунту, вірогідно пояснюється високою всмоктувальною та аераційною здатністю її розгалуженої кореневої системи, що переважно розташована, як засвідчено в роботі [14], саме в цих шарах ґрунту. Під рослинами міскантусу вищенаведені процеси акумуляції дещо уповільнюються. Справа в тому, що, коренева система міскантусу хоча й здатна проникати на значні глибини (до 2,5 м), однак не є такою потужною, як у верби енергетичної.

Вирощування енергетичних культур на лучно-болотному алювіальному ґрунті також викликає певні зміни складу форм заліза. Під вербою енергетичною по всіх шарах досліджуваного ґрунту за три роки експерименту знижується вміст двовалентної форми заліза, при цьому залишається відносно високим вміст його окисненої тривалентної форми (Табл. 3).

**Таблиця 3**

*Динаміка вмісту рухомих форм заліза в лучно-болотному алювіальному ґрунті у роки досліджень*

Шар ґрунту, см	Вміст заліза, мг/кг								
	Fe (II)			Fe (III)			Fe (II) + Fe (III)		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
	<i>Верба енергетична</i>								
0-20	97	68	55	1530	1278	1123	1627	1346	1178
20-40	145	104	83	386	421	416	531	525	499
40-60	86	59	39	728	377	392	814	436	431
	<i>Міскантус гігантський</i>								
0-20	159	135	107	110	182	203	269	317	310
20-40	132	114	91	328	360	373	460	474	464
40-60	50	46	43	304	352	404	354	398	447

Відмічені процеси профільного перерозподілу заліза в післямеліоративний період використання гідроморфних ґрунтів так само як і формування несилікатних форм заліза в ґрунтових горизонтах за даними [13] залежать від режиму коливання капілярної облямівки підґрунтових вод, співвідношення висхідного і низхідного типів водного режиму, кислотно-основних властивостей ґрунту та вмісту заліза в підґрунтових водах.

Виявлено, що за вирощування енергетичних культур на лучно-болотному ґрунті внаслідок зниження рівня підґрунтових вод відбувається перерозподіл форм заліза з переважанням його окисненої форми, що є позитивним фактором для зростаючих рослин.

Встановлено, що під насадженнями верби на другий та третій роки їх вирощування у верхніх шарах лучно-болотного алювіального ґрунту спостерігається дещо підвищений прояв дисипативних процесів, тобто, зниження вмісту рухомих форм заліза. З глибиною загальний вміст рухомих сполук заліза на другий та третій роки також помітно зменшувався. Під міскантусом гігантським у лучно-болотному ґрунті дещо уповільнюються з часом процеси акумуляції-дисипації залізистих сполук.

У лучно-болотному алювіальному ґрунті під рослинами верби енергетичної протягом трьох років відбулися позитивні зрушення в аспекті перебігу процесів акумуляції-дисипації рухомого заліза. При цьому не було зафіксовано помітної акумуляції рухомих сполук заліза, а вміст його токсичної для рослин двовалентної форми помітно зменшився. Вирощування міскантусу гігантського на цьому ґрунті суттєво не вплинуло на процеси акумуляції-дисипації рухомого заліза.

Результати досліджень свідчать, що використання ґрунтів для вирощування міскантусу гігантського та верби енергетичної, а також зниження рівня залягання підґрунтових вод (з кліматичних причин) здебільшого сприяли перерозподілу форм заліза в бік переважання його окисненої форми, як у лучному алювіальному, так і в лучно-болотному алювіальному ґрунтах.

### 3.2. Перебіг процесів іммобілізації-мобілізації основних органогенних елементів у ґрунтах під енергетичними культурами

Дослідження впливу вирощування енергетичних культур на процеси іммобілізації-мобілізації основних макроелементів в осушених ґрунтах проведено за показниками  $pH_{\text{водн.}}$ , вмісту вуглецю органічної речовини та загального вмісту нітрогену, а також вмісту мінеральних форм нітрогену на першому та третьому роках вирощування енергетичних культур (червень 2017 та 2019 рр.). У таблиці 4 наведено динаміку параметрів цих основних органогенних елементів у лучному алювіальному важкосуглинковому ґрунті, за умов вирощування енергетичних культур. Встановлено, що реакція ґрунтового розчину в лучному алювіальному важкосуглинковому ґрунті наближається до нейтральної. За вирощування верби, протягом 3-х років, спостерігається тенденція до іммобілізації гідрогену (збільшення його концентрації).

Під рослинами міскантусу, навпаки, параметри  $pH$  зростають, тобто концентрація гідрогену зменшується через мобілізаційні процеси. На третій рік зростання енергетичних культур на лучному алювіальному важкосуглинковому ґрунті простежуються відчутні зміни вуглецево-нітрогенної складової, що особливо помітно за зміною співвідношення вмісту вуглецю органічної речовини та вмісту загального нітрогену, яке зростає у верхніх шарах ґрунту в ризосфері і міскантусу гігантського, і верби енергетичної. Так, якщо на контрольному варіанті співвідношення  $C_{\text{орг.}}/N_{\text{заг.}}$  у шарах 0-20 і 20-40 см дорівнювало відповідно 15,1 і 15,9 то під вербою та міскантусом воно становило, відповідно, 16,6 і 16,3 та 17,4 і 16,5.

Зазначимо, що розширення цього показника під енергетичними культурами свідчить про переважання іммобілізаційних процесів щодо азоту.

Мобілізаційно-іммобілізаційні процеси у ґрунтах, як зазначено в роботі [8], залежать від перебігу вуглецевого та окисно-відновного режимів, що на 80 % обумовлює й вміст нітратної форми нітрогену. Зменшення вмісту нітратної та амонійної форм нітрогену на третій рік проведення досліджень під міскантусом гігантським, на наш погляд, можна пояснити витрачанням цих поживних сполук на формування значної кількості біомаси цієї культури [15].

#### Таблиця 4

Вміст основних органогенних елементів у лучному алювіальному важкосуглинковому ґрунті під енергетичними культурами у перший і третій роки досліджень

Варіант	Шар ґрунту, см	pH водн.		Вміст органогенних елементів									
				$C_{\text{орг.}}, \%$		$N_{\text{заг.}}, \%$		$C_{\text{орг.}} / N_{\text{заг.}}$		N-NO <sub>3</sub> , мг/кг		N-NH <sub>4</sub> , мг/кг	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль (аборигенна рослинність)	0-20	7,4	7,3	3,73	3,62	0,25	0,24	14,9	15,1	1,27	1,44	4,06	4,29
	20-40	7,3	7,2	3,45	3,50	0,21	0,22	16,4	15,9	1,01	1,15	3,62	3,83
Верба (у кущі)	0-20	7,3	7,1	3,73	4,31	0,24	0,26	15,5	16,6	1,36	1,90	4,08	5,16
	20-40	7,3	7,0	3,54	3,92	0,22	0,24	16,1	16,3	0,99	1,42	3,75	4,29
Верба (міжряддя)	0-20	7,4	7,4	3,69	4,02	0,24	0,25	15,4	16,1	1,22	1,73	4,19	4,71
	20-40	7,3	7,5	3,46	3,78	0,21	0,23	16,5	16,4	1,09	1,33	3,70	4,12
Міскантус (у кущі)	0-20	7,3	7,4	3,80	4,35	0,26	0,25	14,6	17,4	1,23	1,16	3,97	4,08
	20-40	7,3	7,5	3,57	3,79	0,22	0,23	16,2	16,5	0,92	1,06	3,65	3,74
Міскантус (міжряддя)	0-20	7,4	7,3	3,62	3,86	0,24	0,23	15,1	16,8	1,08	1,26	3,99	4,22
	20-40	7,4	7,5	3,46	3,57	0,22	0,22	15,7	16,2	1,10	1,03	3,70	3,85
<i>НІР<sub>05</sub></i>	-	0,1	0,1	0,16	0,18	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-

Примітка. Роки досліджень: 1 – 2017; 2 - 2019

Динаміку вмісту основних органогенних елементів у лучно-болотному алювіальному важкосуглинковому ґрунті, за умов вирощування енергетичних культур, наведено в таблиці 5.

**Таблиця 5**

Вміст основних органогенних елементів у лучно-болотному алювіальному важкосуглинковому ґрунті під енергетичними культурами у першій і третій роки досліджень

Варіант	Шар ґрунту, см	рН водн.		Вміст органогенних елементів									
				C <sub>орг.</sub> , %		N <sub>заг.</sub> , %		C <sub>орг.</sub> / N <sub>заг.</sub>		N-NO <sub>3</sub> , мг/кг		N-NH <sub>4</sub> , мг/кг	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль (аборигенна рослинність)	0-20	7,2	7,2	3,78	3,82	0,23	0,23	16,4	16,6	1,22	1,31	3,75	3,89
	20-40	7,4	7,3	3,72	3,69	0,23	0,23	16,2	16,1	0,81	0,86	3,28	3,43
Верба (у кущі)	0-20	7,2	7,1	3,81	4,54	0,23	0,25	16,6	18,2	1,30	1,12	3,87	4,01
	20-40	7,1	7,0	3,58	4,30	0,22	0,24	16,3	17,9	0,79	0,63	3,35	3,44
Верба (міжряддя)	0-20	7,2	7,3	3,80	4,23	0,23	0,24	16,5	17,6	1,14	1,18	3,80	3,81
	20-40	7,1	7,3	3,63	4,03	0,22	0,23	16,5	17,5	0,84	0,95	3,36	3,49
Міскантус (у кущі)	0-20	7,1	7,2	3,79	4,33	0,23	0,25	16,5	17,3	1,25	1,48	3,85	4,34
	20-40	7,3	7,4	3,71	4,09	0,23	0,24	16,1	17,0	0,86	0,92	3,41	3,68
Міскантус (міжряддя)	0-20	7,2	7,4	3,75	4,11	0,23	0,24	16,3	17,1	1,19	1,35	3,78	3,96
	20-40	7,2	7,3	3,61	4,07	0,22	0,24	16,4	17,0	0,78	1,17	3,32	3,60
<i>HIP<sub>05</sub></i>	-	0,1	0,1	0,16	0,18	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-

Примітка. Роки досліджень: 1 – 2017; 2 - 2019

Культивування енергетичних культур на лучно-болотному алювіальному важкосуглинковому ґрунті призводить до переважання процесів іммобілізації нітрогену, тобто відбувається його секвестрація. Про це свідчить підвищення співвідношення C<sub>орг.</sub>/N<sub>заг.</sub> на третій рік, як під вербою енергетичною, так і під міскантусом гігантським. Слід відмітити, що найбільш відчутно процеси іммобілізації нітрогену в лучно-болотному алювіальному важкосуглинковому ґрунті відбуваються за вирощування верби енергетичної. Отже, можна з великою часткою ймовірності передбачити, що широке запровадження вирощування верби енергетичної на осушених лучно-болотних ґрунтах сприятиме поліпшенню екологічної ситуації у навколишньому середовищі.

В цілому вирощування верби енергетичної та міскантусу гігантського протягом трьох років позитивно вплинуло на перебіг процесів іммобілізації-мобілізації макроелементів у лучному алювіальному важкосуглинковому та лучно-болотному алювіальному важкосуглинковому осушених ґрунтах, що є перспективним для широкого залучення незайманих у сільськогосподарському виробництві аналогічних ґрунтів для виробництва енергетичної сировини.

#### 4. Висновки

Встановлено, що у верхніх шарах лучного алювіального важкосуглинкового ґрунту під рослинами верби енергетичної та міскантусу гігантського протягом трьох років відбулися позитивні зрушення в аспекті перебігу процесів акумуляції-дисипації рухомого заліза, що відобразилося у зменшенні вмісту його двовалентної форми, яка є токсичною для рослин. Аналогічні процеси відбуваються і у лучно-болотному алювіальному ґрунті.

Вирощування енергетичних культур впродовж трьох років позитивно вплинуло на процеси іммобілізації-мобілізації основних макроелементів на лучному алювіальному важкосуглинковому ґрунті, про що, свідчить переважання іммобілізаційних процесів щодо нітрогену, яке відображується у розширенні співвідношення C<sub>орг.</sub>/N<sub>заг.</sub> яке на третій рік становило у шарах 0-20 та 20-40 см, відповідно, 16,6 і 16,3 та 17,4 і 16,5 під вербою та міскантусом, тоді як у цих шарах на контрольному варіанті дорівнювало 15,1 і 15,9.

Позитивний вплив вирощування верби енергетичної та міскантусу гігантського протягом трьох років на перебіг процесів іммобілізації-мобілізації макроелементів в лучному алювіальному важкосуглинковому та лучно-болотному алювіальному важкосуглинковому осушених ґрунтах відкриває хорошу перспективу для широкого залучення незайманих у сільськогосподарському виробництві земель для виробництва енергетичної сировини та ремедіації ґрунту.

### Список використаних джерел

1. *Меліорація ґрунтів* (систематика, перспективи, інновації): колективна монографія / за ред. С.А. Балюка, М.І. Ромашенка, Р.С. Трускавецького. Херсон: Грін Д. С., 2015. 668 с.
2. *Трускавецький Р.С., Цапко Ю.Л.* Основи управління родючістю ґрунтів: монографія / за наук. ред. Р.С. Трускавецького. Харків: ФОРМ Бровін О.В., 2016. 388 с.
3. *Despain Wendy J.* A summary of the SWCS Wetlands Reserve Program survey. *Soil and Water Conserv.* 1995. 50. № 6. P. 632-633.
4. *Dugan P.Z.* Coservation of Wetlands: a global conserv. *Suomen akat. julk.* 1998. № 5. P. 1-4.
5. *Meier-Brunckhorst I., Ulrich P.* Wiederverdssung der Mhlenau-Niederung. *Naturschutz und Landschaftsplan.* 1995. 27. № 5. P. 180-186.
6. *Бурлака Н.І.* Доцільність використання біологічної сировини для виробництва біопалива. // *Земля України – потенціал продовольчої, енергетичної та екологічної безпеки держави*. Т. 1. Київ, 2014. С. 77–80.
7. *Енергетичний потенціал біомаси в Україні* / П. І. Лакида, Р. Д. Васишин, С. В. Зібцев, І. П. Лакида // *Навчально науковий інститут лісового і садово-паркового господарства НУБіП України*. Київ: Видавничий центр НУБіП України. 2011. 28 с.
8. *Гелетука Г.Г., Желєзна Т.А., Трибой О.В.* Перспектива вирощування та використання енергетичних культур в Україні. // *Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України*. №10. 2014. 33 с. URL: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-10-ua.pdf>.
9. *Скорук О.П.* Перспективи розвитку відновлювальної енергії в Україні. *Економіка АПК: матеріально-технічне забезпечення аграрної сфери*. №5. 2013. С. 63-66. URL: [http://www.eapk.org.ua/sites/default/files/eapk/13\\_05\\_10.pdf](http://www.eapk.org.ua/sites/default/files/eapk/13_05_10.pdf).
10. *Font V.* Renewable energy responsible for first ever carbon emission stabilization / [Електронний ресурс] 2015. URL: <http://www.renewableenergyworld.com/articles/2015/06/renewable-energy-responsible-for-first-ever-carbon-emission-stabilization.html>.
11. *Холодна А.С.* Ґрунтові чинники заплавлних ґрунтів, які лімітують зростання енергетичних культур. *Ґрунтознавство*. Т. 17. №3-4. 2016. С. 43–50. DOI: 10.15421/041612.
12. *Холодна А.С.* Біологічна рекультивация осушеної земельної ділянки заплави р. Вільховатка Харківської області. *Екологічні науки*. №1 (20). 2018. С. 126–130. URL: [http://www.ecoj.dea.kiev.ua/archives/2018/1/part\\_2/28.pdf](http://www.ecoj.dea.kiev.ua/archives/2018/1/part_2/28.pdf).
13. *Трускавецький Р.С., Калініченко В.М., Соколова Н.Ю.* Еколого-генетична роль заліза в заплавлних ґрунтах Лівобережного Лісостепу України. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 68. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2008. С. 18-23.
14. *Balat M., Balat H.* Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. *Applied energy*. 2009. № 86. P. 2273-2282. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.03.015.
15. *Cultivation of miscanthus* under West European conditions: seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization / M. Himken, J. Lammel, D. Neukirchen [et al.]. *Plant and Soil*. 1997. № 189. P. 117–126. URL: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1004244614537>.

UDC 631.413

### Features of immobilization-mobilization of some macroelements of soil on drained floodplain lands under energy crops

Yu.L. Tsapko\*, V.V. Zubkovska\*\*, A.S. Kholodna\*\*\*, V.M. Kalinichenko, Ya.M. Vodyak

NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, Ukraine  
E-mail: \*tsapkoul@i.ua; \*\*v.zubkovskya@gmail.com; \*\*\*lonakalt@gmail.com

The article presents features of immobilization-mobilization of the main macroelements of drained alluvial soils within the limits of the Left Bank Forest-Steppe for the cultivation of energy crops. The objects of the study were meadow alluvial clay loam soil and meadow-bog alluvial clay loam soil, within the experimental plot on the territory of the flood plain of the Vilhovatka River, in the Kharkiv region of Ukraine. In the plot in 2016, perennial energy crops were planted - energy willow (*Salix spp.*) and giant miscanthus (*Miscanthus spp.*). Research methods: field - monitoring of groundwater level, annual (2017-2019) sampling of soil; laboratory-analytical - determination of the content of basic organic elements in the soil (hydrogen, carbon, nitrogen) and iron; Statistical-mathematical analysis of the reliability of the research results. It has been determined that the background of climate change in the direction of aridization the properties of alluvial drained soils significantly affects the rearrangement of a pool of iron in the soil on which energy crops are grown. It has been established that in the upper layers of the meadow alluvial clay loam soil under the plants of willow energy and giant miscanthus for three years there were positive changes in the aspect of the process of accumulation-dissipation of movable iron, which was reflected in the reduced content of its divalent form, which is toxic to plants. The effect of growing energy crops over three years on the processes of immobilization-mobilization of the main macroelements on the meadow alluvial clay loam soil indicates the predominance of immobilization processes with respect to nitrogen, which is reflected in the enhanced ratios of Corg / Ntot., which in the third year was in layers 0-20 and 20-40 cm, respectively, 16,6 and 16,3 and 17,4 and 16,5 under willow and miscanthus, while in the control version was equal to 15,1 and 15, 9. Similar processes occur in the meadow-bog alluvial soil. The identified positive changes in the composition of the soil under energy crops are a reasonable prospect in terms of widespread involvement of lands unoccupied in agricultural production for the production of energy raw materials and simultaneous soil remediation.

**Keywords:** carbon, drained soils, energy crops, immobilisation, iron, macroelements, mobilisation, nitrogen.

*Citing:* Tsapko Yu.L., Zubkovska V.V., Kholodna A.S., Kalinichenko V.M., Vodyak Ya.M. 2019. Features of immobilization-mobilization of some macroelements of soil on drained floodplain lands under energy crops. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 61-67. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-08>.

УДК 631.43

## Ріст та продуктивність кореневої системи сільськогосподарських культур залежно від агрофізичних характеристик ґрунту

С.І. Криlach

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 29.05.2019 Отримано після доопрацювання 16.07.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019	Представлено результати модельних вегетаційних дослідів з вивчення впливу агрофізичних характеристик ґрунту в межах посівного шару, а саме структурного складу та щільності будови, на розвиток кореневої системи сільськогосподарських культур. Метою роботи є дослідження впливу параметрів щільності будови та структурного складу ґрунту на параметри кореневої системи сільськогосподарських культур. Застосовано аналітичний, вегетаційний та математико-статистичний методи досліджень. Доведено, що фізичні параметри ґрунту істотно впливають на розвиток кореневої системи рослин. Виявлено тенденцію до погіршення стану та якості кореневої системи досліджуваних культур за збільшення розміру структурних агрегатів у посівному шарі ґрунту, що призвело до зниження коефіцієнту продуктивності кореневої системи в цілому. Виявлено, що високий рівень ущільнення піднасінового прошарку ґрунту, порівняно із низьким та середнім рівнями, призводить до погіршення розвитку кореневої системи сільськогосподарських культур. Відмічено лінійну залежність: зменшення довжини кореневої системи відбувається за збільшення рівня ущільнення ґрунту. Відмічався негативний вплив як високого, так і низького рівнів ущільнення піднасінового прошарку ґрунту на діаметр коренів рослин, особливо пшениці ярої. Суттєве зниження діаметру коренів рослин кукурудзи та проса констатовано лише за ущільненого піднасінового прошарку ґрунту. Високий рівень ущільнення піднасінового прошарку ґрунту обумовив зменшення загального об'єму кореневої системи всіх досліджуваних культур, а також кількості та довжини кореневих волосків, що негативно впливає на здатність рослин засвоювати поживні елементи та вологу з ґрунту.
<p><i>Ключові слова:</i></p> <p><i>ґрунт;</i> <i>коренева система;</i> <i>посівний шар ґрунту;</i> <i>сільськогосподарські культури;</i> <i>структурний склад;</i> <i>щільність будови.</i></p>	

E-mail: svetlana.krylach@gmail.com

*Форма цитування:* Криlach С.І. Ріст та продуктивність кореневої системи сільськогосподарських культур залежно від агрофізичних характеристик ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2019. С. 68-73. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-09>.

### 1. Вступ

У сучасному сільськогосподарському виробництві неможливо отримати високі врожаї без регулювання агрофізичних характеристик ґрунту, а особливо щільності будови та структурного складу, та підтримання їх на оптимальному рівні. Численними дослідженнями встановлено [1, 2, 3], що агрофізичні характеристики ґрунту є одними із основних чинників, що впливають на ріст, глибину проникнення і розвиток коренів рослин, що і визначає, в кінцевому результаті, врожайність.

Параметрами структурного складу ґрунтових горизонтів обумовлюються можливість проникнення коренів рослин на певну глибину, водно-повітряний, тепловий, та мікробіологічний режими ґрунту, характер надходження елементів живлення у ґрунт, а з ґрунту – в рослини. Натомість, опрацюванням численної вибірки даних для ґрунтів різних типів, показано, що від розміру макроагрегатів ґрунту не залежить його польова вологоємність [4]. Але безструктурні ґрунти, як правило, є бідними на органічні речовини та доступні сполуки азоту і є менш продуктивними [5].

Експериментально доведено, що за переущільнення ґрунтів погіршується поживний режим, умови мінерального живлення рослин та ускладняється використання елементів живлення рослинами з ґрунту [6]. Відбувається порушення механізму поглинання і транспірації поживних речовин коренями, доставки й подачі їх кореневою системою до надземних органів рослин, у результаті – знижується врожайність. Доведено, що між щільністю будови ґрунту та його вологоємністю існує тісний обернений зв'язок [4], що обумовлено зменшенням об'єму корисних пор. Послаблення здатності ґрунту утримувати вологу призводить до погіршення його біологічного режиму, а також обумовлює зміну морфології коренів і послаблення їх здатності проникати вглиб ґрунту. У рослин на ущільненому ґрунті помічено зменшення площі загальної поверхні коренів і площі їхнього контакту з ґрунтом.

Дослідженнями С.І. Зінченка [7] встановлено, що розповсюдження кореневої системи у період колосіння зернових культур залежить від щільності будови ґрунту. Відмічається збільшення маси коренів зі зниженням щільності будови ґрунту у межах орного шару.

В Україні впродовж багатьох років у різних природних зонах проведено багато досліджень у стаціонарних умовах, узагальнення результатів яких демонструє не лише погіршення живлення рослин на переущільненому ґрунті, але й суттєві втрати врожаю [8].

Отже, агрофізичні характеристики ґрунту, а саме структурний склад та щільність будови – це ключові індикатори, що обумовлюють інші властивості та режими. Погіршення фізичних властивостей веде до зниження здатності рослин засвоювати вологу та поживні елементи із ґрунту, що негативно впливає на їхній розвиток і призводить до зменшення урожаїв сільськогосподарських культур.

Незважаючи на великий інтерес дослідників до фізичних властивостей ґрунту та їх значущості, актуальним залишається питання вивчення впливу параметрів структури та щільності будови окремих частин посівного шару ґрунту на параметри кореневої системи рослин.

Мета роботи – виявити вплив параметрів структурного складу та щільності будови ґрунту на параметри кореневої системи сільськогосподарських культур.

## **2. Об'єкти і методи досліджень**

Для виявлення впливу щільності будови та структурного складу ґрунту на розвиток кореневої системи рослин було проведено серію вегетаційних дослідів. Досліджували три польові культури: кукурудза (гібрид Моноліт МВ), яра пшениця (сорт Харківська-30) та просо (сорт Слобожанське). Ґрунтову масу для досліджень було відібрано з орного шару чорнозему типового малогумусного важкосуглинкового на лесоподібному суглинку з такими параметрами: рН сольовий – 6,2; загальний уміст гумусу – 5,1 %; вміст рухомого фосфору та калію (за Чиріковим) – відповідно 253 та 472 мг/кг ґрунту.

Веgetаційні досліді було закладено у пластикових посудинах ємністю 5 дм<sup>3</sup> у трикратному повторенні. У першому досліді вивчали вплив структурного складу ґрунту на проростання, ріст та розвиток кореневої системи культур. Ґрунт для досліді було просіяно крізь сита з певним розміром отворів і таким чином створено три варіанти структурного складу ґрунту: 0,5-3; 3-10 та 10-20 мм. Пластикові посудини були повністю заповнені ґрунтовою масою з такими параметрами структури.

У другому досліді було створено різну щільність будови у піднасіньовому прошарку ґрунту; досліджувані рівні щільності будови ґрунту становлять три варіанти у схемі досліді: низький (<1,1 г/см<sup>3</sup>), середній (1,1-1,3 г/см<sup>3</sup>) і високий (>1,3 г/см<sup>3</sup>). Параметри щільності будови ґрунту визначали згідно з ДСТУ ISO 11272-2001 [9]. На ущільнений шар було розміщено попередньо зволожені насіння, і прикрито зверху шаром ґрунту (наднасіньовий шар), вирівняного за структурним складом (з розміром агрегатів від 0,25 до 10 мм). Потужність наднасіньового шару залежала від стандартної глибини посіву сільськогосподарської культури: для кукурудзи – 6-7 см, для ярої пшениці та проса – 4-5 см.

Полив рослин в обох дослідіх здійснювали через скляну трубку, щоб вода надходила знизу. Досліджувані рівні зволоження – частка від найменшої вологості (НВ): високий (1,0 НВ), середній (0,75 НВ) і низький (0,5 НВ). За НВ прийнято 41 % – середню польову вологості чорнозему типового малогумусного важкосуглинкового в орному шарі, розраховану з використанням бази даних [10] з вибірки у межах Харківської області.

Дослідження параметрів кореневої системи рослин проводили у фазі появи у рослин 4-го листка. Стан кореневої системи рослин контролювали за параметрами довжини і діаметру коренів, використовуючи метод прямого вимірювання; коефіцієнт продуктивності кореневої системи розраховували за формулою Н.З. Станкова [11] як відношення маси надземної частини рослини до маси коренів.

Математичну та статистичну обробку результатів досліджень проводили методом дисперсійного аналізу, для побудови графічних ілюстрацій було використано спеціальну програму О.О. Єгоршина та М.В. Лісового для обробки багатофакторних дослідів [12].

## **3. Результати досліджень**

### *3.1. Вплив структурного складу ґрунту на розвиток кореневої системи сільськогосподарських культур (дослід №1)*

В результаті проведених досліджень встановлено зв'язок між розвитком кореневої системи сільськогосподарських культур та структурним складом посівного шару ґрунту. Відмічено тенденцію до збільшення довжини коренів та зменшення їх діаметрів за збільшення розміру структурних агрегатів ґрунту від 0,5 до 20,0 мм (Рис. 1). Очевидно, що це може призвести до обривання молодих коренів у процесі зволоження та висихання ґрунту.

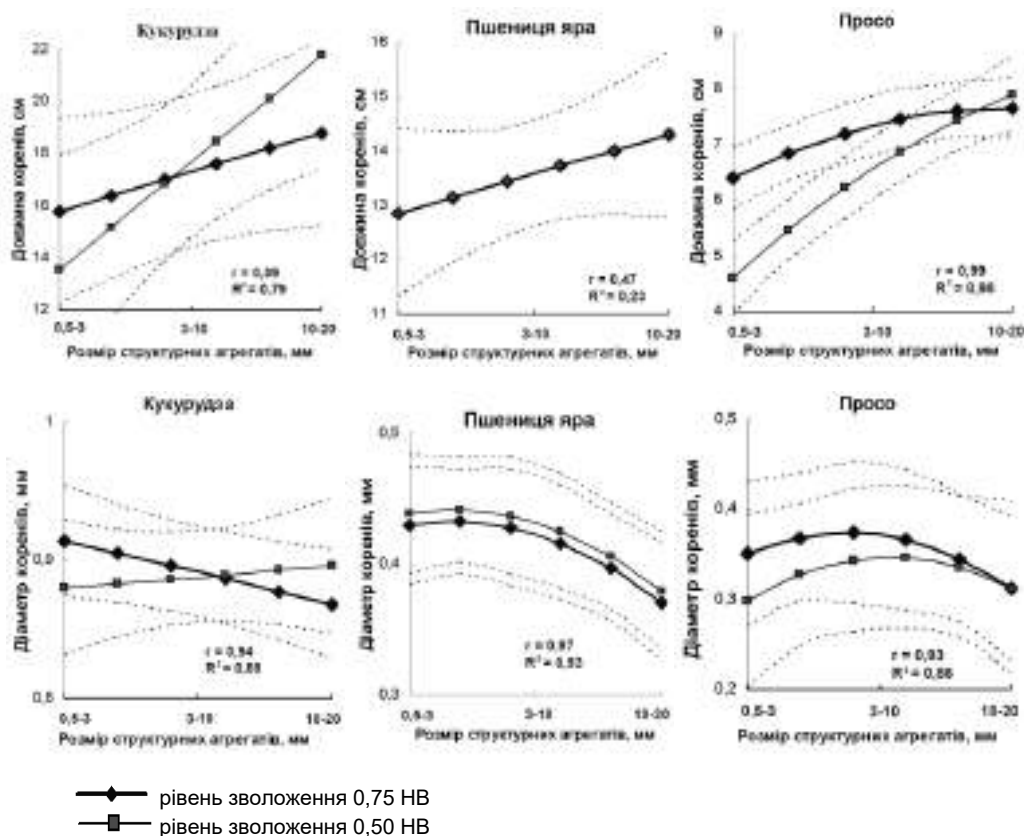


Рис. 1. Вплив структурного складу ґрунту на показники кореневої системи рослин (дослід №1)

Разом з тим виявлено, що значення коефіцієнту продуктивності коренів, який характеризує продуктивність роботи кореневої системи та вимірюється як відношення надземної маси рослини до маси кореневої системи, залежить від розміру структурних агрегатів у посівному шарі ґрунту (Рис. 2).

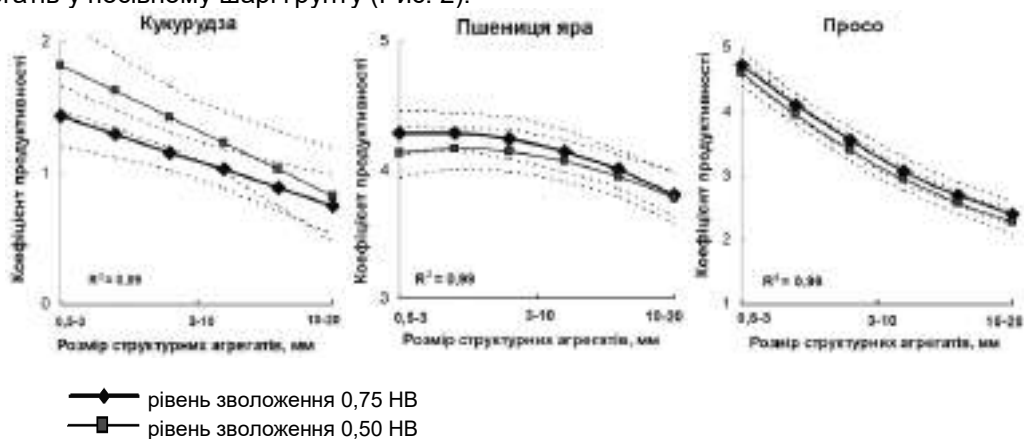


Рис. 2. Вплив структурного складу ґрунту на коефіцієнт продуктивності кореневої системи вирощуваних культур (дослід №1)

Виявлено тенденцію до зниження коефіцієнту продуктивності коренів кукурудзи та проса за збільшення розміру структурних агрегатів у насіннєвому прошарку ґрунту. Для рослин пшениці ярої чіткої залежності не відмічалось, але спостерігалось зниження продуктивності коренів за розміру структурних агрегатів ґрунту 10-20 мм.

### 3.2. Вплив щільності будови ґрунту на розвиток кореневої системи сільськогосподарських культур (дослід №2)

У ході досліджень виявлено погіршення розвитку кореневої системи за ущільненого піднасіньового прошарку ґрунту порівняно з низьким та середнім рівнями ущільнення (Рис. 3). Відмічалась тенденція до зменшення довжини кореневої системи за збільшення рівня ущільнення ґрунту, як за середніх так і мінімальних значень зволоження.

У результаті проведення досліджень виявлено, що на діаметр коренів досліджуваних культур у фазу появи у рослин 4-го листка щільність будови ґрунту у піднасіньовому прошарку, штучно створена на час сівби, впливає по-різному. Зниження діаметру коренів пшениці констатовано як за низького, так і високого рівнів ущільнення, а кукурудзи та проса – лише за високого рівня.

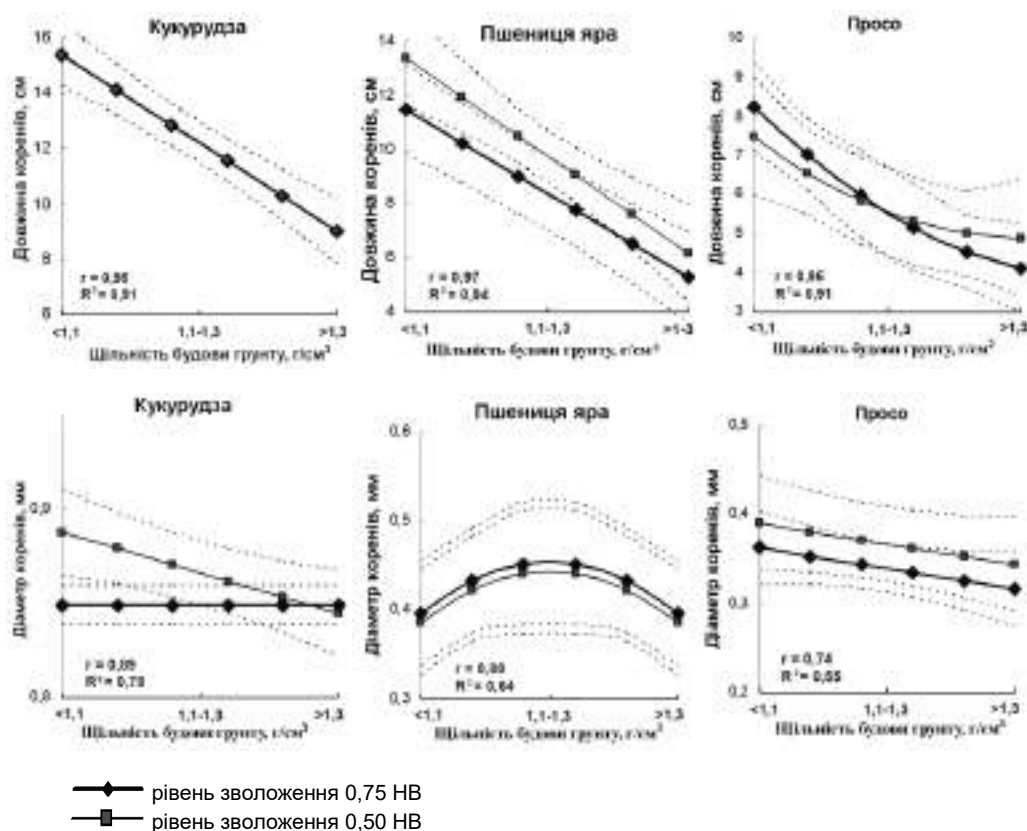


Рис. 3. Вплив щільності будови піднасіньового прошарку ґрунту на довжину та середній діаметр коренів рослин (дослід №2)

Таким чином, залежно від щільності будови чорнозему типового важкосуглинкового формувалася різна за морфологічними ознаками та продуктивністю коренева система зернових культур (Рис. 4).

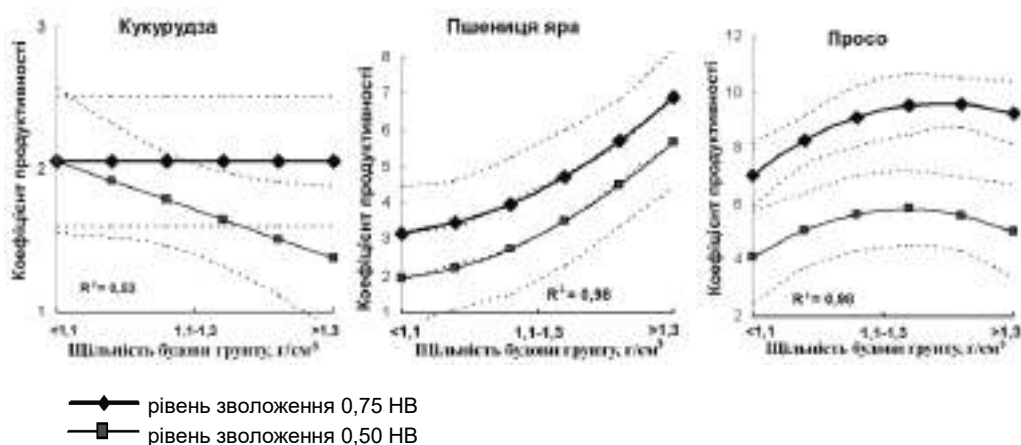


Рис. 4. Коренева система молодих рослин, вирощених за різного рівня щільності будови (г/см³) ґрунту у піднасіньовому прошарку (фото автора)

Надмірне ущільнення піднасіньового прошарку ґрунту (>1,3 г/см³) призвело до зменшення загального об'єму коренів рослин, а також кількості та довжини корених волосків, порівняно із розпушеним та помірно ущільненим, що негативно впливало на поглинання води із ґрунту. Слід зазначити, що більша густота коренів у чорноземних

ґрунтах сприяє більшому поглинанню ґрунтової вологи рослинами, оскільки корінь споживає вологу лише із тонкого шару прилегло до нього ґрунту [13].

Однак, негативні кількісні зміни у морфології коренів частково компенсуються посиленням їхньої продуктивності (Рис. 5).



**Рис. 5.** Залежність коефіцієнту продуктивності коренів вирощуваних культур від ущільнення піднасінового прошарку ґрунту

Зі збільшенням параметрів щільності ґрунту від низького до високого рівня констатовано збільшення коефіцієнта продуктивності кореневої системи пшениці ярої та проса, що, на нашу думку, пояснюється здатністю рослин до адаптації. Тобто, в ущільненому ґрунті коренева система прагне свої невеликі розміри компенсувати підвищенням фізіологічної активності.

#### 4. Висновки

Доведено, що агрофізичні характеристики ґрунту – структурний стан, щільність будови і вологість істотно впливають на параметри кореневої системи кукурудзи, пшениці ярої та проса на перших етапах розвитку.

Виявлено тенденцію до погіршення стану та якості кореневої системи досліджуваних культур зі збільшенням розміру структурних агрегатів у посівному шарі ґрунту – спостерігається зменшення діаметра та збільшення довжини коренів, що може призвести до обривання молодих корінців у процесі зволоження-висихання ґрунту. В цілому констатовано тенденцію до зниження коефіцієнту продуктивності кореневої системи за збільшення розміру структурних агрегатів у посівному шарі ґрунту.

Виявлено погіршення розвитку і зменшення довжини кореневої системи за ущільненого піднасінового прошарку ґрунту порівняно із розпушеним та помірно ущільненим. Відмічався негативний вплив як високого, так і низького рівнів ущільнення піднасінового прошарку ґрунту на діаметр коренів сільськогосподарських культур, особливо для пшениці ярої. Суттєве зниження діаметру коренів кукурудзи та проса констатовано лише за ущільненого піднасінового прошарку ґрунту.

Високий рівень ущільнення піднасінового прошарку ґрунту обумовив зменшення загального об'єму кореневої системи всіх культур, а також кількості та довжини кореневих волосків, що негативно впливає на здатність рослин засвоювати поживні елементи та вологу з ґрунту. Констатовано збільшення коефіцієнта продуктивності кореневої системи пшениці ярої та проса за підвищення рівня ущільнення ґрунту від розпушеного до ущільненого, що на нашу думку, пояснюється здатністю рослин до адаптації.

**Подяка:** Щиро вдячна співробітникам лабораторії геоєкофізики ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» за допомогу в проведенні досліджень.

#### Список використаних джерел

1. Медведєв В.В. Физические свойства и обработка почв в Украине. Харьков: Городская типография, 2013. 224 с.
2. Soil compaction-induced changes of physicochemical properties of cereal roots / A. Szatanik-Kloca, R. Hornb, J. Lipiec [et al.]. *Soil and Tillage Research*. Vol. 175. January 2018. P. 226-233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.08.016>.

3. Тимошенко Г.З., Коваленко А.М., Новохижній М.В., Шепель А.В. Вплив щільності складення ґрунту на урожайність сільськогосподарських культур за різних систем обробітку ґрунту в короткоротаційних сівозмінах. Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Зрошуване землеробство». 2016. Вип. 66. С. 82–85.

4. О закономерных связях между гидрофизическими и общими физическими свойствами почв. / Т.Н. Лактионова, В.В. Медведев, О.Н. Бигун [и др.]. *Агрохимия и почвоведение*. Межвед. тем. научн. сборник. Вып. 67. Харьков: ННЦ "ИПА им. А.Н. Соколовского". 2007. С. 42-53.

5. *Культиасов И.М.* Экология растений. Москва: Изд-во Московского университета, 1982. 380 с.

6. Уваренко К.Ю. Вплив ущільнення та удобрення ґрунту на використання елементів живлення і продуктивність ячменю ярого. *Вісник аграрної науки*. 2018. №8. С. 76–81. DOI: 10.31073/agrovisnyk201808-11

7. Зинченко С.И. Особенности развития корневой системы зерновых культур. *Земледелие*, 2015. № 6. С. 32-35 URL: <http://juzzemledelie.ru/arkhiv-nomerov/6-2015/512-osobennosti-razvitiya-kornevoj-sistemy-zernovykh-kultur>.

8. Medvedev V.V., Lyndina T.E., Laktionova T.N. Impact of compaction on soil nutrient state – Ukrainian experience. Proc. 3<sup>rd</sup> Workshop INCO COPERNICUS Concerted Action "Experiences with the impact of subsoil compaction on soil nutrients, crop growth and environment, and ways to prevent subsoil compaction". Buzeni-Romania, June 14-18, 2001. Bucuresti: Estalia, 2002. P. 163-171.

9. *Якість ґрунту*. Визначання щільності складення на суху масу (ISO 11272:1998, IDT): ДСТУ ISO 11272–2001. [Чинний від 2003–07–01]. К.: Держспоживстандарт України, 2003. 15 с.

10. База данных «Свойства почв Украины» (структура и порядок использования). / Т.Н. Лактионова, В.В. Медведев, К.В. Савченко [и др.] Изд. 2-ое. Харьков: ЦТ №1, 2012. 150 с.

11. *Станков Н.З.* Корневая система полевых культур. Москва: Колос, 1964. 280 с.

12. *Єгоршин О.О., Лісовий М.В.* Планування і математична обробка багатofакторних дослідів. Харків: Міська друкарня, 2009. 32 с.

13. *Шейн Е.В.* Доступность влаги для растений в почвах различного гранулометрического состава. *Биологические науки*. 1982. № 5. С. 90-94.

UDC 631.43

## Growth and productivity of the agricultural crops root system depending on soil agrophysical characteristics

S.I. Krylach

NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, Ukraine  
E-mail: [svetlana.krylach@gmail.com](mailto:svetlana.krylach@gmail.com)

The results of model vegetation experiments on the study of the influence of soil agrophysical characteristics within the sowing layer, namely structural composition and bulk density, on the development of the root system of agricultural crops are presented. The purpose of the work is to study the influence of parameters of bulk density and structural composition of soil on the development of the root system of agricultural crops. Analytical, vegetative and mathematical-statistical methods of research have been applied. It has been proved that the agrophysical parameters of the soil significantly affect the development of the root system of agricultural crops. The tendency to deterioration of the condition and quality of the root system of the studied cultures has been established due to the increase in the size of structural aggregates in the seed layer of the soil, which led to a decrease in the productivity coefficient of the root system as a whole. It has been revealed that high level of compaction of the sub-seed layer of soil, compared to low and middle levels, leads to deterioration of root system of agricultural crops development. The linear dependence of the reduction of the length of the root system on increasing the level of soil compaction has been noted. There was a negative influence of both high and low levels of the sub-seed layer of soil on the diameter of the roots of crops, especially for wheat plants. Significant decrease in the diameter of the roots of corn and millet plants is established only for the compacted sub-seed layer of soil. The high level of compaction of the sub-seed layer of soil caused a decrease in the total volume of the root system of all crops, as well as the number and length of root hairs, which adversely affects the ability of plants to absorb nutrients and moisture from the soil.

**Keywords:** agricultural crops; root system; soil; soil bulk density; sowing layer; structural composition.

*Citing:* Krylach S.I. 2019. Growth and productivity of the agricultural crops root system depending on soil agrophysical characteristics. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 68-73. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-09>.

## АГРОХІМІЯ AGROCHEMISTRY

УДК 631.816:631.417.2:631.811.1

### Вплив систем удобрення на органічну речовину та агрохімічні показники чорнозему типового

**Є.В. Скрильник, А.М. Кутова\*, В.А. Гетманенко, К.С. Артем'єва,  
В.М. Ніконенко**

ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського", м. Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 22.05.2019 Отримано після доопрацювання 12.06.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019</p> <hr/> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>азот мінеральний; гуміфікація; органічна речовина; система удобрення; чорнозем типовий.</p>	<p>Метою досліджень було виявлення впливу органічної, орґано-мінеральної і мінеральної систем удобрення сільськогосподарських культур у польовій сівозміні на органічну речовину та агрохімічні показники чорнозему типового. Встановлено, що за період ведення стаціонарного дослідження (26 років) відбулося зменшення загального вмісту гумусу в ґрунті у межах орного шару на 0,05-0,62 % порівняно з вихідними даними. Внесення в ґрунт додаткового вуглецю у вигляді гною за орґано-мінеральної та органічної систем удобрення сприяло регулюванню азотно-вуглецевого балансу в ґрунті шляхом поповнення запасів доступних для мікроорґанізмів вуглецю та азоту, що приводило до збільшення вмісту гумусу в орному шарі ґрунту. Внесення гною двічі за ротацію по 40 т/га сприяло збільшенню вмісту гумусу на 7,2 %, а за умов орґано-мінеральної системи удобрення – на 11,4 % порівняно з контролем. За групуванням ґрунтів за властивостями вміст гумусу оцінюється як високий та дуже високий, тип гумусу гуматний, ступінь гуміфікації високий, насиченість гумусу азотом середня. Досліджено, що тривале застосування мінеральних та органічних добрив призводить до підкислення ґрунтового розчину – зниження параметрів рН<sub>КС</sub>. Застосування органічної та орґано-мінеральної систем удобрення сприяло накопиченню мінерального азоту в орному шарі чорнозему типового. Внесення лише мінеральних добрив посилює мінералізацію азоту ґрунту, про що свідчить збільшення вмісту аміачного азоту та зменшення вмісту нітратного на 61,7 % порівняно з контролем.</p>

\*E-mail: kutova.ang@gmail.com

*Форма цитування:* Вплив систем удобрення на органічну речовину та агрохімічні показники чорнозему типового / Є.В. Скрильник, А.М. Кутова, В.А. Гетманенко [та ін.]. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2019. С. 74-78. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-10>.

### 1. Вступ

За інтенсивного сільськогосподарського використання ґрунтів передбачено застосування мінеральних і органічних добрив, що у комплексі з іншими агрозаходами забезпечує збереження і відтворення ґрунтової родючості [1]. Органічна система удобрення підвищує потенційну родючість ґрунту, а мінеральна – його ефективну родючість, перевершуючи органічну систему за агрономічною та економічною ефективністю [2]. Тому сукупне застосування в сівозміні мінеральних і органічних добрив виявляється вигідним з огляду на поліпшення властивостей ґрунту, підвищення врожайності сільськогосподарських культур, економії добрив і зниження ризиків екологічних порушень.

У тривалих польових дослідках виявлено [3, 4], що систематичне внесення мінеральних і органічних добрив сприяє збільшенню вмісту в ґрунті рухомих сполук азоту, фосфору і калію, забезпечуючи відтворення родючості. Розміри накопичення поживних елементів у ґрунті залежать від виду, доз, співвідношення, форм добрив і тривалості їх застосування. Однак застосування мінеральних і органічних добрив у підвищених дозах веде до погіршення водно-фізичних властивостей, підвищення кислотності ґрунту та надходження нітратів у сільськогосподарську продукцію і підґрунтові води [5]. Щоб запобігти екологічних порушень за умов застосування азотних добрив рекомендується внесення компенсуючих кількостей свіжого органічного матеріалу, що сприяє активізації іммобілізаційних процесів. Екологічно оптимальний азотний режим у ґрунті може бути забезпечений за умови, якщо співвідношення C<sub>орг</sub>: N<sub>мін</sub> в ґрунті знаходиться в межах 30-50 [6].

Застосовуючи органічні добрива з метою створення в ґрунті певного запасу доступного мікроорґанізмам субстрату, необхідного також для стимулювання фізичних,

хімічних та фізико-хімічних процесів, важливо уникати перенасичення ґрунту органічним вуглецем, оскільки його надлишок швидко втрачається в результаті мінералізації [7].

Параметри коефіцієнтів використання поживних речовин із ґрунту є найвищими за внесення одних лише мінеральних добрив. Але при цьому відбувається й посилення процесів мінералізації гумусу [6]. Кожна одиниця азоту добрив сприяє додатковій мобілізації від 0,5 до 1,2 одиниці ґрунтового азоту, що приводить до збільшення вмісту в ґрунті рухомих сполук і, як наслідок, підвищення коефіцієнтів використання рослинами поживних речовин. Рухомі сполуки азоту, що утворилися в результаті мінералізації органічної речовини, так само, як азот мінеральних добрив, включаються в геохімічну міграцію; їх частка у загальній кількості втрат азоту з орного ґрунту становить від 10 до 60 %.

За даними тривалого дослідження на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому внесенням мінеральних добрив сукупно з гноєм ВРХ за десятирічний період не забезпечено накопичення гумусу в орному шарі ґрунту. Мало того, спостерігалась тенденція до зниження його вмісту порівняно з вихідним станом на 0,07 % [8].

За даними Н.Б. Зінякова та В.М. Семенова [9] застосування мінеральних добрив у зростаючих дозах протягом 2-х років не впливало на вміст органічної речовини в ґрунті, тоді як підвищення дози органічних добрив супроводжувалося збільшенням вмісту органічного вуглецю: за один рік збільшення становило 0,88 %, за два – 1,60 % від маси ґрунту.

Склад органічної речовини ґрунту, її запаси та особливості характеристик якості є основними індикаторами його потенційної родючості. Зміна параметрів значною мірою залежить від інтенсивності прийомів землеробства, таких як система застосування добрив.

Тому **метою** наших досліджень було виявлення впливу органічної, органо-мінеральної і мінеральної систем удобрення сільськогосподарських культур на органічну речовину та агрохімічні показники чорнозему типового в умовах тривалого польового стаціонарного дослідження на території Лівобережного Лісостепу.

## 2. Об'єкти і методи досліджень

Стаціонарний польовий дослід «Агроекологічний моніторинг» було закладено 1990 року в дослідному господарстві ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» у Чугуївському районі Харківської області. Метою було вивчення впливу різних рівнів навантажень хімізації на продуктивність агробіоценозу та основні показники родючості чорнозему типового важкосуглинкового. В період з 1991 до 2007 р. дослідження вели на чотирьох фонах: (1) без гною; (2) 100 т/га гною за ротацію сівозміни; (3) 100 т/га гною за ротацію + побічна продукція; (4) 50 т/га гною за ротацію + побічна продукція. З 2008 р., внаслідок реконструкції дослідження, обумовленої дефіцитом органічних добрив, на другому фоні виокремили резервні ділянки, де продовжили вносити гній у нормі 80 т/га за ротацію, а на іншій частині замість гною почали заорювати нетоварну частину продукції стерньових культур сівозміни. Органічні добрива, з того часу, вносять двічі за ротацію сівозміни – під соняшник і кукурудзу на силос по 40 т/га. На третьому фоні припинили удобрення і почали досліджувати післядію як органічних, так і мінеральних добрив, четвертий – закрили.

На кожному із зазначених фонів виокремлено варіанти з різними комбінаціями норм мінеральних добрив за трьома градаціями – 0 (без добрив), 1 (одинарна норма), 2 (подвійна норма), які диференційовано за культурами десятипільної зерно-просапної сівозміни: чистий пар; пшениця озима; буряки цукрові; вика + овес; пшениця озима; кукурудза на силос; ячмінь; соя; пшениця озима; соняшник. У 2016 році під пшеницю озиму внесено  $N_{0-30-60}$ ,  $P_{0-60-120}$ ,  $K_{0-45-90}$  за трьома градаціями. Попередником пшениці озимої був чистий пар.

Для проведення досліджень вибрано такі чотири варіанти стаціонарного дослідження: К - Контроль (без добрив); О - Органічна система удобрення (з 1991 р. на 1 га ґрунту внесено 230 т гною); ОМ - Органо-мінеральна система удобрення (230 т гною і мінеральні добрива  $N_{2520}P_{2400}K_{2070}$ ); М - Мінеральна система удобрення ( $N_{2520}P_{2400}K_{2070}$ ).

Проби ґрунту відбирали у 2017 р. з шару 0-20 см за ДСТУ 4287:2007 у триразовій повторності. Кількість і якість органічних речовин у складі ґрунту визначали такими методами: вміст органічної речовини – методом Тюріна за ДСТУ 4289:2004; груповий склад гумусу – методом Тюріна у модифікації Конової та Бельчикової за ДСТУ 7855:2015. Реакцію ґрунтового розчину,  $pH_{KCl}$  – за ДСТУ EN 13037. Агрохімічні характеристики ґрунту: загальний вміст азоту – методом К'ельдаля за ДСТУ ISO 11261-2001; вміст нітратного та амонійного азоту – за ДСТУ 4729:2007.

Опрацювання й узагальнення результатів досліджень проводили використовуючи методи математичної статистики Statistica 6.

### 3. Аналіз результатів досліджень

За інтенсивного сільськогосподарського використання чорнозему типового із застосуванням та без застосування агрохімічних засобів зафіксовано зміни вмісту гумусу та кислотності ґрунтового розчину в орному шарі. Результати досліджень показали, що за період ведення стаціонарного досліду відбулося зменшення загального вмісту гумусу в ґрунті у межах орного шару на 0,05-0,62 % порівняно з вихідними даними (Табл. 1).

**Таблиця 1**

*Вплив систем удобрення на агрохімічні показники чорнозему типового*

Варіант	Вміст гумусу, %	Nзаг, %	pH <sub>ксі</sub>
Ґрунт до закладки досліду	5,60	0,34	6,8
К - Без добрив (контроль)	4,98	0,29	6,9
О - Органічна система удобрення	5,34	0,30	5,6
ОМ - Органо-мінеральна система удобрення	5,55	0,28	5,5
М - Мінеральна система удобрення	5,18	0,28	4,7
НІР <sub>05</sub>	0,08	0,01	0,42

Екстенсивне використання ґрунту без удобрення викликало посилення мінералізації органічної речовини, що призвело до зменшення вмісту гумусу на контрольному варіанті порівняно з вихідними даними. Станом на 2017 рік найнижчий вміст гумусу зафіксовано на контролі та на варіанті з мінеральною системою удобрення (М). Внесення гною двічі за ротацию по 40 т/га (О) сприяло збільшенню вмісту гумусу на 7,2 %, а за умов органо-мінеральної системи удобрення (ОМ) – на 11,4 % порівняно з контролем.

За групуванням ґрунтів за властивостями (ДСТУ 4362:2004) вміст гумусу на варіантах оцінюється таким чином: К – *високий*, О, ОМ і М – *дуже високий*. Запаси гумусу в шарі 0-20 см чорнозему типового на варіантах становлять: К – 129; О – 142; ОМ – 144; М – 135 т/га. Всі значення можуть вважатися еталонними для важкосуглинкових ґрунтів. Збагаченість гумусу азотом, за співвідношенням між загальним вмістом органічного вуглецю і загальним вмістом мінерального азоту в ґрунті, на всіх варіантах досліду оцінюється як *середня*.

Після 26 річного періоду вирощування сільськогосподарських культур із застосуванням органічних і мінеральних добрив зафіксовано підкислення ґрунтового розчину. Лише на варіантах із внесенням гною параметри рН були більш високими, де реакцію ґрунту оцінено як – близьку до нейтральної та слабо кислу.

Залежно від спрямованості змін умов гуміфікації зафіксовано ознаки реградаційної трансформації гумусових речовин за різних систем удобрення. Спостерігається тенденція до зростання вмісту гумінових кислот в органічній речовині чорнозему типового за органічної, органо-мінеральної та мінеральної систем удобрення на 6,2-25,3 %, відносно фульвокислот - тенденція до зменшення вмісту за органічної та органо-мінеральної систем удобрення на 9-12 %, за мінеральної системи удобрення – зростання на 9 % (Табл. 2).

**Таблиця 2**

*Вплив систем удобрення на склад органічної речовини чорнозему типового*

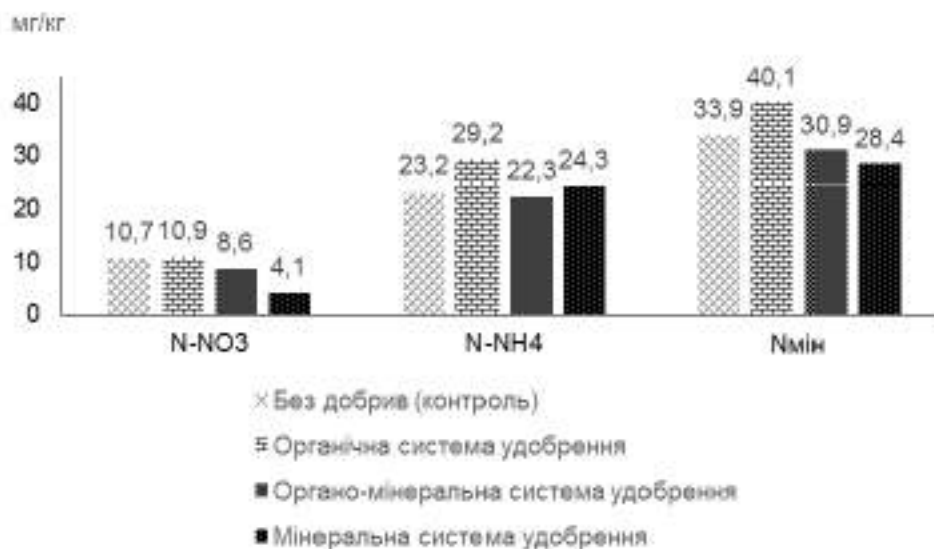
Варіант	Сзаг, %	Вміст у лужній (NaOH) витяжці, %			
		С <sub>tot</sub>	С <sub>гк</sub>	С <sub>фк</sub>	С <sub>гк</sub> /С <sub>фк</sub>
К - Без добрив (контроль)	2,89	1,28	0,95	0,33	2,88
О - Органічна система удобрення	3,10	1,42	1,13	0,29	3,89
ОМ - Органо-мінеральна система удобрення	3,22	1,37	1,07	0,30	3,56
М - Мінеральна система удобрення	3,01	1,55	1,19	0,36	3,31
НІР <sub>05</sub>	0,21	0,08	0,05	0,07	-

Примітка: Сзаг – загальний вміст органічного вуглецю у ґрунті; С<sub>tot</sub> – загальний вміст вуглецю у витяжці; С<sub>гк</sub> – вуглець гумінових кислот; С<sub>фк</sub> – вуглець фульвокислот

Важливим індикатором якості гумусу є співвідношення гумінових і фульвокислот (Сгк/Сфк), що є також діагностичним показником спрямованості зміни стану органічної речовини ґрунту [10]. Зменшення в складі гумусу найціннішої фракції гумінових кислот і збільшення вмісту фульвокислот є ознакою розвитку процесів деградації органічної речовини чорноземного ґрунту, зниження рівня родючості. Найнижче значення відношення Сгк/Сфк констатовано за мінеральної системи удобрення.

За цим критерієм встановлено, що тип гумусу за різних систем удобрення та без внесення добрив – чисто гуматний, ступінь гуміфікації органічної речовини високий.

Під час розкладання у ґрунті сировини органічного походження (кореневі рештки, залишки рослин, гній) з різним співвідношенням С:N процеси мінералізації та іммобілізації азоту проходять постійно й одночасно. За варіантами дослідження загальний вміст мінерального азоту в орному шарі чорнозему типового коливався від 28,4 до 40,1 мг/кг (Рис. 1).



**Рис. 1.** Вміст мінерального азоту в чорноземі типовому за різних систем удобрення

Оскільки розкладання органічної сировини супроводжується поглинанням мікроорганізмами мінерального азоту, спостерігається зниження вмісту нітратного та амонійного азоту в орному шарі чорнозему типового за органо-мінеральної системи удобрення порівняно з контролем. Внесення лише мінеральних добрив посилює мінералізацію азоту ґрунту, про що свідчить збільшення вмісту амонійного азоту та зменшення вмісту нітратного на 61,7 % порівняно з контролем. За органічної системи удобрення в результаті мінералізації органічної сировини спостерігається накопичення мінерального азоту в орному шарі ґрунту.

Таким чином, переважання мінералізаційних процесів над іммобілізаційними призводить до втрат органічної речовини і мінерального азоту з орного шару ґрунту. Цей процес посилюється за умов систематичного застосування мінеральних добрив. Причиною такої дії добрив є їх вплив на додаткову мобілізацію азоту з ґрунтових джерел органічних сполук азоту, що призводить до дефіциту доступного для мікроорганізмів органічного вуглецю в ґрунті. За цих умов дефіцит органічного вуглецю є причиною того, що іммобілізація азоту добрив в органічну речовину не компенсує витрат ґрунтового органічного азоту на його мінералізацію.

#### 4. Висновки

1. Тривале (26 років) сільськогосподарське використання чорнозему типового без внесення добрив призвело до зниження вмісту гумусу в орному шарі ґрунту на 11 % порівняно з вихідним рівнем. Внесення в ґрунт лише мінеральних добрив супроводжувалося порушенням мінералізаційно-іммобілізаційної рівноваги в бік переважання мінералізації і в результаті вміст органічної речовини зменшився на 7,5 % порівняно з контролем. Застосування гною за органічної та органо-мінеральної систем удобрення сприяло підтриманню більш високого вмісту гумусу. Зміни вмісту гумусу за різних систем удобрення не супроводжувалися зміною основних параметрів його якості: тип гумусу чисто гуматний, ступінь гуміфікації високий.

2. Тривале застосування добрив призводило до підкислення ґрунтового розчину – зниження  $pH_{KCl}$  до 5,6 за органічної системи удобрення, до 5,5 – за орґано-мінеральної системи і до 4,7 – за мінеральної системи удобрення.

3. Застосування органічної та орґано-мінеральної систем удобрення сприяло накопиченню мінерального азоту в орному шарі чорнозему типового, за мінеральної – посилювалися процеси втрати рухомих сполук азоту. Внесення у ґрунт додаткового вуглецю у складі гною за орґано-мінеральної та органічної систем удобрення сприяє регулюванню азотно-вуглецевого балансу в ґрунті шляхом поповнення запасів доступних для мікроорґанізмів вуглецю та азоту, що приводить до збільшення вмісту гумусу в орному шарі ґрунту порівняно з контролем.

### Список використаних джерел

1. Державин Л.М. Роль химизации и биологизации земледелия в отечественном производстве сельскохозяйственной продукции и обеспечение продовольственной безопасности РФ. *Агрохимия*. 2010. № 9. С. 3-18. URL: <http://naukarus.com/rol-himizatsii-i-biologizatsii-p>.
2. Эффективность длительного применения органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Г.Е. Мерзлая, Г.А. Зябкина, Т.П. Фомкина [и др.]. *Агрохимия*. 2012. № 2. С. 37-46. URL: <http://naukarus.com/effektivnost-dlitelnogo-primeneniya-organicheskikh-i-m>.
3. Уваров Г.И., Карабутов А.П. Изменение агрохимических свойств чернозема типичного при применении удобрений в длительном полевом опыте. *Агрохимия*. 2012. № 4. С. 14-20. URL: <http://naukarus.com/izmeneniya-agrohicheskikh-svoystv-chnozema-t>.
4. Hai L., Li X.G., Guggenberger G. 2010. Long-term fertilization and manuring effects on physically-separated soil organic matter pools under a wheat-wheat-maize system in an arid region of China. *Soil Biol. Biochem.* V. 42. № 2. P. 253-259. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.023>.
5. Минеев В.Г., Ремпе Е.Х. Экологические последствия длительного применения повышенных и высоких доз минеральных удобрений. *Агрохимия*. 1991. № 3. С. 35-49.
6. Кудеяров В.Н. Азотно-углеродный баланс в почве. *Почвоведение*. 1999. № 1. С. 73-82.
7. West T.O., Six J. 2007. Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity. *Climatic Change*. V. 80. № 1-2. P. 25-41. DOI: 10.1007/s10584-006-9173-8.
8. Шедь Л.О. Вплив добрив на гумусовий стан і азотний фонд чорнозему опідзоленого та продуктивність сівозміни за традиційного та ресурсозберіжувального землеробства: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к-та с.-г. наук: 06.01.04 Харків, 2005. 22 с.
9. Зинякова Н.Б., Семенов В.М. Влияние возрастающих доз органических и минеральных удобрений на пулы растворенного, подвижного и активного органического вещества в серой лесной почве. *Агрохимия*. 2014. № 6. С. 8-19. URL: <http://naukarus.com/vliyanie-vozzrastayuschih-doz-organicheskikh-i-m>.
10. Шевцова Л.К., Хайдуков К.П., Кузьменко Н.Н. Трансформация органического вещества легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений в льняном севообороте. *Агрохимия*. 2012. № 10. С. 3-12. URL: <http://naukarus.com/transformatsiya-organicheskogo-veschestva-legkosuglinistoy-derново-p>.

UDC 631.816:631.417.2:631.811.1

## Influence of fertilizers application systems on soil organic matter and agrochemical characteristics of the chernozem typical

Ie.V. Skrylnyk, A.M. Kutova\*, V.A. Hetmanenko, K.S. Artemieva, V.M. Nikonenko

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

\*E-mail: [kutova.ang@gmail.com](mailto:kutova.ang@gmail.com)

The aim of the research was to establish the influence of organic, organo-mineral and mineral fertilizer systems of agricultural crops in field crop rotation on organic matter and agrochemical indicators of chernozem typical. It was established that during the period of conducting the stationary experiment (26 years) there was a decrease in the total content of humus in the soil within the arable layer by 0,05-0,62 % compared with the initial data. The application of additional carbon in the form of manure to the soil during organic-mineral and organic fertilizer systems helped to regulate the nitrogen-carbon balance in the soil by replenishing the reserves of carbon and nitrogen available for microorganisms, which led to an increase in the humus content in the topsoil. The application of manure twice during the rotation of 40 t/ha contributed to an increase in the humus content by 7,2 %, and in the conditions of the organo-mineral fertilizer system - by 11,4 % compared with the control. The humus content is estimated as high and very high, the type of humus is humic, the degree of humification is high, the enrichment of humus with nitrogen is average. Proved that long-term use of mineral and organic fertilizers leads to acidification of the soil solution - a decrease in  $pH_{KCl}$  parameters. The use of organic and organo-mineral fertilizer systems contributed to the accumulation of mineral nitrogen in the topsoil of typical chernozem. The application of only mineral fertilizers enhances the mineralization of soil nitrogen, as evidenced by an increase in the content of ammonia nitrogen and a decrease in the nitrate content by 61,7 % compared with the control.

**Keywords:** chernozem typical; fertilizer system; humification; mineral nitrogen; organic matter.

Citing: Skrylnyk Ie.V., Kutova A.M., Hetmanenko V.A., Artemieva K.S., Nikonenko V.M. 2019. Influence of fertilizers application systems on soil organic matter and agrochemical characteristics of the chernozem typical. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 74-78. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-10>.

UDK 631.461.5:633.34

## Evaluation of the effect of symbiotic nitrogen fixation on the yield of soybean and nitrogen state of soil

A.V. Revтіє-Uvarova

NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», *Kharkiv, Ukraine*

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received 29.03.2019 Received in revised form 02.05.2019 Accepted 19.08.2019 Available online 01.09.2019	Under the conditions of the low-field experiment on chernozems typical low humus, it was estimated the agronomic efficiency of symbiotic nitrogen fixation for growing soybean by comparing indicators of soil condition and morphometric characteristics of soybean plants, the seeds of which were treated with a preparation based on nodule bacteria <i>Bradyrhizobium japonicum</i> with untreated seeds (non-inoculated). It was established that symbiotic nitrogen fixation contributes to the formation of a more powerful root system with active nodules, an increase in the growth in intensity of growth of the vegetative mass by 42 %, and an improvement in the supply of nitrogen to soybean plants, as assessed by chlorophyll content in leaves. The yield of soybean grain increases by 29 %, which, like vegetative mass and roots, contains more nitrogen and is characterized by a tendency to a decrease in the content of phosphorus and potassium. It was determined that against the background of a decrease in the ratio of secondary products to soybean grain (1.5 : 1), nitrogen removal with vegetative mass (2.2 times) and grain (by 32 %) are increased. It was established that part of the biologically fixed nitrogen in the formation of the biological yield of soybean obtained on chernozem typical under the weather conditions of 2018 is 43 %, and the available soil nitrogen is 57 %. To diagnose the availability of soil with nitrogen in the aftereffect of symbiotic nitrogen fixation, it is proposed to determine the «net» nitrogen-fixation by the actual reserves of mineral nitrogen under inoculated soybean (minus its reserves under non-inoculated) and by the potential amount of nitrogen that additionally comes with the total vegetative mass (by the difference between the nitrogen content of vegetative mass inoculated and non-inoculated soybean). In the weather conditions of 2018 in the typical chernozem «net» nitrogen fixation under soybean was 69 kg N/ha, of which 40 kg/ha are the reserves of mineral nitrogen in the soil and 29 kg/ha are nitrogen coming from the vegetative mass.
Keywords:  <i>chernozem typical;</i> <i>nitrogen;</i> <i>inoculation;</i> <i>mineral nitrogen reserves;</i> <i>soybean plants development;</i> <i>symbiotic nitrogen fixation.</i>	

\*E-mail: [alina\\_rev@meta.ua](mailto:alina_rev@meta.ua)

Citing: Revтіє-Uvarova A.V. 2019. Evaluation of the effect of symbiotic nitrogen fixation on the yield of soybean and nitrogen state of soil. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 79-88. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-11>.

### 1. Introduction

A unique feature of leguminous crops, which ensures the functioning of one of the links of the nitrogen cycle and is of particular practical interest, is the ability to enter into symbiotic relationships with nodule bacteria capable of fixing atmospheric nitrogen. By value for nature, nitrogen fixation, which is characterized by a complex biochemical mechanism, is equated to another global process – photosynthesis. [1]. It should also be noted that legumes are characterized by exceptional nutritional benefits and favorable agrotechnical properties. Celebrating the role of these cultures in securing world food security at the 68th session of the UN General Assembly, 2016 was proclaimed the International Year of leguminous crops; FAO has been instructed to coordinate and facilitate special events [2].

For the first time, direct evidence of the existence of microorganisms that capture nitrogen, obtained in the late XIX century by a German researcher H. Helgerigel. He proved that legumes can, in addition to mineral nitrogen, have the ability to absorb nitrogen from the air due to the presence of tubers on the root system, which is a unique ecological niche for rhizobia supplying nitrogen fixation products to the host plant, which, in turn, provides bacteria with carbohydrates and other compounds [3]. Microorganisms, who can assimilate molecular nitrogen, are called diazotrophs. Biochemical mechanism of fixings is to restore of N<sub>2</sub> to NH<sub>3</sub> with the participation the enzyme of nitrogenase, which is located in the inner cell membranes [1].

Essential developments are the study of biological, biochemical and physiological mechanisms of symbiotic nitrogen fixation and the influence of various anthropogenic and natural factors on the functioning of the legume-rhizobial complex. The development of biopreparations for inoculation and selection of new strains of bacteria was carried out at Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the NASU (Patyka V.P.) [4], in the department of symbiotic nitrogen fixation at the Institute of Plant Physiology and Genetics National Academy of Sciences of Ukraine (Morgun V.V., Kots S.Ya.) [5] and at the Institute of Agricultural Microbiology and Agricultural Production NAAS (Volkogon V.V) [6]. A lot of scientists' attention is devoted to finding a universal method for determining the true extent of

nitrogen fixation, disclosing the mechanism of molecular nitrogen reduction, determining the principles of action and regulation possibilities of enzyme systems associated with this process, in order to improve conditions and improve the efficiency of biological fixation of molecular nitrogen [7, 8].

In the agronomical sense, the question remains of a practical plan regarding the direct effect of symbiotic nitrogen fixation on the growth and development of the host plant and on the actual amounts of nitrogen that remain in the soil after growing legumes. The complexity of the experimental solution of this issue is due to the significant influence on the flow of symbiotic fixation of atmospheric nitrogen as anthropogenically controlled factors, that is, elements of the cultivation technology (tillage, the use of macro- and micronutrients, bacterial preparations and biostimulants, plant protection system), and a purely natural effect. This causes significant differences and variations in the results obtained in research.

Among other leguminous crops, it is believed that soybeans (*Glicine hispida* L.) assimilate significantly more atmospheric nitrogen, second only to perennial legumes, such as clover or alfalfa [9]. Its dominance is traced in the structure of the acreage of legumes. In 2017 by soybeans 81 % were occupied, which is 4.4 times more than the area from which other leguminous crops were harvested (454.9 thousand hectares). In the period from 1990 to 2017 (Fig. 1), the area of soybean crops increased from 87.8 to 1981.9 thousand hectares, and the improvement of cultivation technologies, taking into account the weather conditions of the year, ensured an increase in yield over this time from 9.7 to 23 centners per hectare [10].

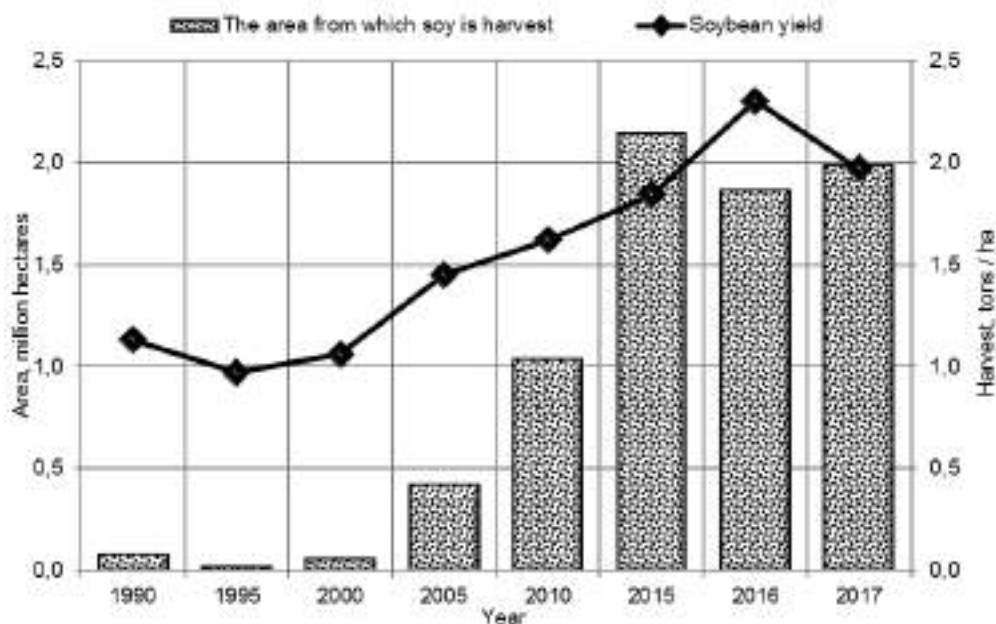


Fig. 1. Dynamics of the areas from which the soybeans are harvested and its yield in Ukraine [10]

According to the results of studies conducted in Ukraine and abroad, it was found that the amount of nitrogen that can be fixed under soybean in symbiosis with nodule bacteria ranges from 90 to 240 kg / ha [11]. According to other data, for the south of Ukraine, under optimal conditions of growth and development, soybean plants are able to fix 70–280 kg / ha of nitrogen, from which from 20 to 35 % enters the soil with crop residues [12]. So, the soybean of the northern ecotype with a yield of 3.1 t / ha fixes more than 200 kg of nitrogen of air per 1 ha [13].

In the conditions of Polissia Ukraine, on medium-secured nutritional elements light-gray soils the use of elements of intensive soybean cultivation technology makes it possible to enrich the soil with biological nitrogen, which corresponds to the equivalent of ammonium nitrate – 151.5 kg / ha [14]. It is known from analytical generalization of information performed by the team headed by V. Patyka [4] that the dimensions of symbiotic nitrogen fixation under soy are equivalent to a nitrogen fertilizer rate of 25–35 kg / ha and are 50–90 kg of nitrogen / ha / year, which 10–20 kg / ha remains in the soil.

In studies of African colleagues with fourteen soybean varieties, was found of variations in accumulated symbiotic fixed nitrogen from 51 to 148 kg / ha [15]. When growing soybeans of the domestic variety Podolskaya-1 in favorable conditions for active symbiosis of bacteria and plants, about 104 kg / ha of nitrogen are recorded, in the best moisture content of the year –

110-133 kg / ha [16]. For the Gorlitz variety, depending on the weather conditions of the growing year, the nitrogen fixation volumes vary from 63.6 to 110.6 kg / ha, for the Vinnichanka variety – 78.3–133.1 kg / ha, reaching an average of 83.7 and 99,4 kg / ha, respectively [17].

The significant discrepancies in the volumes of symbiotically fixed nitrogen under the same crop are due to differences in research (soil and climatic conditions of the territory, varietal characteristics and various agrotechnological methods of cultivation, methods for determining the volumes of fixed nitrogen), so the most representative information can be obtained in a local context for specific conditions.

The aim of our study was to evaluate the agronomic efficiency of symbiotic nitrogen fixation stimulated by selective strains of bacteria when soybean is grown in the soil and climatic conditions of the Left Bank Forest-Steppe on chernozem typical by measuring some biometric parameters of plants during the growing season, actual and potential amount of nitrogen entering the soil due to symbiotic nitrogen fixation.

## 2. Materials and methods

Experimental work was conducted in the low-field experiment established in 2018 (according to DSTU 7080) on the territory of ISSAR State Enterprise «Experimental Farm «Grakivske», which is located near the village of Korotych in Kharkiv region, in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The soil cover is represented by chernozem typical low humus heavy loam on loess-like loam. Soil in the arable layer, contains total humus – 4.3 %; total nitrogen – 0.22 %; total phosphorus – 0.12 %; total potassium – 2.2 %; exchangeable Calcium – 258 mmol / kg of soil; exchangeable Magnesium – 46 mmol / kg of soil. The total exchangeable cations are 308 mmol / kg of soil, the content of granulometric fractions with size <0.01 mm is 51.1 %, pH<sub>(KCl)</sub> 5.4.

To perform the tasks, among the spectrum of existing methods for determining the amount of fixed nitrogen was chosen the method of comparing the yield and state parameters of soybean plants, the seeds of which were treated with a preparation based on nodule bacteria with untreated seeds (non-inoculated) [18, 19]. For its implementation by the scheme of low-field experiment, two variant are provided: 1. Soybean (control) is not-inoculated; 2. Inoculated soybean. The experience is laid in quadruplicate; the total number of plots is 8. The rate of the elementary plot is 6 m<sup>2</sup> (2 m x 3 m). Protective side strips – 0.5 m, protective end strips – 1.0 m. In the experiment grown early maturing variety soybean Avatar, entered in the register of sorts of Ukraine in 2017.

Soybean seed treatment with an inoculum, which contains specific virulent strains of the nodule bacteria *Bradyrhizobium japonicum* (dose – 300 ml of the drug per 100 kg of seeds), was carried out on the day of sowing.

Elements of the technology of soybean cultivation were common for the region of research. According to crop rotation barley was the predecessor of soybean. Since 1970, soybean has not been grown on the field. From the family of legumes sowed vetch as part of mixture vetch (*Vicia sativa* L.) and oat (*Avena sativa* L.) last time in 2013. Plant protection from segetal vegetation was performed mechanically (manually).

During the period of vegetation of soybeans, three surveys of plant biometrics were carried out by phase: branching (leaf development) (20.06.2018), flowering (04.07.2018) and development of beans and seeds (07.31.2018).

Under field conditions, plant express diagnostics was performed with using the portable device «SPAD-502 Plus» («N-tester») designed to determine the need of plants for nitrogen by the color of the leaves. The measurements carried out in three replications on each variant of the experiment, where 30 plants were measured to obtain one mean value [20]. Also the intensity of growth of the vegetative mass and the mass of the root system of soybean plants was determined by directly weighing them, the number of nodules was considered (representative sample of 5 plants).

Analytical studies included the determination of mineral nitrogen in soil samples according to DSTU 4729 [21] and the determination of total nitrogen, phosphorus and potassium in plants materials of soybean, differentiated by vegetative (leafy mass and roots) and generative (seed) organs in accordance with MVV 31-497058-019-2005 [22].

Harvesting was carried out manually, by solid cutting of plants from each elementary site with their subsequent threshing and recalculation of the obtained grain weight into yield (tons per hectare) [23]. The yield index was calculated as the fraction of the grain weight in the total vegetative mass of the plant (%) at the time of harvest [19].

### 3. Results and discussion

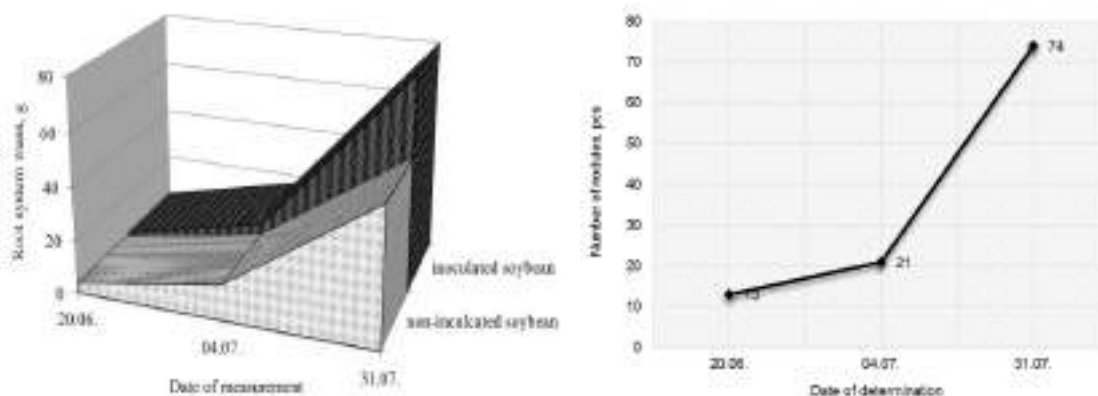
#### 3.1 Evaluation of the effect of symbiotic nitrogen fixation on plant development

The intensity of symbiotic nitrogen fixation depends on a number of factors, among which acidity, temperature and soil aeration, moisture and nutrient supply of plants, specific strains of microorganisms and varietal characteristics of plants play a significant role [24, 25]. pH values of 6.5–7.5 are considered optimal for most species of nodule bacteria, soil moisture in the range of 40–80 % of field capacity (with a lack of moisture, the intensity of photosynthesis in plants decreases, and when waterlogging – nodules do not have enough oxygen) and an optimum temperature is about 20 °C. Under these conditions, the biological fixation nitrogen of soybean may reach 390 kg / ha [26].

In soils of agrocenoses, where soybean has not been grown for a long time, among the native soil microflora, virulent strains of rhizobia are usually absent, therefore the symbiotic nitrogen fixation process does not actually occur in the first year of seeding. An artificial factor in the activation of plant symbiosis with nodule bacteria is seed inoculation with selective strains of nodule bacteria of a specific genotype [26–29]. Guided by this fact and the principle of the only difference in conducting the experiment, we can distinguish the effect of symbiotic nitrogen fixation on the studied parameters. The plots were compared with the cultivation of non-inoculated soybean, where the symbiotic apparatus are not actually formed and functioning, with the plots with inoculated soybean where recognition occurs, infection of the root system *Bradyrhizobium japonicum*, nodulation (formation of root nodules) and, accordingly, symbiotic fixation of nitrogen out in the air [1, 30, 31]

Soybean plants have a well-developed taproot system, which consists of a relatively short primary taproot, from which a large number of secondary, tertiary and further orders long roots extend in the upper part [25]. According to research results, in weather conditions 2018, inoculated soybean plants are characterized by a more powerful root system. The average weight of the roots of five plants of inoculated soybean (Fig. 2.A) increased from 4.3 g at the first determination to 80.0 g at the last, while the weight roots of the control soybean (not-inoculated) from 3.7 to 51, 3 g, respectively.

It is believed that the process of nitrogen fixation begins from the phase trifoliolate leaf development to mass flowering, is intense during the phase formation and the beginning of development of beans and weakens towards the end of the plant ontogenesis. Usually, the active work of nodules lasts about 40–45 days [24, 25]. During the 41 days that passed from the first to the third metering, an increase in the number of bubbles (Fig. 2) was found on the roots of one inoculated soybean plant (Fig. 2.B), on average, 61 pieces (from 13 to 74), while on the roots of some control plants only single nodules.



A. Dynamics soybean root mass

B. Dynamics of the number of nodules on the roots of inoculated soybeans

**Fig. 2.** Dynamics of the development of the root system of soybean plants

It should be noted that when calculating the nodules were in the active phase, as evidenced their red color, determined by visual diagnosis, which provides for their dissection. It is believed that the more saturated the color, the more intense the fixation of atmospheric nitrogen proceeds. The red color of the nodules is due to the formation of leghemoglobin, a red iron-containing protein that is a product of the symbiosis of two organisms and consists of heme synthesized by nodule bacteria (bacteroids) and globin formed by cells of a higher plant. With

the cessation of nitrogen fixation, leghemoglobin is destroyed, and green pigments, choleglobin, are formed, which is a sign of the cessation or absence of nitrogen fixation [32].

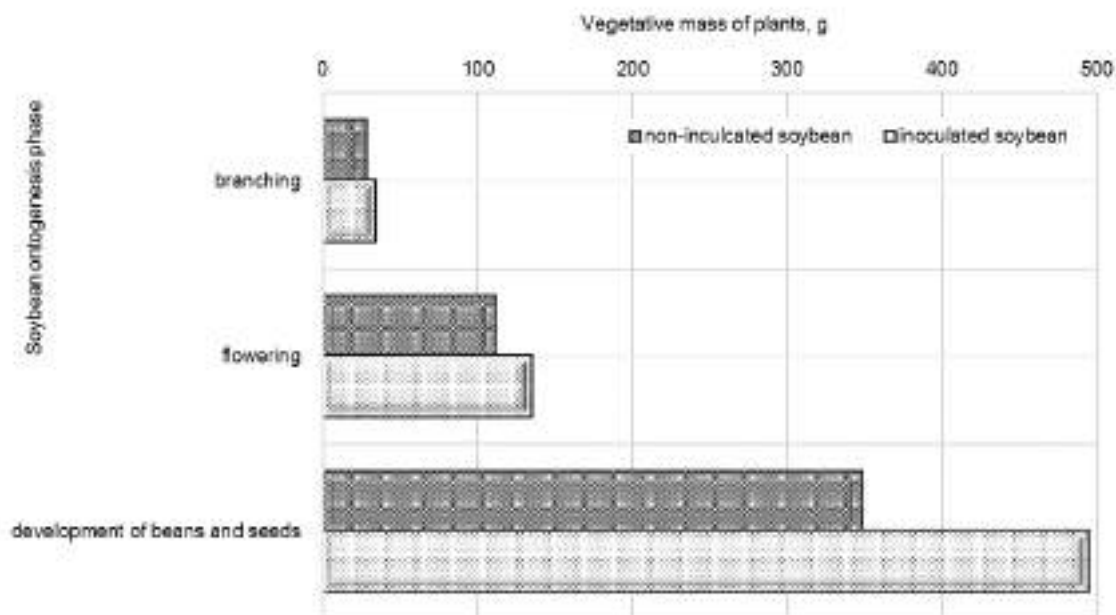
At the time of harvesting, which corresponds to the phase of senescence, the root system of inoculated plants according to the content of macronutrients was characterized by a tendency to an increase in the nitrogen content and a decrease in the phosphorus and potassium content. Nodules contained an average of 3.05 % nitrogen, 0.84 % phosphorus, and 0.34 % potassium (Table 1).

**Table 1**

*The content of nitrogen, phosphorus and potassium in the underground part of the vegetative organs of soybean plants*

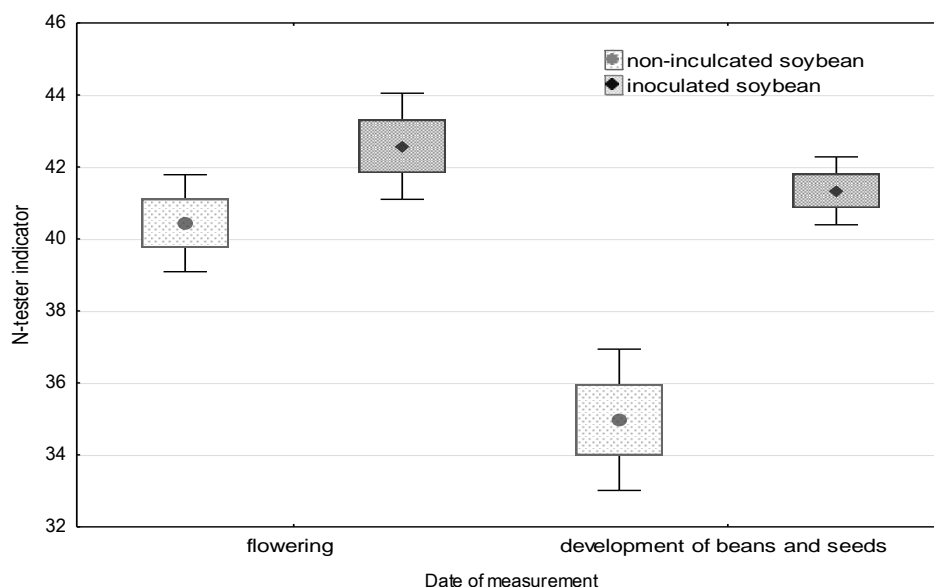
Variant	Part of the plant	Contents, %		
		nitrogen	phosphorus	potassium
Non-inoculated soybean	roots	0,65	0,41	0,53
Inoculated soybean	roots	0,87	0,23	0,24
	nodule	3,05	0,84	0,34
LSD <sub>0,95</sub>		0,37	0,11	0,24

For evaluate the influence of symbiotic nitrogen fixation on growth and development of plants, an indicator of intensity of growth of vegetative mass is used as indicator, which can be different even with the same of soil and weather conditions. From inoculation of soybean seeds before sowing, it can be traced (Fig. 3), a natural gradual increase in the intensity of vegetative mass growth of plants during their vegetation compared to control plants. From the phase of branching to the phase of development of beans and seeds, the vegetative mass of inoculated soybeans increased in 13 times, while control plants – 11 times. In general, at the time of the last measurement, due to symbiotic nitrogen fixation, the vegetative mass of soybean increased by 42 %.



**Fig. 3.** Intensity of growth of vegetative mass

According to the results of plant express diagnostics, it was determined that the content in non-inoculated soybean leaves from the flowering phase to the phase of development of beans and seeds reduced the chlorophyll content from 40.4 to 35.0 units, while the leaves of inoculated soybean characterized by N-tester values of 42.6 and 41.3, respectively (Fig. 4). Better development of plants is confirmed by intense green coloration and greater uniformity in height in visual observations.



**Fig. 4.** Chlorophyll content in terms of N-tester indicator

In this way, symbiotic nitrogen fixation improves the nitrogen nutrition of inoculated plants, as evidenced by the indicator of the intensity of growth of the vegetative mass and the content of chlorophyll in the leaves. Nitrogen, fixed by nodule bacteria from the air, enters the tissues of the host plant in the form of ammonium and is included in its biomass [24]. In the phase of senescence (determined by the dying off of the stems and the complete drying of the beans), the nitrogen content in the vegetative mass of non-inoculated soybean plants was 0.71 % compared to more than twice as much in inoculated plants as 1.59 %. In the grain of inoculated soybean was 1.27 % more nitrogen – 4.01 and 5.28 %, respectively.

An integrated indicator of the efficiency of growing crops, the result of biological and biophysical processes occurring in plant organisms, depending on the genetic nature of the plant itself and the environmental conditions, is yield. Due to the inoculation of soybean seeds before sowing, the yield increase was 5 c / ha (29 %) compared with the control. The effectiveness of the treatment of soybean seeds before sowing *Bradyrhizobium japonicum* is confirmed by studies in the Americas, where in most of the experimental plots – 187 in the USA and 152 in Argentina, substantial increases were obtained in soybean yield [33].

In our studies, the yield index, which is calculated as the proportion of seed mass of the total vegetative mass of plants (primary and secondary production) at the time of harvest [19], increased by 9.6 % compared with the control. In relation of secondary products to soybean grain, an inverse relationship is observed: 1.5 : 1 at inoculation and 2.2 : 1 under control (Table 2), which indicates a more rational consumption of nutrient against the background of additional supply of nitrogen, which does not contribute to the formation excessive vegetative mass.

**Table 2**  
Soybean productivity

Variant	Secondary production, t / ha	Grain harvest, t / ha	Yield index, %	Relation of secondary products to soybean grain
Non-inoculated soybean	3,9	1,7	30,4	2,3
Inoculated soybean	3,3	2,2	40,0	1,5
LSD <sub>0,95</sub>	0,74	0,37	-	-

Studies by V.I. Netis [34] found that inoculation of seeds before sowing stimulates growth processes in soybean plants and contributes to the accumulation of a greater above-ground mass, as a result of which the removal of nutrients increases from the soil. Optimization of symbiotic nitrogen-fixing activity when growing early maturing variety soybean on typical chernozems contributed to an increase in nitrogen removal to form 1 ton of both vegetative mass (2.2 times) and grain (by 32 %) compared to non-inoculated soybeans (Fig. 5).

There is a clear tendency to reduce the removal of phosphorus and potassium in vegetative (leafy mass and roots), and generative (seed) organs, at additional provision of plants with biologically fixed nitrogen.

To produce 1 ton of biological yield, the removal of nutrients at inoculation was 68.7 kg of nitrogen, 16.6 kg of phosphorus, 40.6 kg of potassium, while in non-inoculated soybeans, respectively, 47.2 kg, 21.7 kg and 45.2 kg. Herewith the share of removal of nutrients by soybean grain (per ton of biological yield) at seed inoculation is 77 % for nitrogen compared to 85 % for non-inoculated soybean, for phosphorus – 76 and 76 %, and potassium – 57 and 55 %, respectively.

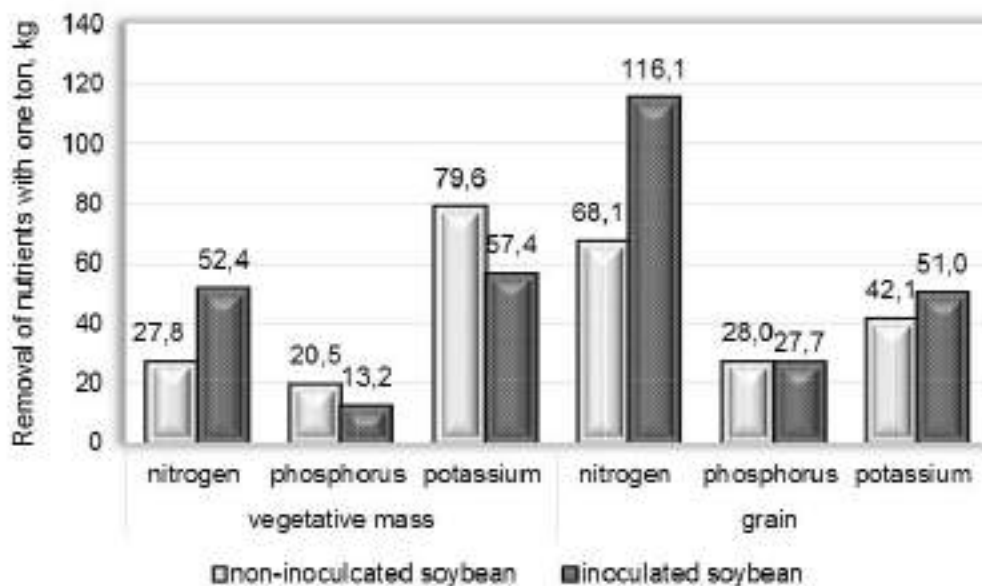


Fig. 5. Removal of nutrients with one ton of vegetative mass and soybean grain

It is believed that due to the symbiosis of soybeans with nodule bacteria, up to 70 % of its nitrogen requirement is satisfied [35, 36]. Studies by F. Salvagiotti and colleagues [37] found that leguminous plants satisfy 36–69 % of the total nitrogen requirement due to symbiotic bonds with *Bradyrhizobium japonicum*. In our case, 43 % of the removal of nitrogen from the biological yield of soybeans per hectare of area was satisfied by biological nitrogen, 57 % is available soil nitrogen.

So, due to symbiotic nitrogen fixation, the yield of soybean grain increases by 29 %, in which an increase in the nitrogen content and a decrease in phosphorus and potassium are recorded. The vegetative mass of inoculated soybean plants accumulates more organic bound nitrogen, which is a potential source for replenishing the soil's nitrogen stock.

### 3.2. The effect of symbiotic nitrogen fixation on the nitrogen state of chernozem typical

In the soils of agrocenoses, the regulation of the nitrogen regime is carried out primarily through the use of mineral fertilizers. When growing legumes, it becomes possible to additionally accumulate atmospheric nitrogen in the soil by symbiotic fixation. That is why, in agronomic practice, legumes are considered to be good predecessors for other crops, since some nitrogen remains after them, which makes it possible to adjust the doses of nitrogen fertilizers in the direction of reduction. However, the question remains about the actual amount of biologically fixed nitrogen, which remains in the soil after the cultivation of leguminous crops.

It is believed that nitrogen fertilizer inhibits nitrogen-fixing ability, and the stronger, the higher the dose of nitrogen. With sufficient provision of soil nitrogen, soybean plants, first of all, consume nitrogen of mineral compounds, as the least energy-intensive in the physiological sense, then – biologically fixed nitrogen, which is a minor source of nutrition. Therefore, symbiotic nitrogen fixation either does not occur or is inhibited [24]. In scientific circles, about the fertilizer soybean points of view are diametrically divergent: from the inexpediency of introducing nitrogen fertilizers to applying them in high doses, regardless of the effect on symbiotic nitrogen fixation [38].

In accordance with the objectives of our research, in order to exclude the effect of technical nitrogen from fertilizers on the course of symbiotic nitrogen fixation, on the content and

reserves of mineral nitrogen, the borders of the low-field experiment were located in an area where mineral fertilizers have not been applied since 1970. This allows you to quantify the amount of mineral nitrogen accumulated by biological fixation of nitrogen.

In the first decade of October, after harvesting, the content of mineral nitrogen in the 0-20 cm layer of chernozem typical under inoculated soybean was on average 18.4 mg / kg of soil higher than under non-inoculated soybean, that is, an increase from very low of amount to the average [39]. Mineral nitrogen reserves increased, respectively, from 5.8 kg / ha under non-inoculated soybeans to 46.1 kg / ha of soil when inoculated with seeds before sowing. The difference between these values determined the value of the actual accumulation of mineral nitrogen due to symbiotic nitrogen fixation after the cultivation of legumes, which is 40.3 kg / ha (Table 3).

**Table 3**

*The content and reserves of mineral nitrogen in the soil remaining after soybean cultivation*

Variant	Content of mineral nitrogen, mg / kg of soil			Degree of provision of plants by nitrogen according to DSTU 4362	Reserves of mineral nitrogen in the 0-20 cm layer of soil, kg / ha
	nitrate	ammonium	total		
Non-inoculated soybean	2,2	0,4	2,6	very low	5,8
Inoculated soybean	9,2	11,8	21,0	average	46,1
LSD <sub>0,95</sub>	5,49	9,62	7,13	-	15,69

The potential source of additional nitrogen input due to symbiotic nitrogen fixation is plant residues of legumes that enrich the soil with fresh organic mass, which undergoes intensive humification and mineralization. So, with residues of annual leguminous plants in the soil 15.8–32.6 kg / ha of nitrogen, 5.8–22.4 kg / ha of phosphorus and 8.6–27.5 kg / ha of potassium can accumulate [40]. Therefore, in assessing the actual volumes of nitrogen fixation, in our opinion, it is objective to include nitrogen entering the soil along with the vegetative mass when it is plowed.

In our experiment, the incident vegetative mass of inoculated plants at harvest time was 3.3 t / ha. The difference in total nitrogen content in the vegetative mass of inoculated and non-inoculated plants is 0.88 %, that is, with each ton of vegetative mass, 8.8 kg of N are fed into the soil due to nitrogen fixation. According to 3.3 t / ha of vegetative mass, 29 kg / ha of nitrogen is added to the soil in the organic matter, after which mineralization it replenishes the mineral nitrogen base of the soil.

So, the «net» nitrogen fixation, which includes the actual and potential income, when growing soybeans is 69 kg/ha.

#### 4. Conclusions

Due to the symbiotic nitrogen fixation, which is activated by seed inoculation before sowing, soybean plants are formed, characterized by high studied parameters compared to non-inoculated, in particular:

- a more powerful root system with nodules develops, due to which plants are additionally provided with biological nitrogen, which is reflected in an increase in intensity of growth of the vegetative mass by 42 % and the level of plant availability of nitrogen, assessed by the content of chlorophyll in the leaves;

- the yield of soybean grain increases by 29 %, which, like vegetative mass and roots, contains more nitrogen and is characterized by a tendency to a decrease in the content of phosphorus and potassium;

- against the background of a decrease in the ratio of secondary products to soybean grain (1.5 : 1), nitrogen removal increases for the formation of 1 ton of both vegetative mass (2.2 times) and grain (by 32 %).

Part of the biologically fixed nitrogen in the formation of the biological yield of soybean obtained on chernozem typical under the weather conditions of 2018 is 43 %, and the available soil nitrogen is 57 %.

To assess the nitrogen-fixing ability of soybean in the aftereffect, it is proposed to determine the “net” nitrogen-fixation by the actual reserves of mineral nitrogen under inoculated soybean (minus its reserves under non-inoculated) and by the potential amount of nitrogen that additionally comes with the total vegetative mass (by the difference between the nitrogen content of vegetative mass inoculated and non-inoculated soybean).

At the time of harvesting inoculated soybean, the actual reserves of mineral nitrogen in the 0-20 cm soil layer were 40 kg/ha, which ensured an increase in the Degree of provision of plants by nitrogen from very low to medium. The potential amount of nitrogen entering the soil with a vegetative mass and becomes available after its mineralization is 29 kg/ha. Accordingly, the "net" nitrogen-fixation under soybeans on chernozem typical under weather conditions in 2018 is 69 kg N/ha.

## References

1. Umarov M.M., Kurakov A.V., Stepanov A.L. 2007. Microbiological transformation of nitrogen in the soil. Moscow GEOS. 138 p. (Rus.).
2. Altobelli F., Amanullah, Benedetti A., Calles T., Caon L., Charrondiere R., Giri S.P., Grande F., Muthuraman R.P., Pisante M., Pramar B., Vargas R., Verma D., Vishwakarma A.K., Wiese L., Xipsiti M. 2016. Soils and pulses: Symbiosis for life. Rome: FAO, 104 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-i6437e.pdf>.
3. Volobueva O.G. 2011. Symbiotic nitrogen fixation as a factor of ecological safety and soil fertility. *Vestnyk RUDN*. No 1. P. 53060. (Rus.).
4. Patyka V.P., Gnatjuk T.T., Buleca N.M., Kyrylenko L.V. 2015. Biological nitrogen in the system of agriculture. *Zemlerobstvo*. V. 2. P. 12020. (Ukr.).
5. Morgun V.V., Kots S.Ja. 2018. Biological nitrogen on present agriculture. *Plant Varieties Studying and Protection*. Vol. 14, No 3. P. 2850294. DOI: 10.21498/2518-1017.14.3.2018.145293. (Ukr.).
6. Volkogon V.V., Sal'nyk V.P. 2005. The importance of growth regulators in the formation of active nitrogen fixing symbiosis and associations. *Fiziologija i biohimija kul'turnyh rastenij*. No 3. P. 1870197. (Ukr.).
7. Kots S.Ja. 2011. The current state of research on the biological fixation of nitrogen. *Fiziologija i biohimija kul't. rastenij*. Vol. 43, No 3. P. 212-225. (Ukr.). URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/66368>.
8. Pervachuk M.V., Vradij O.I. 2016. Intensification of the process of fixation of atmospheric nitrogen under the influence of microbial preparations on crops of perennial legumes. *Sil's'ke gospodarstvo ta lisivnyctvo*. No 4. P. 2200230. (Ukr.). URL: <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/15746.pdf>.
9. Babych A.O., Babych-Poberezhna A.A. 2011. Selection, production, trade and use of soybeans in the world. Kyiv: Agrarna nauka. 548 p. (Ukr.).
10. *Plant Growing of Ukraine : Statistical Collection 2017*. 2018. Kyiv. 222 p. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>. (Ukr.).
11. Provorov N.A., Simarov B.V. 1992. Genetic polymorphism of legumes on the ability to symbiosis with nodule bacteria. *Genetika*. Vol. 28, No 6. P. 5-14. (Rus.).
12. Gamajunova V.V., Nazarchuk A.A. 2013. Formation of soybean productivity depending on variety, mineral nutrition and seed treatment with biopreparations in southern Ukraine. *Agropromyslove vyrobnyctvo Polissja*. V. 6. P. 70-73. (Ukr.).
13. Posypanov G.S., Kobozeva T.P., Tazin I.I., Beljaev E.V., Delaev U. A. 2006. Modern methods for determining the amount of fixed nitrogen in the field. *Izvestija TSHA*. V. 2. P. 129-134. (Rus.).
14. Didora V.G., Stupnic'ka O., Didora L.D. 2015. The effectiveness of symbiotic activity of soybean crops in the conditions of the Polissya of Ukraine. *Bulletin of Agricultural Science*. No 8. P. 56-60. (Ukr.). URL: [http://agrovisnyk.com/archive\\_ua\\_2015\\_08\\_11.html](http://agrovisnyk.com/archive_ua_2015_08_11.html)
15. Zoundji C.C., Houngrandan P., Kouelo F.A., F.E. Boko, J.J. Adu Gyamfi. January 2016. Symbiotic nitrogen fixation and nitrogen budget of Brazilian soybean [Glycine max (L.) Merril] varieties introduced in Benin using <sup>15</sup>N isotopic dilution method. *African Journal of Agricultural Research*. P. 7-15. URL : [https://www.researchgate.net/publication/290449458\\_Symbiotic\\_nitrogen\\_fixation\\_and\\_nitrogen\\_budget\\_of\\_Brazilian\\_soybean\\_Glycine\\_max\\_L\\_Merril\\_varieties\\_introduced\\_in\\_Benin\\_using\\_15N\\_isotopic\\_dilution\\_method](https://www.researchgate.net/publication/290449458_Symbiotic_nitrogen_fixation_and_nitrogen_budget_of_Brazilian_soybean_Glycine_max_L_Merril_varieties_introduced_in_Benin_using_15N_isotopic_dilution_method).
16. Petrychenko V.F., Sereda L.M. 2000. Features of formation of soybean productivity depending on hydrothermal resources and influence of agrotechnical measures. *Zb. naukovykh prac' Vinnyc'kogo derzhavnogo agrarnogo universytetu*. V. 8. T. 1. P. 53-57. (Ukr.).
17. Zabolotnyi G.M., Cygansyj V.I., Cygans'ka O.I. 2015. Symbiotic productivity of soybeans depending on the level of fertilization in the right-bank forest-steppe. *Zbirnyk naukovykh prac' NNC «Instytut zemlerobstva NAAN»*. Vyp. 4. P. 66-71. (Ukr.). URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znzempl\\_2015\\_4\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znzempl_2015_4_11).
18. Trepachev E.P. 1981. About methods of study of nitrogen-fixing capacity of legumes. *Agrohimija*. No 12. P. 129-141. (Rus.).
19. Posypanov G.S. 1991. Determination of the quantity of fixed nitrogen of air in the field. In the book : *Methods of studying the biological fixation of nitrogen in air*. Moscow: Agropromizdat. P. 27-30. (Rus.).
20. Dotsenko O.V., Solokha M.O., Nikonenko V., Vinnichenko L.M. 2018. Recommendations for operational evaluation and correction of nitrogen supply of basic cereal crops under production conditions with the use of terrestrial and remote methods of plant diagnostics. Kharkiv. 24 p. (Ukr.).
21. *Soil quality*. Determination of nitrate and ammonium nitrogen in modification of NSC ISSAR named after O.N. Sokolovsky: DSTU 4729:2007. 2007. [Existing with 2008-01-01]. Kyiv: Derzhzhpozhyvstandart Ukraine. 14 p. (Ukr.).
22. *Plants*. Determination of common forms of nitrogen, phosphorus, potassium in one stress of vegetative material : MVV 31-497058-019-2005. 2005. In: *Methods of determining the composition and properties of soils*. Book 2. Kharkiv. Drukarnja No 13. P. 189-208. (Ukr.).
23. Judin F.A. 1971. Methodology of agrochemical research. Moscow: Kolos. 271 p. (Rus.).
24. Hvorova L., Topazh A.G., Abramova A.V., Neupokoeva K.G. 2015. Approaches to the description of symbiotic nitrogen fixation. Part 1. Analysis and selection of a list of factors with an assessment of their priority. *Izvestija Altajskogo gosudarstvennogo universiteta*. No 1/1 (85). P. 187-191. (Rus.). DOI: 10.14258/izvasu(2015)1.1-34.
25. Bahmat O.M. 2012. Simulation of adaptive technology of soybean cultivation [monograph]. Kam'janets-Podil's'kyj. 436 p. (Ukr.).
26. Prokopchuk S.V. 2017. Efficiency of application of nitrogen fertilizers and bacterial preparations for soy. In: *Symbiotic nitrogen fixation and crop*. Uman: «Sochins'kyj M. M.». P. 217-259. (Ukr.).

27. Zimmer S., Messmer M., Haase Th. Piepho H.-P., Mindermann A., Schulz H., Habekuß A., Ordon F., Wilbois K.-P., Heß J. 2016. Effects of soybean variety and Bradyrhizobium strains on yield, protein content and biological nitrogen fixation under cool growing conditions in Germany. *Europ. J. Agronomy*. № 72. P. 38-46. DOI: 10.1016/j.eja.2015.09.008.
28. Coskan A., Dogan K. 2011. Symbiotic Nitrogen Fixation in Soybean. *Soybean Physiology and Biochemistry*. P. 167-182. DOI: 10.5772/20073.
29. Tamiru S., Lalit M. P., Tsige A. 2012. Effects of Inoculation by Bradyrhizobium japonicum Strains on Nodulation, Nitrogen Fixation, and Yield of Soybean (Glycine max L. Merrill) Varieties on Nitisols of Bako, Western Ethiopia. *ISRN Agronomy*. Vol. 2012, Article ID 261475, 8 pages. DOI: 10.5402/2012/261475.
30. Long S.R. 1996. Rhizobium symbiosis: Nod factors in perspective. *Plant Cell*. № 8. P. 1885-1898. DOI: 10.1105/tpc.8.10.1885.
31. Mus F., Crook M.B., Garcia K., Garcia Costas A., Geddes B.A., Kouri E.D., Paramasivan P., Ryu M.H., Oldroyd G. E. D., Poole P. S., Udvardi M. K., Voigt C. A., Ane J. M., Peters J. W. 2016. Symbiotic nitrogen fixation and the challenges to its extension to nonlegumes. *Appl Environ Microbiol*. № 82. P. 3698–3710. DOI: 10.1128/AEM.01055-16.
32. Serova A.T., Cyganov V.E. 2014. Aging of the symbiotic nodule in legume plants: molecular genetic aspects. *Sel'skohozyajstvennaja biologija*. No 5 P. 3-15. (Rus.). DOI: 10.15389/agrobiology.2014.5.3rus .
33. Leggett M., Diaz-Zorita M., Koivunen M., Bowman R., Pesek R., Stevenson C., Leister T. 2017. Soybean Response to Inoculation with Bradyrhizobium japonicum in the United States and Argentina. *Agronomy Journal*. Vol. 109. No 3. P. 1031–1038. DOI: 10.2134/agronj2016.04.0214.
34. Netis V.I. 2018. Formation of elements of soybean productivity for different growing practices. *Tavrijs'kyj naukovyj visnyk*. Vyp. 99. P. 100-107. (Ukr.).
35. Babych A.O. 1998. Soybeans for health and life on planet Earth. Kyiv: Agrarna nauka. 272 c. (Ukr.).
36. Podobedov A.V. Tarushkin V.I., Sajko V.F. 1998. World soybean production. *Agrarna nauka*. No 6. C. 12-15. (Rus.).
37. Salvagiotti F., Cassman K.G., Specht J.E., Walters D.T., Weissb A., Dobermann A. 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research*. No 108 (1). P. 1-13. DOI: 10.1016/j.fcr.2008.03.001.
38. Ogurcov Je.M., Myhjejev V.G., Bjelins'kyj Ju.V., Klymenko I.V. 2016. Adaptive Soybean Growing Technology in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine: [monograph]. Ed. by Bobro M.A. Kharkiv: Machulin. 272 p. (Ukr.).
39. Soil quality. Fertility indexes of soils: DSTU 4362:2004. 2006. [Existing with 2006-01-01]. Kyiv: Derzhzhpohyvstandart Ukrainy. 22 p. (Ukr.).
40. Azarov B.F., Akulov P.G., Azarov V.B., Solovichenko V.D. 2008. Contribution of the symbiotic nitrogen of legumes in the fertility of the soils of the central black earth. *Dostizhenija nauki i tehniki APK*. No 9. P. 9-11. (Rus.).

УДК 631.461.5:633.34

## Оцінка впливу симбіотичної азотфіксації на продуктивність рослин сої та азотний стан ґрунту

**А.В. Ревтьє-Уварова**

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна  
E-mail: [alina\\_rev@meta.ua](mailto:alina_rev@meta.ua)

В умовах польового дрібноділянкового дослідження на чорноземі типовому малоґумусному оцінено агрономічну ефективність симбіотичної азотфіксації за вирощування сої шляхом порівняння індикаторів стану ґрунту та морфометричних характеристик рослин, насіння яких перед сівбою було оброблене інокулянтном на основі вірулентних штамів бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum*, з варіантами з необробленим насінням. Встановлено, що симбіотична азотфіксація сприяє формуванню більш потужної кореневої системи з активними бульбочками, збільшенню на 42 % інтенсивності наростання вегетативної маси та поліпшенню забезпеченості рослин сої азотом, оціненого за вмістом хлорофілу в листях. Підвищується на 29 % урожайність зерна, яке містить, як і листостеблова маса та корені, більше азоту та характеризується тенденцією до зниження вмісту фосфору та калію. Визначено, що на фоні зменшення відношення побічної продукції до зерна сої (1,5 : 1) збільшується винос азоту на формування як листостеблової маси (в 2,2 рази), так і зерна (на 32 %). Встановлено, що частка біологічно фіксованого азоту, винесеного з біологічним урожаєм сої з гектару площі, становить 43 %, азот ґрунту становить 57 %. Для діагностики забезпеченості ґрунту азотом у післядії симбіотичної азотфіксації пропонується визначати «нетто» азотфіксації за фактичними запасами мінерального азоту у ґрунті під інокульованою соєю (за мінусом його запасів під неінокульованою) та за потенційною кількістю азоту, який надходить додатково з загальною листостебловою масою (за різницею між вмістом азоту в листостебловій масі інокульованої та неінокульованої сої). В погодних умовах 2018 року на чорноземі типовому «нетто» азотфіксації під соєю становило 69 кг N/га, з яких 40 кг/га – запаси мінерального азоту в ґрунті та 29 кг/га – азот, що надходить із листостебловою масою.

**Ключові слова:** азот; запаси мінерального азоту; інокуляція; розвиток рослин сої; симбіотична азотфіксація; чорнозем типовий.

**Форма цитування:** Revtie-Uvarova A.V. Evaluation of the effect of symbiotic nitrogen fixation on the yield of soybean and nitrogen state of soil. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. 2019. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 79-88. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-11>.

УДК 579.64+579.266.2+631.461.5+631.461.73+57.045

**Вплив прямих сонячних променів за різної експозиції на чисельність видового складу бактеріального препарату «Azoter SC», внесеного у ґрунт****М.І. Зінчук<sup>1</sup>, П.К. Бойко<sup>2\*</sup>, С.В. Дяків<sup>1\*</sup>, Л.Г. Аджиєва<sup>1</sup>, В.С. Павлюк<sup>2</sup>,  
Л.В. Комович<sup>1</sup>, Л.С. Коробейко<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Волинська філія ДУ «Держґрунтохорона», Луцьк, Україна<sup>2</sup> Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 24.05.2019 Отримано після доопрацювання 14.07.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019	Внесення високих доз мінеральних добрив за нестачі органічних речовин пригнічує розвиток цінних мікроорганізмів ґрунту і зумовлює зміщення балансу мікробіологічних пулів. Керування процесами родючості ґрунту передбачає застосування таких препаратів, які забезпечують домінування агрономічно корисних мікроорганізмів. До ряду проблем, які виникають під час виробництва і застосування біопрепаратів, належить вплив терміну їх перебування на поверхні ґрунту в умовах активної дії сонячної радіації (інсоляції), що впливає на ефективність препарату. Мета досліджень – вивчення впливу різної тривалості інсоляції на чисельність мікробіоти комплексного бактеріального добрива «Azoter SC», внесеного у ґрунт. Дослідження проведено на зразках чорнозему опідзоленого, оброблених препаратом «Azoter SC», із наступною інсоляцією прямими сонячними променями впродовж 30, 60 і 120 хв. Контрольний зразок був оброблений препаратом, проте не піддавався інсоляції. Результати досліджень підтвердили бактерицидний вплив інсоляції на чисельність мікроорганізмів у складі бактеріального добрива «Azoter SC». Чисельність <i>Azotobacter chroococcum</i> під впливом 2-годинної природної інсоляції відкритої поверхні ґрунту зменшилася на 58 %, <i>Azospirillum brasilense</i> і <i>Bacillus megatherium</i> – на 65,4 і 71,1 % відповідно. Результати експерименту свідчать про необхідність корегування способів внесення у ґрунт бактеріального добрива чи обробленого препаратом насіння з урахуванням метеорологічних умов з метою уникнення згубної дії прямих сонячних променів на складові бактеріального препарату «Azoter SC», а отже й на його ефективність.
<b>Ключові слова:</b>  <i>бактеріальні добрива;</i> <i>сонячне випромінювання;</i> <i>Azotobacter chroococcum;</i> <i>Azospirillum brasilense;</i> <i>Bacillus megatherium;</i> <i>ґрунтова мікробіота.</i>	

E-mail: \*kuzmishyna\_s\_@ukr.net; \*pkboyko@ukr.net

**Форма цитування:** Вплив прямих сонячних променів за різної експозиції на чисельність видового складу бактеріального препарату «Azoter SC», внесеного у ґрунт / М.І. Зінчук, П.К. Бойко, С.В. Дяків [та ін.]. Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2019. С. 89-94. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-12>.**1. Вступ**

Ґрунтові мікроорганізми зазвичай розглядаються як складова ґрунтової екосистеми та один із найважливіших факторів ґрунтоутворення. У кожному грамі ґрунту, залежно від його типу, міститься від кількох сотень тисяч до 1–5 млрд бактерій. Їх маса в ґумусованому шарі становить від 0,6 до 3,5 т/га [1, 2]. Мікробіота забезпечує процеси трансформації органічних речовин у мінеральні та навпаки [3, 4]. Внесення високих доз мінеральних добрив за нестачі органіки та засобів захисту рослин пригнічує розвиток агрономічно корисних мікроорганізмів у ґрунті. [4].

Встановлено, що під впливом антропогенних факторів відбувається зміщення балансу мікробіологічних пулів ґрунту. Штучне поповнення ґрунту агрономічно корисними мікроорганізмами, зокрема застосування мікробних препаратів, не тільки забезпечує домінування інтродукованих культур, а й пригнічує розвиток патогенної мікрофлори ґрунту [1, 4, 5].

Дослідження мікробіому посівів показало, що надмірне сонячне випромінювання призводило до загибелі мікроорганізмів у ризосфері і філосфері рослин [7-16]. Воно спричиняло стрес мікроорганізмів під час колонізації ними кореневмісного шару [10, 11]. Сонячне випромінювання має більший вплив на непігментовані бактерії мікробіоти арахісу [12]. Вживання *E. coli* і *Listeria innocua* у культурах шпинату та петрушки було вищим за умов вирощування рослин у затінених місцях, ніж за повної відсутності затінення [13, 14].

У бактерій роду *Bacillus* стійкість до надмірного впливу абіотичних чинників забезпечується спороутворенням [17]. Реакція бактеріальної спори на сонячне випромінювання у літні та зимові сезони тісно корелює з її чутливістю до ультрафіолетового (УФ) опромінення [7]. Спори бактерій роду *Bacillus spp.* є у 5–50 разів більш стійкі до дії УФ опромінення, ніж вегетативні клітини [18, 19]. Стійкість спор *B. subtilis* до УФ опромінення за довжини хвилі 254 нм забезпечує піридин-2,6-дикарбонова кислота [20].

Бактерії родів *Azotobacter* і *Azospirillum* спор не утворюють, тому є більш чутливими до впливу різних чинників [21, 22].

Враховуючи вище викладене, слід констатувати, що розвиток виробництва біопрепаратів, виявив технологічну проблему, пов'язану із зниженням їх ефективності.

Насамперед це активне сонячне випромінювання під час внесення мікробних препаратів у ґрунт, яке, очевидно, по-різному впливає на їх компонентний склад.

Мета наших досліджень – вивчення впливу прямих сонячних променів на динаміку чисельності кожного виду мікроорганізмів, які є компонентами мікробіологічного препарату «Azoter SC», за внесення робочого розчину на поверхню ґрунту згідно з технологічними рекомендаціями для застосування його у виробничих умовах [23].

## 2. Об'єкти та методи досліджень

Препарат «Azoter SC» – це багатофункціональне органічне добриво, створене на основі ґрунтових бактерій, зокрема *Azotobacter chroococcum* ( $2,34 \times 10^9$  в  $1 \text{ см}^3$ ), *Azospirillum brasilense* ( $7,2 \times 10^9$  в  $1 \text{ см}^3$ ) і *Bacillus megaterium* ( $1,9 \times 10^9$  в  $1 \text{ см}^3$ ) і продуктів їх життєдіяльності. За допомогою бактерій препарат зв'язує атмосферний азот, перетворює важкодоступний фосфор у легкодоступні для рослин форми, сприяє розкладанню залишків рослин, стимулює розвиток органічної діяльності мікроорганізмів, створює умови для накопичення калію.

Зміну концентрації компонентів препарату «Azoter SC» вивчали у поверхневому шарі ґрунту в умовах активної інсоляції. Для цього було закладено модельний експеримент з імітацією виробничого процесу, що передбачав внесення робочих розчинів препарату на поверхню ґрунту відповідно до технологічних регламентів, з наступним відбиранням проб через певні відрізки часу і визначенням чисельності всіх трьох видів мікробіоти, яка входить до складу препарату.

Дослідження проведено в штучно змодельованих умовах південної частини Волинської області у червні 2018 р., у безхмарний день, у період з  $12^{00}$ – $14^{00}$ .

Для досліджу використано лоток розмірами  $0,83 \times 0,37$  м з рівномірно розміщеним на ньому шаром (товщиною до 3 см) ґрунтової маси чорнозему опідзоленого у природно агрегованому стані (грудкувато-зерниста структура).

Для внесення препарату виготовили робочий розчин рекомендованої концентрації (10 мл препарату на 290 мл води), який рівномірно з допомогою обприскувача нанесли на поверхню ґрунтової маси. Об'єм використаного розчину відповідає внесенню 300 л робочого розчину на 1 га.

Лоток було фрагментовано на 4 сектори, кожний із яких було поділено на три рівних ділянки (Рис. 1).

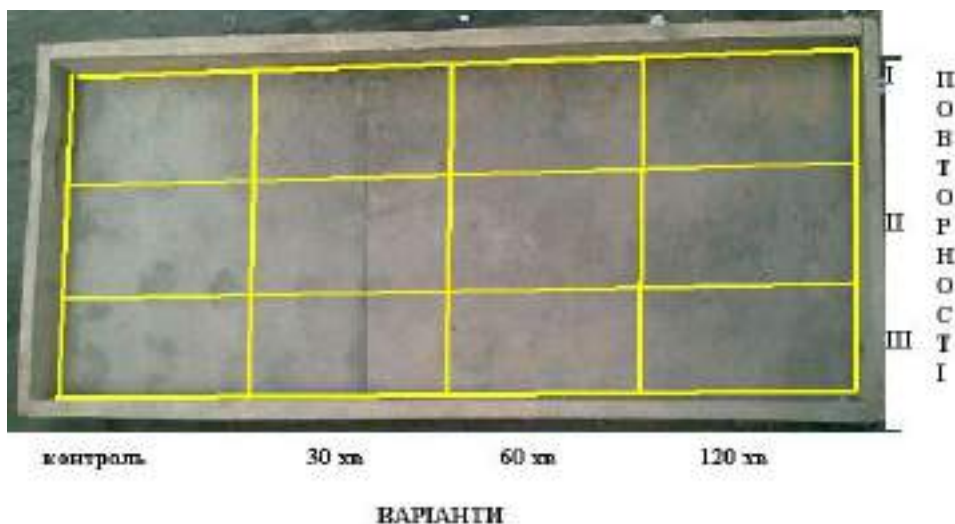


Рис. 1. Схематичне зображення експериментальної установки для вивчення впливу прямого сонячного проміння на чисельність мікробіоти

Проби ґрунту аналізували у лабораторії мікробіологічних досліджень Волинської філії ДУ «Держґрунтохорона».

Контрольні зразки досліджували відразу (впродовж 2–3 хв) після нанесення робочого розчину препарату на інсольовану поверхню ґрунту. Наступні відбори проб (по 3 з кожного варіанту) проводили відповідно до схеми досліджу, тобто, через 30, 60 і 120 хв.

Проби ґрунту аналізували методом серійних розведень з використанням стерильного 0,5 % розчину натрію хлориду [3]. Із трьох граничних розведень, в яких імовірна чисельність живих мікробних клітин становила від декількох клітин до декількох

сотень в 0,1 мл (відповідно до [24]), висівали на поверхню твердих живильних середовищ по 0,2 мл. Кожне досліджуване розведення висівали на 3 чашки Петрі із відповідним поживним середовищем: для виділення бактерій виду *Azotobacter chroococcum* – на глюкозний агар для *Azotobacter* (HiMedia, India); виду *Azospirillum brasiliense* – на картопляно-декстрозний агар (HiMedia, India); виду *Bacillus megaterium* – поживний агар №2 (HiMedia, India) [23]. Посіви інкубували за температури 30 °С протягом 3–7 діб. Підрахунок колоній проводили за допомогою автоматизованого лічильника колоній.

Отримані результати опрацьовували статистично засобами пакета програм «Microsoft Excel 2010». Достовірною вважали різницю за рівня достовірності  $p \leq 0,05$  [25].

### 3. Результати досліджень

Аналіз експериментальних даних, наведених у табл. 1, свідчить, що чисельність кожного виду мікробів, які входили до робочого розчину препарату «Azoter SC», зменшується зі збільшенням тривалості дії прямих сонячних променів на дослідні ділянки ґрунту.

**Таблиця 1**

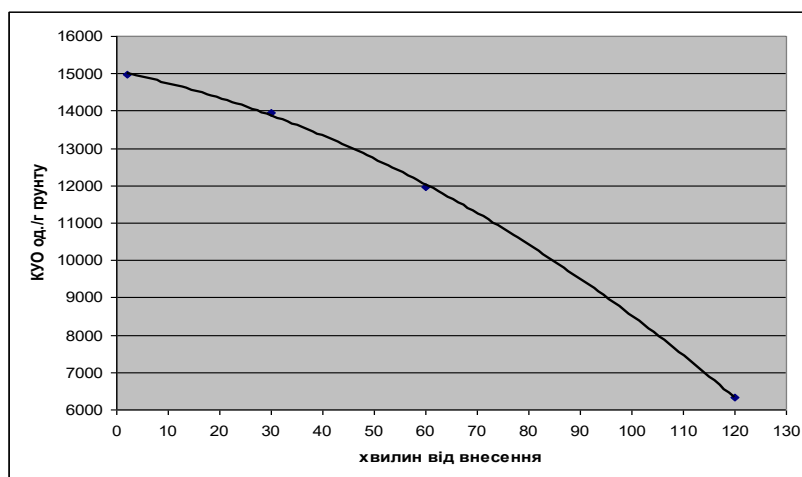
Чисельність мікроорганізмів препарату «Azoter SC» за різної тривалості впливу прямих сонячних променів

Варіант досліджу	Чисельність мікроорганізмів, КУО в 1 г абсолютно сухого ґрунту по повторностях			середня
	I	II	III	
	<i>Azotobacter chroococcum</i>			
2 хв - контроль	$1,40 \times 10^4$	$1,60 \times 10^4$	$1,49 \times 10^4$	$1,50 \times 10^4$
30 хв	$1,47 \times 10^4$	$1,34 \times 10^4$	$1,38 \times 10^4$	$1,40 \times 10^4$
60 хв	$1,31 \times 10^4$	$1,20 \times 10^4$	$1,09 \times 10^4$	$1,20 \times 10^4$
120 хв	$0,66 \times 10^4$	$0,60 \times 10^4$	$0,64 \times 10^4$	$0,63 \times 10^4$
	<i>Azospirillum brasiliense</i>			
2 хв - контроль	$4,23 \times 10^4$	$5,42 \times 10^4$	$4,86 \times 10^4$	$4,84 \times 10^4$
30 хв	$2,70 \times 10^4$	$2,94 \times 10^4$	$2,79 \times 10^4$	$2,81 \times 10^4$
60 хв	$1,90 \times 10^4$	$1,84 \times 10^4$	$1,73 \times 10^4$	$1,82 \times 10^4$
120 хв	$1,77 \times 10^4$	$1,56 \times 10^4$	$1,68 \times 10^4$	$1,67 \times 10^4$
	<i>Bacillus megaterium</i>			
2 хв - контроль	$2,18 \times 10^4$	$3,47 \times 10^4$	$2,65 \times 10^4$	$2,77 \times 10^4$
30 хв	$1,21 \times 10^4$	$1,41 \times 10^4$	$1,27 \times 10^4$	$1,30 \times 10^4$
60 хв	$1,04 \times 10^4$	$1,00 \times 10^4$	$1,06 \times 10^4$	$1,03 \times 10^4$
120 хв	$0,83 \times 10^4$	$0,77 \times 10^4$	$0,79 \times 10^4$	$0,80 \times 10^4$

Примітка:  $p \leq 0,05$ ;  $n=3$

Про бактерицидний вплив прямих сонячних променів на мікробіоту препарату «Azoter SC», залежно від експозиції, свідчать дані, наведені у рис. 2, 3 і 4.

Розподіл зміни чисельності *Azotobacter chroococcum* у часі під впливом сонячної інсоляції відповідає поліноміальній моделі з коефіцієнтом детермінації  $R^2=0,9998$  (Рис. 2).



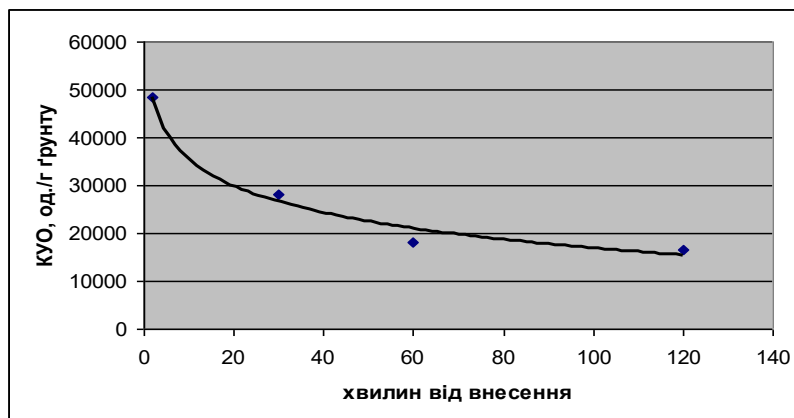
**Рис. 2.** Динаміка чисельності виду *Azotobacter chroococcum* препарату «Azoter SC» під впливом інсоляції залежно від експозиції

Математична модель описується таким рівнянням:

$$y = 0,3726 \times X^2 - 28,051 \times X + 15055,$$

де:  $y$  – кількість КУО в 1 г ґрунту;  $X$  – експозиція сонячного світла, хв.

Динаміка чисельності виду *Azospirillum brasiliense* в часі під впливом інсоляції найбільше відповідала логарифмічній моделі з коефіцієнтом детермінації  $R^2=0,9817$  (Рис. 3).



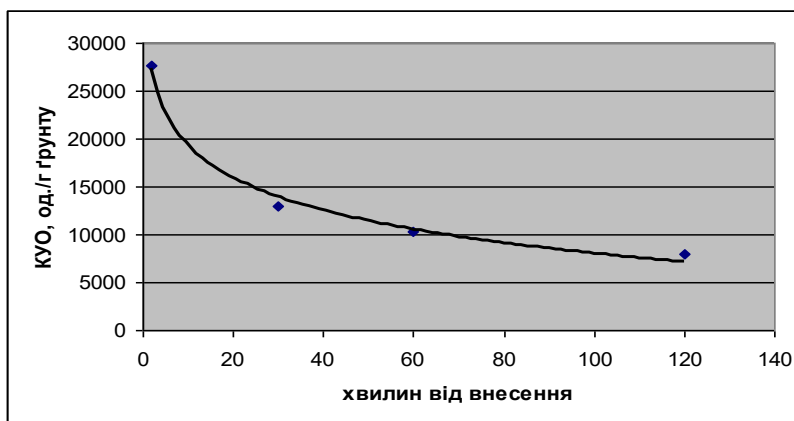
**Рис. 3.** Динаміка чисельності виду *Azospirillum brasiliense* препарату «Azoter SC» під впливом інсоляції залежно від експозиції

Математична модель описується таким виразом:

$$y = -8067,1 \ln(X) + 54023,$$

де:  $y$  – кількість КУО в 1 г ґрунту;  $X$  – експозиція сонячного світла, хв.

Динаміка чисельності виду *Bacillus megaterium* в часі під впливом інсоляції також відповідає логарифмічній моделі з коефіцієнтом детермінації  $R^2=0,9921$  (Рис. 4).



**Рис. 4.** Динаміка чисельності виду *Bacillus megaterium* препарату «Azoter SC» під впливом інсоляції залежно від експозиції

Математична модель описується таким виразом:

$$y = -4920,1 \ln(X) + 30689,$$

де:  $y$  – кількість КУО в 1 г ґрунту;  $X$  – експозиція сонячного світла, хв.

#### 4. Обговорення (аналіз) результатів досліджень

Аналіз результатів, представлених на рис. 2, 3 і 4, свідчить, що чим триваліша експозиція прямих сонячних променів на ґрунт, оброблений робочим розчином бактеріального препарату «Azoter SC», тим меншою залишається чисельність усіх трьох видів мікроорганізмів препарату, що своєю чергою вказує на високу бактерицидну дію прямих сонячних променів.

Встановлено, що чисельність виду *Azotobacter chroococcum* під впливом 30-ти хвилинного опромінення без загортання препарату знижується на 7 %, за 1 годину – на 20 %, а 2-годинна природна а інсоляція у відкритому ґрунті зменшує концентрацію на 58 %. Чисельність *Azospirillum brasiliense* знижується відповідно на 42, 64 та 65 % і *Bacillus megatherium* – на 53, 61 та 71,1 % відповідно.

Експериментальне дослідження впливу сонячного випромінювання на мікробіоту, внесену на поверхню ґрунту без загортання, дозволило встановити математичні залежності падіння її активної концентрації у двогодинному діапазоні, що дозволяє чітко визначити рівні зниження ефективності даного біопрепарату у виробничих умовах.

Також, за результатами дисперсійного аналізу встановлено діапазони часу, коли відбувається найбільш активне зниження чисельності життєздатних мікроорганізмів препарату у ґрунті під впливом сонячного випромінювання. Для *Azotobacter chroococcum* такий період триває від 57 хвилини до 2-х годин і більше; для *Azospirillum brasiliense* – від 9 хвилини до 1 години 19 хвилини; для *Bacillus megatherium* – від 12 хвилини до 30 хвилини.

Отже, технологічне внесення біопрепаратів без негайного загортання у ґрунт може суттєво знижувати їх ефективність. Також, слід уникати обставин внесення біопрепаратів у ґрунт у період активної сонячної інсоляції.

Варто зазначити, що даний експеримент відтворює не безпосередній вплив ультрафіолету сонячного випромінювання, а пов'язаний із супутніми факторами (зміна температури та вологості ґрунту), які у даному дослідженні не були враховані.

## 5. Висновки

1. Прямі сонячні промені згубно впливають на мікробіологічні компоненти бактеріального препарату «Azoter SC».

2. Бактерицидний ефект прямо залежить від тривалості дії сонячних променів.

3. Виявлено суттєві видові відмінності стійкості окремих складових препарату до згубної дії сонячного світла.

4. Внесення біопрепаратів у ґрунт слід технологічно поєднувати з негайним їх загортанням (культывацією).

5. Період доби з активною інсоляцією категорично не рекомендований для технологічних процесів унесення в ґрунт біопрепаратів.

## Список використаних джерел

1. *Екологія мікроорганізмів*. / Патица В.П., Омелянець Т.Г., Гриник І.В., Петриченко В.Ф. Київ: Основа. 2007. С. 84–91.
2. *Благодатская Е.В., Ермолаев А.М., Мякшина Т.Н.* Экологические стратегии микробных сообществ под растениями луговых систем. *Изв РАН. Сер. Биология*. 2004. № 6. С. 740–748.
3. *Експериментальна ґрунтова мікробіологія*: монографія / В.В. Волкогон, О.В. Надкернична, Л.М. Токмакова [та ін.]. Київ: Аграр. Наука. 2010. 464 с.
4. *Функціонування мікробних ценозів ґрунту в умовах антропогенного навантаження*. К.І. Андрюк, Г.О. Іутинська, А.Ф. Антипчук [та ін.]. Київ: Обереги. 2001. 239 с.
5. *Биорегуляция микробно-растительных систем*: монографія. / Г.А. Иутинская, С.П. Пономаренко, Е.И. Андрюк [и др.]. Под ред. Г.А. Иутинской, С.П. Пономаренко. Киев: НІЧЛАВА; 2010. 470 с., розділ 4-5.
6. *Coohill T.P., Sagripanti J.L.* Bacterial Inactivation by Solar Ultraviolet Radiation Compared with Sensitivity to 254 nm Radiation. *Photochemistry and Photobiology*. 2009. N 85. P. 1043–1052. DOI: 10.1111/j.1751-1097.2009.00586.x.
7. *Solar and temporal effects on Escherichia coli concentration at a lake Michigan swimming beach*. Whitman R.L., Nevers M.B., Korinek G.C. [et al.]. *Appl. Environ. Microbiol.* 2004. N 151. P. 216–222. DOI: 10.1128/AEM.70.7.4276-4285.2004.
8. *Microbial safety considerations of fooding in primary production of leafy greens: a case study*. Castro-Ibanez I, Gil M.I., Tudela J.A. [et. al.] *Food Res. Int.* 2015. N 68. P. 62–69. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.05.065.
9. *Sundin G.W.* Ultraviolet radiation on leaves: its influence on microbial communities and their adaptations. In: Lindow, S.E., Hecht-Poinar, E.I., Elliott, V.J. (Eds.). *Microbiology of the Phyllosphere*. APS Press, St. Paul, M.N. 2002. P. 27–41.
10. *Jacobs J.L., Carroll T.L., Sundin G.W.* The role of pigmentation, ultraviolet radiation tolerance, and leaf colonization strategies in the epiphytic survival of phyllosphere bacteria. *Microb. Ecol.* 2005. N 49. P. 104–113. DOI: 10.1007/s00248-003-1061-4.
11. *Maize leaf epiphytic bacteria diversity patterns are genetically correlated with resistance to fungal pathogen infection*. Balint-Kurti P. Simmons S.J., Blum J.E. [et al.]. *Mol. Plant. Microbe.* 2010. N 23. P. 473–484. DOI: 10.1094/MPMI-23-4-0473.
12. *Jacobs J.L., Sundin G.W.* Effect of solar UV-B radiation on a phyllosphere bacterial community. *Appl. Environ. Microbiol.* 2001. N 67. P. 5488–5496. DOI: 10.1128/AEM.67.12.5488-5496.2001.
13. *Fate of Listeria spp. on parsley leaves grown in laboratory and field cultures*. / Dreux N., Albagnac C., Carlin F. [et. al.] *J. Appl. Microbiol.* 2007. N 103. P. 1821–1827. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2007.03419.x.
14. *Population dynamics of Escherichia coli inoculated by irrigation into the phyllosphere of spinach grown under commercial production conditions*. / Wood J.D., Bezanson G.S., Gordon R.J. [et al.]. *Int. J. Food Microbiol.* 2010. N 143. P. 198–204. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.08.022.

15. Wei F., Hu X., Xu X. Dispersal of *Bacillus subtilis* and its effect on strawberry phyllosphere microbiota under open field and protection conditions. *Sci. Rep.* 2016. N 6. 22611. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep22611>.
16. Impact of solar radiation exposure on phyllosphere bacterial community of red-pigmented baby leaf lettuce. / Truchado P. Gil M.I., Reboleiro P. [et al.]. *Food Microbiol.* 2017. N 66. P. 77–85. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2017.03.018>.
17. Riesenman P.J., Nicholson W.L. Role of the Spore Coat Layers in *Bacillus subtilis* Spore Resistance to Hydrogen Peroxide, Artificial UV-C, UV-B, and Solar UV Radiation. *Appl. Environ. Microbiol.* Feb., 2000. P. 620–626.
18. Setlow P. Resistance of Spores of Bacillus Species to Ultraviolet Light. *Environmental and Molecular Mutagenesis.* 2001. N 38. P. 97–104.
19. Adaptation of *Bacillus subtilis* Cells to Archean-Like UV Climate: Relevant Hints of Microbial Evolution to Remarkably Increased Radiation Resistance. / Wassmann M., Moeller R., Reitz G. [et al.]. *Astrobiology.* 2010. Vol.10, N 6. P. 605–615. DOI: 10.1089/ast.2009.0455.
20. Slieman T.A., Nicholson W.L. Role of Dipicolinic Acid in Survival of *Bacillus subtilis* Spores Exposed to Artificial and Solar UV Radiation. *Appl. Environ. Microbiol.* 2001. Vol. 67, N 3. P. 1274–1279. DOI: 10.1128/AEM.67.3.1274–1279.2001.
21. Zambre M.A., Konde B.K., Sonar K.R. Effect of *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum brasilense* inoculation under graded levels of nitrogen on growth and yield of wheat. *Plant and Soil.* 1984. N 79. P. 61–67.
22. El-Shanshoury R. Interactions of *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense* and *Streptomyces mutabilis*, in Relation to their Effect on Wheat Development. *J. Agronomy & Crop Science.* 1995. N 175. P. 119–127.
23. Выписка из протокола № FYTOPHARM/02/11. Определение количества микроорганизмов рода *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Coniothyrium* и *Trichoderma* методом пластинчатых разводов (spread plate). Братислава, 2011. 11 с.
24. ДСТУ 7847:2015 Якість ґрунту. Визначення чисельності мікроорганізмів у ґрунті методом посіву на тверде (агаризоване) живильне середовище. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 15 с.
25. Лакін Г.Ф. Биометрия: учеб. пособие для биол. спец. вузов. Москва: Высш. шк., 1990. 352 с.

UDC 579.64+579.266.2+631.461.5+631.461.73+57.045

## Influence of different conditions of solar radiation on the quantity of species composition of bio-fertilizer “Azoter SC”, applied into the soil

M.I. Zinchuk<sup>1</sup>, P.K. Boyko<sup>2\*</sup>, S.V. Diakiv<sup>1\*</sup>, L.G. Adzhyeva<sup>1</sup>, V.S. Pavliuk<sup>2</sup>, L.V. Komovych<sup>1</sup>, L.S. Korobeyko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Volyn Branch of the State Institution “Soil Protection Institute of Ukraine”, Lutsk, Ukraine

<sup>2</sup> Lesya Ukrainka Eastern European National University, Lutsk, Ukraine

E-mail: \*kuzmishyna\_s\_@ukr.net; \*\*pkboyko@ukr.net

The application of heavy rates of mineral fertilizers due to the lack of organic substances suppresses the development of important soil microorganisms. It also causes a shift in the balance of microbiological pools. Management of soil fertility processes involves the applying of such fertilizers, which ensure the dominance of agronomically valuable groups of microorganisms. During the production and application of bio-fertilizers increases a number of problems. One of these is the impact of terms of bio-fertilizer application into the soil under conditions of active solar radiation. This influences on bio-fertilizer effectiveness. The purpose of the research is to study the influence of different solar radiation terms on microorganisms number of bio-fertilizer «Azoter SC», applied into the soil. The research was conducted on a soil mass of chernozem podzolized, treated with the bio-fertilizer "Azoter SC" with following insolation. The soil samples were influenced by direct insolation for 30 minutes, 1 and 2 hours. The control sample was treated with bio-fertilizer, but was not exposed to solar radiation. The results obtained confirmed bactericidal influence of insolation on microorganisms of bio-fertilizer «Azoter SC». As a result of 2 hours natural solar radiation in open soil *Azotobacter chroococcum* quantity decreased on 58 %, *Azospirillum brasiliense* and *Bacillus megatherium* – on 65.4 % and 71.1 % respectively. Conclusions. From the agronomic and economic point of view, the results of our research confirm the need to take into account the meteorological conditions and methods of earning the seeds treated with the bio-fertilizer as well as during simple bio-fertilizer applying into the soil. These should be provided in order to avoid bactericidal effects of direct sunlight on the components of the bio-fertilizer "Azoter SC", and therefore on its efficiency.

**Keywords:** *Azotobacter chroococcum*; *Azospirillum brasiliense*; *Bacillus megatherium*; bacterial fertilizers; soil microbiota; solar radiation impact.

Citing: Zinchuk M.I., Boyko P.K., Diakiv S.V., Adzhyeva L.G., Pavliuk V.S., Komovych L.V., Korobeyko L.S. 2019. Influence of different conditions of solar radiation on the quantity of species composition of bio-fertilizer “Azoter SC”, applied into the soil. *Agrochemistry and Soil Science.* Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 89-94. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-12>.

UDC 631.153.3

## Effect of tillage on productivity of crop rotation and nitrate contain in topsoil under unstable of atmospheric precipitation

Ya.A. Pogromska

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

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Received 25.12.2018 Received in revised form 07.05.2019 Accepted 19.08.2019 Available online 01.09.2019</p> <hr/> <p><i>Keywords:</i></p> <p><i>crop yield;</i> <i>nitrates;</i> <i>no-till;</i> <i>plowing;</i> <i>Selivanov hydrothermal coefficient;</i> <i>subsurface tillage.</i></p>	<p>The aim of the work was to identify the presence of a relationship between the productivity of grain-row crop rotation and the content of nitrates in the topsoil with different ways of its main tillage. Eight-year monitoring was conducted within a long stationary field experiment on the territory of the experimental farm of NSC ISSAR in Donetsk region. The content of nitrate nitrogen in chernozem ordinary was determined on three soil treatment options - moldboard ploughing, subsurface non-turning soil tillage and no-till. At the same time, the dynamics of weather conditions was observed and the hydrothermal coefficient of Selivanov (HTC) was calculated. Statistical data processing was performed by correlation, regression and ANOVA analysis in a sample of the results of 729 individual observations. It is shown that after a two-year drought, an increase in yield occurs along with an increase in the content of nitrates in the soil on all variants of soil treatment. However, a year after the overmoistening, the yield decreases, despite the still high level of nitrate nutrition. In years with critically low humidity, the greatest yields are recorded on moldboard plowing. By comparing the treatment efficiency without soil turnover and the conventional moldboard plowing, we determined the conditions under which minimization of tillage is advisable. With an increase in the degree of minimization of tillage, the positive peak on the graph of the relative yields dynamics decreases and the negative one deepens. With no-till, the productivity of crops decreases in years with a HTC less than 0.6 at the same time as a decrease in the nitrate content in the soil. For no-till, a positive correlation was also determined between the level of nitrate content in the soil last year and the crop yield in the following. It was found that the non-use of plowing increases the risk of negative effects of excessive soil moisture if the nitrate content is high. It has been proven that a lack of nitrogen is not a factor in determining yields under subsurface non-turning tillage. However, with no-till, the decrease in yield is due to a decrease in the content of nitrate nitrogen in the soil, which has a long-term effect. Based on this, it is possible to predict the effectiveness of the direct sowing system. The regression analysis determined the dependence of the relative yield for no-till on the relative content of nitrates in the soil of the previous year (<math>r = 0.950</math>).</p>

\*E-mail: joanap@i.ua

*Citing:* Pogromska Ya.A. 2019. Effect of tillage on productivity of crop rotation and nitrate contain in topsoil under unstable of atmospheric precipitation. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. ISSAR. Kharkiv. P.95-100. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-13> (Ukrainian).

### 1. Introduction

Many scientists note the existence of a link between the content of nitrates in the soil and the yield of crops [1-6]. In particular, the dense dependence of spring wheat yield [3], as well as fertilizer efficiency [5], on the content of nitrate nitrogen in the soil was found. The possibility of forecasting the yield of winter rye is shown depending on the level of crop provision with nitrate nitrogen [4]. The optimum content of nitrates in the soil for corn [1, 2] was established: the highest yield was determined by the content of nitrate nitrogen in the arable layer about 60 mg / kg of soil in the phase of 4-5 leaves.

Intensive use of Ukrainian soils undergoes significant losses of nutritional elements, including mineral nitrogen (S.A. Baliuk, V.V. Medvedev, A.D. Balaev, O.L. Tonkha, M.V. Gavrilyuk et al., 2018) [7-9], which necessitates the rejection of traditional tillage. The directions of scientific research on soil protection are formed in connection with the trends of both global climate change and regional changes [9].

Due to the increasing moisture deficit, which may be accompanied by incomplete use of soil nutrients (eg, residual nitrates or phosphates) [9], the transition of modern agriculture to soil protection technologies actualizes the direction of studying the peculiarities of the formation of soil nitrogen regime and its impact on the productivity of agricultural crops under different methods of tillage [10] under certain meteorological features of the region.

There is evidence of deterioration [11] and improvement [12, 13] of the nitrogen regime for the failure to turnover the soil layer during cultivation. In the literature, there are examples of the lack of influence of cultivation on the accumulation of nitrates in chernozem ordinary [14], as well as the lack of advantages of the failure to turnover the soil layer, especially in the long-term drought [9, 15]. According to the Italian scientists, the reduction of nitrate nitrogen content in the soil for the no-till is associated with greater dependence on weather conditions than for plowing [16]. The unevenness of the estimates of the impact of plowing failure on the nutrient regime of

the soil is due to the heterogeneity of meteorological conditions in the observation sites

In addition, according to [17, 18], moldboard plowing advantage (compared to the subsurface tillage) on the nitrate content in the soil is not always form the advantage in yields, which essentially depends on weather conditions and crop rotation [18].

Based on the aforementioned, the aim of the research was formed - to find out the existence of a connection between the productivity of the grain-growing crop rotation and the content of nitrates in the arable layer of soil under plowing, the subsurface non-turning soil tillage and zero tillage in the soil-climatic conditions of the Donetsk region.

## 2. Object, methods and research conditions

The work was carried out in 1997-2005 in the framework of research on field stationary experiment on the territory of the experimental farm "Donetske" of National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky» in the Yasynuvatsky district of the Donetsk region. The region is located in the natural zone Steppe. The experimental field has the following coordinates: 48°19'39.3"N 37°46'12.9"E.

Soil - chernozem ordinary. Grain-growing crop rotation includes the following crops: maize for silage; winter wheat; maize for grain; spring barley; sunflower; grain mix; winter wheat; maize for grain.

The types of tillage were studied: conventional moldboard plowing; subsurface non-turning soil tillage; zero tillage (no-till).

The entry into rotation was carried out simultaneously by three fields from the 1st, 2nd and 3rd crops of the rotation.

Repetition of options was triple; the area of a single experimental plot - 1600 m<sup>2</sup>.

Soil sampling from a layer of 0-30 cm. Measurement of the content of NO<sub>3</sub> was carried out using the Grandval-Lyag method (with disulfophenoic acid and photocolometric determination). Meteorological data were obtained from the observation meteoropost in the village Sukha-Balka Yasynuvatsky district (48°19'37.4"N 37°45'53.1"E). Statistical data processing was done by correlation, regression and ANOVA analysis in a sample of 729 individual observations.

Meteorological conditions for conducting research characterized as contrast. The start of field experiment (1997) was carried out in the year with intensive atmospheric humidification (hydrothermal coefficient of Selianinov (HTC) 1,25). In the first two years of crop rotation (1998 and 1999) the HTC was 0.53 and 0.64, which corresponds to the conditions of the dry farming zone [19]. The following years (2000, 2002, 2003, 2004) characterized by sufficient moisture (HTC 0.94, 0.91, 1.06 and 1.11 respectively); 2001 is very humid (HTC 1.67), final, 2005 - again arid (HTC 0.58).

## 3. Results and discussion

Reduced productivity of crop rotation detected due to the failure of moldboard plowing: under subsurface non-turning soil tillage by 11 %, under no-till by 36 %.

The total amount of main crop production in feed units is 34.36 t/ha for plowing, 30.67 t/ha for subsurface tillage, and 21.89 t/ha for no-till. Lower productivity of crop rotation due to refusal of plowing is observed against the background of a decrease in the average content of nitrates in the soil: 35.8 mg/kg for plowing, 33.9 mg/kg for subsurface tillage, 26.4 mg/kg for no-till (the smallest significant difference 2.3 mg/kg of soil).

**Table 1**  
Dynamics of crop yields in different tillage methods

Tillage	Crop yields, tons of feed units per hectare							
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
	HTC	HTC	HTC	HTC	HTC	HTC	HTC	HTC
	0,53	0,64	0,94	1,67	0,91	1,06	1,11	0,58
Moldboard plowing	3.40	3.81	9.19	6.49	2.75	2.16	2.65	3.14
Subsurface non-turning tillage	3.14	3.44	8.18	5.97	1.28	2.28	2.57	3.10
Zero tillage (no-till)	1.92	3.34	5.94	4.47	0.69	1.34	2.13	1.74
LSD(,05)	0.50	0.96	1.35	0.65	0.49	0.57	0.29	0.22

Visible (especially for plowing) is a general increase yield during the first two years with sufficient and excessive atmospheric moisture - 2000 (HTC 0.94) and 2001 (HTC 1.67) after two-year drought in 1998-1999. After excessive humidification in 2001, there is a decrease yields in 2002, however, this fall is the smallest under plowing.

For no-till, unlike intensive tillage, the conditions of dry years - 1998 (HTC 0,53) and 2005 (HTC 0,58) are marked as extreme, when yields decrease for zero cultivation, but not as much as in 2002, after excessively wet year.

Under the HTC 0.64 in the second arid year (1999), zero tillage contributes to an increase in the number of products to 3.34 tons per hectare, which does not statistically differ from the efficiency of intensive tillage technologies, whose productivity under such conditions remains at the level of the previous arid 1998 year.

The average yield in non-stressful conditions varies in the plowing from 2.16 to 38.1 t / ha of feed units, for subsurface non-turning tillage - from 2.28 to 3.44 t / ha, for no-till - 2.13-3, 34 t / ha.

The results of determination of the content of nitrates in the arable soil layer during the growing of crop rotation crops are presented in the table 2. Comparison of these with yield data indicates that the total increase in yields in the first two years of sufficient and excessive moisture (2000 with HTC 0.94 and 2001 with HTC 1.67) after two years of drought (1998-1999) occurs on the background of significant increase in the content of nitric nitrogen in the soil: maximum for plowing and minimum for zero tillage (Table 2).

**Table 2**

*Dynamics of the nitrates content in the arable soil layer*

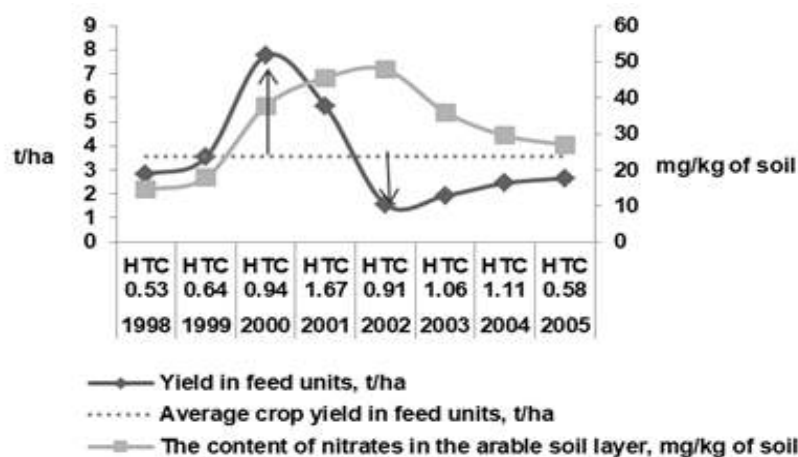
Tillage	Nitrate content, mg/kg of soil							
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
	HTC 0.53	HTC 0.64	HTC 0.94	HTC 1.67	HTC 0.91	HTC 1.06	HTC 1.11	HTC 0.58
Moldboard plowing	16.08	18.40	46.99	50.11	52.73	40.37	32.04	29.42
Subsurface non-turning tillage	15.14	19.16	46.51	48.74	48.60	37.04	27.86	28.09
Zero tillage (no-till)	12.32	16.10	19.85	37.92	42.46	30.60	28.54	23.58
LSD (.05)	3.20	1.41	21.52	10.19	15.16	8.33	3.31	4.00

Instead, a significant decrease in production in 2002 (HTC 0.91) occurs against the backdrop of an increase in the content of nitrates in the soil after excessive moisture in 2001 (HTC 1.67) on all variants of tillage.

Low yields for the no-till in arid years (1998 with HTC 0.53 and 2005 with HTC 0.58) are accompanied by a low level of nitrate contents in soil. For example, in 2005 the content of nitrates in the soil for the no-till is 17% less than in the previous one.

It should be noted that the HTC 0.64 second consecutive drought year (1999) for zero tillage contributes to an increase in the content of nitrates in soil by 31%, by 27% for subsurface cultivator tillage, and by 14% - for plowing. That is, the abandonment of soil turnover positively affects the content of nitrates in the arable layer of soil during the arid period; for no-till it manifests itself only for the second arid year, and for subsurface non-turning tillage it manifests itself during the two years of drought.

In general, during the study period, we have two critical points, which we will note on the background of increasing nitrate nitrogen content in the soil (Fig. 1). The first is the output from the two-year (1998-1999) drought, accompanied by a significant increase in the yield, and the second - the output from one-year over wetting with a significant decline in yields (calculated in feed units).



**Fig. 1.** Critical conditions for the formation of the crop (average data in the experiment)

The plowing characterized by a maximum increase in yield after two years of drought and a minimal decrease in yield after one year of excessive moisture (Figure 2). With increasing degree of minimization of soil tillage, the positive peak of crop dynamics during the crop rotation decreases and the negative deepened. However, for the no-till, the yield also reduced in the years from the HTC less than 0.6 when the level of nitrate feed reduced.

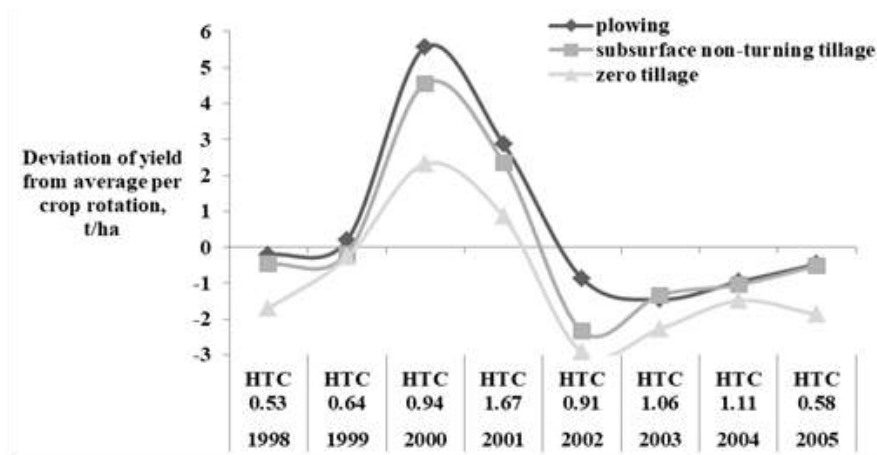


Fig. 2. Deviation from the average per crop rotation of the amount of plant products, feed units

Comparing the efficiency of tillage without plowing with the efficiency of traditional plowing can determine the conditions under which minimization of soil tillage is appropriate (Fig. 3).

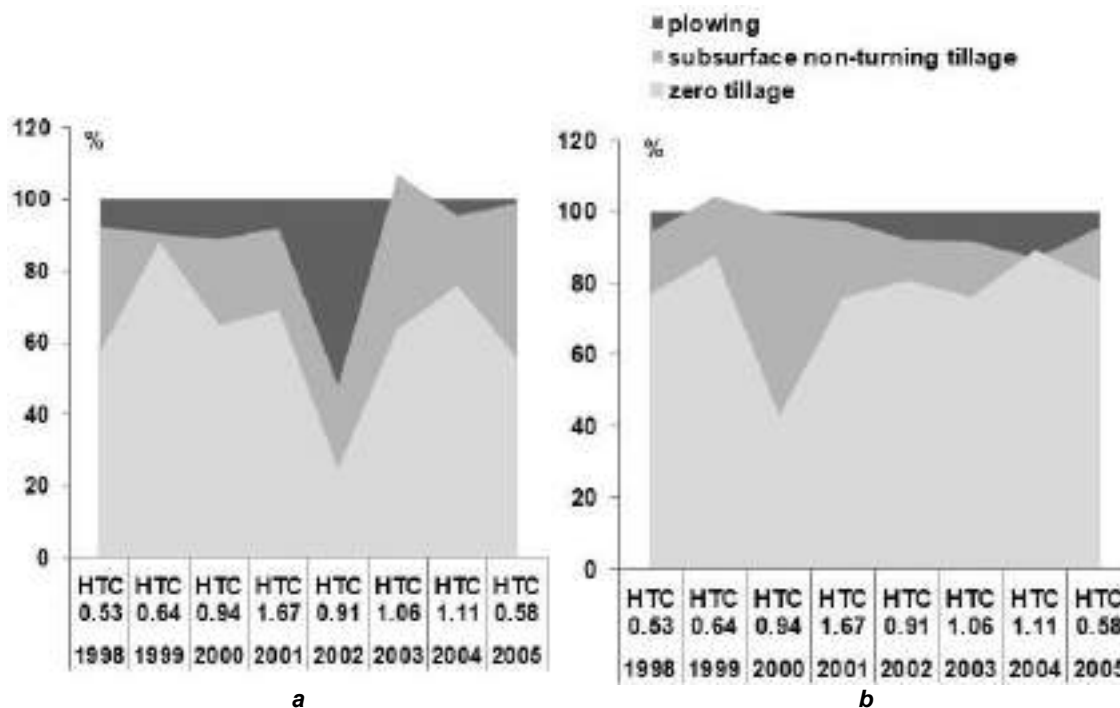


Fig. 3. Relative yields (a) and content of nitrates in the arable layer of soil (b) during the crop rotation in different methods of tillage

Thus, the lowest yield for abandonment of plowing is observed in the following year after over wetting and it is 47.9 % relative to plowing for subsurface cultivator tillage, for no-till it is 24.3 %, although in other years the index does not fall below 89.0 % and 55.4 % respectively. That is, the efficiency of minimizing tillage is the maximum reduced in the years preceding over wetting, when the high level of nitrate nitrogen is form in the soil. Given that excessive nitrogen content increases the susceptibility of plants to diseases and slows down the transition to the reproductive phase [20], it can be argue that the abandonment of plowing increases the risk of negative consequences of over wetting, which increases by increasing the amount of plant residues on the soil surface.

The most effective for subsurface non-turning tillage, when the relative yield varies from 95.5 % to 107 % compared to the plowing, is the next three years after the maximum drop in yield caused by over wetting, irrespective of hydrothermal conditions and a decrease in the level of nitrate content in the soil by 4.5-13 % relative to plowing. The first year of drought for subsurface cultivator tillage is somewhat more effective compared to plowing (in 1998 the yield was 92.4 % and 98.8 % in 2005) than the second (90.4 % in 1999, despite increasing nitrate content in the soil to 104.1 %).

Thus, for subsurface non-turning tillage, the period after drought is more critical because it occurs at relatively high nitrate nitrogen content in the soil, compared with the period after the wet year, when the nitrate content is less than on the plowing.

In addition, thus, we state: the factor determining yields for subsurface non-turning tillage under experimental conditions is not a lack of nitrogen. Regression analysis revealed even negative, although not dense ( $r = -0.368$ ), correlation of relative yield and nitrate content in the soil of the previous year for subsurface non-turning tillage.

The most effective for no-till is the second year of drought, when the relative yield is 87.7%, and the third year after over wetting with a relative amount of 75.8%, what is observed at the maximum nitrate nitrogen content in soil up to 87.5 and 89.1% relative plowing. It follows from this that the relative reduction in the content of nitrate nitrogen in the soil for the no-till is a determining factor in reducing yields relative to plowing.

The regression analysis determined the dependence of the relative yield for no-till from the relative content of nitrates in the soil of the year before:

$$y = 1,0953x - 21,277, r = 0,950$$

where  $x$  – relative content of  $\text{NO}_3$  in the arable soil layer of the previous year, as a percentage of the plowing;  $y$  – the relative amount of feed units of plant products next year for no-till, as a percentage of plowing.

That is, the long-term effect of the level of soil saturation with nitrate nitrogen for the no-till technology is determined, which makes it possible to predict the direct sowing efficiency of next year by the level of nitrate content in the arable soil layer of the previous year.

#### 4. Conclusions

Minimization of soil cultivation reduces the productivity of grain-crop rotation in contrasting weather conditions.

The rejection of plowing increases the risk of negative consequences of over wetting at elevated levels of nitrates in the soil, in particular, due to the development of diseases, which is facilitated by the presence of plant residues on the soil surface.

A lack of nitrogen is not the determining factor for yield by subsurface non-turning tillage.

The reduction of yield for the no-till is formed by a decrease of the nitrogen mobility in the soil, which has a long-lasting effect, because of which it is possible to predict the efficiency of the direct sowing system.

**Acknowledgment.** The author thanks to Dr. M.M. Miroshnychenko, Doctor of Biological Sciences, for advices on aggregation of data.

#### References

1. Lohinova I.V. Prediction of the effectiveness of fertilizers for corn grain according to soil diagnostics. *Naukovi dopovidi NUBiP*/ 2012. 3 (32). URL: [http://nd.nubip.edu.ua/2012\\_3/12liv.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2012_3/12liv.pdf). (Ukr.).
2. Binford G.D. 1992. Relationships between corn yields and soil nitrate in late spring. *Agron. J.* Vol. 84. P. 53–59.
3. Khusainov A.T., Seydalina K.Kh. 2009. Nitrate nitrogen content in black soil in Northern Kazakhstan. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. № 3 (53). P. 27–30. (Rus.).
4. Akimova O.I. 2013. The effect of nitrogen nutrition on the yield of winter rye grain. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. № 8. P. 13-18. (Rus.).
5. Mengel D., Asebedo R. 2014. Correlation of soil test nitrate level, N rates, and wheat yields. *Agronomy eUpdate*. Issue 468 August 1st, 2014. URL: [https://webapp.agron.ksu.edu/agr\\_social/m\\_eu\\_article.throck?article\\_id=295](https://webapp.agron.ksu.edu/agr_social/m_eu_article.throck?article_id=295).
6. Barker A.V., Pilbeam D.J. 2015. Handbook of Plant Nutrition. 2nd Edition. CRC Press. 2015. 773 pp.
7. Balayev A.D., Tonkha O.L. 2018. Soil Fertility, its Species and the Restoration of Modern Cultivation Technologies. *Agrochemistry and Soil Science. Special issue for the XI Congress of Soil Scientists and Agrochemicals of Ukraine* (September 17-21, 2018, Kharkiv). Book 1. Soil Science. Kharkiv. P. 114-123. (Ukr.).
8. Balayev A.D., Gavrilyuk M.V. 2018. Restoration of fertility of chernozem for soil protection agriculture. *Agrochemistry and Soil science. Special issue for the XI Congress of Soil Scientists and Agrochemicals of Ukraine* (September 17-21, 2018, Kharkiv). Book 1. Soil Science. Kharkiv. P. 123-125. (Ukr.).
9. *Adaptation of agrotechnologies to climate change: soil and agrochemical aspects: collective monograph*. NSC "Institute of Soil Science and Agrochemistry named after O. N. Sokolovsky". Kharkiv. Stylna typografiia, 2018. 364 p.

10. Pikovska O.V. 2013. Characteristics of the nitrogen regime of chernozem ordinary in different tillage systems. *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series: Soil Science, Agrochemistry, Agriculture, Forestry.* No. 1. P. 65-67. (Ukr.).
11. Triduh Ye.I., Radziyevsky L.L., Cheryachukin M.I., Shymansky Yu.P. et.al. 1994. Effect of tillage and fertilizer on productivity of corn in the conditions of northern Steppe of Ukraine. *Stepove zemlerobstvo.* Kyiv: Urozhay, Iss. 28. P. 46-50. (Ukr.).
12. Strelchuk A.Ya. 1991. The effectiveness of minimizing the treatment of chernozem leached under winter wheat after maize for silage in the conditions of the south-western Forest-Steppe of the Ukrainian SSR: the dissertation author's abstract on the degree of a Ph.D. in Agricultural Sciences : 06.01.01, Kamenets Podilskyi. 17 p. (Rus.).
13. Tsiuk O.A. 2011. Formation of the nutrient regime of chernozem typical in farming systems. *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University.* № 2. P. 140-144. (Ukr.).
14. Davydenko V.V. 1999. Agrophysical properties, nutrient regime of the soil and corn yield depending on precursors, tillage and fertilizers. *Bulletin of the Institute of Grain Farming of the UAAS.* No. 10. P. 8-10. (Ukr.).
15. Bista P., Norton U., Ghimire R, Norton J.B. 2017. Effects of tillage system on greenhouse gas fluxes and soil mineral nitrogen in wheat (*Triticum aestivum*, L.) – fallow during drought. *Journal of Arid Environments.* 147. P. 103-113. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2017.09.002.
16. Alhajj Ali S., Tedone L., Verdini L., Cazzato E., De Mastro G. 2019. Wheat Response to No-Tillage and Nitrogen Fertilization in a Long-Term Faba Bean-Based Rotation. *Agronomy J.* 9(2), 50. DOI: 10.3390/agronomy9020050.
17. Tsiliurik O.I. 2016. Efficiency of minimum soil tillage for corn under conditions of the Northern Steppe of Ukraine. *News of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University.* No. 2. P. 5-9. (Ukr.).
18. Nascente A.S., Costa C.A., Cobucci C.T. 2012. Ammonium and nitrate in soil and up land rice yield as affected by cover crops and their desiccation time. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, V.47, n.12, P.1699-1706.
19. *Climatology.* URL <http://ggf.tsu.ru/content/faculty/structure/chair/meteorology/publications/Климатология/text/111.html>.
20. Dordas C. 2009. Role of Nutrients in Controlling Plant Diseases in Sustainable Agriculture: A Review. In: Lichtfouse E., Navarrete M., Debaeke P., Véronique S., Alberola C. (eds) *Sustainable Agriculture.* Springer, Dordrecht. P. 443-460. DOI 10.1007/978-90-481-2666-8\_28.

УДК 631.153.3

## Вплив способу обробітку ґрунту на продуктивність сівозміни і вміст нітратів в орному шарі за нестабільності атмосферного зволоження

Я.А. Погромська

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна  
E-mail: joanap@i.ua

Метою було виявити наявність зв'язку продуктивності зерно-просапної сівозміни та вмісту нітратів у ґрунті за різних способів його основного обробітку. В умовах польового дослідження на території Донецької області впродовж 8 років проводили моніторинг вмісту нітратного азоту в орному шарі чорнозему звичайного на трьох варіантах обробітку ґрунту – оранки, безвідвального плоскорізного та нульового (*no-till*). Одночасно спостерігали динаміку погодних умов і розраховували гідротермічний коефіцієнт (ГТК). Статистичну обробку даних виконано кореляційним, регресійним та ANOVA аналізом у вибірці 729 індивідуальних спостережень. Показано, що на всіх варіантах після дворічної посухи відбувається збільшення врожаю на фоні підвищення вмісту нітратів у ґрунті, а через рік після перезволоження врожайність падає, незважаючи на високий рівень нітратного живлення. У критичні за зволоженням роки найбільші врожаї зафіксовано на оранці. Співставленням ефективності обробіток без обертання пласта і традиційної відвальної оранки визначено умови, за яких мінімізація обробітку ґрунту є доцільною. Із підвищенням ступеню мінімізації обробітку ґрунту зменшується додатний пік на графіку динаміки відносних врожаїв і поглиблюється від'ємний. Для *no-till* формується зниження продуктивності культур у роки із ГТК менше 0,6 на фоні зниження рівня нітратного живлення. Для нульового обробітку визначено позитивний корелятивний зв'язок між рівнем вмісту нітратів у ґрунті минулого року і кількістю продукції наступного року. Виявлено, що відмова від обертання пласта посилює ризик негативних наслідків перезволоження за підвищеного рівня нітратів у ґрунті. Доведено, що нестача азоту не є визначальним фактором урожаю за безвідвального плоскорізного обробітку ґрунту. За *no-till* падіння врожайності обумовлюється тривалим зменшенням вмісту нітратного азоту в ґрунті, на підставі чого можливим є прогнозування ефективності системи прямого посіву. Регресійним аналізом визначено залежність відносної врожайності за *no-till* від відносного вмісту нітратів у ґрунті позаминулого року ( $r=0,950$ ).

**Ключові слова:** безвідвальний плоскорізний обробіток; гідротермічний коефіцієнт Селянинова; ГТК; нітрати; нульовий обробіток; оранка; урожайність культур.

**Форма цитування:** Погромська Я.А. Вплив способу обробітку ґрунту на продуктивність сівозміни і вміст нітратів в орному шарі за нестабільності атмосферного зволоження *Агрохімія і ґрунтознавство.* Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2019. С. 95-100. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-13>.

УДК 631.458

## Баланс гумусу й поживних речовин у ґрунтах Луганської області та шляхи подолання дефіциту

В.М. Хромяк<sup>1\*</sup>, В.В. Наливайко<sup>1</sup>, С.П. Будков<sup>2</sup>,  
Ю.С. Васильченко<sup>2</sup>, Є.В. Василенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» НААН, м. Харків, Україна

<sup>2</sup> Луганська філія ДУ «Інститут охорони ґрунтів», м. Северодонецьк, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 15.02.2019 Отримано після доопрацювання 11.05.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019</p>	<p>Статтю присвячено проблемі деградації ґрунтів північно-східного степу України під впливом антропогенної діяльності. Перехід на скорочені сівозміни, спровокований вузькою однобічною спеціалізацією, і відсутність контролю з боку держави і місцевої влади, призвели до вирощування лише декількох культур у сівозміні, без достатнього повернення в ґрунт винесених органічних і мінеральних сполук. Мета роботи – виявити масштаби втрат гумусу і поживних речовин із ґрунтів Луганської області та шляхи запобігання процесу подальшого погіршення якості ґрунтів у Луганській області в умовах чинної системи землеробства. Проаналізовано структуру посівних площ за останні роки, розраховано середній баланс поживних речовин та гумусу на гектарі посівної площі на основі урахування фактичного урожаю і повернутих у ґрунт рослинних решток і внесених мінеральних та органічних добрив. Використовували методи статистичного групування та аналізу. Встановлено, що останніми роками відбувся фактичний перехід сівозмін на двопольні: соняшник – зернові культури. За такої структури внесення залишених у полі рослинних решток та мінеральних добрив у дозах, які фактично на цей час застосовуються товаровиробниками, є недостатнім для підтримки бездефіцитного балансу гумусу та рухомих поживних речовин у ґрунті. Від’ємний баланс (дефіцит) гумусу становить (за останні три роки) -0,226 т/га в рік. Існує суттєвий дефіцит вмісту поживних речовин у ґрунті: N<sub>2</sub> – 16,1 кг; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 3,4 кг; K<sub>2</sub>O – 70,1 кг на гектар посіву основних сільськогосподарських культур. Рекомендовано для досягнення бездефіцитного балансу гумусу в ґрунтах Луганської області змінити структуру посівних площ на користь сіяних трав, зернобобових, хрестоцвітих культур, кукурудзи та сидератів за рахунок соняшника, вишукувати місцеві джерела органічних добрив, а для забезпечення рівноважного балансу рухомих поживних речовин – внесення мінеральних добрив у кількості винесених прогнозованим урожаєм. На думку авторів потрібно посилити державний контроль якості ґрунтів і при передачі земель в оренду проводити оцінку ґрунтів незалежною установою, уповноваженою державою.</p>
<p><i>Ключові слова:</i>  <i>деградація ґрунту; баланс гумусу; баланс поживних речовин.</i></p>	

\*E-mail: hvmluga@rambler.ru

*Форма цитування:* Баланс гумусу й поживних речовин у ґрунтах Луганської області та шляхи подолання дефіциту/ В.М. Хромяк, В.В. Наливайко, С.П. Будков [та ін.]. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2019. С. 101-105. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-14>.

### 1. Вступ

У землеробстві північно-східного степу України в останньому десятиріччі сформувалась затребувана ринком структура посівних площ, у якій майже відсутні зернобобові й кормові культури (у т.ч. багаторічні трави). Практично не вноситься на поля гній (0,3 т/га) [1], основним джерелом органічних речовин стали рослинні рештки. На фоні відсутності контролю власниками і державою стану використовуваних земель сільськогосподарського призначення, відбувається їх деградація, в основному, через водну, вітрову та агротехнічну ерозію ґрунту. Обумовлено це недотриманням науково обґрунтованих технологій землеробства та вирощуванням обмеженої кількості культур. Тому метою роботи є виявлення шляхів запобігання процесу подальшого погіршення якості ґрунтів у Луганській області і переходу до аграрного виробництва з бездефіцитним балансом гумусу і поживних речовин.

Тематика балансу поживних речовин у ґрунті широко висвітлена у вітчизняній [2, 3] та зарубіжній [7, 8] літературі. Розроблено й запатентовано методики розрахунку балансу поживних речовин і гумусу [4, 8, 10], зроблено регіональні розрахунки та визначено основні культури, що позитивно впливають на гумусовий стан ґрунтів [5, 9]. В Луганській області у літературі наведено дані щодо щорічних втрат гумусу, які оцінено у -0,36 т/га, станом на 2012 рік (до речі, найбільші втрати гумусу в ґрунтах України) [6]. Аналіз характеру змін у вмісті гумусу в чорноземі звичайному, які відбулися за 41 рік (з 1970 до 2011 р.) у басейні р. Айдар у Луганській області, дозволяє висловити обґрунтовані припущення, що на еволюційні процеси формування ґрунтів, пов'язані з факторами ґрунтоутворення, накладаються деградаційні процеси [11].

Але за останні роки публікації з висвітлення балансових даних щодо вмісту гумусу і поживних речовин у ґрунтах Луганської області відсутні, особливо з урахуванням зміни структури посівних площ та браку статистики щодо внесення добрив.

## 2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Узагальнення виконано на основі статистичних даних, зібраних Луганською філією ДУ «Інститут охорони ґрунтів» [1], стосовно посівних площ, урожайності основних сільськогосподарських культур та кількості внесених органічних і мінеральних добрив у Луганській області (на підконтрольній території) у 2017-2018 рр. Баланс гумусу і поживних речовин у ґрунтах Луганської області розраховано з використанням методики розрахунку [4], з якої також взято коефіцієнти виносу елементів живлення на тонну основної продукції. Застосовано методи статистичного групування й аналізу здобутих результатів.

## 3. Результати досліджень та їх обговорення

В Луганській області (підконтрольна Україні частина) за останні роки склалась стійка структура посівних площ, продиктована місцем України у міжнародному розподілі праці (Табл.1) з вузькою однобічною спеціалізацією.

### Таблиця 1

Площі, зайняті під основними сільськогосподарськими культурами в Луганській області в усіх категоріях господарств у 2017-2018 рр.

Культура	Площа посівів, тис. га			Частка у структурі посівних площ, %	Частка у площі земель в обробітку, %
	2017	2018	середня		
Соняшник	355,1	346,2	350,6	43,5	-
Пшениця озима	242,0	271,0	256,5	31,8	-
Кукурудза на зерно	82,3	79,1	80,7	10,1	-
Ячмінь ярий	42,5	35,9	39,2	4,9	-
Інші культури	84,0	72,2	78,2	9,7	-
Вся посівна площа	805,9	804,4	805,2	100	82,0
Пари (чисті та зайняті)	174,2	184	179,1	-	18,0
Землі в обробітку	980,1	988,4	984,3	-	100

Враховуючи приховану частину посівів соняшника в парах слід констатувати, що на практиці функціонує двопілля: соняшник – зернові культури. Основною зерною культурою у другому полі такої сівозміни є озима пшениця, на додаток до якої вирощують кукурудзу, ячмінь та деякі інші культури.

Причому слід зауважити, що орендаторами обробляються під основні польові культури майже всі можливі площі, незважаючи на цільове їх призначення, і це не завжди відображується у статистичній звітності. Найчастіше до інтенсивного обробітку залучаються незатребувані площі на угіддях сінокосів і пасовищ. Прикладом може слугувати зафіксоване на фото розміщення соняшника на еродованому схилі, який міг би бути захищеним, наприклад, багаторічними травами (Рис.1).



Рис. 1. Розораний схил > 5° (призначення - пасовище) у Новопсковському районі (фото автора, 2018)

На основі середньозважених урожайних даних [1] і коефіцієнтів виносу елементів живлення на тонну основної продукції [4] розраховано фактичний обсяг винесених із ґрунту поживних речовин основними сільськогосподарськими культурами, під якими зайнято 90 % посівних площ у Луганській області (Табл. 2).

**Таблиця 2**

*Винос поживних речовин із ґрунту основними сільськогосподарськими культурами в Луганській області в усіх категоріях господарств у 2017-2018 рр.*

Культура	Урожай за роками, ц/га			Винесено з урожаєм із ґрунту, кг/ 1 га		
	2017	2018	середньозважений (2017-2018)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Соняшник	16,7	19,2	17,9	107,4	46,5	332,9
Пшениця озима	40,7	29,8	34,9	104,7	45,4	87,2
Кукурудза на зерно	21,9	36,2	28,9	98,3	34,7	106,9
Ячмінь ярий	26,0	20,1	23,3	58,2	25,6	51,3

Певна частина поживних речовин повертається в ґрунт з рослинними рештками, а решту елементів живлення аграрії повинні були компенсувати внесенням органічних та мінеральних добрив для підтримки бездефіцитного балансу гумусу та рухомих поживних речовин в ґрунтах. Наші розрахунки за балансовим методом вказують, що фактично кількість внесених мінеральних добрив під урожаї 2017-18 рр. була недостатньою для компенсації втрат з урожаєм (Табл. 3).

**Таблиця 3**

*Баланс поживних речовин під основними сільськогосподарськими культурами в Луганській області в усіх категоріях господарств у 2017-2018 рр.*

Показник	Поживна речовина	Поживні речовини під культурами, кг/га			
		соняшник	пшениця озима	кукурудза на зерно	ячмінь ярий
Повернення в ґрунт з рослинними рештками	N	55,8	24,5	32,6	41,0
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	27,2	9,8	13,0	19,5
	K <sub>2</sub> O	161,8	44,0	69,4	117,8
Нестача основних поживних речовин	N	51,6	80,2	65,7	17,2
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	19,3	35,6	21,7	6,1
	K <sub>2</sub> O	171,1	43,2	37,5	66,5
Компенсовано внесенням мінеральних та органічних добрив	N	26,8	72,8	44,0	34,0
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	16,0	14,2	10,6	8,6
	K <sub>2</sub> O	6,2	4,6	5,9	3,3
Баланс поживних речовин, +/-	N	-24,8	-7,4	-21,7	+16,8
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-3,3	-21,4	-11,1	+2,5
	K <sub>2</sub> O	-164,8	-38,6	-31,6	+69,8

У розрахунках враховано кількість та післядію внесених добрив, але через відсутність обліку не враховано солому, що пішла на заготівлю та вивезена з поля (особливо по яром ячменю, як більш затребуваному), тому реальний баланс поживних речовин по озимій пшениці та ячменю фактично потрібно змінити в гіршу сторону. За середньозваженими показниками недовнесено на гектар посіву основних сільськогосподарських культур по 16,1 кг N; 3,4 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 70,1 кг K<sub>2</sub>O. Ці поживні речовини рослини використали з гумусу і, тим самим, виснажили ґрунт.

Розрахований баланс гумусу у ґрунтах Луганської області за такої структури посівів є дефіцитним і становить за останні три роки -0,226 т/га в рік [4]. Приклад утворення та втрат гумусу у 2017 році в розрізі культур у сільськогосподарських підприємствах (не у всіх категоріях господарств) наведено у табл.4.

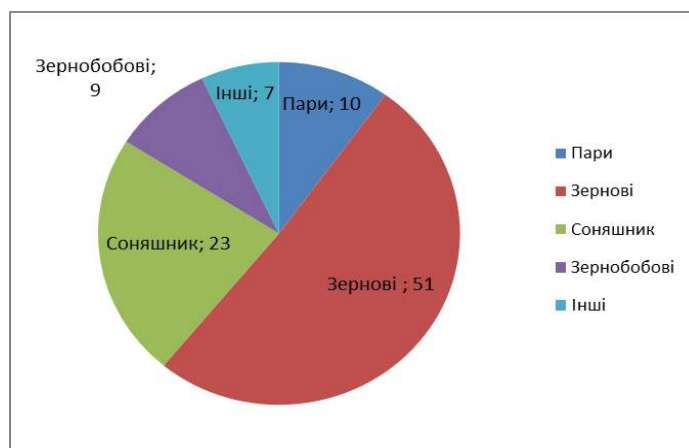
Виходячи з того, що з 1 тонни гною в Степу утворюється 0,08 тонни гумусу, аграріям щорічно на гектар потрібно вносити (за формулою Г.Я. Чесняка [10]) 3,25 тонни гною для збереження бездефіцитного балансу гумусу в ґрунті. За відсутності гною рекомендовано змінювати структуру посівних площ на користь сіяних трав, зернобобових, хрестоцвітих культур, кукурудзи та сидератів. Причому, як видно з таблиці 4, в умовах Луганської області підвищення вмісту гумусу спостерігається тільки на площах під зерновими і зернобобовими культурами та багаторічними сіяними травами, а на решті площ – зменшення; тобто значну роль тут відіграє видовий склад рослин. Культурою, яка, на нашу думку, поступово повинна заміщуватись, має стати соняшник. Також поступово потрібно зменшувати площу парів, де відбувається мінералізація гумусу в значних обсягах.

**Таблиця 4**

Баланс гумусу на землях сільгоспвиробників Луганської області в 2017 році

Сільськогосподарська культура або група культур	Площа, тис.га	Утворилося гумусу		Втрачено гумусу		Баланс гумусу	
		т/га	тис.т	т/га	тис.т	т/га	тис.т
Зернові й зернобобові	250,7	2,213	554,704	1,25	313,375	0,963	241,329
Кукурудза на зерно	54,5	1,448	78,900	1,56	85,02	-0,112	-6,120
Соняшник	298,7	0,990	295,786	1,39	415,193	-0,400	-119,407
Гірчиця	4,2	0,382	1,603	1,39	5,838	-1,008	-4,235
Соя	0,5	0,303	0,152	1,5	0,75	-1,197	-0,598
Просо	2,1	0,928	1,949	1,1	2,31	-0,172	-0,361
Гречка	1,5	0,783	1,175	1,1	1,65	-0,317	-0,475
Сорго	3,5	1,947	6,815	1,56	5,46	0,387	1,355
Кукурудза на силос і з.к.	5,7	0,566	3,225	1,47	8,379	-0,904	-5,154
Однорічні трави на сіно	0,9	0,879	0,791	1,1	0,99	-0,221	-0,199
Однорічні трави на з/к	1,5	0,648	0,971	1,1	1,65	-0,452	-0,679
Багаторічні трави на сіно	3,1	1,330	4,122	0,6	1,86	0,730	2,262
Багаторічні трави на з/к	1,5	0,923	1,385	0,6	0,9	0,323	0,485
Посівна площа	628,4	1,514	951,578	1,342	843,375	0,172	108,203
Пари	57	0,002	0,093	2,000	114	-1,998	-113,907
Землі в обробітку	685,4	1,388	951,671	1,397	957,375	-0,008	-5,704

Велику увагу потрібно приділити розширенню видового складу рослин, що вирощуються у сівозмінах: рекомендуємо збільшити посівні площі під культурами, які добре реалізуються і дають сталі урожаї в умовах Луганщини – просо, гречка, горох, нут, хрестоцвіті та інші. В зерновій групі потрібно розширювати площу кукурудзи на зерно. Важливо відновити вирощування сидератів. Враховуючи все це, та факт неможливості в найближчі роки збільшити внесення гною на поля, ми рекомендуємо раціональну структуру посівних площ, за якої у ґрунтах області можливо досягти бездефіцитного балансу гумусу на основі рослинних решток (Рис. 2).



**Рис. 2.** Рекомендована профіцитна за балансом гумусу структура посівних площ для Луганської області (%)

У групі зернових культур рекомендуємо витримувати такий розподіл площі посівів між культурами: під озимію пшеницею, житом і тритикале – 60 %, кукурудзою на зерно – 20 %, ярим ячменем – 16 % і вівсом – 4 %. Така структура посівних площ не тільки забезпечить бездефіцитний баланс гумусу в ґрунтах Луганщини, але й буде сприяти його відновленню щорічно на 0,378 т/га.

## 5. Висновки

1. Фактична структура посівних площ сільськогосподарських культур у Луганській області з однобічною спеціалізацією призвела до скорочення кількості культур і полів сівозмін, які б забезпечували збалансоване повернення з рослинними рештками органічної речовини в ґрунт.

2. Баланс гумусу за такої структури посівів є дефіцитним і становить за останні три роки -0,226 т/га в рік. Для досягнення бездефіцитного балансу гумусу в ґрунтах Луганської області потрібно змінити структуру посівних площ на користь зернобобових культур, кукурудзи та сидератів за рахунок соняшника і пару та вишукувати місцеві джерела органічних добрив.

3. За середньозваженим показником недовнесено на гектар посіву основних сільськогосподарських культур щорічно за два останні роки по 16,1 кг N; 3,4 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 70,1 кг K<sub>2</sub>O. Для забезпечення рівноважного балансу рухомих поживних речовин в ґрунтах Луганської області потрібно внесення мінеральних добрив у кількості винесених прогнозованим урожаєм.

4. Необхідно терміново посилити державний контроль стану земель. При передачі її в оренду проводити оцінку ґрунтів незалежною установою, уповноваженою державою, з визначенням змін.

### Список використаних джерел

1. *Статистичні форми звітів* по Луганській області за 2017-18 рр. ф.№ 4-сг, ф.№ 6-зем, ф.№ 29-сг.
2. *Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві*: наукова монографія / НАУ. Під ред. М.К. Шикולי. Київ, 1998. 680 с.
3. Лукашук В.П. Вплив удобрення та обробітку ґрунту на баланс поживних речовин сільськогосподарських культур у сівозміні. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2016. №3. С. 63-65. URL: <https://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2016/03/15.pdf>.
4. *Розрахунок балансу гумусу і поживних речовин у землеробстві України на різних рівнях управління* / С.А. Балюк, В.О. Греков, М.В. Лісовий, А.В. Комариста. Харків, 2011. 30 с.
5. Коваленко С.А., Матухно Ю.Д., Мукодій М.П. Зміни показників балансу гумусу і поживних речовин у ґрунтах сільськогосподарських угідь Чернігівської області. *Агроекологічний журнал*. 2013. № 3. С. 52-56.
6. *Баланс гумусу і поживних речовин у ґрунтах України* / А.С. Заришняк, С.А. Балюк, М.В. Лісовий, А.В. Комариста. *Вісник аграрної науки*. 2012. №1. С. 28-32. URL: [http://agrovisnyk.com/oldpdf/visnyk\\_01\\_2012.pdf](http://agrovisnyk.com/oldpdf/visnyk_01_2012.pdf).
7. Либманн М., Молер Ч.П., Стейвер Ч.П. *Растительные остатки и сорняки: серия статей*. Зерно. 2011. № 8-12. 2012. №1.
8. Лыков А.М. К методике расчета гумусового баланса почвы в интенсивном земледелии. *Изв. ТСХА*. 1979. № 6. С. 14-20.
9. *Практикум з ґрунтознавства*: навчальний посібник / Д.Г. Тихоненко, В.В. Дегтярьов, С.В. Крохін [та ін.] За ред. Д.Г. Тихоненка і В.В. Дегтярьова. Вінниця, 2008. 448 с.
10. Чесняк Г.Я., Зинченко М.М., Серокуров Ю.И. Расчет баланса гумуса в почве и доз внесения органических удобрений для его бездефицитного содержания // Совершенствование агрохимического обслуживания колхозов и совхозов. Киев, 1988. С. 4-27.
11. Белоліпський В.О., Лактіонова Т.М., Полулях М.М. Оцінка ймовірності просторової мінливості вмісту гумусу у картуванні ґрунтів на басейновій основі. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 86. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2017. С. 24-34. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss86-03>.

UDC 631.458

## Balance of humus and nutrients in the soils of the Lugansk region and ways to overcome the deficit

V.M. Khromiak<sup>1</sup>, V.V. Nalyvaiko<sup>1</sup>, S.P. Budkov<sup>2</sup>, Yu.S. Vasylenko<sup>2</sup>, Ye.V. Vasylenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>Luhansk branch of State Institution "Soils Protection Institute of Ukraine", Severodonetsk, Ukraine

E-mail: [hvmluga@rambler.ru](mailto:hvmluga@rambler.ru)

The article is devoted to the problem of soil degradation in the north-eastern Steppe of Ukraine under the influence of anthropogenic activities. The transition to reduced crop rotation, provoked by a narrow one-sided specialization, and the lack of control by the state and local authorities, led to the cultivation of only a few crops in the crop rotation, without sufficient return to the soil of the organic and mineral compounds. The purpose of the work is to find out the scale of losses of humus and nutrients from the soils of the Lugansk region and ways to prevent the process of further deterioration of soil quality in the Lugansk region under the current agricultural system. The structure of crop areas in recent years was analyzed, the average balance of nutrients and humus on the hectare of the sown area was calculated on the basis of taking into account the actual yield and the mineral and organic fertilizers returned to the soil. Methods of statistical grouping and analysis were used. It was established that in recent years there was an actual transition of crop rotation to: sunflower - grain crops. Under such a structure, the addition of residues in the field of plant residues and mineral fertilizers in doses that are currently used by commodity producers is not sufficient to maintain a deficit-free balance of humus and available nutrients in the soil. Deficit of humus is (for the last three years) -0.226 t/ha per year. There is a significant deficit in the nutrient content of the soil: N<sub>2</sub> - 16.1 kg; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 3.4 kg; K<sub>2</sub>O - 70.1 kg per hectare for sowing the main crops. It is recommended to change the structure of crop areas in favor of sowing herbs, leguminous plants, cruciferous crops, corn and siderates at the expense of sunflower, to find local sources of organic fertilizers, and to ensure the equilibrium balance of available nutrients - the introduction of mineral fertilizers into the soil, in order to achieve a no-deficit balance of humus in the soils of Luhansk region. According to the authors, it is necessary to strengthen the state control of soil quality and, when land is leased, to evaluate the soil by an independent agency, an authorized state.

**Keywords:** soil; degradation; humus; balance; nutrients.

*Citing:* Khromiak V.M., Nalyvaiko V.V., Budkov S.P., Vasylenko Yu.S., Vasylenko Ye.V. 2019. The balance of humus and nutrients in the soils of the Lugansk region and ways to overcome the deficit. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 101-105. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-14>.

## ІСТОРИЯ НАУКИ HISTORY OF SCIENCE

УДК 631.67:621.3: 631.445.4. «71»(477.7)

### Еволюція чорнозему південного за тривалого зрошення біологічно очищеними міськими стічними водами в умовах степового Криму

В.Є. Дишлюк

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 02.08.2019 Отримано після доопрацювання 16.08.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019</p> <hr/> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p><i>агроекологічний стан ґрунту; зрошення; ґрунтоутворення; міські стічні води; характеристики ґрунту; превентивні заходи; чорнозем південний.</i></p>	<p>У статті дано комплексну оцінку впливу тривалого зрошення біологічно очищеними стічними водами міста Євпаторії на території Автономної республіки Крим (Сакський район) на зміни спрямованості та інтенсивності процесу ґрунтоутворення і трансформації характеристик чорнозему південного в умовах степового Криму. Дослідження проведено у період інтенсивного зрошення (1985-1992 рр.). Проаналізовано особливості агроекологічного стану тривало зрошуваного чорнозему південного та запропоновано комплекс заходів для мінімізації ризику деградації ґрунту. Методи досліджень – «ключів-аналогів», порівняльно-географічний, порівняльно-аналітичний, статистичний. Представлено результати комплексних аналітичних досліджень хімічних, фізико-хімічних, мікробіологічних, геохімічних та санітарно-гігієнічних характеристик зрошуваних і незрошуваних ґрунтів, а також якості поливних вод. З'ясовано, що тривале зрошення стічними водами з підвищеною мінералізацією і несприятливою іонною структурою спричинило ознаки іригаційної деградації ґрунту (тенденцію до слабого засолення й, осолонцювання). Разом з тим виявлено, що чорнозем південний, тривало зрошуваний стічними водами, завдяки високій генетичній буферній здатності (вміст CaCO<sub>3</sub> в метровому шарі варіює в межах 10-24 %) і наявності активних концентрацій катіонів кальцію в ґрунтовому розчині (гальмують процес осолонцювання), а також природній здатності ґрунту до самоочищення (звільнення від різноманітних забруднювачів), характеризується близьким до оптимального агроекологічним станом і еволюціонує за своєрідним гумусово-аккумулятивним типом ґрунтоутворення. Перелічено комплекс заходів, які на час завершення експерименту було рекомендовано для мінімізації деградації ґрунту: організаційно-технічні й технологічні для поліпшення якості поливних стічних вод, застосування їх для іригації на обмежених площах з доброю дренажією; агро меліоративні прийоми; організаційні – призупинення зрошення на декілька років (перехід на нові площі) для природного оздоровлення ґрунту до відновлення його властивостей.</p>

E-mail: [dyshlyuk\\_ve@ukr.net](mailto:dyshlyuk_ve@ukr.net)

*Форма цитування:* Дишлюк В.Є. Еволюція чорнозему південного за тривалого зрошення біологічно очищеними міськими стічними водами в умовах степового Криму. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2019. С. 106-119. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-15>.

### 1. Вступ

Кримський півострів за природно-кліматичними умовами відноситься до аридної зони (крім гірської частини) і характеризується як вододефіцитний регіон. В останні десятиліття додатковим чинником, що збільшує дефіцит природного зволоження в Україні і, зокрема, в кримському регіоні, є глобальні зміни клімату, які проявляються у підвищенні температури повітря та зростанні частоти тривалих посушливих періодів [1]. У цих природних умовах одним з найважливіших чинників зменшення залежності землеробства від посухи є застосування заходів зі штучного зволоження земель. З огляду на особливості природно-кліматичних умов і необхідність стабілізації землеробства для гарантування внутрішньої продовольчої безпеки АР Крим потрібно здійснювати заходи з відновлення і подальшого розвитку зрошення із доведенням поливних площ до 537,5 тис. га [2], що обумовлює необхідність пошуку резерву води для іригації.

З'ясовано [3-5], що на півострові в докризовий період у водні об'єкти скидали в середньому 930,1 млн м<sup>3</sup>/рік відпрацьованих вод, з них 258,4 млн м<sup>3</sup> оброблених на очисних спорудах, з яких 3,9 млн м<sup>3</sup> нормативно очищених стічних вод (1,5 % від обсягу оброблених) були застосовані для зрошення на 1 тис. га, решта – скинуті в акваторії морів. По суті щорічні об'єми скинутих відпрацьованих вод становили третину обсягу загальної подачі води з р. Дніпро (2980 млн м<sup>3</sup>) [6], яка на 80-84 % була використана для іригації [7], що свідчить про наявність резерву води у вигляді нормативно очищених міських стічних вод для іригації і безгосподарне витрачання якісної води для зрошення. Підтвердженням можуть бути прогнози розрахунки [3-5] з перспективи розвитку зрошення міськими стічними водами в Україні, які демонструють, що в АР Крим за використання

лише обсягів міських стічних вод із задовільними іригаційними властивостями можна зрошувати площу 40 тис. га.

Водночас через скиди стічних вод і забруднення морських вод та донних відкладів деградують екосистеми прибережних акваторій Чорного та Азовського морів [8], погіршилися санітарно-гігієнічні показники прибережних вод, що спричиняє періодичні спалахи епідемічних захворювань населення [9]. Відмічено зниження якості морських рекреаційних ресурсів, збіднення природно-ресурсного потенціалу [8, 9], що призводить до соціально-економічних збитків [10]. Для відновлення природного стану екосистем прибережних акваторій морів необхідне застосування превентивних заходів. Слід відмітити, що в країнах Європейського союзу ще з 1998 р. заборонена практика скидання забруднених каналізаційних стічних вод у водні об'єкти (директива 91/271/ЄС «Переробка муніципальних стічних вод») [11].

Відомо [12-16], що найбільш раціональним способом утилізації міських стічних вод є включення їх до біологічного кругообігу. Застосування нормативно очищених міських стічних вод для зрошення (особливо цілорічного) – превентивний захід щодо збереження водних об'єктів від забруднення і раціонального використання води. У маловодній Україні, особливо в посушливих урбанізованих регіонах (Донбас, Приазов'я, Причорномор'я, Крим), біологічно очищені міські стічні води, за науково обґрунтованого підходу, можуть бути перспективним джерелом для іригації [3-5, 13, 15, 16].

Характерною особливістю кримського регіону є наявність значних обсягів обмежено придатних міських стічних вод, які за дефіциту води і за умови дотримання певних заходів (меліоративне поліпшення якості води, застосування агроеліоративних прийомів) можуть бути використані для іригації. Прикладом є досвід тривалого (понад 30 років) сільськогосподарського застосування стічних вод м. Євпаторії після біологічного очищення (потужність комплексу очисних споруд (КОС) – 40-45 тис. м<sup>3</sup>/добу). Тривале застосуванням стічних вод м. Євпаторії на полях забезпечувало високі показники врожайності кормових культур (більші у 2-4 рази, ніж на богарі) і значний природоохоронний ефект (запобігання скиданню 3,3 млн м<sup>3</sup>/рік стічних вод у Чорне море – 20 % їх річного обсягу) [17]. Проте тривале зрошення міськими стічними водами за певних умов (непостійність складу, специфічна якість) може бути потужним антропогенним чинником впливу на ґрунт і його деградації (іригаційна, хімічна, біологічна), особливо верхнього гумусованого шару, що є своєрідним фільтром, який поглинає і трансформує більшу частину органічних і водорозчинних сполук, які містяться у стічних водах. З огляду на вищезазначене і необхідність моніторингу екологічного стану компонентів природного середовища на спеціалізованих меліоративних системах (землеробські поля зрошення – ЗПЗ) з урахуванням специфіки зрошувальних вод, особливостей зональних ґрунтів і природних умов регіону потрібно було з'ясувати особливості впливу тривалого зрошення стічними водами м. Євпаторії на зміни напряму та інтенсивності процесу ґрунтоутворення та трансформацію властивостей ґрунту для оцінки сучасного агроекологічного (ґрунтово-меліоративні, мікробіологічні, геохімічні і санітарно-гігієнічні показники) стану ґрунту та для оптимізації технології зрошення стічними водами, розроблення комплексу запобіжних заходів для мінімізації ризику деградації ґрунту.

Мета дослідження – вивчення впливу тривалого зрошення біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії на зміну напряму й інтенсивності процесу ґрунтоутворення та трансформацію властивостей чорнозему південного в умовах степового Криму.

## **2. Об'єкти, умови і методика дослідження**

У 1985-1992 роках Українською науково-дослідною станцією зрошення стічними водами Мінводгоспу УРСР (з 1991 р. – Українська науково-дослідна станція утилізації стічних вод УкрНДІ гідротехніки і меліорації УААН, нині – ДП «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів Інституту водних проблем і меліорації НААН») за участю автора (відповідальний виконавець НДР) у рамках бюджетної і договірної тематик виконані комплексні дослідження впливу тривалого зрошення біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії у системі «зрошувальна вода – ґрунт – підземні води – рослини» для агроекологічної оцінки змін стану компонентів навколишнього природного середовища в умовах степового Криму. У 2003-2005 рр. в рамках НТП УААН «Родючість і охорона ґрунтів» автором продовжені дослідження рівня родючості чорнозему південного для оцінки агроекологічного стану і напряму еволюції ґрунту в післяіригаційний період (результати дослідження будуть опубліковані в наступному повідомленні). Раніше вже було опубліковано результати комплексного дослідження, що стосуються підсистем «зрошувальна вода» [18] і «підземні води» [19]. У цьому повідомленні висвітлено результати дослідження в підсистемі «ґрунт»: встановлення змін напряму й інтенсивності

процесу ґрунтоутворення і трансформації властивостей чорнозему південного за впливу тривалого зрошення біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії; оцінка сучасного агроекологічного (ґрунтово-меліоративні, мікробіологічні, геохімічні і санітарно-гігієнічні показники) стану ґрунту та рекомендації (комплекс заходів) для мінімізації ризику його деградації і безпечного використання ґрунту.

Польові дослідження проводили в господарствах, сучасна назва яких – СВК ім. Горького і СВК «Береговий» у Сакському районі АР Крим. В межах їх землекористування було організовано євпаторійські землеробські поля зрошення - ЗПЗ, їх площа становить 1280 га. Ми діагностували [20], що в СВК ім. Горького, в межах полів із стаціонарними дослідно-виробничими ділянками, ґрунтовий покрив представлений чорноземом південним важкосуглинковим щебенювато-кам'янистим на вапняках, а в СВК «Береговий» – чорноземом південним карбонатним легкоглинистим на лесоподібних глинах. Згідно з генетичною еколого-субстантивною класифікацією ґрунтів України [21] ці ґрунти мають такі назви: чорнозем південний слабогумусоаккумулятивний щебенювато-кам'янистий на вапняках і чорнозем південний слабогумусоаккумулятивний легкоглинистий карбонатний на лесах. Об'єкти дослідження: два підвиди чорнозему південного (щебенювато-кам'янистий на вапняках та карбонатний на лесах) і біологічно очищені стічні води м. Євпаторії та вода р. Дніпро – як варіант порівняння. Вивчення ґрунтових властивостей, процесів і режимів базувалося на порівняльно-географічному і порівняльно-аналітичному методах дослідження. Основою цих підходів є метод «ключів-аналогів» [22], згідно з яким в межах одного геоморфологічного елементу з однотиповим сільськогосподарським використанням земель закладено репрезентативні стаціонарні ділянки на незрошуваних і зрошуваних ґрунтах. Закладання стаціонарних дослідно-виробничих ділянок і проведення дослідів здійснювали згідно з методиками [22, 23]. Стаціонарні ділянки в обох господарствах закладено за схемою: 1) ґрунт незрошуваний (контроль); 2) ґрунт, зрошуваний водою р. Дніпро з Північно-Кримського каналу (ПКК); 3) ґрунт, зрошуваний біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії. У шарі 0-100 см ґрунтів визначали ґрунтово-меліоративні показники, у верхньому (0-40 см) шарі – мікробіологічні, геохімічні і санітарно-гігієнічні.

Проби ґрунту для дослідження відбирали в 1985-1992 рр. (СВК ім. Горького) і 1988-1990 рр. (СВК «Береговий») щорічно в 5-кратній повторності в один або два терміни: весною (під час сівби) і восени (під час збирання урожаю). Лабораторно-аналітичні роботи включали такі визначення: рН водний; вміст і склад водорозчинних солей; обмінні катіони (за стандартизованими методиками, які використовували у той час [24-28]); чисельність таксономічних і еколого-трофічних груп мікроорганізмів; нітрифікаційну здатність [29, 30]; вміст важких металів і елементів-забруднювачів (масові концентрації валових форм хімічних елементів (на спектрометрі СТЕ-1 із напівавтоматичною приставкою УСА-6 спектрально-емісійним методом [31]); вміст ртуті (атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі ААС-30 [32]); санітарно-гігієнічні показники (бактеріологічні (колі-титр (титр БГКП), загальне мікробне число (ЗМЧ), патогенні мікроорганізми, в т.ч. сальмонели [33], гельмінтологічні [34]); вміст синтетичних поверхнево-активних речовин (ПАР) [35].

Комплексну оцінку придатності біологічно очищених стічних вод м. Євпаторії виконано за ДСТУ 7369:2013 [36], води р. Дніпро за ДСТУ 2730-94 [37]. Оцінку еколого-агромеліоративного стану незрошеного і зрошеного ґрунту проведено за [38, 39]; інтенсивність мінералізаційних процесів (Кмін – коефіцієнт мінералізації та іммобілізації азоту ґрунту) визначали розрахунковим методом, як відношення чисельності бактерій, що засвоюють мінеральний азот, до чисельності амоніфікаторів [40]. Еколого-біогеохімічну і санітарно-гігієнічну оцінку забруднення ґрунту важкими металами й елементами-забруднювачами виконували методом порівняння фактичного їх вмісту з фоновим вмістом хімічних елементів у ґрунтах [41] та вітчизняними [42] і зарубіжними [43, 44] нормативами. Оцінку рівня забруднення ґрунтів важкими металами виконано за такими критеріями – коефіцієнт концентрації хімічних елементів (Кс) і сумарний показник забруднення (Zс) [45]. Оцінку впливу зрошення стічними водами м. Євпаторія на зміну властивостей і показників родючості ґрунту використовували порівняльний метод [22] – порівнювали параметри ґрунту на зрошуваних і незрошуваних ділянках.

Землекористування обох господарств розташовані в зоні Степу південного помірно сухого в межах Південностепової агроґрунтової підзони [46]. У геоморфологічному відношенні територія є рівнинною (Євпаторійська пологахвиляста рівнина), за умовами рельєфу це підвищена хвиляста рівнина. Територія в межах ЗПЗ відноситься до території з покритим карстом [47]. Підземні води району дослідження відносяться до Тарханкутсько-Євпаторійського карстового артезіанського басейну і відповідають типу ґрунтових. Основний водоносний горизонт залягає на глибині 50-80 м у вапняках неогену (середній сармат, меотис) і підстелений глинами нижнього сармату. Територія характеризується

глибоким рівнем залягання підґрунтових вод (мінералізація 0,5-3,0 г/дм<sup>3</sup>), тип солей – хлоридно-гідрокарбонатний натрієвий і автоморфним меліоративним режимом [47].

Район дослідження належить до дуже посушливої, помірно жаркої агрокліматичної зони з м'якою зимою. Клімат території характеризують такі основні показники: середньорічна температура повітря 10,2-11,4 °С (січня – 0,1°, липня +23,2°). Сума температур вище 10 °С – 3200-3400 °С. Середньорічна кількість опадів – 310-380 мм, на теплий період припадає – 185-250 мм. В літній період випаровуваність в два рази перевищує надходження вологи з атмосферними опадами. Гідротермічний коефіцієнт Г.Т.Селянинова в травні-вересні становить 0,61-0,67. Найменша відносна вологість повітря в липні і серпні становить відповідно 54 і 53 %.

Сільськогосподарське застосування стічних вод м. Євпаторії розпочато в 1961 р., спочатку на окремих полях в СВК ім. Горького. Із 1976 р. запроваджене регулярне зрошення біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії в обох господарствах. На час досліджень у межах ЗПЗ господарствами були освоєні 7-8-пільні кормові сівозміни з 2-3 полями люцерни посівної. Агротехніка вирощування культур – зональна. Режими зрошення стічними водами м. Євпаторії відповідають зональним для річкових вод. Біологічно очищені стічні води застосовували для вологозарядкових (озимі колосові на зернофураж і зелений корм – 600 м<sup>3</sup>/га, люцерна посівна – 1000-1200 м<sup>3</sup>/га) і вегетаційних (залежно від культури 3-6 разів по 600-800 м<sup>3</sup>/га) поливів. Залежно від погодних умов і біологічних особливостей культур зрошувальні норми варіювали в межах 1800-5200 м<sup>3</sup>/га на рік (середньозважена норма – 3500 м<sup>3</sup>/га на рік). Способи зрошення – дощувальними агрегатами ДДА-100 М, поверхневим способом по борознах і щілинах. Зрошення дніпровською водою в господарствах розпочато в 1977 р. з каналу РЧ-2-Т-5 ПКК дощувальними машинами «Фрегат» ДМУ-Асс.

### 3. Результати та їх обговорення

#### 3.1. Характеристика зрошувальних вод

Показники якості стічних вод м. Євпаторії після біологічного очищення характеризувалися такими параметрами (у вегетаційні періоди 1985-1992 рр.): мінералізація – 1,70–3,10 г/дм<sup>3</sup> (середнє значення – 2,1 г/дм<sup>3</sup>); вміст карбонат-, гідрокарбонат-, хлорид- і сульфат-іонів відповідно – 0,0–2,23; 4,23–8,70; 12,95–35,92 і 3,81–22,10 мекв/дм<sup>3</sup>; вміст іонів кальцію, магнію, натрію і калію відповідно – 4,33–7,80; 3,92–7,32; 16,43–31,80 і 0,44–0,75 мекв/дм<sup>3</sup>; рН 7,5–8,3. Удобрювальна цінність стічних вод невисока – з 1000 м<sup>3</sup> води в ґрунт надходить 21–38 кг азоту, 13–20 кг фосфору, 27-57 кг калію. У складі стічних вод серед рухомих форм поживних речовин переважали аміачний азот (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) і ортофосфати (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), вміст нітритного азоту (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) – 0,05-0,22 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК 0,5 мг/дм<sup>3</sup>). За вмістом важких металів і елементів-забруднювачів стічні води відповідають низькому рівню забруднення політантами (сумарний показник забруднення Zс <10). За санітарно-гігієнічними показниками стічні води м. Євпаторії характеризувалися певною бактеріальною забрудненістю (мікробне число – 15–250·10<sup>3</sup>, колі-титр – 4·10<sup>3</sup>–10<sup>2</sup>), патогенні мікроорганізми (в т.ч. сальмонели) не виявлено, в окремих зразках вод виявлено яйця гельмінтів (0,2–40 екз./дм<sup>3</sup>). Вміст ПАР становив 0,56 мг/дм<sup>3</sup> (допустима концентрація 0,5 мг/дм<sup>3</sup> [48]); визначено незначний вміст нафтопродуктів тощо. Отже, стічні води м. Євпаторії після біологічного очищення характеризуються як середньомінералізовані і належать до категорії слабосолонуватих, мають хлоридний натрієвий тип солей (87 % проб) (на початку зрошення – хлоридно-гідрокарбонатний натрієвий тип солей), але мають несприятливі іригаційні властивості (підвищена мінералізація, несприятлива іонна структура вод – 54-69 % Na<sup>+</sup> від суми катіонів, підвищені величини водневого показника лужності) та санітарно-гігієнічні показники (бактеріальна забрудненість, інколи – наявність яєць гельмінтів, що свідчить про відсутність доочищення і знезараження стоків на КОС) і згідно з оцінкою за [36], віднесені до таких, що перебувають на межі придатності для зрошення (інколи – непридатні) через небезпеку спричинення засолення і осолонцювання ґрунту. Більш детально умови формування стічних вод м. Євпаторії, особливості хімічного складу біологічно очищених стічних вод, їх еколого-санітарні і токсикологічні показники, результати комплексної оцінки придатності для зрошення описані у попередніх публікаціях [18].

Дніпровська вода відноситься до категорії прісної (мінералізація 0,3-0,4 г/дм<sup>3</sup>), характеризується реакцією середовища від нейтральної до лужної (рН 7,1-8,7), гідрокарбонатним кальцієвим або гідрокарбонатно-сульфатним кальцієвим складом солей і, згідно з оцінкою [37], є придатною для зрошення (1-й клас придатності), за винятком підвищеного значення рН.

### 3.2. Вплив зрошення на властивості ґрунту

#### 3.2.1. Загальні тенденції змін

Аналіз літературних даних у більшості випадків свідчить про неоднозначний вплив тривалого зрошення чорноземних ґрунтів (навіть якісною водою) на найважливіші показники родючості – вміст і якість гумусу, структуру ґрунту, водно-сольовий і повітряний режими [49-53]. У літературі також висвітлено досвід багаторічного застосування очищених міських стічних вод для зрошення чорноземів південних, звичайних і типових [54-55]. З'ясовано, що за зрошення стічними водами в чорноземах поліпшується поживний режим, збільшується вміст гумусу та підвищується біологічна активність. До негативних змін відносять тенденцію до осолонцювання, підвищення рН ґрунтового розчину, погіршення водно-фізичних властивостей. Сучасними дослідженнями [52] в основному встановлено закономірності еволюції зрошуваних ґрунтів щодо зміни їх сольового режиму, які відбуваються за 4 стадіями: 1 – активні зміни; 2 – сповільнені зміни; 3 – квазірівноважний стан; 4 – відновлення властивостей.

#### 3.2.2. Склад водної витяжки

Аналіз водної витяжки незрошеного чорнозему південного слабогумусоакумулятивного щебенювато-кам'янистого на вапняках показав, що в метровому шарі загальний вміст водорозчинних солей перебував у межах 0,083-0,097 % (середній – 0,084 %), вміст токсичних солей варіював відповідно в межах 0,015-0,067 % (середній – 0,042 %), тобто ґрунт характеризувався як незасолений (Табл. 1).

Після 9-ти річного зрошення водою р. Дніпро загальна сума солей у товщі ґрунту (0-100 см) варіювала в межах 0,070-0,103 % (середнє значення – 0,084 %), токсичних солей – 0,020-0,047 % (0,034%). Тенденція зменшення величини цих показників якості ґрунту пояснювалася опрісненням ґрунту завдяки поливам прісною водою (вимивання іонів кальцію, калію, хлорид-іонів у нижні горизонти). Згідно з нормативами [38,39] ґрунт після 9-річного зрошення водою р. Дніпро можна класифікувати як незасолений. Тип засолення: за аніонним складом – сульфатно-гідрокарбонатний (увесь профіль ґрунту); за катіонним складом – в шарі 0-20 см - магнієво-кальцієвий, 20-60 см - кальцієвий, 60-100 см - магнієво-кальцієвий. Зрошення прісною водою (1-й клас придатності) спричинило помітну трансформацію складу солей в ґрунті в напрямі зрушення співвідношення кальцію та натрію, особливо у шарі 0-60 см (з 3,5-8,3 до 3,0-3,6).

Після 10-річного зрошення стічними водами м. Євпаторії в метровому шарі ґрунту відмічено зростання загального вмісту водорозчинних і токсичних солей за рахунок збільшення вмісту іонів хлориду, сульфату і натрію). Загальний вміст водорозчинних солей становив 0,116-0,139 % (середнє значення 0,138 %), а токсичних 0,107-0,122 % (0,115 %). Встановлено чітку тенденцію трансформації складу солей у ґрунті в напрямі наближення його до хімічного складу (хімізму) зрошувальних вод. В шарах ґрунту 0-20, 60-80 і 80-100 см визначено підвищені параметри вмісту хлорид-іону (0,32-0,86 мекв / 100 г), що перевищують допустиму межу (0,3 мекв) в 1,1, 2,5 і 2,9 рази відповідно. Вміст іону натрію у шарі 0-100 см більший у 6 і 7 разів, ніж у незрошеному ґрунті і зрошуваному річковою водою відповідно, тобто, існувала потенційна можливість входження натрію у вбирний комплекс ґрунту (ГВК). Відношення вмісту кальцію до натрію в метровому шарі ґрунту звузилося до критичних меж – 0,1-0,2. Згідно з нормативами [38,39] після 10-річного зрошення стічними водами ґрунт за вмістом солей класифікували як незасолений. Слід відмітити, що згідно з міжнародною класифікацією [56] дуже слабке засолення ґрунту констатується при вмісті 0,06-0,10 % токсичних солей у водній витяжці. Під впливом 10-річного зрошення стічними водами м. Євпаторії тип засолення ґрунту змінився і за катіонним складом визначався як натрієвий, а за аніонним у шарі 0-20 см – як гідрокарбонатний, 20-40 – сульфатно-гідрокарбонатний, 40-60 – гідрокарбонатний, 60-100 – сульфатно-гідрокарбонатно-хлоридний. Сольовий режим ґрунту після 10-річного зрошення стічними водами перебуває у стадії активних змін [52].

Після 25-річного зрошення стічними водами м. Євпаторії констатовано найвищі параметри загального вмісту водорозчинних і токсичних солей через збільшення вмісту хлоридів і сульфатів натрію у нижній частині досліджуваного шару (40-100 см). Відношення  $Ca^{2+}/Na^{+}$  в метровому шарі ґрунту є критичним – 0,1-0,3 (середнє – 0,2). За загальним вмістом солей (0,117-0,175 %) ґрунт оцінено як незасолений (класифікаційна межа – 0,2 %), за вмістом токсичних солей в шарі 0-20 см (0,107 %) – незасолений (межа – 0,15 %), 20-60 см (0,121 %) – незасолений, 60-100 см (0,133-0,137 %) – слабозасолений лише за умови хлоридно-сульфатного (ХС) типу засолення (за якого межа токсичних – 0,10-0,25 % [38, 39]).

Таблиця 1

Хімічний склад водних витяжок незрошуваного і зрошуваного чорнозему південного слабогумусоаккумулятивного щепенно-кам'янистого на вапняках (СВК ім. Горького)

Шар ґрунту, см	Сума солей, %		рН водний	Вміст іонів, мекв на 100 г ґрунту						Ca <sup>2+</sup> Na <sup>+</sup>	
	загальна	токсичних		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
<i>ґрунт незрошуваний</i>											
0-20	0,083	0,015	7,90	0,72	0,06	0,33	0,75	0,15	0,09	0,027	8,3
20-40	0,097	0,041	7,90	0,76	0,06	0,50	0,70	0,50	0,12	0,015	5,9
40-60	0,091	0,040	7,80	0,64	0,08	0,50	0,70	0,40	0,20	0,012	3,5
60-80	0,093	0,047	7,80	0,74	0,08	0,42	0,55	0,25	0,46	0,008	1,2
80-100	0,088	0,067	7,90	0,90	0,14	0,12	0,25	0,50	0,50	0,008	0,5
0-100	0,084	0,042	7,86	0,75	0,08	0,37	0,59	0,36	0,27	0,014	2,1
<i>ґрунт, зрошуваний водою р. Дніпро (9 років)</i>											
0-20	0,103	0,047	7,85	0,76	0,02	0,62	0,75	0,50	0,21	0,018	3,6
20-40	0,076	0,019	7,90	0,74	0,02	0,21	0,70	0,10	0,19	0,008	3,7
40-60	0,070	0,020	7,95	0,48	0,02	0,46	0,60	0,10	0,20	0,008	3,0
60-80	0,080	0,039	7,80	0,62	0,02	0,46	0,50	0,35	0,23	0,008	2,2
80-100	0,085	0,046	7,80	0,68	0,06	0,42	0,50	0,45	0,24	0,008	2,1
0-100	0,084	0,034	7,86	0,66	0,03	0,43	0,61	0,30	0,21	0,010	2,9
<i>ґрунт, зрошуваний стічними водами м. Євпаторії (10 років)</i>											
0-20	0,137	0,120	7,90	1,12	0,32	0,25	0,25	0,20	1,60	0,020	0,2
20-40	0,131	0,106	7,90	0,98	0,24	0,42	0,30	0,10	1,50	0,013	0,2
40-60	0,116	0,104	7,95	0,76	0,16	0,50	0,25	0,10	1,46	0,008	0,2
60-80	0,138	0,121	7,60	0,70	0,76	0,50	0,20	0,15	1,66	0,013	0,1
80-100	0,139	0,122	7,70	0,70	0,86	0,42	0,25	0,15	1,68	0,008	0,1
0-100	0,138	0,115	7,81	0,85	0,47	0,42	0,25	0,14	1,58	0,012	0,2
<i>ґрунт, зрошуваний стічними водами м. Євпаторії (25 років)</i>											
0-20	0,117	0,107	7,80	1,06	0,14	0,17	0,15	0,10	1,50	0,020	0,1
20-40	0,129	0,111	7,90	1,04	0,14	0,42	0,15	0,10	1,56	0,013	0,1
40-60	0,151	0,130	7,90	1,02	0,30	0,79	0,25	0,15	1,80	0,004	0,1
60-80	0,175	0,137	7,90	1,02	0,62	0,75	0,40	0,10	1,96	0,004	0,2
80-100	0,170	0,133	7,90	0,92	0,66	0,79	0,50	0,15	1,84	0,004	0,3
0-100	0,149	0,124	7,88	1,01	0,37	0,37	0,29	0,12	1,73	0,009	0,2
<i>ґрунт, зрошуваний стічними водами м. Євпаторії (30 років)</i>											
0-20	0,104	0,080	7,70	0,82	0,18	0,33	0,20	0,05	1,15	0,013	0,2
20-40	0,121	0,097	7,80	0,82	0,24	0,54	0,20	0,10	1,35	0,009	0,1
40-60	0,123	0,100	7,80	0,86	0,32	0,45	0,15	0,05	1,45	0,006	0,1
60-80	0,127	0,103	7,80	0,82	0,36	0,54	0,20	0,10	1,45	0,006	0,1
80-100	0,131	0,110	7,90	0,82	0,42	0,54	0,15	0,10	1,55	0,009	0,1
0-100	0,121	0,098	7,80	0,83	0,30	0,48	0,18	0,08	1,39	0,009	0,1

Примітка: іони SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> не виявлено

Тип засолення ґрунту за аніонним складом в шарі 0-20 см – гідрокарбонатний, 20-60 см – сульфатно-гідрокарбонатний, 60-100 см – хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатний; за катіонним складом (у 0-100 см) – натрієвий. Сольовий режим ґрунту після 25-річного зрошення – у стадії сповільнених змін [52].

Після 30-річного зрошення стічними водами у метровій товщі ґрунту збереглися такі самі тенденції щодо трансформації складу солей і сольового режиму, який перейшов до 3-ї стадії – квазірівноважного стану [52].

### 3.2.3. Склад обмінних катіонів ГВК

За зрошення стічними водами м. Євпаторії, що мали несприятливі іригаційні властивості, в результаті входження водорозчинного натрію в ГВК розвивався процес осолонцювання ґрунту, що узгоджується з висновками [54, 55]. Після зрошення стічними водами (10, 25 і 30 років) в 0-100 см шарі частка обмінного  $\text{Na}^+$  у складі обмінних катіонів зростає у 3,0–4,6 та 4,7–7,3 рази порівняно з незрошуваним і зрошуваним річковою водою ґрунтом. Згідно з класифікацією ґрунтів за ступенем вторинної солонцюватості [38,39] встановлено, що після 10-річного зрошення стічними водами шар ґрунту 0-100 см можна класифікувати як несолонцюватий (частка обмінного  $\text{Na}^+$  у сумі усіх катіонів ГВК менше 5 %); після 25-річного – слабосолонцюватий ( $\text{Na}^+$  – 5,3-8,8% в шарі 40-100 см); після 30 річного – несолонцюватий ( $\text{Na}^+$  – менше 5%). Чорнозем південний, тривало зрошуваний стічними водами, характеризується високим кальцієвим потенціалом (вміст  $\text{CaCO}_3$  в 0-100 см шарі варіює в межах –10-24 %) і, відповідно, високою буферністю, тому, завдяки високій буферній здатності та наявності активних концентрацій катіонів кальцію в ґрунтового розчині, гальмується інтенсивний розвиток процесу осолонцювання ґрунту. (Табл. 2).

**Таблиця 2**

Склад обмінних катіонів у незрошуваному і зрошуваному чорноземі південному (СВК ім. Горького)

Шар ґрунту, см	Обмінні катіони							
	вміст, мекв на 100 г ґрунту					частка у сумі катіонів, %		
	сума	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$
<i>ґрунт незрошуваний</i>								
0 – 20	45,33	40,00	5,00	0,33	8,00	88,24	11,03	0,73
20 – 40	50,38	37,50	12,50	0,38	3,00	74,43	24,81	0,75
40 – 60	47,91	32,50	15,00	0,41	2,17	67,83	31,31	0,86
60 – 80	55,82	37,50	17,50	0,82	2,14	67,18	31,35	1,47
80 – 100	46,26	32,50	12,50	1,26	2,60	70,25	27,02	2,72
0 – 100	49,14	36,00	12,50	0,64	2,88	73,26	25,44	1,30
<i>ґрунт, зрошуваний водою р. Дніпро (9 років)</i>								
0 – 20	52,91	47,50	5,00	0,41	9,50	89,77	9,45	0,77
20 – 40	42,91	40,00	2,50	0,41	16,00	93,22	5,83	0,95
40 – 60	47,86	45,00	2,50	0,36	18,00	94,02	5,22	0,75
60 – 80	40,38	37,50	2,50	0,38	15,00	92,87	6,19	0,94
80 – 100	55,41	45,00	10,00	0,41	4,70	81,21	18,05	0,74
0 – 100	47,90	43,00	4,50	0,39	9,60	89,77	9,39	0,81
<i>ґрунт, зрошуваний стічними водами м. Євпаторії (10 років)</i>								
0 – 20	39,20	32,50	5,00	1,70	6,50	82,91	12,75	4,34
20 – 40	41,24	32,50	7,50	1,24	4,33	78,81	18,20	3,01
40 – 60	41,71	30,00	10,00	1,71	3,00	71,92	24,00	4,10
60 – 80	41,47	27,50	12,50	1,47	2,20	66,31	30,14	3,54
80 – 100	41,76	25,00	15,00	1,76	1,67	59,86	35,92	4,21
0 – 100	41,08	29,50	10,00	1,58	2,95	71,81	24,34	3,85
<i>ґрунт, зрошуваний стічними водами м. Євпаторії (25 років)</i>								
0 – 20	41,52	32,50	7,50	1,52	4,33	78,27	24,10	3,66
20 – 40	39,42	35,00	2,50	1,92	14,00	88,79	6,34	4,87
40 – 60	36,96	32,50	2,50	1,96	13,00	87,93	6,76	5,30
60 – 80	40,52	27,50	10,00	3,02	2,75	67,87	24,68	7,45
80 – 100	32,91	22,50	7,50	2,91	3,00	68,37	22,79	8,84
0 – 100	38,27	30,00	6,00	2,27	5,00	78,39	15,68	5,93
<i>ґрунт, зрошуваний стічними водами м. Євпаторії (30 років)</i>								
0 – 20	54,40	40,00	12,50	1,90	3,20	73,53	22,98	3,49
20 – 40	49,75	37,50	10,00	2,25	3,75	75,38	20,10	4,52
40 – 60	52,10	40,00	10,00	2,10	4,00	76,77	19,19	4,03
60 – 80	46,90	37,50	7,50	1,90	5,00	79,96	15,99	4,05
80 – 100	52,00	35,00	15,00	2,00	2,33	76,31	28,85	3,85
0 – 100	51,03	38,00	11,00	2,03	3,45	74,47	21,56	3,98

Розвиток процесу осолонцювання чорнозему південного був спричинений несприятливими іригаційними властивостями поливних стічних вод (хлоридний натрієвий тип солей, підвищена мінералізація – 1,70–3,10 г/дм<sup>3</sup>, несприятлива іонна структура вод – 54-69 % Na<sup>+</sup> від суми катіонів), які обумовили метаморфізацію сольового складу ґрунтів у напрямі підвищення вмісту та активності розчинного натрію, входження його в ГВК і осолонцювання ґрунтів, а також трансформацію їх мінеральних компонентів [52]. Отже, тривале зрошення стічними водами м. Євпаторії (10, 25 і 30 років), згідно з вітчизняними нормативами, не спричинило вторинного засолення ґрунту (загальний вміст водорозчинних і токсичних солей не досягав меж токсичності і не був небезпечним для рослин), що узгоджується з висновками інших авторів [54, 55]. Проте за міжнародною класифікацією (з більш жорсткими вимогами до вмісту токсичних солей у водній витяжці) класифікували дуже слабе засолення ґрунту (0-100 см). Крім того, слід відмітити підвищену токсичність хлор-іону в шарі 40-100 см. Ступінь лужності ґрунту на всіх ділянках досліду було класифіковано як низький. Зрошення стічними водами в результаті входження водорозчинного натрію в ГВК обумовило розвиток процесу вторинного осолонцювання ґрунту, проте інтенсивність процесу гальмувалася завдяки високій генетичній буферній здатності чорнозему південного. Вищезазначені зміни в сольовому режимі і стані ГВК були характерними й для другого досліджуваного підвиду чорнозему (карбонатного на лесах) після 15-річного зрошення стічними водами. Тенденція до слабкого засолення й осолонцювання ґрунту за зрошення стічними водами свідчить про необхідність застосування запобіжних меліоративних заходів.

### 3.2.4. Стан мікробного ценозу ґрунту

У літературі повідомляють [57-59], що напрям і ступінь змін стану мікробних ценозів чорноземів, зрошуваних мінералізованими водами, залежить від сполучення ряду факторів – тривалості й інтенсивності зрошення, якості поливних вод, структури сівозміни, кліматичних умов, агротехніки тощо. Встановлено [57-59], що тривале (13 років) зрошення мінералізованими водами чорнозему південного в помірному режимі при високій культурі землеробства підвищувало його біогенність порівняно з незрошуваним аналогом, відмічено більш низьку напруженість мінералізаційних процесів.

З даних (Табл. 3) можна зробити висновок, що при однотипному сільськогосподарському використанні земель тривале (25 років) застосування біологічно очищених стічних вод м. Євпаторії для зрошення кормових агрофітоценозів (7-8-пільні кормові сівозміни з 2-3 полями люцерни посівної) сприяє зростанню загальної біологічної активності ґрунту (збільшується кількість представників усіх досліджених еколого-трофічних груп мікроорганізмів) порівняно із незрошуваним аналогом, що узгоджується з висновками [54, 55].

**Таблиця 3**

*Вплив зрошення біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії на розвиток і формування мікробного ценозу чорнозему південного слабогумусаокумулятивного щебенювато-кам'янистого на вапняках (СВК ім. Горького), (шар 0–20 см)*

Ґрунт	Чисельність мікроорганізмів у сухому ґрунті (КУО)				K <sub>мін</sub>	Нітрифікаційна здатність, мг NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /100 г ґрунту
	актиноміцети, млн /г	гриби, тис. /г	мікроорганізми, що засвоюють органічні форми азоту, млн /г	мікроорганізми, що засвоюють мінеральні форми азоту, млн /г		
<i>Весна (III декада квітня)</i>						
Незрошуваний	0,21±0,01	11,5±1,0	21,4±1,8	29,0±1,9	1,35	7,10±0,94
Зрошуваний стічними водами	0,41±0,02	15,0±1,7	34,7±2,2	33,4±2,5	0,98	9,96±2,05
<i>Літо (I декада липня)</i>						
Незрошуваний	115,0±9,7	19,5±1,6	298,0±33,0	364,3±41,1	1,22	12,67±1,46
Зрошуваний стічними водами	207,0±15,3	23,0±2,0	525,5±41,0	600,0±55,0	1,14	13,50±1,41

При цьому співвідношення бактерій, які засвоюють переважно мінеральні сполуки азоту та мікроорганізмів-амоніфікаторів змінюється на користь останніх, що свідчить про забезпечення ґрунту органічними сполуками і обумовлює відносне зниження мінералізаційної активності (K<sub>мін</sub>). Зрошення стічними водами дещо збільшує (1 декада липня) нітрифікаційну активність ґрунту. Чисельність мікроорганізмів у ґрунті змінюється

залежно від пори року (весна, літо), а розвиток мікробоценозу має тенденцію до активізації (підвищення біогенності) в умовах зрошення стічними водами. Таким чином, незважаючи на несприятливі хімічні характеристики стічних вод м. Євпаторії (підвищена мінералізація і несприятлива іонна структура), їх позитивний вплив на біогенність ґрунту перевищує можливі негаразди, пов'язані з потенційним засоленням.

### *3.3. Мікроелементний склад ґрунту та оцінка забруднення токсичними елементами*

Відомо [60-62], що ґрунтовий покрив є потужним акумулятором забруднюючих речовин і з часом їх не втрачає. Особливо міцно фіксуються токсичні елементи у верхньому гумусованому шарі. Повідомляють [63-64], що застосування поливних вод, які забруднені токсичними елементами, може призводити до накопичення в ґрунті важких металів. Нами виконана еколого-біогеохімічна оцінка забруднення чорнозему південного у шарі 0-40 см токсичними елементами. Аналіз ступеня забруднення ґрунту представлений для 19 елементів, які за ступенем екологічної безпеки відносять до високонебезпечних (Hg, Pb, Zn), середньонебезпечних (Co, Ni, Mo, Cu, Cr) і малонебезпечних (Ba, V, Mn, Sr, Sn, Be, Bi, Ti, Zr, Sc, Ag). Передусім слід відмітити, що середній валовий вміст хімічних елементів у досліджуваних підвидах чорнозему південного розподіляється у вигляді такого низхідного ряду: Ti > Mn > Ba > Zr > Sr > Zn > Cr > V > Ni > Cu > Pb > Sc > Co > Sn > Be > Bi > Mo > Hg > Ag (на всіх варіантах досліджу). Як видно із даних табл. 4 концентрації основної частини досліджуваних елементів у верхньому шарі зрошуваного чорнозему південного в обох господарствах не перевищують фонових значень [41] і вмісту металів на незрошуваному аналогу.

Середній вміст у ґрунті групи таких елементів, як Pb, Zn, Mo, Bi, Sc, Zr і Ti (чорнозем південний щебенювато-кам'янистий на вапняках) і Pb, Zn, Ni, Mo, Cu, Cr, Ba, V, Mn, Bi, Sc, Zr і Ti (чорнозем південний карбонатний на лесах) дещо перевищував фонові величини для цих підвидів ґрунту [41]. Цим обумовлені і найвищі значення коефіцієнтів концентрації (Kc) хімічних елементів. Проте підвищений вміст елементів і, відповідно, значень Kc у ґрунтах відмічено на всіх ділянках досліджу, незалежно від досліджуваного фактора (зрошення стічними водами) і тривалості його застосування (15 і 30 років), тому можна припустити, що зазначене явище спричинене умовами ґрунтоутворення. Порівнянням середнього вмісту елементів у ґрунті з ГДК і величинами гігієнічної межі концентрації елементів (ГМК – величина 5-кратного перевищення фону, що застосована до групи елементів Ba, Sr, Bi, Ag і Sc через відсутність ГДК) виявлено, що на всіх ділянках досліджу середній вміст хімічних елементів у верхньому шарі ґрунту не перевищує вітчизняні [42] і зарубіжні [43,44] нормативи. Діапазон варіювання сумарного показника забруднення (Zc) ґрунту становить 4,9-5,2 (чорнозем південний щебенювато-кам'янистий на вапняках) і 7,8-9,5 (чорнозем південний карбонатний на лесах), тому, згідно з нормативом [42], ґрунти оцінено як такі, що мають «допустиму» категорію забруднення (Zc < 16).

### *3.4. Санітарно-гігієнічна характеристика ґрунту*

Результати досліджень Київського науково-дослідного інституту загальної та комунальної гігієни імені О.М. Марзєєва (нині - ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О.М. Марзєєва» НАМН України) показали, що в санітарно-гігієнічному відношенні стічні води м. Євпаторії після біологічного очищення характеризуються як помірно забруднені (бактеріальне забруднення, інколи – присутність яєць гельмінтів), що свідчить про перевантаження потужностей КОС м. Євпаторії і відсутність доочищення та знезараження біологічно очищених стічних вод. Водночас у публікаціях [65, 66] повідомляється, що радикально вирішити проблему охорони водних об'єктів від забруднення можна у разі застосування стічних вод для іригації, в процесі якої відбувається їх ґрунтове доочищення. Доцільність використання ґрунтового середовища як ефективного доочищувача стічних вод (особливо міських) полягає в тому, що це одна із ланок кругообігу речовин, в якій відбувається очищення води від більшості органічних залишків і відходів. В санітарно-гігієнічному відношенні найліпший ефект ґрунтового доочищення стічних вод досягається в теплу пору року, завдяки активній діяльності ґрунтових мікробоценозів. Зазначене знайшло підтвердження в результатах наших досліджень, якими виявлено зростання рівня біогенності і загальної біологічної активності ґрунту в літній період та в умовах зрошення стічними водами (Табл. 3). Крім того, на життєздатність патогенних мікроорганізмів згубно впливають зневоднення та високі рівні ультрафіолетового опромінення і теплового режиму, характерні для природних умов кримського регіону.

**Таблиця 4**  
Середній валовий вміст і значення коефіцієнтів концентрації хімічних елементів у незрошуваному і зрошуваному чорноземі південному (шар 0-40 см) та критерії його оцінки

Варіант	Вміст хімічного елементу (мг/кг повітряно-сухого ґрунту) – над ризико; коефіцієнт концентрації (Кс) – під ризико											V
	Hg	Pb	Zn	Co	Ni	Mo	Cu	Cr	Ba			
СВК ім. Горького, Чорнозем південний слабоумованультивний щербеноавто-кам'янистий на вапняку												
1	0,05	16,2	80,0	13,0	37,0	1,35	35,0	65,5	290		40,5	
	0,60	1,62	1,23	0,54	0,86	1,69	0,74	0,49	0,58		0,42	
2	0,10	17,0	87,0	12,0	32,0	1,10	30,0	74,0	290		54,0	
	1,20	1,70	1,34	0,50	0,74	1,37	0,64	0,56	0,58		0,56	
3	0,05	14,2	79,5	10,0	41,0	1,20	33,0	62,0	322		45,0	
	0,05	1,42	1,21	0,42	0,95	1,50	0,70	0,47	0,64		0,47	
Фон [41]	1,00*	10,0	65,0	24,0	43,0	0,80	47,0	133,0	500*		96	
СВК «Береговий», Чорнозем південний слабоумованультивний легкоглинистий карбонатний на лесі												
1	0,05	22,5	100,0	15,0	32,5	1,35	30,0	75,5	600		75,0	
	0,60	2,25	1,14	0,68	1,07	2,08	1,43	0,57	1,20		1,03	
2	0,04	20,0	100,0	12,5	45,0	1,35	28,5	90,0	620		75,7	
	0,49	2,00	1,14	0,57	1,50	2,08	1,36	0,68	1,24		1,04	
3	0,06	25,0	95,0	15,0	44,0	1,40	29,0	90,0	640		86,0	
	0,72	2,50	1,08	0,68	1,47	2,15	1,38	0,68	1,28		1,18	
Фон 2 [41]	1,00*	10,0	88,0	22,0	30,0	0,65	21,0	133,0	500		73,0	
	2,10	32,0	100,0	–	85,0	–	55,0	–	–		150,0	
ГДК [42]	2,00	100,0	300,0	50,0	50,0	5,00	100,0	100,0	–		50,0	
ГДК [43]	5,00	100,0	300,0	50,0	100,0	10,00	100,0	100,0	–		100,0	
ГМК	–	–	–	–	–	–	–	–	–		–	
СВК «Береговий», Чорнозем південний слабоумованультивний легкоглинистий карбонатний на лесі												
1	900	150	3,8	1,6	0,05	3,1	13,5	183	4000		4,9	
	1,00	0,81	0,47	1,60	0,25	0,62	2,08	1,08	1,57		–	
2	880	130	3,7	1,6	0,02	2,5	12,0	207	5433		5,4	
	0,98	0,71	0,47	1,60	0,10	0,50	1,85	1,22	2,13		–	
3	904	165	3,3	1,5	0,05	3,05	12,3	188	4644		4,4	
	1,00	0,90	0,41	1,50	0,25	0,61	1,89	1,10	1,82		–	
Фон 1 [41]	900	184	8*	1,00*	0,20*	5*	6,5*	120*	2550		–	
СВК «Береговий», Чорнозем південний слабоумованультивний легкоглинистий карбонатний на лесі												
1	1100,0	185	4,1	1,2	0,02	2,5	17,5	200	5850		7,8	
	1,22	1,00	0,51	1,20	0,04	0,50	2,69	1,18	2,29		–	
2	1250,0	140	4,0	2,0	0,02	2,8	14,0	250	6300		9,2	
	1,39	0,76	0,50	2,20	0,04	0,56	2,15	1,47	2,47		–	
3	1225,0	180	5,3	1,4	0,02	2,5	15,0	305	5975		9,2	
	1,36	0,98	0,66	1,40	0,04	0,50	2,31	1,79	2,34		–	
Фон 2 [41]	900	184	8,0*	1,0*	0,50*	5,0*	6,5*	120*	2550		–	
ГДК [42]	1500	–	4,5	–	–	–	–	–	–		–	
ГДК [43]	–	–	50,0	–	–	10,0	–	–	5000		–	
ГДК [44]	–	–	–	–	–	10,0	–	–	–		–	
ГМК	–	920	–	5,0	2,50	–	32,0	–	–		–	

**Примітка.** Варіанти: 1 – ґрунт незрошуваний; 2 – ґрунт, зрошуваний водою р. Дніпро 15 років; 3 – ґрунт, зрошуваний стічними водами м. Євпаторії (в СВК ім. Горького – 30, в СВК «Береговий» – 15 років).  
Фон 1 – середній вміст елементів у чорноземі південному на елювії карбонатних порід (за [41]); Фон 2 – середній вміст елементів у чорноземі південному на лесях (за [41]); Джерела інформації: фон Hg взято за [43]; Ва, Sn, Be – за [44]; за фон В і Zr взяті їхні класифікації в осадкових породах відповідно за [44] і [43]; фон Sc взято за [43]; ГМК – гігієнічна межа концентрації елементів.

В СВК «Береговий» в кінці вегетаційного періоду у верхній частині досліджуваного шару ґрунту (0-40 см) на полях 15-річного зрошення біологічно очищеними стічними водами було зафіксовано більш високі параметри загального мікробного числа (ЗМЧ) порівняно з незрошуваним ґрунтом (Табл. 5).

**Таблиця 5**

Санітарно-гігієнічна характеристика незрошеного і зрошеного чорнозему південного (шар 0-40 см) в кінці вегетаційного періоду (середні дані)

Варіант	Бактеріологічний показник		Патогенні мікро-організми, в тому числі сальмонели, екз./г ґрунту	Кількість яєць гельмінтів		ПАР, мг/кг ґрунту
	Колі-титр	ЗМЧ, КУО/г ґрунту		всього, екз./кг ґрунту	деформовані, %	
<i>СВК ім. Горького, чорнозем південний слабогумусоаккумулятивний щебенювато-кам'янистий на вапняку</i>						
1	1,1	300000-350000	не виявлено	не виявлено	не виявлено	0,22-0,35
2	1,0	550000	не виявлено	не виявлено	не виявлено	0,25
3	1,1 – <1,1	300000-450000	не виявлено	51-90	100	0,30-0,35
<i>СВК «Береговий», чорнозем південний слабогумусоаккумулятивний легкоглинистий карбонатний на лесі</i>						
1	>1,1	250000-300000	не виявлено	не виявлено	не виявлено	0,49-0,56
2	1,0	400000	не виявлено	не виявлено	не виявлено	0,48
3	1,1 – <1,1	900000-1250000	не виявлено	40-80	100	0,58-0,63

**Примітка:** варіанти досліду: 1 – ґрунт незрошуваний; 2 – ґрунт, зрошуваний водою р. Дніпро 15 років; 3 – ґрунт, зрошуваний біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії (у СВК ім. Горького – 30, у СВК «Береговий» – 15 років)

За параметрами колі-титру ґрунт, зрошуваний біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії, характеризувався як чистий або ж із слабким ступенем забруднення. В орному шарі ґрунту було виявлено деформовані (не життєздатні) яйця гельмінтів; вміст специфічних речовин (ПАР) – у межах звичайних параметрів якості ґрунту. В СВК ім. Горького, в кормовій сівозміні з більш тривалим терміном зрошення біологічно очищеними стічними водами (30 років), ґрунт отримав подібну санітарно-гігієнічну характеристику якості. Отже, можна констатувати, що тривале застосування біологічно очищених стічних вод м. Євпаторії для зрошення кормових агрофітоценозів у господарствах Сакського р-ну АР Крим за санітарно-бактеріологічними і гельмінтологічними показниками та вмістом специфічних речовин (ПАР) у ґрунті не спричинило забруднення верхнього шару (0-40 см) патогенними мікроорганізмами, життєздатними яйцями гельмінтів і специфічними токсичними речовинами (важкі метали, елементи-забруднювачі, ПАР тощо). За санітарно-гігієнічною оцінкою верхній шар ґрунту (0-40 см) можна оцінити як чистий або ж із слабким ступенем забруднення. Завдяки природній самоочищувальній здатності ґрунту в його середовищі відбувається ефективне доочищення біологічно очищених міських стічних вод і їх знезараження, що узгоджується із [65, 66] щодо того, що ґрунти представляють собою підходяще середовище для перетворення й очищення (доочищення) стічних вод різного походження. Органічні залишки і відходи, які до того були забруднювачами, в ґрунті стають джерелами енергії для ґрунтових мікробних ценозів і джерелами поживних елементів для рослин.

За результатами досліджень для мінімізації прояву ознак іригаційної деградації ґрунту (упередження процесів засолення та осолонцювання), поліпшення санітарно-гігієнічних показників ґрунту зрошеного біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії було рекомендовано комплекс превентивних заходів: організаційно-технічні (виключення або обмеження скидання в каналізаційну мережу високомінералізованих промислових стоків; реконструкція та модернізація КОС м. Євпаторії); технологічні (меліоративне поліпшення вод); агро-меліоративні (періодична глибока оранка з внесенням меліорантів і підвищених норм органічних добрив, вирощування солестійких культур, біологічні методи меліорації, промивання ґрунту), організаційні – перехід на нові площі зрошення для природного оздоровлення і відновлення властивостей тривало зрошеного ґрунту.

#### 4. Висновки

1. Тривале зрошення біологічно очищеними мінералізованими стічними водами м. Євпаторії з хлоридним натрієвим типом хімізму солей спричинило ознаки іригаційної деградації метрової товщі чорнозему південного (тенденція до слабого засолення та осолонцювання). Водночас зрошення стічними водами обумовило підвищення біогенності ґрунту і зменшення активності мінералізаційних процесів. Зрошення стічними водами не спричинило забруднення ґрунту токсичними речовинами (важкі метали, ПАР); завдяки природним процесам самоочищення відбувається певне очищення ґрунту від хвороботворних мікроорганізмів. Тривало зрошуваний стічними водами чорнозем південний, завдяки високій генетичній буферній здатності і активній концентрації катіонів кальцію в ґрунтовому розчині, а також природній здатності ґрунту до самоочищення від різноманітних забруднювачів, характеризувався близьким до оптимального агроекологічним станом і еволюціонував за своєрідним гумусово-аккумулятивним типом ґрунтоутворення.

2. Екологічно безпечна технологія використання біологічно очищених стічних вод м. Євпаторії для іригації має передбачати обов'язкові заходи з санітарно-гігієнічного контролю на ЗПЗ: підготовку полів перед зрошенням; дотримання режимів зрошення, системи удобрення і правил агротехніки. Для запобігання забруднення ґрунту необхідно здійснювати періодичний контроль його еколого-гігієнічного стану за такими показниками: санітарно-хімічні (вміст органічного вуглецю, сульфатів, карбонатів та гідрокарбонатів, хлоридів, аміаку, нітратів, нітритів); санітарно-мікробіологічні (патогенні мікроорганізми кишкової групи); гельмінтологічні (яйця гельмінтів); вірусологічні.

3. Одним із шляхів розв'язання проблеми дефіциту води для іригації та для упередження забруднення прибережних акваторій Чорного і Азовського морів доцільним є використання за науково-обґрунтованого підходу біологічно очищених міських стічних вод для зрошення кормових агрофітоценозів із застосуванням прогресивних способів поливу і безпечних режимів зрошення.

#### Подяки

Автор висловлює вдячність за тісну співпрацю у виконанні наукової тематики кандидату с.-г. наук Т.Л. Сало (науковий керівник НДР), науковим співробітникам В.Ф. Гресь, Г.І. Андріяко та іншим співробітникам ДП «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів Інституту водних проблем і меліорації НААН».

#### Список використаних джерел

1. *Ромащенко М.І.* Концепція відновлення та розвитку зрошення у Південному регіоні України / За ред. М.І. Ромащенко. Київ: ЦП «Компринт», 2014. 28 с.
2. *Ромащенко М.І.* Наукові засади розвитку зрошення земель в Україні. Київ: Аграрна наука, 2012. 28 с.
3. *Дишлюк В.Є.* Перспективи використання стічних вод міських очисних споруд у землеробстві України. *Меліорація і водне господарство*. Міжвід. тем. наук. зб. Київ: Аграрна наука, 1997. Вип. 84. С. 83–97.
4. *Дишлюк В.Є.* Перспективи використання стічних вод міських очисних споруд у землеробстві України (повідомлення II). *Меліорація і водне господарство*: міжвід. тем. наук. зб. Київ: Аграрна наука, 1998. Вип. 85. С. 57–66.
5. *Dyshlyuk V.Ye.* Utilization of urban sewage waters for irrigation of agricultural lands in Ukraine. *Debreceni Egyetem Agrartudományi Közlemények Acta Agraria Debrecenitnsis*. № 61. Debrecen. 2014. P. 5–7.
6. *Паламарчук М.М., Загорчевна Н.Б.* Водний фонд України: Довідковий посібник / За ред. В.М. Хорєва, К.А. Алієва. Київ: Ніка-Центр. 2016. 107 с.
7. *Устойчивый Крым*. Водные ресурсы. Симферополь: Таврида, 2003. С. 171.
8. *Юровський Ю.Г.* Сучасний стан прибережно-морської зони України. *Інформаційний бюлетень про стан геологічного середовища України у 1994–1995 рр.* Вип. 14. Київ: Держкомгеологія України, 1997. С. 41–51.
9. *Національна доповідь* про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2001 році. Київ: Мінекоресурсів України, 2003. С. 33–43.
10. *Коржунова Н.* Проблеми раціонального природокористування в Чорноморському регіоні. *Економіка України*. № 9. Київ: Преса України. 1996. С. 70–73.
11. *Environmental economic and social impacts of the use of sewage sludge on land: Report Milien Ltd and WRC for the European Commission, DG Environment under Study Contract DG ENV.G 4/ETU/2008/0076r.* 2008.
12. *Львович А.И.* Защита вод от загрязнения / под ред. М.М. Телитченко. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1977. 168 с.
13. *Использование сточных вод для орошения* / Ю.Г. Бескровный, М.В. Козинец, В.И. Бойко, З.И. Бойко [и др.] / Под ред. Ю.Г. Бескровного. Киев: Урожай, 1989. 158 с.
14. *Овцов Л.П.* Экологически безопасные технологии сельскохозяйственного использования животноводческих стоков и сточных вод. Москва: МГУ, 2002. 615 с.
15. *Дишлюк В.Є.* Напрями раціонального використання стічних вод // Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України / За ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенко і В.А. Сташука. Київ: Аграрна наука, 2009. С. 402–415.

16. Дишлюк В.Є. Водна меліорація ґрунтів із застосуванням стічних вод // Адаптація агротехнологій до змін клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти / За ред. С.А. Балюка, В.В. Медведева, Б.С. Носка. Харків: Стильна типографія, 2018. С. 156–161.
17. *Временные рекомендации по использованию для орошения сточных вод г. Евпатории*. Ровно: УИИВХ, 1982. 25 с.
18. Дишлюк В.Є. Формування, якісний склад та комплексна оцінка для іригації стічних вод очисних споруд м. Євпаторії. *Меліорація і водне господарство: міжвід. тем. наук. зб.* №88. Київ: Аграрна наука, 2002. С. 52–61.
19. Дишлюк В.Є. Якість підземних вод на територіях, прилеглих до зони масиву зрошення стічними водами міських очисних споруд. *Меліорація і водне господарство: міжвід. тем. наук. зб.* №86. Київ: Аграрна наука, 1999. С. 90–97.
20. *Почвенная карта Сакского района Крымской области*. Составлена Крымской землеустроительной экспедицией института «Укрземпроект» по материалам обследования почв, проведенного в 1957 – 1962 г. Масштаб 1:50000. Киев, 1963.
21. Полупан М.І., Соловей В.Б., Величко В.А. Класифікація ґрунтів України / За ред. М.І. Полупана. Київ: Аграрна наука, 2005. 300 с.
22. *Методические рекомендации по изучению влияния орошения на почвы УССР* / Сост.: А.В. Новикова, Н.К. Крупский, Н.И. Полупан [и др.]. Харьков: УНИИПА ЮО ВАСХНИЛ, 1979. 96 с.
23. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
24. *Почвы*. Метод определения ионов карбонатов и бикарбонатов в водной вытяжке: ГОСТ 26424-85. [Введ. 1986-01.01]. Москва: Госкомитет СССР по стандартам, 1985. 4 с.
25. *Почвы*. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке: ГОСТ 26425-85. [Введ. 1986-01.01]. Москва: Госкомитет СССР по стандартам, 1985. 9 с.
26. *Почвы*. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке: ГОСТ 26426-85. [Введ. 1986-01.01]. Москва: Госкомитет СССР по стандартам, 1985. 7 с.
27. *Почвы*. Методы определения натрия и калия в водной вытяжке: ГОСТ 26427-85. [Введ. 1986-01.01]. Москва: Госкомитет СССР по стандартам, 1985. 4 с.
28. *Почвы*. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке: ГОСТ 26428-85. [Введ. 1986-01.01]. Москва: Госкомитет СССР по стандартам, 1985. 8 с.
29. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. Москва: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.
30. *Методы изучения почвенных микроорганизмов и их метаболитов* / Под ред. Н.А. Красильникова. Москва: Изд-во МГУ, 1966. С. 7-24.
31. Тарасевич Н.И., Семенов К.А., Хлыстова А.Д. Методы спектрального и химико-спектрального анализа. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1973. 275 с.
32. Хавезов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. Ленинград: Химия, 1983. 144 с.
33. *Методические указания по санитарно-микробиологическому исследованию почвы (МУ №1446-76)*. Москва: Минздрав СССР, 1977. 47 с.
34. *Методические указания по гельминтологическому исследованию объектов внешней среды и санитарным мероприятиям по охране от загрязнения яйцами гельминтов и обезвреживанию от них нечистот, почвы, овощей, ягод, предметов обихода (МУ №1440-76)*. Москва: Минздрав СССР, 1976. 39 с.
35. Лурье Ю.Ю., Рыбникова А.М. Химический анализ производственных сточных вод. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Химия, 1974. 335 с.
36. ДСТУ 7369:2013. Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування та удобрення. Київ: Мінекономрозвитку України, 2013. 9 с.
37. ДСТУ 2730-94. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. Київ: Держстандарт України, 1994. 13 с.
38. ВБН 33-5.5-01-97. Організація і ведення еколого-меліоративного моніторингу. Частина 1. Зрошувані землі. Київ: Держводгосп України, 2002. 66 с.
39. *Методика оцінки та прогнозу еколого-меліоративного стану і стійкості земель при зрошенні* // Посібник 2 до ВБН 33-5.5-01-97. Організація і ведення еколого-меліоративного моніторингу. Частина 1. Зрошувані землі. Київ: Держводгосп України, 2002. 148 с.
40. *Функціонування мікробних ценозів ґрунту в умовах антропогенного навантаження* / К.І. Андрюк, Г.О. Іутинська, А.Ф. Антилчук [та ін.]. Київ: Обереги, 2001. 240 с.
41. Фатеев А.І., Пащенко Я.В., Балюк С.А. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / за ред. А.І. Фатеева, Я.В. Пащенко. Харків: ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», 2003. 117 с.
42. ВНД 33-5.5-06-99. Охорона водних, ґрунтових та рослинних ресурсів від забруднення важкими металами в умовах зрошення. Київ, 1999. 26 с.
43. Klocke A. 1980: Richtwerte'80: Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden / Mitteilungen des YDLUFA. Н. 1-3. Р. 9.
44. Tietjen C. The admissible rate of waste (residue) application to land with regard to high efficiency in crop production and soil pollution abatement. In: Land as a Waste Management Alternative – Publishers Inc. 1976
45. Саєт Ю.Є., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохімія оточуючої середовища. Москва: Недра, 1990. 335 с.
46. Дерев'яко Р.Г. Агроґрунтова зона. Географічна енциклопедія України в 3-х томах. Київ: Українська радянська енциклопедія імені М.П. Бажана, 1989. Т.1 (А–Ж). С. 12.
47. Львова Е.В. Равнинний Крым. Геологическое строение, гидрогеология, охрана природы. Киев: Наукова думка, 1978. 188 с.
48. *Гигиенические нормативы 2.1.5.689-98*. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Минздрав России, 1998. 90 с.
49. Аниканова Е.М. Влияние орошения щелочными водами разной минерализации на южные черноземы. *Почвоведение*. 1996. №7. Москва: Наука. С. 1-10.

50. Позняк С.П. Орошаемые черноземы юго-запада Украины: монография. Львов: ВНТЛ, 1997. 240 с.
51. *Зрошувані землі Дунай-Дністровської зрошувальної системи: еволюція, екологія, моніторинг, охорона, родючість* / За ред. С.А. Балюка. Харків: ПФ «Антіква», 2001. 260 с.
52. *Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України* / За ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенко, В.А. Сташука. Київ: Аграрна наука, 2009. С. 91–210.
53. *Землі Інагулецької зрошувальної системи: стан та ефективне використання* / За наук. ред. В.О. Ушкаренка, Р.А. Вожегової: колективна монографія. Київ: Аграрна наука, 2010. 352 с.
54. *Многолетний опыт использования сточных вод для орошения черноземов Украины* / Ю.Г. Бескровный, В.И. Бойко, И.Н. Гоголев, Б.М. Турус. *Вестник с.-х. науки*. Москва, 1987. №5. С. 58-63.
55. Бескровный Ю.Г., Бойко В.И. Влияние длительного орошения городскими сточными водами на свойства черноземов обыкновенных УССР. // Использование животноводческих стоков и сточных вод в орошаемом земледелии: сб. науч. тр. Москва: ВНИИГиМ, 1989. С. 23-29.
56. Ромащенко М.І., Балюк С.А. Зрошення земель в Україні. Стан та шляхи поліпшення. Київ: Видавництво «Світ», 2000. 114 с.
57. Христенко С.І., Найдьонова О.Є. Параметри мікробіологічних показників зрошуваних ґрунтів. // *Зрошувані землі Дунай-Дністровської зрошувальної системи: еволюція, екологія, моніторинг, охорона, родючість* / За ред. С.А. Балюка. Харків: ПФ «Антіква», 2001. 260 с.
58. Балюк С.А., Найдьонова О.Є. Вплив зрошення на стан і функціонування мікробних ценозів ґрунтів // *Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України* / за ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенко, В.А. Сташука. Київ: Аграрна наука, 2009. С. 165–187.
59. Найдьонова О.Є. Біологічна деградація чорноземів при зрошенні. Автореф. дис. на здобуття наук. ст. канд. біол. наук. Харків, 2010. 21 с.
60. *Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах* / Под ред. Н.Г. Зырина и Л.К. Садовниковой. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 208 с.
61. Чуджиян Х., Карвета С., Фацек З. Тяжелые металлы в почвах и растениях // *Экологическая кооперация*. Братислава, 1988. Вып. 1. С. 5-24.
62. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
63. Григорян К.В. Влияние загрязненных промышленными отходами оросительных вод на содержание тяжелых металлов в почве и в некоторых сельскохозяйственных культурах. *Почвоведение*. 1989. №9. Москва: Наука, С. 97-105
64. Захарова М.А. Агрогеохімічні закономірності міграції та акумуляції важких металів у зрошуваних ґрунтах. Автореф. дис. на здобуття наук. ст. канд. с.-г. наук. Харків, 2003. 20 с.
65. *Гигиенические основы почвенной очистки сточных вод* / Е.И. Гончарук, Г.И. Сидоренко, Т.Н. Хруслова, В.И. Циприян. Москва: Медицина, 1976. 184 с.
66. Матвеев П.Н. Гигиенические основы развития земледельческих полей орошения. Москва: Медицина, 1976. 213 с.

UDC 631.67:621.3: 631.445.4. «71»(477.7)

## Evolution of the chernozem southern during long-term irrigation with biologically treated urban wastewater under conditions of the Steppe Crimea

V.Ye. Dyshliuk

NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, Ukraine  
E-mail: dyshlyuk\_ve@ukr.net

The article gives a comprehensive assessment of the impact of prolonged irrigation of biologically treated waste water of the city of Evpatoria on the territory of the Autonomous Republic of Crimea (Saky district) on changes in the orientation and intensity of the process of soil formation and transformation of the characteristics of chernozem southern in the conditions of the steppe Crimea. The study was conducted during the period of intensive irrigation (1985-1992). The peculiarities of the agro-ecological state of the long irrigated chernozem southern are analyzed, and a set of measures is proposed to minimize the risk of soil degradation. Methods of research - "keys-analogues", comparative-geographical, comparative-analytical and statistical. The results of complex analytical studies of chemical, physico-chemical, microbiological, geochemical and sanitary-hygienic characteristics of irrigated and no irrigated soils, as well as the quality of irrigation water are presented. It has been found that prolonged irrigation with waste water with high mineralization and unfavorable ionic structure caused the signs of irrigation degradation of soil (tendency to poor salinization and alkalinization). At the same time, it was found that the chernozem southern was irrigated for a long time with waste water, due to its high genetic buffer capacity (CaCO<sub>3</sub> content in the 0-100 cm layer varies within 10-24 %) and the presence of active concentrations of calcium cations in the soil solution (inhibiting the process of soil alkalinization), as well as the ability of the soil to self-purification (release from various contaminants), is characterized by close to the optimal agro-ecological state and evolves in a kind of humus-accumulating type of soil formation. The list of measures recommended at the end of the experiment to minimize soil degradation: technical and technological to improve the quality of irrigation waste water, use them for irrigation in limited areas with good drainage; agricultural land reclamation techniques; organizational - suspension of irrigation for several years (transition to new areas) for natural improvement of the soil until restoration of its properties.

**Keywords:** agro-ecological condition of soil; chernozem southern; irrigation; preventive measures; soil characteristics; soil formation; urban waste water.

*Citing:* Dyshliuk V.Ye. 2019. Evolution of the chernozem southern during long-term irrigation with biologically treated urban wastewater under conditions of the Steppe Crimea. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 106-119. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-15>.

УДК 631.6.02: 631.421.1

## 50-річна історія досліджень ґрунтозахисних технологій на Донецькій протиерозійній дослідній станції

Н.В. Тютюнник<sup>1</sup>, В.П. Коляда<sup>2</sup> \*

<sup>1</sup> Державне підприємство «Дослідне господарство «Донецьке»», с. Торецьке, Ясинуватський район, Донецька область, Україна

<sup>2</sup> ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 07.04.2019 Отримано після доопрацювання 12.06.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019	У статті представлено основні історичні етапи досліджень щодо апробації, впровадження, ефективності та екологічної значущості ґрунтозахисних технологій у сільськогосподарському виробництві у Північному Степу України, проведених на Донецькій протиерозійній дослідній станції за останні 50 років. Описано й обґрунтовано передумови створення станції та обставини, які вплинули на формування наукових напрямів дослідницької діяльності від моменту створення і до теперішнього часу, коли станцію перейменовано на Державне підприємство «Дослідне господарство «Донецьке»». Перелічено основні наукові здобутки по різних напрямках досліджень ґрунтозахисних технологій у сфері обробітку ґрунту, агротехніки вирощування сільськогосподарських культур, протиерозійного облаштування агроландшафтів з використанням лісомеліоративних і гідротехнічних засобів, контурно-меліоративної технології тощо.
<i>Ключові слова:</i> ґрунтозахисні технології; дослідна станція; ерозія ґрунту; зона Степу.	

\*E-mail: [koliadavalerii@gmail.com](mailto:koliadavalerii@gmail.com)

*Форма цитування:* Тютюнник Н.В., Коляда В.П. 50-річна історія досліджень ґрунтозахисних технологій на Донецькій протиерозійній дослідній станції. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2019. С. 120-123. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-16>.

Історія Донецької дослідної станції бере початок від 2 жовтня 1968 року, коли було прийнято рішення про її створення (Постанова ЦК КПУ № 320 і рішення Ради Міністрів УРСР № 978-Р), що було пізніше закріплено наказом Міністерства сільського господарства УРСР № 766 від 1 листопада 1968 р. Це рішення обґрунтовувалося необхідністю підвищення врожайності сільськогосподарських культур за раціонального використання земельних ресурсів і відтворення родючості чорноземних ґрунтів Донецького регіону. Позитивний досвід ведення ґрунтоощадливого та, водночас, прибуткового господарювання мав стати прикладом для інших господарств у регіоні.

Першим директором і організатором практичної діяльності новоствореної станції став кандидат с.-г. наук Чернявський Олександр Артемович (від 1968 до 1974), який очолив невеликий науковий колектив: М.П. Русько, В.І. Полупан, Л.Я. Мільчевська, В.Д. Єлагін, А.Ф. Пашинський. Методичне керівництво науковими дослідженнями здійснювали співробітники Українського НДІ ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського професори М.К. Крупський, К.Л. Холу'пяк, доктори с.-г. наук Д.П. Рижиков, А.Я. Бука, кандидати наук Н.П. Васильєв, Є.І. Вешко, Є.Г. Кучерявих, П.П. Левенець, Є.М. Смирнова та інші.

На момент створення Донецької протиерозійної дослідної станції базове господарство «Степове» мало низькі виробничі показники. Так, урожай зернових ледь досягав 13,6 ц/га (в т. ч. озимої пшениці – 17,0 ц/га, ячменю – 10,5 ц/га), кормових коренеплодів – 110 ц/га, сіна багаторічних трав – 11 ц/га. Землекористування господарства включало 6229 га, у тому числі 4658 га – орних земель, дві третини з яких вже були, тією чи іншою мірою, еродованими.

У процесі розвитку та становлення Донецька протиерозійна дослідна станція отримувала нові невідкладні завдання, пов'язані з необхідністю більш детального дослідження ерозійних процесів. У зв'язку з цим було створено шість нових спеціалізованих лабораторій (боротьби з водною ерозією, вітровою ерозією, лінійною ерозією, корінного та поверхневого поліпшення кормових угідь, підвищення родючості ґрунтів, зрошення). Нові підрозділи розпочали вивчення ефективності організаційно-господарських, агротехнічних, агрохімічних, лукомеліоративних та гідротехнічних протиерозійних заходів, досліджували шляхи підвищення родючості змитих і дефляційно

небезпечних ґрунтів, розробляли раціональні способи виведення з сільсько-господарського використання земель, порушених процесами деградації.

Зусиллями наукових співробітників дослідної станції було розроблено і впроваджено систему удобрення польових культур на середньо- і сильноеродованих ґрунтах. Цією програмою передбачалося збільшення внесення фосфорних добрив на 43-51 %. Збір кормових одиниць за ротацію сівозміни зріс на 11,8-15,6 ц/га. Резервом збільшення виробництва кормів у господарстві станції стало докорінне поліпшення 118 га природних випасів на схилах балок, після чого врожай сіна з поліпшених угідь досяг 38,9 ц/га (у природних умовах - 6,0 ц/га).

У впровадженні комплексу організаційно-господарських заходів важливе місце було відведено лісомеліоративним і гідротехнічним агрономічним засобам; створено збалансовану систему лісових насаджень на площі 376 га, в тому числі, полезахисні лісосмуги – 98 га, яружно-балкові насадження – 226 га.

На землях ДП ДГ Донецьке з'явився унікальний за своїми властивостями протиерозійний контурно-меліоративно упорядкований агроландшафт, започаткований професором К.Л. Холупяком, на основі науково обґрунтованого проекту організації території дослідного господарства станції. Метою проекту було екологічне збалансування ландшафту задля призупинення ґрунторуйнівних процесів; стабільної якісної і кількісної оптимізації вологозабезпеченості вирощуваних культур за контурно-смугового розміщення [1].

У подальшому, вже під керівництвом і за особистої участі Є.Г. Кучерявих і Е.І. Вешко було складено картограму розподілу снігового покриву і створено замкнуту систему полезахисних лісосмуг. Також заслуговують на увагу роботи М.К. Шикили, Є.М. Смірної, В.І. Буракова, Р.Ф. Істоміної зі створення теоретичного підґрунтя для нових та вже існуючих протиерозійних комплексів, можливостей прогнозування ерозійних процесів, ґрунтозахисної концепції землеробства в агроландшафті, перспективності використання технологічних та меліоративних протиерозійних заходів і оцінки їх ефективності [2].

Злагоджена робота наукових співробітників була реалізована в ефективній діяльності дослідного господарства. Так, у 1990 році врожайність озимої пшениці становила 52,5 ц/га, озимого жита – 58,6 ц/га, ячменю – 48,8 ц/га, вівса – 32,2 ц/га, проса – 25,7 ц/га, гороху – 28,2 ц/га, гречки – 20,4 ц/га.

Завдяки активній творчій діяльності керівників станції В.І. Щербакова, М.В. Байрака, А.П. Коваленка, В.І. Полупана отримали продовження організаційні роботи щодо впровадження комплексу протиерозійних заходів та наукові роботи присвячені моніторингу інтенсивності процесів водної, вітрової ерозії за умов вирощування різних культур за різних систем обробітку ґрунту (нульовий, мінімальний та традиційний), оцінці та прогнозу протиерозійної стійкості схилових територій регіону. Також було розраховано кількість винесеного ґрунтового матеріалу в снігових наносах, прогнозовано втрати ґрунту через вітрову ерозію під час пилової бурі.

Прогнозуванню ерозійних процесів та боротьбі з їх наслідками, а також удосконаленню ролі агротехнологічної складової протиерозійних досліджень шляхом визначення впливу технологій обробітку присвячено дослідження таких науковців як О.А. Зуза, Л.Г. Зуза, В.О. Зуза, та ін.

Зусиллями колективу науковців станції, за участі наукових співробітників Інституту С.Ю. Булигіна і Д.О. Тимченко, було створено методологію захисту ґрунтів від ерозії та раціонального їх використання з урахуванням ландшафтної адаптації, як комплексу взаємопов'язаних агротехнічних і організаційних заходів. Серед них такі: математичне моделювання; натурні спостереження; ретроспективний аналіз фізико-хімічного статусу чорнозему звичайного; моніторинг властивостей ґрунту; проведення розрахунків та прогнозів; інформаційний супровід системи охорони земель від ерозії. Методологія базується на унікальних матеріалах, які за повнотою та якістю представлення не мають аналогів у Північному Степу України [3, 4].

Серед основних протиерозійних заходів, які досліджувалися науковцями та добре себе зарекомендували, такі: вилучення із сівозміни земель, розташованих на схилах і залуження їх багаторічними травами; диференційований підхід до використання змитих ґрунтів та їх докорінна меліорація; упровадження протиерозійної технології обробітку ґрунту; посів бобово-злакових сумішок.

Сформовано основні положення протиерозійної технології вирощування с.-г. культур за принципом диференційованого обробітку ґрунту, що виконується різними типами знарядь: відвальними; дисковими; плоскорізними й комбінованими. Серед переваг

такої технології – зменшення ерозійних і дефляційних втрат у 2-3 рази; накопичення і збереження ґрунтової вологи; додаткове одержання 1,5-2,0 ц/га зерна озимої пшениці; економічний ефект більше 150 грн/га.

Серед наукових напрямів, які розпочала та продовжує вести і сьогодні лабораторія родючості ґрунтів та ґрунтозахисних технологій, утворена на базі ДП «ДГ Донецьке», можна виділити такі [5]: розробка новітніх методів боротьби з ерозією ґрунтів; охорона та підвищення родючості ґрунтів; моніторинг забруднення ґрунтів промисловими викидами та способи упередження шкідливого впливу; ефективність енергоощадних заходів за конкретних технологій обробітку ґрунту; зрошення і поліпшення якості пасовищ та сінокосів.

У результаті впровадження розробок підвищено ґрунтозахисну складову системи землеробства в умовах високої небезпеки виникнення та прояву ерозійних процесів з одночасним збільшенням площ сіножатей і пасовищ, що створює умови для зміцнення кормової бази та підвищення продуктивності тваринництва. Крім того, вже за результатами сучасних досліджень, розроблено картограму з урахуванням індексу ерозійної небезпеки земель, а також проаналізовано основні властивості чорнозему звичайного, які можуть забезпечити його стійкість до ерозії залежно від способу обробітку.

Велика кількість програм і напрацювань зумовили подальше розширення діапазону тематики наукових розробок (фундаментальні і прикладні дослідження). Але й нині основним напрямом наукової роботи залишається той, заради якого було засновано станцію, це – пошук нових шляхів у боротьбі з ерозією та дефляцією ґрунту, оптимізація вологозабезпечення сільськогосподарських культур в умовах ґрунтозахисно-меліоративної просторової структури агроландшафту.

З накопиченням експериментальних даних і еволюцією уявлень про екологічні функції ґрунту і роль людини в провокуванні й посиленні ерозійних процесів, пропонуються нові варіанти організації виробничих відносин людини й ґрунту.

Сучасні акценти наукових пошуків орієнтовано на розробку комплексних енергоощадних технологій, якими можна забезпечити достатньо високий, економічно вигідний рівень урожайності та зберегти існуючий рівень біологізації за найменших витрат матеріальних ресурсів. У даному разі можливі різні ступені біологізації – від певних рівнів ресурсощадних варіантів застосування добрив до засобів хімічного захисту рослин. Крім того, необхідно забезпечити якнайкращі умови росту і розвитку кожної окремої рослини, оскільки лише за таких умов технології будуть мати найвищу екологічну й економічну ефективність, швидко окупність і відповідатимуть вимогам часу й досягненням сучасної аграрної науки.

В останні роки Донецькою дослідною станцією послідовно розширюється коло наукових інтересів та напрямів досліджень. Прикладом цього є виконання робіт з визначення властивостей регуляторів росту і розвитку рослин, особливостей використання гуматів у рослинництві та пошук способів і норми застосування вермикомпосту під окремі сільськогосподарські культури.

Серед інших важливих організаційних завдань Донецької дослідної станції можна виділити аналіз ефективності функціонування об'єктів контурно-меліоративного землеробства, контроль твердого та рідкого стоку при ерозії за допомогою стокової ділянки та натурних спостережень.

Науковцями поєднано зусилля в узагальненні й поширенні в регіоні передових технологій обробітку ґрунту, забезпеченні методичними розробками та їх упровадженні в господарства різних форм власності з урахуванням їх спеціалізації та ґрунтово-кліматичних умов регіону.

Неодноразово, організовуючи семінари, працівники станції ділилися своїми знаннями та досвідом, набутим на практиці, зі спеціалістами-аграріями всіх рівнів, читали лекції на курсах підвищення кваліфікації. Крім того, Донецька дослідна станція продовжує надавати реальну можливість студентам-практикантам із сільськогосподарських технікумів та Донецького Національного Університету здобувати необхідні навички для майбутньої професійної діяльності під час проходження виробничої практики.

На даний час дослідна станція, керівником якої (з 2010 р.) є Л.А. Черненко, продовжує утримувати на належному рівні свою структуру та організаційно-економічний механізм співпраці з базовими і дослідними господарствами. На повну силу функціонує мережа забезпечення інформацією про науково-технічні досягнення, здійснюються скринінгові дослідження і реклама наукових розробок.

Підводячи підсумки можна виділити основне досягнення 50-річної діяльності станції, яке реалізоване у вигляді взаємовигідної форми співробітництва науки і виробництва. За рахунок синергетичного поєднання наукового потенціалу колективу станції з виробничими потужностями ДП «ДГ Донецьке» створено передумови не тільки для підвищення ефективності виробництва та фінансування наукових досліджень, але й для проведення у повному обсязі науково-дослідних робіт, розширення та оновлення існуючої матеріально технічної бази.

### Список використаних джерел

1. Холупяк К.Л. Устройство противозерозионных лесных насаждений. Харьков, 1973. 150 с.
2. Дубинский Г.Н., Бураков В.И. Почвозащитное устройство агроландшафта. Харьков: Вища школа, 1985. 216 с.
3. Булигін С.Ю. Формування екологічно сталих агроландшафтів. Київ: Урожай, 2005. 300 с.
4. Учені ґрунтознавці та агрохіміки Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Харків: Смуґаста типографія, 2016. Кн. 1. 165 с.
5. 50-річний ювілей (1968-2018 рр.). Від Донецької протиерозійної дослідної станції Українського науково-дослідного інституту ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського до науково-виробничого кластеру Східного Степу України. / Балюк С.А., Мірошніченко М.М., Шимель В.В. [та ін.] Харків: ННЦ ІГА, 2018. 24 с.

UDC 631.6.02: 631.421.1

### 50-years history of soil technologies research to combat erosion on Donetsk erosion-preventive research station

N.V. Tiutiunnyk<sup>1</sup>, V.P. Koliada<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>State Enterprise "Experimental farm "Donets'ke", v. Toretske, Yasinuvata district, Donetsk region, Ukraine

<sup>2</sup>NSC "Institute of Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine

\*E-mail: [koliadavalerii@gmail.com](mailto:koliadavalerii@gmail.com)

The article presents the main historical stages of research on approbation, implementation, efficiency and ecological significance of soil protection technologies in agricultural production in the Northern Steppe of Ukraine, conducted at the Donetsk anti-erosion research station during the past 50 years. There were described and substantiated the preconditions for the creation of the station and the circumstances that influenced the formation of scientific research activities from the moment of creation up to the present when the station was renamed to the State Enterprise "Experimental farm in Donetsk". We are listed the main scientific achievements in various areas of research of soil protection technologies in the field of soil cultivation, agro technologies of cultivation of agricultural crops, anti-erosion improvement of agro-landscapes with the use of forest-melioration and hydrotechnical means, contouring-reclamation technology, etc.

**Key words:** erosion; investigation; research station; soil protection technologies; Steppe.

*Citing:* Tiutiunnyk N.V., Koliada V.P. 2019. 50-years history of soil technologies research to combat erosion on Donetsk erosion-preventive research station I. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 120-123. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-16>.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ RESEARCH OF YOUNG SCIENTISTS

УДК 631.811:631.82

### Вплив тривалого внесення мінеральних добрив на вміст обмінних катіонів у ґрунті<sup>1</sup>

В.М. Ніконенко

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 12.03.2019 Отримано після доопрацювання 21.04.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019	Метою роботи було виявлення впливу тривалого внесення окремих видів мінеральних добрив (N - азотних, P – фосфорних і K - калійних) та парних сполучень (NP, NK, PK) на вміст обмінних катіонів (Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> ) у чорноземі типовому важкосуглинковому. Дослідження проводили в умовах польового стаціонарного досліду, який закладено 1990 року в дослідному господарстві ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» у Харківській області. Для досліджень обрано вісім варіантів з такими середніми нормами добрив (кг/га д. р.): 1 – без добрив (контроль); 2 – N <sub>100</sub> ; 3 – P <sub>96</sub> ; 4 – K <sub>83</sub> ; 5 – N <sub>100</sub> P <sub>96</sub> ; 6 – N <sub>100</sub> K <sub>83</sub> ; 7 – P <sub>96</sub> K <sub>83</sub> ; 8 – N <sub>100</sub> P <sub>96</sub> K <sub>83</sub> . Проби ґрунту для аналітичних досліджень відбирали з шару 0-30 см у серпні 2016 року. Вміст обмінних катіонів визначали за методом Шолленберґера, рН ґрунтового розчину – у водній суспензії потенціометричним методом. Найбільші втрати обмінних катіонів з ґрунту (порівняно з контролем) виявлено на ділянках з азотними добривами (N) та їх комбінаціями з фосфорними (NP) і калійними (NK). Слабо змінювався вміст катіонів у ґрунті, удобрюваному фосфорно-калійними добривами. Ступінь насичення колоїдного комплексу обмінними катіонами становить 85-87 %. З метою дослідження можливості підвищення суми обмінних катіонів за рахунок кальцію, визначили що колоїдний комплекс ґрунту додатково може поглинути Ca <sup>2+</sup> 3,48–3,67 ммоль/100 г ґрунту.
<i>Ключові слова:</i>  зона Лісостепу; колоїдний комплекс; мінеральні добрива; обмінні катіони; чорнозем типовий.	

E-mail: [nikonenko\\_slava@ukr.net](mailto:nikonenko_slava@ukr.net)

*Форма цитування:* Ніконенко В.М. Вплив тривалого внесення мінеральних добрив на вміст обмінних катіонів у ґрунті. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2019. С. 124-127. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-17>.

### 1. Вступ

Чорноземи найбільш родючі ґрунти у світі. В Україні вони займають близько 65 % площі орних земель, які є базовими територіями для вирощування сільськогосподарської продукції [1]. У сільськогосподарському виробництві чорноземи використовуються з давніх часів, що призвело до втрати їх природної родючості в результаті деградаційних процесів. Найбільш поширеними деградаційними процесами є дегуміфікація та декальцинація, а також втрата рухомих поживних речовин з ґрунту.

Декальцинація чорнозему, тобто, втрата ґрунтовым колоїдним комплексом кальцію, є вкрай негативним явищем, в результаті якого ґрунт втрачає потенційну здатність до структуроутворення, а з цим – і більшість агрофізичних властивостей. Засновником досліджень з визначення ролі і значущості кальцію в ґрунті був О.Н. Соколовський – фундатор українського агроґрунтознавства [2]. Він відносив кальцій до основного фактора родючості ґрунтів.

Особливості декальцинації чорноземів після тривалого їх використання в землеробстві досліджували багато авторів. П.Г. Адєрихін виявив втрати у чорноземах ЦЧО з орного шару обмінних кальцію й магнію, підвищення гідролітичної кислотності та зменшення ступеню насиченості кальцієм колоїдного комплексу орного ґрунту порівняно з 30-річним перелогом [3].

Ю.К. Кудзін вивчав деградацію чорноземів у польових дослідах і виявив, що під впливом систематичного внесення мінеральних добрив вміст обмінних катіонів у ґрунті знижується і особливо помітно – у варіантах з азотними [4]. О.М. Грінченко вважав декальцинацію однією з головних ознак деградації чорноземів [5]. Р.С. Трускавецький показав, що одним із основних факторів декальцинації та вторинного підкислення ґрунту є порушення співвідношення між основними елементами живлення за внесення мінеральних добрив [6]. Дослідження з цього питання проводила І.І. Філон в умовах

<sup>1</sup> Науковий керівник – доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник М.В. Лісовий

польового досліду (на Граківському дослідному полі) й встановила негативний вплив азотних добрив і зрошення на вміст обмінних катіонів у чорноземі типовому важкосуглинковому [7-8].

З публікацій зарубіжних авторів відомо, що під впливом внесення мінеральних добрив відбуваються зміни вмісту обмінних катіонів у ґрунті. Внесення азоту у ґрунт на Великих рівнинах США значно збільшувало насичення обмінним  $Al^{3+}$ , але зменшувало вміст обмінних катіонів  $Ca^{2+}$  і  $Mg^{2+}$  [9]. На ґрунтах субтропічної Австралії було вивчено вплив тривалої культивування (більше 70 років) на три катіони макроелементів (Ca, Mg, K). Їх обмінні концентрації залишалися незмінними і не залежали від періоду культивування [10].

Метою нашої роботи було виявити вплив тривалого внесення мінеральних добрив на вміст обмінних катіонів у ґрунті та реакцію ґрунтового розчину.

## 2. Об'єкти і методи досліджень

Дослідження проводили в умовах польового стаціонарного досліду "Агроекологічний моніторинг" на території дослідного господарства «Граківське» Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Дослід закладено 1990 року, схема включає 15 варіантів, з яких досліджували вісім: 1 – без добрив (контроль), 2 –  $N_{100}$ , 3 –  $P_{96}$ , 4 –  $K_{83}$ , 5 –  $N_{100}P_{96}$ , 6 –  $N_{100}K_{83}$ , 7 –  $P_{96}K_{83}$ , 8 –  $N_{100}P_{96}K_{83}$ . Це середні річні норми мінеральних добрив (кг/га д. р.) застосовуваних для удобрення культур у сівозміні протягом 26 років (1990-2016). Добрива вносили поверхнево восени перед оранкою.

ґрунт – чорнозем типовий важкосуглинковий на лесі з такими характеристиками на контрольному (не удобрюваному) варіанті: вміст гумусу 5,4 %;  $pH_{H_2O}$  6,8; вміст легкогідролізованого азоту – 23,5 мг/кг ґрунту; рухомого фосфору ( $P_2O_5$  – за методом Чирікова) – 95 мг/кг ґрунту; рухомого калію ( $K_2O$  – за методом Чирікова) – 110 мг/кг ґрунту; фізичної глини (сума гранулометричних фракцій  $<0,01$  мм) – 42,6 %.

Проби ґрунту для аналітичних досліджень відбирали в полі з шару 0-30 см один раз у серпні 2016 року (ДСТУ 4288:2004). Вміст обмінних катіонів у ґрунті визначали за методом Шолленберґера у модифікації ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» – у розчині оцтовокислого амонію з  $pH$  від 6,8 до 7,0 (ДСТУ 7861:2015).  $pH$  ґрунтового розчину визначали у водній суспензії потенціометричним методом (ДСТУ 8346:2017). Ступінь насиченості колоїдного комплексу обмінним кальцієм розраховували як відношення вмісту  $Ca^{2+}$  до суми обмінних катіонів.

Допоглинання кальцію у колоїдному комплексі ґрунту визначали за методикою О.М. Грінченка [11].

## 3. Результати досліджень та їх обговорення

Тривале внесення різних видів мінеральних добрив та їх сполучень по-різному впливає на фізико-хімічні показники чорнозему типового (Табл. 1).

**Таблиця 1**

*Вплив систематичного внесення різних видів мінеральних добрив та їх сполучень на фізико-хімічні показники чорнозему типового важкосуглинкового*

Варіант	$pH_{H_2O}$	Уміст обмінних катіонів, ммоль/100 г ґрунту					Сума	Ступінь насиченості $Ca^{2+}$ , %
		$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+$	$K^+$			
Без добрив (контроль)	6,8	32,43	4,11	0,12	0,75	37,41	86,7	
$N_{100}$	6,5	25,11	3,82	0,10	0,75	29,77	84,3	
$P_{96}$	6,5	27,63	3,99	0,11	0,73	32,46	85,1	
$K_{83}$	6,6	27,44	4,92	0,12	0,91	33,39	82,2	
$N_{100}P_{96}$	6,7	26,73	4,05	0,11	0,80	31,69	84,3	
$N_{100}K_{83}$	7,0	27,27	4,12	0,11	0,81	32,31	84,4	
$P_{96}K_{83}$	7,0	32,97	3,52	0,12	0,76	37,37	86,8	
$N_{100}P_{96}K_{83}$	6,2	26,50	3,74	0,10	0,66	31,00	85,5	

Реакція ґрунтового розчину на удобрюваних варіантах слабо відрізняється від контрольного. За систематичного внесення окремих видів добрив, парних сполучень та повного мінерального добрива параметри  $pH_{H_2O}$  коливаються у межах 6,2-7,0, що відноситься до групи з нейтральною реакцією. Колоїдний комплекс чорнозему типового

насичений обмінними катіонами на 85-87 %, найбільша частка з яких належить кальцію, що стабілізує реакцію ґрунтового розчину.

Уміст обмінних катіонів кальцію в ґрунті без добрив становить 32,43 ммоль/100 г ґрунту. Систематичне внесення азотних добрив у нормі 100 кг/га викликало зменшення вмісту обмінного кальцію на 7,32 ммоль, фосфорних ( $P_2O_5$ ) у нормі 96 кг/га – на 4,80 ммоль, калійних ( $K_2O$ ) у нормі 83 кг/га – на 4,99 ммоль/100 г ґрунту. З окремих видів добрив найбільше витісняють кальцій з колоїдного комплексу азотні добрива.

Парні сполуки фосфору й калію з азотом ( $N_{100}P_{96}$ ;  $N_{100}K_{83}$ ) зменшують вміст обмінного кальцію відповідно на 5,70 і 5,16 ммоль/100 г ґрунту. Фосфорні з калійними добривами ( $P_{96}K_{83}$ ) забезпечили вміст обмінного кальцію в ґрунті 32,97 ммоль, що навіть дещо вище, ніж на контрольному варіанті.

Уміст обмінного магнію в ґрунті без добрив становить 4,11 ммоль/100 г ґрунту. Азотні й фосфорні добрива знизили уміст його відповідно на 0,29 і 0,12 ммоль, а калійні, навпаки, підвищили на 0,81 ммоль/100 г ґрунту. Повне мінеральне удобрення ( $N_{100}P_{96}K_{83}$ ) викликало зниження вмісту обмінного магнію порівняно з контролем на 0,37 ммоль/100 г ґрунту.

Уміст обмінного натрію в ґрунті без добрив становить 0,12 ммоль/100 г ґрунту. Внесення мінеральних добрив сприяло зниженню його вмісту до 0,10-0,11 ммоль/100 г ґрунту за винятком варіантів  $K_{83}$  і  $P_{96}K_{83}$ , де уміст обмінного натрію був на рівні контролю.

Уміст обмінного калію в ґрунті без добрив становить 0,75 ммоль/100 г ґрунту. Найбільше вміст його зріс за внесення калійних добрив ( $K_{83}$ ) – 0,91 ммоль/100 г ґрунту.

Сума обмінних катіонів ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) є одним із найважливіших показників характеристики фізико-хімічних властивостей ґрунту та їх змін під впливом систематичного внесення добрив. На варіанті без внесення добрив сума обмінних катіонів у ґрунті становить 37,41 ммоль/100 г ґрунту. Найбільші втрати сумарної кількості обмінних катіонів констатовано від внесення азотних добрив, як у чистому вигляді ( $N_{100}$ ) - 7,64 ммоль, так і у вигляді парних сполучень з азотом ( $N_{100}P_{96}$ ,  $N_{100}K_{83}$ ) – 5,72 і 5,10 ммоль/100 г ґрунту відповідно. Практично відсутні втрати суми обмінних катіонів, порівняно з контролем, за внесення фосфорно-калійних добрив ( $P_{96}K_{83}$ ). Повне мінеральне удобрення ( $N_{100}P_{96}K_{83}$ ) викликало зниження вмісту обмінних катіонів на 6,41 ммоль/100 г ґрунту.

Виявлені параметри втрат обмінних катіонів з колоїдного комплексу під впливом систематичного внесення різних видів мінеральних добрив передбачено використовувати для зниження втрат кальцію у ґрунті.

Ступінь насиченості колоїдного комплексу ґрунту обмінним кальцієм (частка кальцію у сумі обмінних катіонів) є найвищим (86,7 %) на варіанті без добрив (Табл. 1). Систематичне внесення мінеральних добрив по-різному впливає на втрати обмінного кальцію з ґрунту, менше за інші впливають фосфорні добрива.

Проведено розрахунок потреби кальцію для допоглинання в колоїдному комплексі на двох варіантах – контрольному та за внесення повного мінерального добрива у нормі  $N_{100}P_{96}K_{83}$  (Табл. 2).

#### Таблиця 2

Кількість  $Ca^{2+}$ , потрібна для допоглинання в колоїдному комплексі, та норма внесення вапняного борошна в ґрунт

Варіант	Кількість $Ca^{2+}$ для допоглинання		Норма вапняного борошна, кг/га
	ммоль/100г ґрунту	мг/100г ґрунту	
Без добрив (контроль)	3,48	69,6	410
$N_{100}P_{96}K_{83}$	3,67	73,4	440

Розрахунки норм вапняного борошна проведено з метою їх внесення у ґрунт для поліпшення фізичних властивостей чорнозему.

#### 4. Висновки

Виявлено параметри втрат обмінних катіонів ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) із колоїдного комплексу чорнозему типового важкосуглинкового під впливом тривалого (26 років) внесення різних видів мінеральних добрив. Найбільші втрати відбулися за систематичного внесення азотних добрив, менші – від внесення калійних і фосфорних.

Ступінь насиченості колоїдного комплексу удобрюваного чорнозему обмінними катіонами становить 85-87 %. Розраховано, що необхідна кількість  $Ca^{2+}$  для допоглинання (3,48–3,67 ммоль/100г ґрунту) може бути забезпечена внесенням вапняного борошна у нормах 410-440 кг/га.

### Список використаних джерел

1. Носко Б.С. Антропогенна еволюція чорноземів. Харків: Видавництво «13 типографія», 2006. С. 4-8.
2. Соколовский А.Н. Сельскохозяйственное почвоведение. Москва: Сельхозгиз, 1956. С. 19-101.
3. Адерихин П.Г. Изменение черноземных почв ЦЧО при использовании их в сельском хозяйстве // Черноземы ЦЧО и их плодородие / под ред. А.А. Роде. Москва: Наука, 1964. С. 61-69.
4. Кудзин Ю.К. Условия питания и продуктивность сельскохозяйственных растений при длительном применении удобрений на черноземных почвах Лесостепи УССР : автореф. дис. на присвоение науч. степени д-ра с.-х. наук. Воронеж: Изд. МСХ РСФСР, 1962. 47 с.
5. Гринченко А.М., Муха В.Д., Васильева Л.И. О значении органического вещества и кальция в повышении почвенного плодородия // Сб.: Плодородие почв и эффективность удобрений. Труды ХСХИ. Т. 189. Харьков. 1973. С. 18-26.
6. Трускавецький Р.С., Нестеренко А.Ф. Вторинне підкислення і декальцинація чорноземів // *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. 1996. Вип. 58. С. 122-128.
7. Носко Б.С., Филон И.И., Боронин Н.К. Состав обменных катионов в черноземе типичном мощном при длительном применении удобрений и орошения. *Агрохимия*. 1987. №11. С. 85-88.
8. Филон И.И. Ионный состав солей и реакция среды в черноземе типичном при длительном применении удобрений и орошении // Плодородие почв при интенсивном земледелии / Сб. научных трудов. Харьковский с.-х. институт. Харьков, 1989. С. 81-90.
9. Schroder J.L., Zhang H., Girma K., Raun W.R., Penn C.J., Payton M.E. Soil acidification from long-term use of nitrogen fertilizers on winter wheat. *Soil Science Society of America Journal*. July 2011. Volume 75. № 3. P. 957-964. doi:10.2136/sssaj2010.0187.
10. Koppitke P.M., Dalal Neal R.C., Menzies W. Changes in exchangeable cations and micronutrients in soils and grains of long-term, low input cropping systems of subtropical Australia. *Geoderma*. Volume 285. 1 January 2017. P. 293-300. doi:10.1016/j.geoderma.2016.10.011.
11. *Практикум з ґрунтознавства*: Навчальний посібник / За редакцією професора Д. Г. Тихоненка. 6-е вид., перероб. і доп. Харків: Майдан, 2009. С. 80-81.

UDC 631.811:631.82

### The influence of long-term application of mineral fertilizers on the content of exchange cations in the soil

V.M. Nikonenko

NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, Ukraine  
E-mail: [nikonenko\\_slava@ukr.net](mailto:nikonenko_slava@ukr.net)

The purpose of the work was to detect the effect of the long-term application of certain mineral fertilizers (N, P, K) and pair combinations (NP, NK, PK) on the content of exchange cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) in the chernozem typical heavy loamy. The research was conducted in the field stationary experiment, which was laid in 1990 in the research farm of NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky" in the Kharkiv region. Eight variants with the following average fertilizer rates (kg/ha active substance) were selected for research during 26 years of the experiment: 1 - without fertilizers (control); 2 -  $\text{N}_{100}$ ; 3 -  $\text{P}_{96}$ ; 4 -  $\text{K}_{83}$ ; 5 -  $\text{N}_{100}\text{P}_{96}$ ; 6 -  $\text{N}_{100}\text{K}_{83}$ ; 7 -  $\text{P}_{96}\text{K}_{83}$ ; 8 -  $\text{N}_{100}\text{P}_{96}\text{K}_{83}$ .

Soil samples for analytical studies were taken from a layer of 0-30 cm in August 2016. The content of exchange cations was determined by the Schollenberg method, the pH of soil solution - in aqueous suspension by potentiometric method. The largest losses of exchange cations from the soil (as compared to control) were detected in areas with nitrogen fertilizers (N) and their combinations with phosphoric (NP) and potassium (NK). The content of cations in soils, fertilized with phosphate-potassium fertilizers, changed slightly. The degree of saturation of the colloidal complex with exchange cations is 85-87%. In order to investigate the possibility of increasing the amount of exchange cations at the expense of calcium, it was determined that the colloidal soil complex can also absorb  $\text{Ca}^{2+}$  3.48-3.67 mmol/100 g of soil.

**Keywords:** chernozem typical; colloidal complex; exchangeable cations; Forest-steppe zone; mineral fertilizers.

*Citing:* Nikonenko V.M. The influence of long-term application of mineral fertilizers on the content of exchange cations in the soil. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 124-127. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-17>.

УДК 631.461

## Дія органо-мінерального мікродобрива як засобу послаблення негативного впливу гербіцидів на ґрунтові мікроорганізми<sup>1</sup>

**А.Б. Рокитянський**

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 09.06.2019 Отримано після доопрацювання 03.07.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019</p>	<p>Метою роботи було показати можливість зменшення негативного впливу гербіцидів різного класу небезпечності на основні еколого-трофічні групи мікроорганізмів (мікроорганізми, що мобілізують органічні та мінеральні форми азоту, актиноміцети, оліготрофи, олігонітрофільні та асоціативні азотфіксувальні мікроорганізми, мікроскопічні гриби, мікроорганізми, що мобілізують органічні та мінеральні форми фосфору) у чорноземі опідзоленому, за сукупного застосування гербіцидів з елементами біологізації землеробства. Встановлено, що за допомогою різних способів застосування органо-мінерального мікродобрива (одночасна обробка гербіцидом та мікродобривом або обробка ґрунту гербіцидом з наступною обробкою мікродобривом кукурудзи по листу) разом з гербіцидами (прометрин III клас небезпечності та ацетохлор II клас небезпечності), можливо зменшити негативний вплив діючих речовин гербіцидів на ґрунтові мікроорганізми. Встановлено, що за окремого застосування гербіцидів відбувається як стимулювання окремих еколого-трофічних груп мікроорганізмів, так і їх пригнічення. Так, застосування гербіциду з діючою речовиною прометрин викликає зростання впродовж вегетації чисельності мікроорганізмів, що мобілізують органічні та мінеральні форми азоту а також актиноміцетів, а застосування гербіциду з діючою речовиною ацетохлор викликає зменшення їх чисельності. По-іншому гербіциди впливають на мікроорганізми, що мобілізують органічні та мінеральні форми фосфору: ацетохлор стимулює зростання чисельності мікроорганізмів цих еколого-трофічних груп, а прометрин, навпаки, пригнічує. Застосування з гербіцидами органо-мінерального мікродобрива, як правило, на початку вегетації призводить до пригнічення мікрофлори чорнозему опідзоленого, але впродовж вегетації на цих варіантах спостерігається значна активність мікрофлори. За одночасного застосування гербіцидів, що містять ацетохлор та органо-мінерального мікродобрива, а також при застосуванні гербіциду з діючою речовиною прометрин та наступною обробкою мікродобривом по листу кукурудзи збільшується біогенність чорнозему опідзоленого та підвищується врожай <i>Zea mays</i> L., про що свідчать розраховані коефіцієнти оліготрофності, мінералізації, олігонітрофільності та показник мікробіологічної трансформації органічної речовини ґрунту.</p>
<p><i>Ключові слова:</i></p> <p>ацетохлор; гербіцид; ґрунтові мікроорганізми; діюча речовина; прометрин; чорнозем опідзолений; <i>Zea mays</i> L.</p>	

E-mail: [artemborisovichro@gmail.com](mailto:artemborisovichro@gmail.com)

*Форма цитування:* Рокитянський А.Б. Дія органо-мінерального мікродобрива як засобу послаблення негативного впливу гербіцидів на ґрунтові мікроорганізми. *Агрехімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2019. С. 128-136. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-18>.

### 1. Вступ

За інтенсивної технології вирощування *Zea mays* L. у сучасному сільському господарстві використовують велику кількість хімічних засобів захисту рослин від бур'янів, шкідників і хвороб, які застосовують інтегровано, залежно від фази росту і розвитку с.-г. рослин. Значну частину цих ксенобіотиків становлять саме гербіциди – засоби для боротьби з бур'янами, які містять різноманітні синтетичні сполуки, що вільно не зустрічаються в природі [1, 2]. Окрім знищення небажаної рослинності, гербіциди, безумовно, впливають на мікробні угруповання ґрунту – пригнічують їх життєдіяльність або навіть призводять до загибелі чи трансформації [3, 4].

Мікробіологічний комплекс ґрунту здебільшого представлений бактеріями та мікроскопічними грибами, які продукують велике різноманіття ферментів, що беруть участь у розкладанні органічних речовин. Крім того ґрунтові мікроорганізми здатні мобілізувати поживні речовини мінеральних сполук і зробити їх доступними для рослин. Загальна ферментативна активність ґрунту прямо залежить від стану життєдіяльності його мікробіологічного комплексу, отже зниження активності ґрунтової мікрофлори відображається на ферментативній активності ґрунту. Оскільки велику роль у родючості ґрунтів відіграють саме ґрунтові мікроорганізми та їхні метаболіти (ферменти), то пригнічення їх розвитку призводить до зменшення врожайності сільськогосподарських культур [4, 5, 6].

<sup>1</sup> Науковий керівник – канд. біол. н., с.н.с. О.І. Старченко

Використання гербіцидів безумовно спричинює порушення рівноваги між різними еколого-трофічними групами ґрунтових мікроорганізмів. Діючі речовини гербіцидів, як хімічні сполуки з високою активністю, можуть впливати прямо або опосередковано на мікробіологічні процеси, що протікають у ґрунті незалежно від норми, строків та способу застосування. Проте послаблення хімічного навантаження на ґрунтові мікроорганізми та агробіоценоз в цілому можна досягти за допомогою елементів біологізації землеробства, наприклад, за допомогою застосування органо-мінеральних мікродобрив, біопрепаратів тощо [5, 7, 8].

Мета нашої роботи – дослідити зміни мікробного ценозу чорнозему опідзоленого, що відбуваються під дією сукупного застосування гербіцидів та органо-мінерального мікродобрива.

## 2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

У 2014 р. було закладено мікропольовий дослід на території ДП ДГ «Слобожанське дослідне поле» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» (сmt Коротич, Харківський р-н., Харківської обл.). Ґрунт – чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі. Досліджували дію двох гербіцидів різного класу небезпечності та органо-мінерального мікродобрива, внесених у ґрунт у посівах кукурудзи (гібрид) *Zea mays* L.

Гербіцид III-го класу небезпечності – Гезагард 500 FW к.с. – ґрунтовий гербіцид селективної дії для боротьби з дводольними та злаковими бур'янами на посівах: кукурудзи, сої, соняшнику та ін. Діюча речовина – прометрин (500 г/л), хімічний клас – триазини. Норма внесення 2,0–5,0 л/га. Спосіб внесення обприскування ґрунту до висівання, під час висівання, до появи сходів, захисна дія 10–12 тижнів [9].

Гербіцид II-го класу небезпечності – Трофі 90 ЕС к.е – селективний ґрунтовий гербіцид для захисту кукурудзи, соняшника та сої від однорічних злакових та дводольних бур'янів. Діюча речовина – ацетохлор, 900 г/л, хімічна група – хлорацетоміди. Норма внесення 1,5 – 2,5 л/га. Препарат застосовують до або після сівби. Захисна дія препарату триває 8-10 тижнів; препарат знищує бур'яни в момент їх проростання [10].

Органо-мінеральне мікродобриво *Humin plus* – у формі водної суспензії, виготовлене з екологічно чистого сапропелю та торфу (німецька заявка на патент №10 2012 100 315.7). *Humin plus* містить мікроелементи та стимулюючі речовини, необхідні рослинам у збалансованих пропорціях:  $K_2O$ ,  $\geq 16$  г/л;  $P_2O_5$ ,  $\geq 9$  г/л; N,  $\geq 8$  г/л; Mn,  $\geq 2,5$  мг/л; Zn,  $\geq 0,9$  мг/л; B,  $\geq 0,8$  мг/л; Cu,  $\geq 0,5$  мг/л; Mo,  $\geq 0,5$  мг/л; Co,  $\geq 0,3$  мг/л. Водневий показник рН мікродобрива становить 6,0-8,5.

Норми внесення препарату: передпосівна обробка ґрунту – препарат розводиться водою 1:500 (500 л робочого розчину на 1 га або 50 мл/м<sup>2</sup>); обприскування препаратом листової поверхні – препарат розводиться водою 1:1000 (300-500 л робочого розчину на 1 га або 30-50 мл/м<sup>2</sup>) [11].

Кукурудза «Елегія МВ» – простий модифікований гібрид, отриманий у 2005 році в Іванівському районі Одеської області. Вегетативний період 109-112 діб, урожайність – 68-74 ц/га; висота рослин – 205-222 см; маса тисячі зерен – 290-300 г. Сорт стійкий до полягання та посухостійкий; рекомендовано вирощувати як на зерно, так і на силос в зонах Лісостепу та Полісся [12].

Схема досліду включає 7 варіантів: 1 – Контроль (без внесення гербіцидів та мікродобрива); 2 – Гербіцид III-го класу; 3 – Гербіцид II-го класу; 4 – Гербіцид III-го класу + одночасне внесення мікродобрива; 5 – Гербіцид II-го класу + одночасне внесення мікродобрива; 6 – Гербіцид III-го класу + обробка мікродобривом по листу; 7 – Гербіцид II-го класу + обробка мікродобривом по листу.

Проби ґрунту для мікробіологічних досліджень було відібрано в два строки – на початку вегетації кукурудзи (у фазу розвитку 3-го – 5-го листків) і наприкінці вегетації (у фазу воскової стиглості зерна). Визначення чисельності основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів здійснювали методом мікробіологічного посіву ґрунтової суспензії відповідного розведення на тверді живильні середовища [13]: м'ясо-пептоновий агар (МПА) для визначення органотрофних бактерій; крохмально-амонійний агар (КАА) – мікроорганізмів, що засвоюють азот мінеральних сполук і актиноміцетів; середовище Ріхтера – мікроскопічних грибів; голодний агар (ГА) – оліготрофних мікроорганізмів; середовище Доберейнер та Ешбі – асоціативних азотфіксаторів; середовище Муромцева – мікроорганізмів, що мобілізують мінеральні фосфати; середовище Менкіної – мікроорганізмів, що мобілізують органічні фосфати [14].

Розрахункові показники, зокрема мінералізації, оліготрофності, евтрофності та олігонітрофільності, які характеризують напругу мінералізаційних процесів і трофічний режим ґрунту, визначали за співвідношенням окремих груп мікроорганізмів [15], інтегрований показник біогенності ґрунту (ІПБ) – за методикою на основі розрахунку сумарного біологічного показника за Дж. Ацці [16].

Отримані в результаті досліджень дані були статистично оброблені за методом дисперсійного аналізу у програмі STATISTICA 6.0.

### 3. Результати досліджень та їх обговорення

Відомо, що чисельність ґрунтових мікроорганізмів коливається протягом року, і залежить від багатьох абіотичних факторів: температура, вологість, газовий склад, рН, вміст поживних речовин тощо [4]. Також на коливання чисельності мікроорганізмів впливає с-г. діяльність людини, це внесення органічних та мінеральних добрив, хімічних засобів захисту рослин, мікроелементів, біопрепаратів тощо, що своєю чергою може призводити до збільшення, чи зменшення чисельності ґрунтових мікроорганізмів. Так застосування гербіцидів, може пригнічувати життєдіяльність одних мікроорганізмів і стимулювати інших [3, 4, 7].

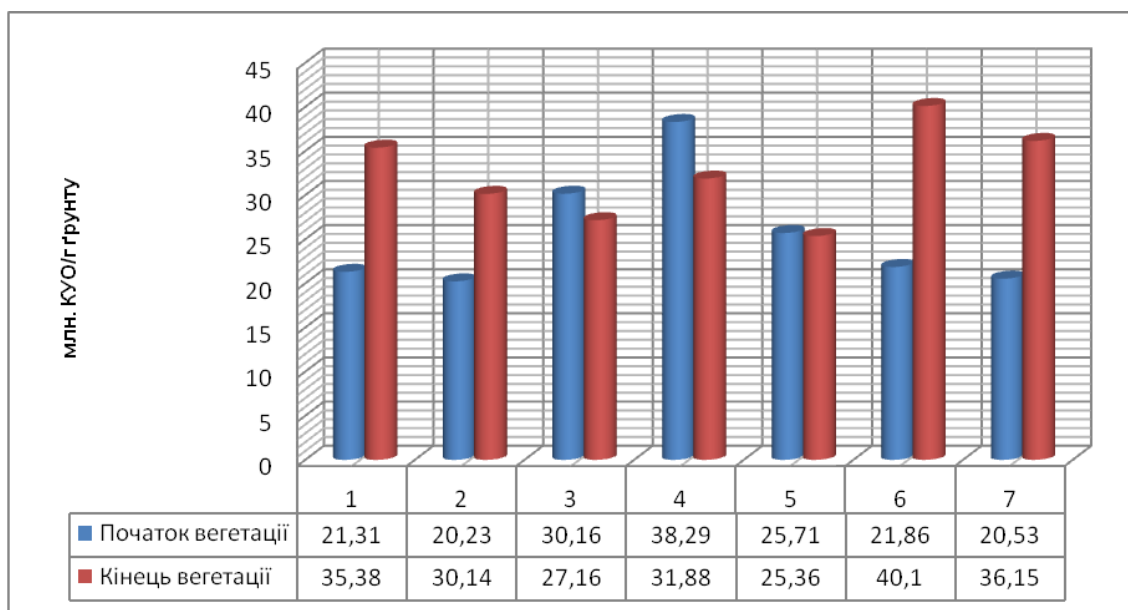
Ми дослідили вплив діючих речовин гербіцидів таких, як ацетохлор і прометрин, та шляхи зменшення їх негативного впливу на основні еколого-трофічні групи мікроорганізмів, мікробні ценози чорнозему опідзоленого.

*Мікроорганізми, що мобілізують органічні форми азоту.* В результаті досліджень було виявлено, що чисельність мікроорганізмів, які засвоюють органічні форми азоту (органотрофи), значно змінюється впродовж вегетації *Zea mays L.* На початку вегетації відмічалось зниження чисельності органотрофів на більшості варіантів в межах 0,82-8,08 КУО/г ґрунту, що відповідає 7-61 %, крім варіантів 2 і 3, де було застосовано гербіциди без мікродобрива. На цих варіантах спостерігалось збільшення чисельності мікроорганізмів даної групи, особливо на варіанті, який оброблено ацетохлором, де збільшення органотрофів сягало 22 % порівняно з контролем. Проте вже наприкінці вегетації кукурудзи на цьому варіанті відмічається зниження чисельності органотрофів майже вдвічі порівняно з контролем, що свідчить про негативну дію ацетохлору на органотрофні мікроорганізми, в той час, як окреме застосування прометрину суттєво не впливає на чисельність мікроорганізмів даної групи, яка протягом вегетації знаходиться в межах найменшої істотної різниці ( $НІР_{0,05}$ ).

В цілому застосування гербіциду III-го класу небезпечності з діючою речовиною прометрин, не чинить значного негативного впливу на мікроорганізми, що засвоюють органічні форми азоту, а застосування гербіциду з мікродобривом (обробка по листу) призводить до підвищення чисельності органотрофів чорнозему опідзоленого, в той час, як застосування гербіциду II-го класу небезпечності з діючою речовиною ацетохлор зменшує їхню чисельність, і обробка мікродобривом до суттєвих змін не призводить [18].

*Мікроорганізми, що мобілізують мінеральні форми азоту.* Серед мікроорганізмів, що засвоюють мінеральні форми азоту, на початку вегетації суттєвих змін не спостерігається крім варіантів, де поряд з гербіцидами одночасно застосовано органо-мінеральне мікродобриво. Так на 4-му та 5-му варіанті спостерігається зростання чисельності мікроорганізмів даної групи на 16,9 млн та 4,4 млн КУО/г ґрунту, що дорівнює 79 % та 20 % відповідно, від рівня контролю. Також збільшення чисельності мікроорганізмів відмічається на варіанті, де ґрунт окремо оброблено гербіцидом з діючою речовиною ацетохлор (Рис. 1).

Наприкінці вегетації кукурудзи, навпаки, відмічається незначне зниження чисельності мікроорганізмів на 3,9-10,0 млн КУО/г ґрунту, лише на 6-му та 7-му варіантах, які спочатку оброблені ґрунтовими гербіцидами, а після сходів кукурудзи – органо-мінеральним мікродобривом по листу, відмічається зростання чисельності мікроорганізмів, що засвоюють мінеральні форми азоту. Отже органо-мінеральне мікродобриво (незалежно від форми застосування) з прометрином стимулює збільшення чисельності мікроорганізмів даної групи, а при застосуванні мікродобрива з ацетохлором, стимулювання мікроорганізмів спостерігається лише на 7-му варіанті, який спочатку оброблений гербіцидом II-го класу небезпечності, а потім оброблений мікродобривом по листу *Zea mays L.*



Варіанти досліду: 1 – Контроль (без гербіцидів і мікродобрива); 2 – Гербіцид III класу; 3 – Гербіцид II класу; 4 – Гербіцид III класу + мікродобриво у ґрунт; 5 – Гербіцид II класу + мікродобриво у ґрунт; 6 – Гербіцид III класу + мікродобриво по листу; 7 – Гербіцид II класу + мікродобриво по листу.

**Рис. 1.** Зміна чисельності мікроорганізмів, що засвоюють азот мінеральних сполук, під впливом застосування гербіцидів та органо-мінерального мікродобрива

**Актиноміцети.** Протягом вегетації на контролі чисельність актиноміцетів не змінюється, проте на дослідних варіантах відмічаються певні коливання. На початку вегетації спостерігається зменшення чисельності актиноміцетів від 38 до 52 % на варіантах, де ґрунт оброблено гербіцидами, а листя кукурудзи – органо-мінеральним мікродобривом, а вже наприкінці вегетації чисельність актиноміцетів відновлюється до рівня контролю, або перевищує його.

Одночасне застосування гербіциду III-го класу небезпечності з діючою речовиною прометрин сукупно з органо-мінеральним мікродобривом на чисельність актиноміцетів майже не впливає; збільшення їхньої чисельності протягом вегетації знаходиться в межах  $HP_{0,05}$ . В той час як застосування гербіциду II-го класу небезпечності з діючою речовиною ацетохлор сукупно з органо-мінеральним мікродобривом, впродовж вегетації призводить до значного зменшення чисельності актиноміцетів чорнозему опідзоленого, так, на початку вегетації їхня чисельність менша від контролю на 5,97 млн КУО/г ґрунту, або на 48 %, наприкінці вегетації чисельність трохи збільшується, але також менше від контролю на 4,22 млн КУО/г ґрунту, або на 36 % [17,18].

Окреме застосування гербіцидів по-різному впливає на активність актиноміцетів, так гербіцид з діючою речовиною ацетохлор призводить до зменшення чисельності актиноміцетів наприкінці вегетації кукурудзи, в той час як на початку майже не впливає на їх чисельність, а при застосуванні прометрину, відбувається протилежна тенденція – зменшення чисельності на початку вегетації, та її відновлення наприкінці.

Отже, застосування прометрину з органо-мінеральним мікродобривом призводить до збільшення чисельності актиноміцетів чорнозему опідзолненого, в той час як застосування ацетохлору, навпаки, призводить до пригнічення актиноміцетів [19].

**Олігонітрофільні мікроорганізми.** Окреме застосування ґрунтових гербіцидів, майже не впливає на чисельність олігонітрофільних мікроорганізмів чорнозему опідзолненого протягом вегетації кукурудзи, відхилення від контроль становить 0,31-1,88 млн КУО/г ґрунту, що знаходиться в межах  $HP_{0,05}$ . Застосування органо-мінерального мікродобрива з гербіцидами призводить до зростання чисельності олігонітрофілів наприкінці вегетації рослин кукурудзи, особливо суттєві зміни спостерігаються на 4-му та 6-му варіанті, де застосовано прометрин з мікродобривом, так чисельність мікроорганізмів на цих варіантах зросла на 37 та 74 % відповідно. Також збільшення чисельності олігонітрофільних мікроорганізмів на 4,68 – 6,86 млн КУО/г ґрунту протягом вегетації спостерігається на варіанті, де одночасно з ацетохлором застосовано мікродобриво. Але на початку вегетації кукурудзи, на цих варіантах відмічалось зниження

кількості олігонітрофільних мікроорганізмів удвічі порівняно з контролем.

Отже в кінці вегетації *Zea mays L.* відмічається збільшення чисельності олігонітрофільних мікроорганізмів за сукупної обробки чорнозему опідзоленого гербіцидами різного класу небезпеки з органо-мінеральним мікродобривом, незалежно від способу застосування останнього.

*Асоціативні азотфіксувальні мікроорганізми.* Застосування гербіцидів разом з мікродобривом, одночасно чи послідовно призводить до зниження чисельності асоціативних азотфіксувальних мікроорганізмів на початку вегетації *Zea mays L.* від 4,09 до 8,88 млн КУО / г ґрунту, лише на 4-му варіанті, який оброблено прометрином та мікродобривом, їхня чисельність залишилась на рівні контролю. Слід зазначити, що за окремого застосування ґрунтових гербіцидів чисельність азотфіксаторів зменшується лише на 1,91–4,00 млн КУО/г ґрунту.

Під кінець вегетації на варіантах, де поряд з гербіцидами застосовувалось органо-мінеральне мікродобриво, спостерігається збільшення чисельності асоціативних азотфіксувальних мікроорганізмів до рівня контролю, окрім 6-го варіанту, де їхня чисельність перевищувала контроль на 35 % або 3,88 млн КУО / г ґрунту. Також збільшення чисельності цієї групи мікроорганізмів в кінці вегетації спостерігалось за окремого застосування гербіциду з діючою речовиною ацетохлор.

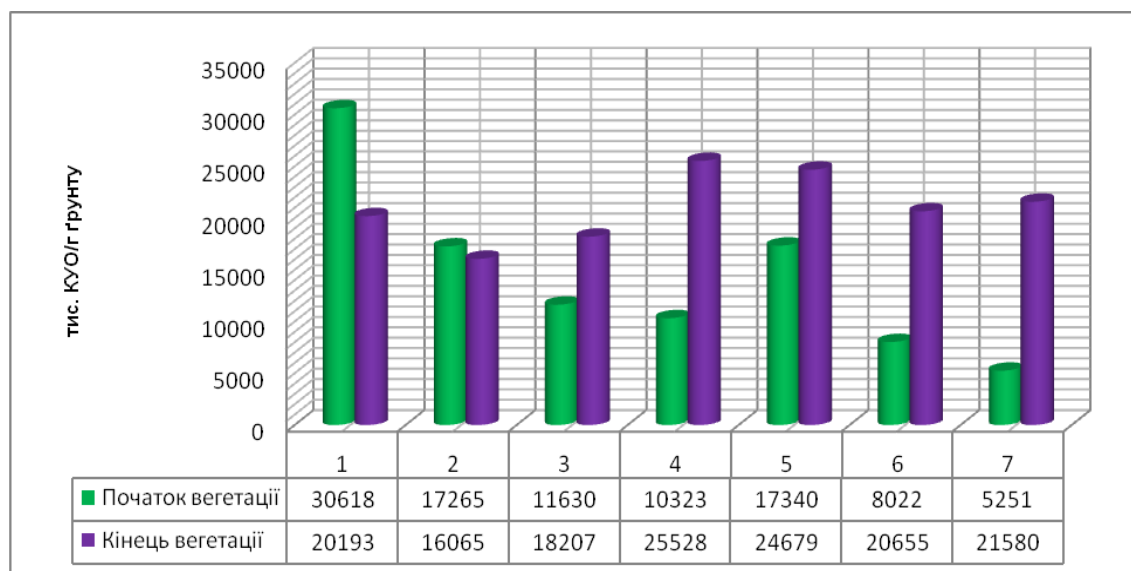
Застосування гербіциду II-го класу небезпечності одночасно з мікродобривом негативно позначається на чисельності мікроорганізмів, а застосування гербіциду III-го класу небезпечності з мікродобривом, навпаки, стимулює розвиток асоціативних азотфіксаторів, особливо при обробці кукурудзи по листу.

*Денітрифікувальні мікроорганізми.* На початку вегетації на всіх варіантах спостерігається зменшення чисельності денітрифікувальних мікроорганізмів на 38-69 % і тільки на варіанті, де одночасно з прометрином застосовано органо-мінеральне мікродобриво, чисельність денітрифікаторів знаходиться на рівні контролю. Наприкінці вегетації *Zea mays L.* на варіантах, які окремо оброблені гербіцидами та на 5-му варіанті, де також застосовувався ацетохлор, чисельність денітрифікувальних мікроорганізмів дещо нижче від контролю, натомість на інших варіантах, де застосовувалось органо-мінеральне мікродобриво, спостерігається зменшення мікроорганізмів даної групи в 3 рази залежно від варіанту. Оскільки денітрифікувальні бактерії призводять до втрати азоту в ґрунті, то застосування поряд з гербіцидом III-го класу небезпеки органо-мінерального мікродобрива, незалежно від форми застосування, дозволяє нейтралізувати це негативне явище.

*Оліготрофні мікроорганізми.* За окремого застосування гербіцидів з діючою речовиною прометрин та ацетохлор на початку вегетації *Zea mays L.* спостерігається збільшення чисельності оліготрофної мікрофлори на 22 та 66 %, або на 1,19 і 3,50 млн КУО / г ґрунту відповідно. А вже під кінець вегетації чисельність оліготрофів майже зрівнюється з контролем і знаходиться в межах  $HP_{0,05}$ . За застосування гербіцидів та обробки кукурудзи мікродобривом по листу спостерігається протилежна ситуація – на початку вегетації зменшення оліготрофів на 2,20–2,55 млн КУО / г ґрунту, а наприкінці вегетації відмічається збільшення чисельності мікроорганізмів даної групи, особливо на 6-му варіанті, на 52 % відносно контролю. За одночасного застосування гербіцидів з мікродобривами вони ведуть себе по різному, так прометрин призводить до підвищення вмісту оліготрофів протягом вегетації на 9-27 %, а застосування ацетохлору, навпаки, – до зменшення числа мікроорганізмів даної групи на 12-19 % відносно контролю.

Загалом при застосуванні гербіциду II класу небезпечності з мікродобривом чисельність оліготрофних мікроорганізмів менша, ніж при застосуванні мікродобрива з гербіцидом III класу небезпеки, але при окремому застосуванні гербіцидів спостерігається протилежна ситуація. Тобто, мікродобриво дозволяє нівелювати негативний процес зростання чисельності оліготрофів під впливом гербіцидів.

*Мікроскопічні гриби.* На початку вегетації, на варіантах, які оброблені гербіцидами з органо-мінеральним мікродобривом одночасно чи по листу, спостерігається значне зменшення чисельності мікроскопічних грибів, особливо на 6-му та 7-му варіантах (до 74 і 82 % порівняно з контролем) (Рис. 2). Варіанти, які оброблені окремо гербіцидами, також характеризуються, низькою чисельністю мікроскопічних грибів, але під кінець вегетації, на цих варіантах відмічається зростання чисельності грибною мікрофлори, порівняно з початком, проте чисельність грибів залишається меншою від контролю на 10-20 %. На 6-му та 7-му варіантах, які оброблені гербіцидами та мікродобривом по листу, чисельність грибною мікрофлори змінилася в межах  $HP_{0,05}$ , а на варіантах, які одночасно оброблені і гербіцидом і органо-мінеральним мікродобривом – зросла на 22-26 % порівняно з контролем.



*Варіанти досліді:* 1 – Контроль (без гербіцидів і мікродобрива); 2 – Гербіцид III класу; 3 – Гербіцид II класу; 4 – Гербіцид III класу + мікродобриво у ґрунт; 5 – Гербіцид II класу + мікродобриво у ґрунт; 6 – Гербіцид III класу + мікродобриво по листу; 7 – Гербіцид II класу + мікродобриво по листу.

**Рис. 2.** Зміна чисельності мікроскопічних грибів, під впливом застосування гербіцидів та органо-мінерального мікродобрива

Схожі результати у своїх дослідженнях наводять Nada A. Milošević та Mitar M., 2002, так при застосуванні хлорорганічних гербіцидів з діючими речовинами Лінурон та Алахлор протягом першого тижня спостерігається незначне зменшення мікроскопічних грибів, а потім, впродовж 90 діб, відмічається поступове зростання кількості грибної мікрофлори [17]. Отже, окреме застосування хлорорганічних гербіцидів протягом вегетації стимулює розвиток грибної мікрофлори, в той час як окреме застосування гербіциду з діючою речовиною прометрин (хімічний клас – триазини) його пригнічує.

*Мікроорганізми, що мобілізують мінеральні фосфати.* В ході досліджень було встановлено, що на початку вегетації мікроорганізми, які мобілізують мінеральні фосфати негативно реагують на застосування гербіцидів, особливо на внесення гербіциду III-го класу небезпечності, тобто, діюча речовина прометрин знижувала чисельність мікроорганізмів на 16,7 млн КУО / г ґрунту, а ацетохлор – на 11,3 млн КУО / г ґрунту порівняно з контролем.

За застосування гербіцидів з мікродобривом також спостерігається зменшення чисельності мікроорганізмів, найпомітніше на варіантах, де мікродобриво вносили по листу *Zea mays L.*

Наприкінці вегетації відбувається відновлення чисельності мікроорганізмів даної еколого-трофічної групи, на варіантах, які були оброблені крім гербіцидів також органо-мінеральним мікродобривом незалежно від виду застосування. Чисельність мікроорганізмів на цих варіантах знаходилась на рівні контролю в межах  $HP_{0,05}$ . При окремому застосуванні гербіцидів відмічається зростання чисельності мікроорганізмів, що мобілізують мінеральні форми фосфатів на 3,87-5,71 млн КУО / г ґрунту [19].

Отже за окремого застосування гербіцидів відмічаються найменші коливання чисельності мікроорганізмів, що мобілізують мінеральні форми фосфору протягом вегетації *Zea mays L.* У разі сукупного застосування гербіцидів та органо-мінерального мікродобрива, чисельність мікроорганізмів даної групи менше або нарівні контролю, що можна пояснити зростанням на цих варіантах чисельності мікроорганізмів інших еколого-трофічних груп.

*Мікроорганізми, що мобілізують органічні фосфати.* Окреме застосування гербіцидів по-різному впливає на мікроорганізми, що мобілізують органічні фосфати. Так гербіцид III-го класу небезпечності знижує чисельність мікроорганізмів до 61 % порівняно з контролем на початку вегетації, але протягом вегетації чисельність цієї групи мікроорганізмів відновлюється до рівня контролю. В той же час гербіцид II-го класу небезпечності, навпаки, майже не впливає на чисельність мікроорганізмів даної групи на початку вегетації, але призводить до її зростання на 51 % в кінці вегетації.

При застосуванні разом з гербіцидами органо-мінерального мікродобрива на початку вегетації спостерігається зменшення чисельності мікроорганізмів від 10 до 82 % відносно контролю залежно від діючої речовини гербіциду, і відновлення її чисельності до рівня контролю наприкінці. Суттєві зміни в чисельності мікроорганізмів, що мобілізують органічні фосфати, спостерігається лише при застосуванні гербіциду з діючою речовиною ацетохлор сукупно з мікродобривом незалежно від способу застосування.

Отже на всіх варіантах на початку вегетації кукурудзи спостерігається певне зниження чисельності фосфатмобілізувальних мікроорганізмів. Значне зменшення чисельності мікроорганізмів на 6-му та 7-му варіантах можливо пояснюється проявом синергетичного ефекту сукупної дії двох препаратів гербіциду з діючою речовиною прометрин або ацетохлор та органо-мінерального мікродобрива, кожен з яких має достатньо активні біологічні сполуки, що безумовно чинять потужний вплив, як на рослинні організми, так і на мікрофлору ґрунту [17, 19].

*Коефіцієнти.* Вплив сукупного використання ґрунтових гербіцидів з діючою речовиною прометрин або ацетохлор разом з органо-мінеральним мікродобривом *Humim plus* на стан мікробних ценозів чорнозему опідзоленого було оцінено за допомогою інтегрованого показника біогенності (ІПБ), який визначається методом відносних величин з урахуванням чисельності мікроорганізмів головних еколого-трофічних груп. Встановлено, що на початку вегетації кукурудзи на варіантах де окремо застосовувалися гербіциди спостерігається зменшення біогенності ґрунту, а також на 7-му варіанті, який оброблений гербіцидом, та мікродобривом по листу *Zea mays* L. [15, 16].

За отриманими даними було розраховано коефіцієнти оліготрофності, мінералізації, олігонітрофільності та показник мікробіологічної трансформації органічної речовини ґрунту (МТОРГ).

Показник оліготрофності розраховується, як відношення числа оліготрофних мікроорганізмів до числа евтрофів, та дозволяє судити про забезпеченість ґрунту поживними речовинами, доступними для мікроорганізмів і рослин. Якщо на початку вегетації цей показник нижче від контролю на варіантах де застосовувалось органо-мінеральне мікродобриво, то під кінець вегетації показник оліготрофності перевищує контроль, але в середньому за вегетацію кукурудзи найбільші значення цього показника спостерігаються на варіанті, де окремо застосовано гербіцид другого класу небезпечності з діючою речовиною ацетохлор, що свідчить про погіршення трофічного режиму чорнозему опідзоленого на цьому варіанті.

Показник мінералізації розраховується, як відношення кількості мікроорганізмів, що засвоюють мінеральний азот до кількості мікроорганізмів, що утилізують його органічні форми та вказує на інтенсивність мінералізаційних процесів і засвоєння азотних сполук у ґрунті. При застосуванні гербіцидів з органо-мінеральним мікродобривом спостерігається збільшення показника мінералізації від 28 до 82 % порівняно з контролем, що свідчить про інтенсивний перебіг мінералізаційних процесів у чорноземі опідзоленому на фоні застосування органо-мінерального мікродобрива. Окреме застосування прометрину зменшує мінералізацію, а застосування ацетохлору дещо збільшує.

Коефіцієнт олігонітрофільності розраховується, як відношення кількості олігонітрофільних мікроорганізмів до кількості мікроорганізмів, що утилізують органічні форми азоту, та характеризує процеси іммобілізації азоту у ґрунті. На початку вегетації під впливом застосування гербіцидів зменшується коефіцієнт олігонітрофільності, натомість на більшості варіантів, де було застосовано органо-мінеральне мікродобриво, спостерігається збільшення цього показника, а наприкінці вегетації на всіх варіантах відбувається збільшення коефіцієнта олігонітрофільності, особливо на варіантах, де разом з гербіцидами було застосовано органо-мінеральне мікродобриво, що свідчить про посилення процесів іммобілізації азоту в ґрунті.

Показник мікробіологічної трансформації органічної речовини ґрунту (МТОРГ) розраховується, як добуток суми кількості мікроорганізмів, що засвоюють органічний і мінеральний азот та їх відношення. У разі окремого застосування гербіциду II-го класу небезпечності та спільно з органо-мінеральним мікродобривом спостерігається зниження показника мікробіологічної трансформації органічної речовини ґрунту, а за аналогічного застосування гербіциду III-го класу, як окремо, так і з мікродобривом, навпаки, спостерігається підвищення МТОРГ, що вказує на більш високу біохімічну активність мікроорганізмів на цих варіантах [18, 19].

#### 4. Висновки

Встановлено, що застосування гербіцидів окремо чи в поєднанні з органо-мінеральним мікродобривом, по-різному впливає на чисельність окремих еколого-трофічних груп мікроорганізмів, причому вплив діючих речовин гербіцидів на мікрофлору чорнозему опідзоленого змінюється протягом вегетації кукурудзи.

Так окреме застосування гербіциду II класу небезпечності з діючою речовиною ацетохлор призводить до зменшення чисельності мікроорганізмів, що мобілізують органічні та мінеральні форми азоту, а також актиноміцетів, причому під кінець вегетації спостерігається найбільше пригнічення мікрофлори чорнозему опідзоленого. Застосування гербіциду III класу з діючою речовиною прометрин, навпаки стимулює активність мікроорганізмів даних еколого-трофічних груп.

На мікроорганізми фосфорного циклу, а саме мікроорганізми що мобілізують органічні та мінеральні форми фосфору, негативно впливає застосування гербіциду з діючою речовиною прометрин, натомість, застосування гербіциду II класу небезпечності навпаки стимулює зростання чисельності фосфатмобілізувальних мікроорганізмів.

Застосування поряд з гербіцидами органо-мінерального мікродобрива призводить на початку вегетації до зменшення чисельності мікроорганізмів що мобілізують, як органічні так і мінеральні форми фосфору, незалежно від способу застосування мікродобрива. Але протягом вегетації *Zea mays* L. відмічається значне зростання чисельності мікроорганізмів даної групи.

Отже окреме застосування гербіцидів призводить до зниження чисельності певних мікроорганізмів на початку (мікроскопічних грибів, денітрифікуючих бактерій, олігонітрофільних бактерій, асоціативних азотфіксуючих бактерій) або наприкінці (при застосуванні ацетохлору до зменшення чисельності мікроорганізмів азотного циклу) вегетації *Zea mays* L. Сукупне застосування наряду з гербіцидами органо-мінерального мікродобрива дещо зменшує негативний вплив діючих речовин гербіцидів на ґрунтові мікроорганізми, про що свідчать розраховані коефіцієнти оліготрофності, мінералізації, олігонітрофільності та показник мікробіологічної трансформації органічної речовини ґрунту.

#### Список використаних джерел

1. Паталаха Л.М., Горина И.Н., Булавіна Л.Г. Влияние гербицидов на активность почвы в посевах подсолнечника. *Защита и карантин растений*. 2009. № 3. С.26-27.
2. Урусбаев К. Влияние гербицидов на микрофлору *Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана*. 1975. № 8. С.45-48.
3. Заболотний О.І., Заболотна А. В. Мікробіологічна активність ґрунту при застосуванні гербіциду мерлін. *Молодий вчений*. 2014. №2(05). С. 16-20. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv\\_2014\\_2%2805%29\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2014_2%2805%29_4).
4. Ушанов Р.Н. Активность почвенных микроорганизмов – показатель устойчивости земледелия *Земледелие*. 2006. № 1. С.14-15.
5. Івасюк Ю.І., Карпенко В.П., Прутуляк Р.М. Біологічна активність ґрунту в агроценозі сої за роздільного та інтегрованого застосування гербіциду і біологічних препаратів. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2016. №5. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd\\_2016\\_5\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2016_5_7)
6. Abubacker M.N., Visvanathan M., Srinivasan S. Biodegradation of glyphosate herbicide by bacterial isolates from Banana (*Musa spp.*) *Plantation soil. Biolife*. 2016. Vol 4. Issue 2. 243-250. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/6365/25c9e7aa8b712bb49e0af6578249aeb52ca2.pdf>
7. Пищур І.М., Канівець В.І., Ларченко І.В. Вплив сучасних гербіцидів на формування соєво-ризобіального симбіозу за використання мікробного препарату ризогуміну. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2011. Вип. 14. С. 100-108. URL: [http://www.sg-microb.ho.ua/arh/pdf14/SM14\\_08.pdf](http://www.sg-microb.ho.ua/arh/pdf14/SM14_08.pdf)
8. Гутянський Р.А. Эффективность почвенных гербицидов в посевах сои. *Защита и карантин растений*. 2008. №3. С. 36-37.
9. Гезагард 500 FW к.с. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.syngenta.com/country/ua/uk/cropprotection/cropprotection/herbicides/Pages/gesagard.aspx>
10. Трофі 90 ЕС к.с. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.syngenta.com/country/ua/uk/cropprotection/cropprotection/herbicides/Pages/trofi90EC.aspx>
11. Органо-мінеральне мікродобриво Humin plus [Електронний ресурс]. URL: [huminplus.zakupka.com/articles/9369-humin-plus-organomineralnoe-guminovoe-universalnoe-mikruidobrenie/](http://huminplus.zakupka.com/articles/9369-humin-plus-organomineralnoe-guminovoe-universalnoe-mikruidobrenie/)
12. Кукурудза гібрид «Елегія МВ» [Електронний ресурс]. URL: [agroua.net/plant/catalog/cg-1/c-5/s912/](http://agroua.net/plant/catalog/cg-1/c-5/s912/)
13. ДСТУ 7847-2015 Якість ґрунту. Визначення чисельності мікроорганізмів в ґрунті методом висівання на тверде (агаризоване) поживне середовище [Чинний від 2016-07-01]. Київ, 2016. 10 с.
14. *Методы почвенной микробиологии и биохимии: учеб пособие* / [И.В. Асеева, И.П. Бабьева, Б.А. Бызов и др.]. под ред. Д.Г. Звягинцева Москва: Изд. МГУ, 1991. 304 с.
15. Муха В.Д. О показателях, отражающих интенсивность и направленность почвенных процессов. Сб. науч. тр. ХСХИ, т. 273, Харьков, 1980. С. 13-16.
16. Аци Дж. Сельскохозяйственная экология /пер. с англ. Н.А. Емельяновой, О.В. Лисовской, М.П. Шикеданц; под ред. В.Е. Писарева. Москва: Изд-во иностранной литературы, 1959. С. 242-243.

17. Nada A. Milošević and Mitar M. Govedarica Effect of herbicides on microbiological properties of Soil. Zbornik Matice srpske za prirodne nauke / Proceedings for Natural Sciences, Matrica Srpska Novi Sad, № 102.P. 5-21. 2002. <https://doi.org/10.2298/ZMSPN0201005M>

18. Рокитянський А.Б. Вплив сумісного застосування ґрунтових гербіцидів та органо-мінерального мікродобрива Humin plus на активність мікробного ценозу ґрунту на продуктивність *Zea mays L.* Стан і перспективи розвитку селекції та насінництва кукурудзи в умовах змін клімату: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (Харків, 7-9 лип., 2015 р.) / НААН, ін.-т рослинництва ім. В.Я. Юр'єва. Х., 2015. С. 76–78.

19. Рокитянський А.Б. Перебудова мікробного ценозу чорнозему опідзоленого під впливом гербіцидів різного класу небезпечності. Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Випуск 82. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» 2015. С. 108–112. URL: [http://agrosoil.yolasite.com/resources/2015\\_AiG\\_82\\_pp\\_108-112-UA.pdf](http://agrosoil.yolasite.com/resources/2015_AiG_82_pp_108-112-UA.pdf)

UDC 631.461

## The action of organo-mineral microfertilizer as a way of mitigating the negative effects of herbicides on soil microorganisms

A.B. Rokityanskyi

NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, Ukraine  
E-mail: [artemborisovichro@gmail.com](mailto:artemborisovichro@gmail.com)

The aim of the work was to show the possibility of reducing the negative impact of herbicides of different classes of danger on the main ecological and trophic groups of microorganisms (microorganisms mobilizing organic and mineral forms of nitrogen, actinomycetes, oligotrophs, oligonitrophilic and associative nitrogen fixing microorganisms, microscopic fungi, microorganisms mobilizing organic and mineral forms of phosphorus) in chernozem podzolized, with the joint use of herbicides with elements of the biologicalization of agriculture. It has been established that with the help of different methods of application of organo-mineral microfertilizer (simultaneous treatment with herbicide and microfertilizer or treatment of soil with a herbicide with subsequent processing of corn microfertilizer by leaf) together with herbicides (promethrin III class of hazard and acetochlor II class of hazard), it is possible to reduce the negative influence of active substances of herbicides on soil microorganisms. It is established that for a separate application of herbicides as the stimulation of certain ecological trophic groups of microorganisms, and their inhibition occur. The application of herbicide with the active substance of promethrin causes an increase in the number of microorganisms mobilizing organic and mineral forms of nitrogen and actinomycetes, and the application of a herbicide with the active substance acetochlor causes them to decrease. In another way, herbicides affect microorganisms that mobilize organic and mineral forms of phosphorus: acetochlor stimulates the growth of the number of microorganisms in these ecologotorphic groups, and promethrin, by contrast, suppresses. Application of herbicides organomineral microfertilizers, as a rule, at the beginning of the vegetation leads to inhibition of the microflora of chernozem podzolized, but during the vegetation in these variants, there is a significant activity of the microflora. With the simultaneous use of herbicides containing acetochlor and organo-mineral microfertilizers, as well as applying a herbicide with the active substance of promethrin and the subsequent processing of microfertilizer on a corn leaf the biogenicity of Chernozem podzolized increases and the *Zea mays L.* yield increases, as evidenced by the calculated oligotrophic coefficients, mineralization, oligonitrophility and the microbiological transformation of the organic matter of the soil.

**Keywords:** acetochlor; herbicide; soil microorganisms; active substance; promethrin; chernozem podzolized; *Zea mays L.*

**Citing:** Rokityanskyi A.B. 2019. The action of organo-mineral microfertilizer as a means of mitigating the negative effects of herbicides on soil microorganisms. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 128-136. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-18>.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**АГРОХІМІЯ і  
ГРУНТОЗНАВСТВО**

**Випуск 88**

**Міжвідомчий тематичний науковий збірник**

**Відповідальний за випуск канд. с.-г. наук Т.М. Лактіонова**

**Адреса редколегії: 61024, Харків, вул. Чайковська, 4,  
тел.: (057) 704-16-69;  
e-mail: [agrochemsoilsci.org@gmail.com](mailto:agrochemsoilsci.org@gmail.com);  
[www. agrochemsoilsci.org](http://www.agrochemsoilsci.org)**

Підписано до друку 30.08.2019. Формат 6090/8.  
Папір офсетний. Гарнітура «Таймс».  
Наклад 100 пр. Зам. №

Надруковано у ТОВ «Смугаста типографія»  
Україна, 61002, Харків, вул. Чернишевська, 28а.  
057 754-49-42