

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК
УКРАЇНИ

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

АГРОХІМІЯ і ҐРУНТОЗНАВСТВО

МІЖВІДОМЧИЙ
ТЕМАТИЧНИЙ
НАУКОВИЙ
ЗБІРНИК

89

Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник.
Випуск 89. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2020. 111 с.

AGROCHEMISTRY AND SOIL SCIENCE. Collected papers.
No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, 2020. 111 p.

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

Згідно з наказом МОН України № 1643 від 28.12.2019 збірник внесено до Переліку наукових фахових видань України в галузях сільськогосподарські та біологічні науки за спеціальностями:
201 – Агрономія і 091 – Біологія і включено до групи «Б»

Мови видання: українська, англійська, російська

Редакційна колегія:

С.А. Балюк д.с-г.н. (відповідальний редактор); ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
А.Б. Ачасов д.с-г.н.; Харківський національний аграрний ун-т ім. В.В. Докучаєва
А.Д. Балаєв д.с-г.н.; Національний ун-т біоресурсів і природокористування України
Т.Ю. Биндич к.б.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
В.А. Величко д.с-г.н.; Державне видавництво «Аграрна наука» НААН
З.Г. Гамкало д.б.н.; Львівський національний ун-т імені Івана Франка
Г.М. Господаренко д.с-г.н.; Уманський національний ун-т садівництва
Ю.М. Дмитрук д.б.н.; Чернівецький національний ун-т ім. Ю. Федьковича
В.В. Іванина д.с-г.н.; Інститут енергетичних культур і цукрових буряків НААН
Т.М. Лактіонова к.с-г.н. (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.Г. 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
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 № 05 від 16.03.2020 р.

ISSN 0587-2596
e-ISSN 2616-6852
DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89>

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

ЗМІСТ / CONTENT

ВЛАСТИВОСТІ й РЕЖИМИ ҐРУНТІВ / SOIL PROPERTIES and REGIMES

Лактіонова Т.М., Бігун О.М., Накісько С.Г., Уваренко К.Ю. Конструктивні та функціональні особливості провідних світових баз ґрунтових даних. Аналітичний огляд. <i>Laktionova T.M., Bigun O.M., Nakisko S.G., Uvarenko K.Yu.</i> Design and functional features of the world's leading soil databases. Analytical review	4
Дмитрук Ю.М., Захаровський В.А. Можливості програми Hydrus-1D в Оцінюванні водного режиму ґрунтів. <i>Dmytruk Y.M., Zakharovskyi V.A.</i> Hydrus's-1D capability for assessment of soils water regime.....	18
Трускавецький Р.С., Паламарь Н.Ю. Рухомі форми заліза в мікроелементному режимі алювіально-лучного ґрунту. <i>Truskavetskyi R.S., Palamar N.Yu.</i> Movable forms of iron in the trace element mode of alluvial meadow soil	28
Паньків З.П., Малик С.З., Ямелинець Т.С. Діагностичні критерії елементарних ґрунтоутворних процесів у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття. <i>Pankiv Z.P., Malyk S.Z., Yamelynets T.S.</i> Diagnostic criteria for elementary soil-forming processes in profile-differentiated soils of the Precarpathian region	34
Воротинцева Л.І. Системний підхід до сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів в умовах змін клімату <i>Vorotyntseva L.I.</i> Systematic approach to sustainable management of irrigated soils in the face of climate change	41

ҐРУНТОВЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН / SOIL NUTRITION of PLANTS

Мірошниченко М.М., Звонар А.М., Панасенко Є.В., Леонов О.Ю. Надходження елементів живлення до рослин пшениці озимої різних сортів у контрастні за погодними умовами роки <i>Miroshnychenko M.M., Zvonar A.M., Panasenko Ye.V., Leonov O.Yu.</i> Inputs of nutrients to winter wheat plants of different varieties in years, contrasting in weather	51
Господаренко Г.М., Прокопчук І.В., Бойко В.П. Засвоєння основних елементів живлення соєю з ґрунту й добрив <i>Hospodarenko H.M., Prokopchuk I.V., Boiko V.P.</i> Soybean uptake of essential nutrients from soil and fertilizers	63
Погромська Я.А. Фосфатний режим чорнозему звичайного залежно від способів обробітку ґрунту та метеорологічних факторів. <i>Pogromska Ya.A.</i> The content of phosphates in the soil depending on the method of tillage and meteorological factors	71

МЕТОДОЛОГІЯ ДИСТАНЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ / METHODOLOGY of REMOTE RESEARCH

Чорний С.Г., Садова Д.Ш. Діагностика еродованих чорноземів південних за допомогою багатоспектральних супутникових зображень «Ландсат-8» <i>Chorny S.G., Sadova D.Sh.</i> Diagnosis of chernozem southern eroded using of Landsat-8 multispectral satellite images	83
Пасічник Н.А., Лисенко В.П., Опришко О.О. Методичні підходи до ідентифікації рослин в оптичному діапазоні за моніторингу з використанням безпілотного літального апарату <i>Pasichnyk N.A., Lysenko V.P., Opryshko O.O.</i> Methodical approaches for the identification of plants in the optical range by monitoring crops using Unmanned aerial vehicles (UAVs)	90

ІСТОРИЯ НАУКИ / HISTORY of SCIENCE

Кандаурова О.Д., Жидких І.П. Микола Михайлович Сибірцев. До 160-річчя від дня народження видатного ґрунтознавця, геолога й агронома <i>Kandaurova O.D., Zhydkykh I.P.</i> Nikolay Mikhailovich Sibirtsev. The 160 th anniversary of the birth of a famous soil scientist, geologist and agronomist	98
--	----

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ / RESEARCH of YOUNG SCIENTISTS

Вільна Н.В. Порівняльна характеристика властивостей чорнозему південного на вододілі та схилі у Правобережному Степу України <i>Vilna N.V.</i> Comparative characteristics of chernozem southern properties on the watershed and slope in the Right-bank Steppe of Ukraine	105
---	-----

ВЛАСТИВОСТІ Й РЕЖИМИ ҐРУНТІВ SOIL PROPERTIES and REGIMES

УДК 631.4

Конструктивні та функціональні особливості провідних світових баз ґрунтових даних. Аналітичний огляд

Т.М. Лактіонова*, О.М. Бігун, С.Г. Накісько, К.Ю. Уваренко

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 04.01.2020 Отримано після доопрацювання 08.02.2020 Затверджено до друку 16.03.2020 Доступно онлайн 01.06.2020</p> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>атрибути; база даних; ґрунт; конструкція; метадані.</p>	<p>Розробка концепції конструктивних і функціональних основ Ґрунтової інформаційної системи України має базуватися на аналізі відомостей про існуючі у світі ґрунтові інформаційні центри та бази даних. Для цього виконано аналітичний огляд сучасних світових публікацій у наукових журналах та інших інформаційних виданнях. Загальний перелік опрацьованих публікацій включає більше 90 наукових статей, презентацій, інструкцій, посібників, веб-сторінок тощо. В оглядовій статті представлено основні результати аналітичного дослідження і висновки щодо можливості впровадження в Україні різних аспектів позитивного досвіду світового ґрунтознавства у створенні баз ґрунтових даних. Роботу проведено трьома етапами. Перший – експертний огляд опублікованих матеріалів з відповідної тематики у зарубіжних виданнях з метою визначення основних світових міжнародних центрів ґрунтової інформації і провідних баз даних, найбільш використовуваних у світовому товаристві ґрунтознавців. В результаті представлено перелік провідних міжнародних інформаційних центрів з вказівками на місце їх локалізації і джерела інформації. Другий етап – детальне вивчення конструктивних характеристик, принципів функціонування і методів перетворення інформації у трьох найбільш відомих міжнародних базах ґрунтових даних: SOTER: Soil and Terrain database – База даних ґрунтів і земель; GSM: Global Soil Map – Карта ґрунтів Світу; WoSIS: World Soil Information Service – Світова ґрунтова інформаційна служба. Узагальнено інформацію про перелік атрибутів у кожній базі даних, способи їх кодування, спільні підходи до конструкції таблиць, нормування параметрів, формування набору метаданих тощо. І на третьому етапі було визначено перелік найбільш інноваційних особливостей конструкції національних баз даних у різних країнах Європи і світу, прийнятних для застосування в Україні.</p>

* E-mail: tnlaktionova@ukr.net

Форма цитування: Лактіонова Т.М., Бігун О.М., Накісько С.Г., Уваренко К.Ю. Конструктивні та функціональні особливості провідних світових баз ґрунтових даних. Аналітичний огляд. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2020. С. 4-17. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-01>.

1. Провідні міжнародні ґрунтові інформаційні центри та бази даних

Для успішного менеджменту ґрунтових ресурсів у локальному та регіональному масштабах важливим є використання всіх засобів для забезпечення інформаційної основи щодо стану ґрунтів та еволюції їхніх функцій у сучасному режимі використання.

На сьогодні актуальним для України є вирішення проблеми збереження і доступності ґрунтових і супутніх даних (до цього часу акумульованих переважно у паперових архівних матеріалах і картах), які є основою для розповсюдження об'єктивної інформації про стан ґрунтів та їх якість шляхом створення інформаційних продуктів, а також для прийняття обґрунтованих рішень щодо використання та збереження ґрунтів на різних рівнях, в тому числі, державному. В міжнародній практиці ці питання вирішено шляхом створення національних баз ґрунтових даних та інформаційних систем у різних країнах світу та формування і підтримки великих міжнародних баз даних, які є комплексом інтегрованих інформаційних ресурсів для накопичення й опрацювання відомостей про якість та стан ґрунтів світу.

Необхідним кроком у розробці концепції конструктивних і функціональних основ Ґрунтової інформаційної системи України є аналіз відомостей з літературних та інших інформаційних джерел про ті ґрунтові інформаційні центри та бази даних, що вже існують у світі. Роботу проведено трьома етапами. Перший – експертний огляд великої кількості опублікованих у зарубіжних виданнях матеріалів з відповідної тематики з метою визначення переліку основних інформаційних центрів з найбільш використовуваними у світовому товаристві ґрунтознавців базами даних і найбільш цитованими публікаціями і авторів. Другий – детальне вивчення характерних конструктивних особливостей, принципів функціонування і методів перетворення інформації у трьох обраних

міжнародних баз даних: SOTER: Soil and Terrain database – База даних ґрунтів і земель; GSM: Global Soil Map – Карта ґрунтів Світу; WoSIS: World Soil Information Service – Світова ґрунтова інформаційна служба. І на третьому етапі було досліджено особливості створення і функціонування національних баз ґрунтових даних у різних країнах світу і сформульовано перелік найбільш інноваційних підходів і конструктивних рішень щодо створення баз ґрунтових даних, прийнятних для впровадження в Україні.

Загальний перелік опрацьованих публікацій включає більше 90 наукових статей, презентацій, інструкцій, посібників, веб-сторінок тощо. В результаті експертного аналізу публікацій на першому етапі виявлено і сформульовано перелік основних світових міжнародних центрів ґрунтової інформації і провідних баз даних (Табл. 1.).

Таблиця 1

Провідні міжнародні ґрунтові інформаційні центри та бази даних

Інформаційний центр	База даних, джерело інформації
ISRIC: World Soil Information – Міжнародний ґрунтовий довідково-інформаційний центр. Вагенінген, Нідерланди	ISIS (1990): ISRIC Soil Information Service – Ґрунтовий Інформаційний сервіс ISRIC [1,2];
	SOTER (1986): Soil and Terrain database – База даних ґрунтів і земель [3];
	WISE: World Inventory of Soil Emission Potentials – Світова інвентаризація потенціалів ґрунтової емісії [4,5];
	WoSIS: World Soil Information Service – Світова ґрунтова інформаційна служба [6,7];
JRC: Joint Research Centre – European Commission – Спільний дослідницький центр Європейської Комісії. Іспра, Італія	AfSP: Africa Soil Profile Database – База профільних ґрунтових даних Африки [8]
	LUCAS: Land Use/Cover Area frame Statistical Survey – База даних моніторингу земель Європейського Союзу [9,10];
	GSM: Global Soil Map – Карта ґрунтів Світу [11];
ESDAC: European Soil Data Centre. Іспра, Італія	EU HYDI: European HYdropedological Data Inventory – Інвентаризація європейських ґрунто-гідрологічних даних [12]
	ESDB: European Soil Database – Європейська ґрунтова База даних [13]
FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Рим, Італія	HWSD: Harmonized World Soil Database – Гармонізована світова база даних [14,15];
	EuSIS: European Soil Information System – Європейська ґрунтова інформаційна система [16]

Із переліку вибрали три найбільших міжнародних бази ґрунтових даних для дослідження можливості використання їхніх методичних і конструктивних особливостей з метою впровадження у Ґрунтовій інформаційній системі України і бази профільних ґрунтових даних. Детальний аналіз конструкцій та порядку використання трьох обраних міжнародних баз даних виконано з опрацювання сучасних публікацій авторів і розробників цих баз даних у провідних виданнях і інтернет-ресурсах. Результати аналізу і висновки представлено у наступних розділах.

2. База даних Global Soil and Terrain Database (SOTER)

SOTER – Глобальна цифрова база даних ґрунтів і земель (Global Soil and Terrain Database), створена Міжнародним ґрунтовим довідково-інформаційним центром (ISRIC) за підтримки Продовольчої та сільськогосподарської організації Об'єднаних Націй (FAO), Програми ООН з навколишнього середовища (UNEP) та міжнародного союзу ґрунтознавців (IUSS) [17, 18, 19]. Метою проекту SOTER є використання інформаційних технологій для створення Світової бази даних ґрунтів та земель (World Soils and Terrain Database), що вміщує оцифровані одиниці карт та їх атрибутивні дані. Основна функція цієї бази даних – забезпечити необхідні дані для картографування та моніторингу змін світових ґрунтових ресурсів.

Вперше ідею створення Глобальної цифрової бази даних ґрунтів, запропонував у своїй дискусійній статті W.G. Sombroek [18]. У 1986 році Міжнародним товариством ґрунтознавців було організовано семінар міжнародних експертів, щоб розробити та обговорити структуру цифрової бази даних. За результатами семінару було написано

проектну пропозицію Глобальної цифрової бази даних ґрунтів і земель в масштабі 1:1 млн. Також було призначено невеликий міжнародний комітет, який розробив "універсальну" легенду для складання дрібномасштабних карт, а також перелік атрибутів, які можна використати для широкого кола досліджень, таких як оцінювання придатності земель для вирощування сільськогосподарських культур, придатності до зрошування, схильності ґрунтів до деградації, продуктивності лісів, глобальних змін навколишнього середовища, для агроекологічного зонування та ін. У 1987 році Програмою UNEP було організовано спеціальне засідання, присвячене питанням деградації ґрунтів та можливості застосування методології SOTER для підготовки карти деградації ґрунтів Світу у межах проекту GLASOD [18]. У 1992 році UNEP організувала другий семінар з методології SOTER, де FAO висловила свою цілковиту підтримку і готовність використовувати методологію SOTER для зберігання та оновлення власних даних про світові ґрунтові ресурси. З того часу під егідою FAO та ISRIC, а також у співпраці з великою кількістю національних ґрунтових інститутів, було розроблено на різних континентах понад 30 цифрових карт SOTER різного масштабу та бази даних до них.

База даних SOTER складається з ГІС-карти полігонів – (SOTER-одиниць) та набору таблиць з атрибутивними даними (у форматі MS Access або PostGreSQL), які пов'язані з картографічними одиницями [20].

Основою SOTER-підходу є картографування певної територіальної одиниці – SOTER-unit (SU) з характерним типом форми земної поверхні, форми схилу, з характерною ґрунотвірною породою та ґрунтовим покривом. Кожна окрема SU, таким чином, представлена однією унікальною комбінацією земельних і ґрунтових характеристик. Основними джерелами для визначення SU є топографічні, геоморфологічні, геологічні карти та карти ґрунтів, а також цифрові моделі рельєфу і супутникові знімки.

Атрибутивна частина БД SOTER налічує 139 показників, вміст її структуровано у такі блоки даних:

- характеристика SU - інформація про форму поверхні, висоту над рівнем моря, домінують крутість схилів та домінують ґрунотвірну породу (15 полів);

- опис територіального компоненту (TC) як частини SU – інформація про довжину та форму схилів, які переважають у межах TC, тип, походження та гранулометричний склад ґрунотвірної породи, глибину залягання підґрунтових вод (17 полів);

- характеристика ґрунтового компоненту (SC), компоненту структури ґрунтового покриву на території SU – інформація про класифікаційне положення ґрунту в системі WRB (2006), гранулометричний склад ґрунту, каменистість поверхні та характеристики прояву процесів ерозії (23 поля);

- опис місця розташування профілю ґрунту – точна координатна прив'язка, ґрунотвірна порода, рослинність, що домінує, назва ґрунту за національною класифікацією та класифікацією WRB, а також довідкові дані про національну базу даних, яка надала опис профілю ґрунту та лабораторію, яка виконувала аналізи (19 полів);

- дані про властивості ґрунту у межах генетичних горизонтів – інформація про потужність горизонтів, їхні морфологічні характеристики, хімічний склад, катіонно-обмінні, кислотно-основні, фізичні властивості (65 полів).

Атрибутивна частина також зберігає відомості про методи аналізування, первинні бази даних, лабораторії та посилання на джерела опублікованої інформації.

БД SOTER розроблялась як глобальна інформаційна система для моніторингу стану світових ґрунтових ресурсів, тому для кодування класифікаційних ознак ґрунту використовуються Світова реферативна база ґрунтових ресурсів (WRB) [21] та коди ґрунтів у легенді ґрунтової карти світу FAO 1988 року [22], а для кодування та визначення деяких властивостей ґрунтів – Посібник з опису ґрунтів FAO [23].

Доступ до наборів даних БД SOTER та цифрових SOTER-карт, що створені за участі ISRIC здійснюється через веб-сервіс Soil Data Hub [24]. Користування даними, що представлені на веб-сайтах та веб-ресурсах ISRIC надається відповідно до прийнятої політики щодо даних та програмного забезпечення ISRIC стосовно управління, цитування, доступу та використання програмного забезпечення [25].

Серед прийнятних для запозичення особливостей БД SOTER слід відмітити такі: атрибутивна частина БД вміщує дані про основні властивості ґрунту та характеристики рельєфу, які є важливими для агро-екологічного моніторингу; дані із БД можуть бути використані для широкого кола досліджень – оцінювання прояву різних видів деградації ґрунту та вразливості до забруднення та іншого антропогенного впливу, моделювання запасів ґрунтового органічного вуглецю та ін.

В результаті аналізу виявлено також деякі моменти організації даних, яких, очевидно, слід уникати: спрощена модель даних для опису профільного розподілу

властивостей ґрунту (включає тільки два об'єкти – профіль і генетичний горизонт, поза увагою при цьому залишаються окремі шари ґрунту у межах горизонту; відсутність інформації про спосіб добування даних (оригінальні експериментальні дані чи розрахункові); вказано методи лише для частини показників, що ускладнює гармонізацію та обумовлює неоднозначність інтерпретації значень показників; використано додаткове (проміжне) шифрування, яке ускладнює розуміння даних.

3. База даних Global Soil Map

Global Soil Map (GSM) – Карта ґрунтів світу (або Глобальна карта ґрунтів) – глобальний консорціум, який був створений з координаційними інститутами та центрами на кожному континенті. Проект Global Soil Map є ініціативою Робочої групи з цифрової картографії ґрунтів IUSS. Глобальним координатором цієї ініціативи є ISRIC. Ідея проекту була започаткована Робочою групою IUSS ще у 2006 році на 2-му Всесвітньому семінарі з цифрового картографування ґрунтів у Ріо-де-Жанейро, а 2009 року в Нью-Йорку (США) було підписано консорціум щодо створення проекту GSM, загальна координація якого здійснюється відомими вченими: Alfred E. Hartemink (від ISRIC); Alex McBratney (University of Sydney); Pedro Sanchez (Columbia University). За час роботи проекту було опубліковано понад 30 статей та написано 5 книг [11].

Мета проекту – створити нову цифрову карту ґрунтів світу, яка базуватиметься на використанні сучасних технологій картографування і методів прогнозування стану ґрунтів. Завдання: забезпечити підтримку прийняття рішень для розв'язання глобальних питань у масштабах від фермерського господарства до окремих континентів, таких як виробництво продуктів харчування, викорінення голоду, зміна клімату, деградація довкілля тощо [26, 27]. Кінцевою метою проекту є створення вільно завантажуваного набору даних високої роздільної здатності щодо основних властивостей ґрунту. Цей набір даних включатиме 504 млрд даних.

Отримання нових первинних даних про ґрунти шляхом відбирання проб ґрунту та нових обстежень потребувало б астрономічних витрат, тому проект GSM максимально використовує ті дані, що вже існують. Кожен постачальник даних несе відповідальність за повне документування внесених даних та процедур, які використовуються для генерації продуктів. Ця документація буде вказана як метадані, додані до кожного продукту [28].

Для глобального зіставлення та представлення узгоджених стандартизованих даних було розроблено методологію глобального цифрового картографування [29] та специфікації продукту GlobalSoilMap [29]. Для доступності даних широкому колу користувачів створено веб-сайти, де зібрано набори даних про ґрунти.

Згідно зі специфікацією проекту [29], GlobalSoilMap буде представляти приблизні значення (і міру невизначеності) для узгодженого набору властивостей ґрунту, що представляє два глобально визначених просторових об'єкта: первинний просторовий об'єкт рівня 1 – точне місце з визначеними координатами X, Y та вторинний просторовий об'єкт рівня 2 – 4-об'ємна комірка сітки (воксель), яка представляє площу 100 на 100 м у горизонтальних розмірах, центрованих у точках, визначених первинним просторовим об'єктом. У вертикальному напрямі передбачено опис для кожного просторового об'єкта дванадцяти властивостей ґрунтів на шести стандартних глибинах: 0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 та 100-200 см (Табл. 2). Кожна властивість ґрунту буде мати оцінку невизначеності, пов'язаної з прогнозом для кожної глибини для кожного розташування сітки. Невизначеність визначається як інтервал прогнозування 95 % (PI), який є діапазоном значень, в межах якого очікується, що істинне значення в будь-якому місці прогнозування буде знайдено 19 разів з 20. До кожної з властивостей ґрунту необхідно вказати дату відбирання проб.

Стосовно застосування конструктивних особливостей БД GlobalSoilMap у розробці структури і функцій профільної БД ґрунтів України слід констатувати, що всі 12 показників, які входять в атрибутивну частину, мають певні аналоги у застосовуваних в Україні дослідженнях. Однак, для більш повної гармонізації, до ґрунтової БД України слід додати декілька атрибутів (Табл. 2). Це №№ 5-8 – дані щодо гранулометричних фракцій, які, згідно з українською класифікацією гранулометричного складу, вимірюються іншими розмірами, але можуть бути перераховані з використанням спеціальних методів і атрибут №11 – дані щільності будови окремо дрібнозему, вимірювання, які не є типовими для обстежень ґрунтів в Україні.

Таблиця 2

Властивості ґрунту, включені у БД Global Soil Map [за 29]

Властивість (атрибут)	Короткий опис атрибуту і методу визначення
1. Загальна глибина профілю (см)	Глибина до контакту з твердою породою, як визначено в Інструкції з обстеження ґрунту USDA. Якщо глибина <200 см, або > 200 см, записати фактичну глибину [30]
2. Рослинна (ефективна) глибина ґрунту (см)	Нижня межа біологічної активності, кореневмісного шару місцевих багаторічних рослин. Ця глибина є там, де проникнення коренів сильно гальмується через фізичні (включаючи вологість або температуру ґрунту) та / або хімічні характеристики [30]
3. Вміст органічного вуглецю (г/кг)	Масова частка вуглецю у матеріалі ґрунту <2 мм (дрібнозем), що визначається сухим спалюванням при 900 °C (ISO 10694)
4. pH	1:5 ґрунт / вода (ISO 10390)
5. Вміст мулу (г/кг)	Масова частка фракції <2 мкм у матеріалі ґрунту <2 мм, визначена методом піпетки [31]
6. Вміст пилу (г/кг)	Масова частка фракції 2-50 мкм у матеріалі ґрунту <2 мм, визначена методом піпетки [31]
7. Вміст піску (г/кг)	Масова частка фракції 50 мкм - 2 мм у матеріалі ґрунту <2 мм, визначена методом піпетки [31]
8. Крупнозернисті фрагменти (гравій) (M ³ m ⁻³)	Масова частка ґрунтового матеріалу > 2 мм [31]
9. Ємність катіонного обміну (ммоль/кг)	Катіони, витяжка з BaCl ₂ + обмінний H + Al (ISO 11260)
10. Щільність будови ґрунту (по всьому профілю) (Mg/m ³)	Щільність будови всієї маси ґрунту (включаючи грубі фрагменти) у масовій одиниці об'єму методом, еквівалентним основному методу, і за допомогою педотрансферної функції (ISO 11272)
11. Щільність будови дрібнозернистої фракції ґрунту (<2 мм) (Mg/m ³)	Насипна щільність дрібнозернистої фракції ґрунту (<2 мм) в масі на одиницю об'єму за методом, еквівалентним основному методу, і за допомогою педотрансферної функції (ISO 11272)
12. Водомісткість ґрунту (мм)	Ємність ґрунту щодо доступної вологи, розрахована для кожної глибини [31]

4. База даних World Soil Information Service (WoSIS)

Світова ґрунтова інформаційна служба World Soil Information Service (WoSIS). За типом – реляційна серверна база даних, що складається з 46 таблиць. Місце розміщення - Міжнародний центр ґрунтової інформації (ISRIC). До БД WoSIS залучено дані з чотирьох раніше створених в ISRIC автономних баз даних [6]: ISIS – ISRIC Soil Information System; SOTER – Soil and Terrain databases; WISE – World Inventory of Soil Emission potentials; AfSP – Africa Soil Profiles database.

Оскільки БД WoSIS наповнено даними з чотирьох БД, створених у різні часи і з залученням іноді одних і тих самих профілів, важливим етапом було ліквідувати повторюваність профілів, тобто ліквідувати дублювання даних, що виникало в результаті об'єднання. Такий механізм було розроблено і всі дублі виявлено [1].

Найбільша кількість наукових публікацій з методологічних питань стосовно БД WoSIS належить N.Batjes, який є співробітником ISRIC і з 2006 року очолює відділ ґрунтів у Світовому дата-центрі (WDC-Soils). Саме його статті (також і з співавторами) дають максимум інформації про БД. У 2015 р. було опубліковано першу інструкцію для користувачів і провайдерів WoSIS [6], а у 2018 р. – другу версію Інструкції [7], до якої внесено певні зміни. Так, загальну кількість таблиць збільшено до 46.

База даних WoSIS була розроблена як відповідь на зростаючу для всіх країн світу загрозу втрати ґрунтової інформації, накопиченої на паперових носіях. Ідеєю розробки було створення централізованої бази даних, фокусованої на запити користувачів, для забезпечення доступною інформацією міжнародного співтовариства.

Мета діяльності WoSIS: зберегти дані світових ґрунтів в оригінальному вигляді «як є», що особливо стосується успадкованих, архівних даних; об'єднати в єдину світову інформаційну систему дані про ґрунти та земельні ресурси у стандартизованому і гармонізованому вигляді; забезпечити широку доступність інформації для створення природоохоронних інформаційних продуктів і керівних документів для сталого господарювання [6].

Важливим аспектом діяльності WoSIS є розробка послідовних процедур опису різних аналітичних методів, застосовуваних у світі і створення на їх основі стандартних

описів. Ця робота виконується також на підтримку компонента 5 «Гармонізація» Глобального ґрунтового партнерства [32].

Основні принципи діяльності БД WoSIS такі: будь-хто може вкласти дані у БД WoSIS і передати їх різними способами [7]; перед тим, як передати дані, провайдер має у письмовій формі погодитися з умовами політики даних в ISRIC [2]. Визначене угодою право доступу і походження даних будуть визначати статус загальної доступності даних пізніше, після їх розміщення в БД; отримані від провайдера дані мають бути поступово стандартизовані і гармонізовані згідно з прийнятою схемою опрацювання даних. Відносини між WoSIS і провайдерами даних характеризуються як режим взаємозв'язку.

Використовуватися у БД можуть лише авторизовані, гармонізовані і стандартизовані дані з відомим, детально задокументованим їх походженням. Призначенням БД WoSIS є обслуговування у межах ISRIC (разом з іншими базами даних) узгоджених, гармонізованих даних, отриманих від широкого кола провайдерів, перш за все успадкованих (*legacy data*), із результатів колишніх обстежень і досліджень ґрунту. До БД від провайдерів надходять різноманітні майже неспівставні набори ґрунтових профільних даних. Такі набори даних у незмінному вигляді імпортуються до бази даних PostgreSQL зі збереженням оригінальних назв та умов кодування, аббревіатур, доменів, походження даних та ліцензій; тобто, таким чином копії первинних матеріалів зберігаються в ISRIC.

Провайдери даних самостійно регламентують спосіб використання, розподілу (поширення) даних у майбутньому, як, наприклад: «лише збереження копій національних профільних ґрунтових даних»; «дозвіл на використання інформаційних продуктів, виведених із даних, але не самих профільних даних»; «повний відкритий доступ до даних і продуктів». Умови використання зберігаються разом з повною інформацією про походження даних як визнання і констатація приналежності даних (авторського права). З провайдерами також узгоджуються результати стандартизації і гармонізації даних.

Після імпортування наборів даних у БД WoSIS у незмінному вигляді («як є»), дані мають бути приведені до формату єдиної моделі. Процедурою гармонізування і стандартизування охоплюється не лише значення (параметри) властивостей ґрунту, але й перелік всіх тих умов, які необхідні, щоб зробити дані доступними для запитів. Особлива увага приділяється стандартизуванню описів аналітичних методів.

Гармонізація, за визначенням Глобального ґрунтового Партнерства [34], включає «забезпечення механізмів для порівняння, аналізу й обміну співставними глобальними ґрунтовими даними та інформацією». Сфера гармонізації включає такі пов'язані аспекти: а) опис ґрунту, класифікація, картографування; б) ґрунтові аналізи; в) обмін цифровими ґрунтовими даними; г) інтерпретація. І, зважаючи на масштабність задачі, фокус у WoSIS зроблено на стандартизації визначень (дефініцій) показників властивостей ґрунту, описів аналітичних методів і значень властивостей ґрунту саме для тих властивостей, які включено у легенду (2013 р.) [7, 35] Глобальної карти ґрунтів світу. Стандартизація розглядається як передумова для створення і тестування ґрунтової інформаційної моделі, що буде фундаментом (базою) і гарантією для широкої взаємодії і сумісності глобальних ґрунтових даних [36]. За результатами стандартизації і гармонізації дані з оціненою якістю набувають властивості порівнянності так, як би вони були отримані одним методом. Кінцевою метою є повна доступність гармонізованих даних у вбудованих веб-сервісах.

Процедури перетворення даних у WoSIS, за твердженням директора ISRIC Н. Van den Bosch [6], узгоджені з нині діючими міжнародними ґрунтовими програмами, такими, як Global Soil Partnership, Global Soil Map, Open Geospatial Consortium.

На наступних стадіях розвитку БД WoSIS важливим кроком вважається гармонізація класифікацій ґрунтів і описів ґрунтових профілів, щоб дані з різних куточків світу можна було б порівнювати. Ця робота, безумовно, потребуватиме великої кропіткої співпраці міжнародних експертів [6, 7].

База даних WoSIS містить 46 пов'язаних таблиць, утворюючи стандартну реляційну модель, імплементовану в PostgreSQL – потужну, відкриту об'єкт-орієнтовану систему баз даних [37]. Важливим удосконаленням у версії 2 (2015) [6] моделі бази даних було зменшення загального числа таблиць (від 76 до 45) та схем (від 15 до 1) з метою посилення надійності та зручності користування базою. У версії структури БД 2018 р. [7] кількість таблиць збільшено до 46 за рахунок реконструкції блоку метаданих.

Таблиці у БД систематизовано і поєднано, згідно з їх функціями, у такі групи [7]:

Растрові дані / Raster data (1 таблиця);	Профільні дані / Profile data (6 т.);
Класифікація ґрунтів/ Soil classification (11 т.);	Метадані /Metadata (8 т.);
Визначення атрибутів/ Attribute definition (10 т.);	Посилання /References (5).
Дані картографічних одиниць /Map unit data (5 т.);	

Кожна таблиця має унікальний ідентифікатор (поле), тобто, атрибут, що відіграє роль головного для зв'язку з іншими таблицями (*Primary key*). Для забезпечення цілісності даних введено і Зовнішні ключі (*Foreign key*), які також утворюють зв'язки між таблицями і визначають шляхи їх можливого використання. Існує спеціальний перелік функцій та запитів (*triggers*) для сприяння керуванню базою і, в тому числі, для імпорту даних, перегляду даних і створення вибірок [7]. WoSIS-2 (згідно зі звітом ISRIC 2017 р.) [37] містить 118400 профілів, з яких 96000 геореферовані і загалом це відображено у 31 млн записів. До переліку ґрунтових атрибутів, накопичуваних у БД WoSIS-2 перш за все належать атрибути, що ввійшли до легенди Глобальної карти ґрунтів. У таблиці 3 представлено групу основних атрибутів – властивостей ґрунту, параметри яких накопичені у БД [37].

Таблиця 3

Стандартизовані назви атрибутів БД WoSIS (у снапшоті 2016 р.) [37]

Атрибут	Короткий опис атрибуту
Щільність будови дрібнозему, kg dm^{-3}	Щільність будови для фракції дрібнозему менше X мм
Щільність будови ґрунту, kg dm^{-3}	Щільність будови ґрунту в цілому, включаючи грубі фрагменти
Загальний еквівалент карбонату кальцію, g kg^{-1}	Вміст карбонатів у вапняному матеріалі, або у карбонатному ґрунті так, як би всі карбонати були у формі CaCO_3 . «неорганічний вуглець»
Ємність обміну катіонів (CEC), cmol(c) kg^{-1}	Здатність дрібної фракції (<2mm) утримувати обмінні катіони, визначена через буферну дію ґрунту при певному рН
Вміст мулу, g kg^{-1}	Гравіметричний (ваговий) вміст ґрунтового матеріалу <0.002 мм у фракції дрібнозему <2 мм
Грубі фрагменти, гравіметрично, 10^{-2} g g^{-1} ($\text{g}/100 \text{ g}$)	Гравіметричний (ваговий) вміст грубих фрагментів >2 мм у всьому ґрунті
Грубі фрагменти, об'ємометрично, $10^{-2} \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ($\text{cm}^3/100 \text{ cm}^3$)	Об'ємометричний вміст грубих фрагментів >2 мм у всьому ґрунті
Ефективна ємність поглинання катіонів (ECEC), cmol(c) kg^{-1}	Здатність фракції дрібнозему <2 mm утримувати обмінні катіони; приблизно відповідає сумі обмінних основ (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) плюс 1N KCl обмінна кислотність (Al^{3+} і H^+) у кислих ґрунтах
Електрична провідність, dSm^{-1}	Здатність 1 : x водного екстракту (витяжки) з ґрунту проводити електричний струм (ECx , dSm^{-1}); ECe – відповідає значенню, виміряному у насиченому екстракті з ґрунту
Органічний вуглець, g kg^{-1}	Гравіметричний (ваговий) вміст органічного вуглецю у фракції дрібнозему
pH CaCl_2	Значення кислотності або лужності ґрунту, визначене як від'ємний десятковий логарифм активності гідрогенних іонів (H^+) у розчині CaCl_2
pH H_2O	Значення кислотності або лужності ґрунту, визначене як від'ємний десятковий логарифм активності гідрогенних іонів (H^+) у воді
pH KCl	Значення кислотності або лужності ґрунту, визначене як від'ємний десятковий логарифм активності гідрогенних іонів (H^+) у розчині KCl
pH NaF	Значення кислотності або лужності ґрунту, визначене як від'ємний десятковий логарифм активності гідрогенних іонів (H^+) у розчині NaF
Загальний вміст піску 10^{-2} g g^{-1} ($\text{g}/100 \text{ g}$)	Вміст фракції більшої за Y мм у ґрунтовому матеріалі <2 мм
Загальний вміст пилу 10^{-2} g g^{-1} ($\text{g}/100 \text{ g}$)	Вміст фракції розміром від 0.002 мм до Y мм у ґрунтовому матеріалі <2 мм
Класифікація ґрунтів FAO	Класифікація ґрунтового профілю відповідно до певної редакції (рік) Легенди FAO/Unesco до рівня ґрунтової одиниці, де можливо
Класифікація ґрунтів згідно з ґрунтовою таксономією США	Класифікація ґрунтового профілю відповідно до певної редакції (рік) Ґрунтової Таксономії USDA до рівня ґрунтової одиниці
Класифікація ґрунтів WRB	Класифікація ґрунтового профілю відповідно до певної редакції (рік) WRB до рівня кваліфікатора, де можливо
Загальний вміст вуглецю, g kg^{-1}	Гравіметричний (ваговий) вміст органічного вуглецю і неорганічного вуглецю у фракції дрібнозему <2 мм
Утримання води, гравіметрично, 10^{-2} g g^{-1} ($\text{g}/100 \text{ g}$)	Гравіметричний (ваговий) вміст ґрунтової вологи за певного тиску, визначеного в описі аналітичного методу
Утримання води, об'ємометрично, $10^{-2} \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ($\text{cm}^3/100 \text{ cm}^3$)	Об'ємометричний вміст ґрунтової вологи за певного тиску, визначеного в описі аналітичного методу

Виявлено ряд елементів, які можуть бути позитивними прикладами для запозичення і використання у створенні української ґрунтової профільної бази даних:

- принципів підхід до вимог щодо стандартизування вхідної інформації (стандартні назва показника, опис методу аналізування, одиниці вимірювання тощо);
- дані від різних провайдерів мають бути повністю забезпечені необхідними (стандартизованими) метаданими, що гарантує недвозначність як у розумінні походження, типу і якості даних, так і в ідентифікації їх авторів;
- досвід WoSIS з упередження можливості дублювання профілів, набутий у процесі злиття чотирьох баз даних, цілком може бути застосованим для формування Української БД, де передбачається об'єднання декількох баз і наборів даних, які накопичені в лабораторіях ННЦ ІГА і в організаціях-співвиконавцях наукових програм, що, безумовно, може призвести до повторів;
- стандартизовані атрибути БД WoSIS (22 показника властивостей ґрунту), представлені у табл. 3, можуть бути застосовані для розширення Реєстру атрибутів, а також для використання назв і опису показників в українській базі даних з метою гармонізації.

5. Національні бази даних ґрунтів і підходи до організації інформаційних систем

Прогрес у розвитку окремих національних баз даних ґрунтів зафіксовано у сучасних публікаціях. Одна з найновіших – оглядова стаття великої групи авторів, очолюваної D. Arrouays [11]. Автори констатують, що до цього часу у національних базах даних концентровано близько 800 тисяч описаних профілів ґрунтів. Перелік відомих національних баз даних у різних країнах світу, представлено у табл. 4.

Таблиця 4

Бази даних у деяких країнах світу (за [11])

Країна	Назва бази даних
Австралія	National soil site data collation (NSSDC)
Бельгія	Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV)
Китай	China Soil Database
Бразилія	Sistema de Informacao de Solos Brasileiros& ESALQ Brazilian Soil Profile Database
Канада	Canadian Soil Information Service; Canadian Digital Soil Data Consortium
Франція	DoneSol
Данія	Danish Soil Profile Database
Росія	Unique State Register of Soil Resources of Russia
Індонезія	SIMADAS (SistemInformasiManajemen Data SumberdayaLahan)
Португалія	INFOSOLO
США	NCSS Microsoft Access Soil Characterization Database
Південна Корея	Korean Soil Database
Нідерланди	BIS Nederland
Угорщина	Digital Kreybig Soil Information System (DKSIS); Hungarian Detailed Soil Physikal and Hydrological Database
Індія	Bhoomi
Англія та Уельс	LandIS – Land Information System (for England and Wales)
Румунія	PROFISOL; MoniSol-RO
Україна	Ukraine Soil Properties Database
Латвія	Digital Land and Soil Database of Latvia

Прогрес є у тому, що протягом останніх десятиліть майже всі країни світу намагаються збільшити кількість накопичуваної у базах даних інформації. Так, практично удвічі збільшилось число ґрунтових даних у США за час з 2000 до 2016 р. В основному нові дані отримано з університетів, які брали участь у польових обстеженнях і аналізуванні зразків у межах договорів з національною службою ґрунтових обстежень [38]. Загалом до 2016 р. в арсеналі бази даних USDA накопичено 60962 обстежених профілів. У США опубліковано на веб-ресурсах Цифрову колекцію різних інформаційних продуктів, а також велику кількість сканованих рукописних описів ґрунтових профілів та інших документів, зроблених за часи обстежень [39].

На 69 % збільшено число ґрунтових профілів у базі даних Франції з 2009 до 2015 р. [40] і загальна їх кількість, разом з описаними результатами досліджень ґрунтів за допомогою ручного буріння свердловин, становить 160103. У 2014 р. було проведено інвентаризацію наявних у країні картографічних матеріалів, придатних для ефективного використання у створенні GlobalSoilMap. З кінця 2015 р. каталог, що включає 5854 карти є доступним на веб-ресурсі. Близько половини цієї колекції карт є дигіталізованими, а 407 –

доступні як завершені бази даних. Процес створення БД триває і пріоритет віддається масштабам 1:250-1:50 тис. [40].

Австралія зараз має, як мінімум, 13 незалежних унікальних ґрунтових інформаційних систем [41], де не менше як 70 років накопичуються дані. У роботі за проектом GlobalSoilMap 281000 профілів було відібрано в єдину БД, для якої було розроблено структуру, протокол збирання і взаємодії даних. У цій БД міститься і 2,5 млн результатів лабораторних вимірювань.

Австралійська інформаційна система ґрунтових ресурсів (ASRIS) була створена щоб забезпечити первинними даними про ґрунти і землі широке коло користувачів включаючи і дослідників. Он-лайн система забезпечує добрий доступ до інформації на всій території країни і рівень детальності залежить від покриття обстеженням у кожному регіоні [42].

У Нідерландах більше, ніж 32700 описів профілів, отриманих за допомогою ручного буріння, вивело країну на перше місце за кількістю розрізів на одиницю площі території – 1 розріз на 13 кв. км сільськогосподарських та природних угідь [11].

Національна БД Нігерії на цей час налічує близько 1900 профілів більшу частину яких було додано після 2011 р. [43].

В Індії ґрунтове обстеження проводиться Національним бюро під егідою Комітету сільськогосподарських досліджень, побудовано декілька карт різних масштабів, загальна кількість описаних профілів у 2015 р. налічує 91900, але гармонізованої єдиної бази даних поки що немає [11].

В Індонезії, де інвентаризація ґрунтових ресурсів розпочалася з 1905 р., існує декілька БД і 100 % території охоплено картами масштабу 1:250000, 40 % - 1:50000. І зараз там створюють базу даних сканованих копій звітів про обстеження і напрацьованих картографічних матеріалів [44].

У Південній Кореї вся територія країни покрита картами масштабу 1:25000 (і паперовими й електронними). Більше того, за результатами обстеження 1995-1999 рр. було створено і дигіталізовано детальні карти масштабу 1:5000, які зараз загально доступні на веб-сайті. Створено дві бази ґрунтових даних, як частини ґрунтової інформаційної системи Кореї: перша – картографічних матеріалів різних масштабів (від 1:250 тис. до 1:5 тис.) і друга – парцел-базованих даних хімічних властивостей ґрунтів, що містить близько 7 млн записів [11].

Шотландія. Карти масштабу 1:25 тис. було створено Інститутом ґрунтових досліджень за матеріалами ґрунтових обстежень 1947-1987 рр. Починаючи з 2013 їх оновлюють за новою системою класифікації ґрунтів і за державною програмою забезпечують доступність картографічних матеріалів на веб-ресурсах [11].

Латвія. У Латвії аналогові ґрунтові карти (1976-1997) сільськогосподарських земель масштабу 1:10 тис. були дигіталізовані і було створено базу даних. БД містить 2 частини: перша – характеристика полігонів, включаючи дату обстеження, тип ґрунту за генетичною класифікацією, грансклад; друга – дані з профілів, в т.ч. рН, глибина залягання CaCO₃ та ін. Загалом БД містить дані з 543601 полігонів і опис 746 ґрунтових профілів [45]. Виконано деяку технічну роботу для конвертації національних класифікаційних ґрунтових одиниць у WRB 2014.

Росія. Детальні карти ґрунтів масштабу 1:10 – 1:50 тис. доступні для всіх орних земель як у паперовому вигляді, так і скановані копії. Загалом число карт становить 20000. Карты прив'язані до ґрунтових нарисів з характеристикою основних ґрунтів і репрезентативних профілів. Колекція карт зберігається у центрі ґрунтових даних Інституту ґрунтознавства (Москва) і не є доступною публічно. Карты використовують для створення унікального державного реєстру ґрунтів Росії і для різних баз даних [46].

Угорщина. Великомасштабне картографування (1:25 тис.) почалося з 1930-х років і продовжувалося до 1950-х., а карти 1:10 тис. створювали до 80-х років. Ці набори даних використано для побудови карт більш дрібних масштабів. Всі карти 1:25 тис. дигіталізовано, всі полігонні і точкові дані були організовані у цифрові набори даних. Створено багато нових інформаційних продуктів, що є незалежними джерелами нової інформації, які забезпечують інформаційну різноманітність [11].

Португалія. Стан справ з інформацією про ґрунти в Португалії характеризується майже так само, як і в Україні: ґрунтові дані в Португалії використовують лише окремі політики і вчені [47] тому, що відсутня координація даних, інформація розпорошена по різних інституціях, відсутня сучасна ґрунтова інформаційна система, здатна зберігати всю ґрунтову інформацію, отриману в усіх установах і лабораторіях, що мають стосунок до ґрунту і ґрунтознавства. БД INFOSOLO включає ґрунтові дані з 9934 горизонтів/ шарів, досліджених у 3461 профілях по всій країні у період 1966-2014 рр. дані отримано з

широкої мережі ґрунтових служб, дослідницьких проєктів і академічних досліджень, проведених Португальськими та іншими європейськими інститутами. Із загальної кількості профілів у 570 розрізах досліджено лише верхній шар, а 2895 профілів вже класифіковані за принципами WRB [48].

Ми можемо заключити, що за деякими показниками БД INFOSOLO також має багато спільного з українською БД «Властивості ґрунтів України». Наприклад, ступінь рівномірності розміщення профілів на території країни нічим не регулюється, адже інформацію отримано у різні часи з різних організацій, що працювали за неузгодженими планами з різними цілями.

Бельгія. Описуючи процедуру формування легенди карти ґрунтів Бельгії і порядок вибору репрезентативних профілів для окремих картографічних одиниць Van Orshoven з співавторами [49] наводять як приклад базу даних, відомості про яку були опубліковані ще 1988 року [50] і яка містила 8962 профілі, у межах яких описано 48311 горизонтів. Саме цю БД використано для підтримки карти масштабу 1:20 тис., яка була свого часу генералізована з великомасштабних карт (1:5 тис.). БД має свою систему кодування описуваних ґрунтових одиниць і властивостей горизонтів; код включає символи, якими характеризуються клас гранскладу, клас дренажності, клас потужності профілю тощо з використанням класифікації FAO та USDA. Набір показників не дуже широкий: вміст 4-х гранулометричних фракцій; CaCO_3 ; потужність і глибина залягання генетичних горизонтів; вміст органічного вуглецю.

Кенія. Працюючи над проєктом зі створення ґрунтової географічної бази даних для ґрунтової інформаційної системи заради поліпшення менеджменту даних ґрунтових і земельних ресурсів, пов'язаних з територією навколо озера Naivasha в Кенії Т.В. Bezu [51] детально описав процес створення бази ґрунтових даних, який він назвав надзвичайно важливим для впровадження інформаційної системи, оскільки відомо, що ця робота є коштовною і трудомісткою. Недоліки й помилки під час запуску та перевищення часу на етапі створення бази даних можуть призвести до зниження якості менеджменту. У процесі створення БД ґрунтів важливими є такі аспекти: технологія (сканування, оцифрування тощо), якість (точність, документація, перевірка тощо), штатний розклад (внутрішні підрядники, зовнішні установи тощо) і планування (забезпечення того, щоб деякі ключові продукти могли бути розроблені з частково заповненої бази даних) [52]. Вимоги до розробки бази даних називають такі: в БД мають бути включені всі дані, необхідні для задоволення вимог користувачів, але збережено принцип мінімізації надмірності; користувачам має бути зрозумілою організація даних; мають бути сформульовані і жорстко підтримувані правила обробки даних. У процесі проєктування БД має бути враховано, що під час роботи на більш пізніх етапах до рішень, прийнятих на ранній стадії, можуть бути необхідними або затребуваними деякі зміни [53].

Україна. З кінця 90-х років минулого століття співробітниками лабораторії геоєкофізики ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» розпочато роботи з формування бази даних «Властивості ґрунтів України». За цей час сформовано структуровану атрибутивну базу даних, яка включає повну характеристику умов ґрунтоутворення, класифікаційні характеристики ґрунту та параметри основних його властивостей (всього 112 показників) для 2050 ґрунтових профілів у межах України [54]. Джерелами інформації БД «Властивості ґрунтів України» є матеріали великомасштабного ґрунтового обстеження 1957-1961 рр., наукові звіти лабораторії геоєкофізики ґрунтів, дисертаційні роботи виконані в ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», особисті архіви дослідників-ґрунтознавців з різних наукових установ. Загальні відомості про базу даних властивостей ґрунтів, а також про інші багаторічні напрацювання лабораторії геоєкофізики у сфері систематизування інформації і створення баз даних описано в оглядовій статті [55].

6. Висновки з результатів аналізування сучасних міжнародних та національних баз ґрунтових даних

В результаті дослідження структурних і функціональних особливостей вибраних міжнародних баз ґрунтових даних (SOTER, GSM і WoSIS) було виокремлено найбільш прогресивні аспекти, які рекомендовано для використання у розробці конструкції сучасної єдиної профільної бази ґрунтових даних в Україні. Короткий огляд перспективних характеристик відомих баз даних продемонстровано в табл. 5.

Таблиця 5

Перелік методичних, структурних і функціональних особливостей міжнародних баз ґрунтових даних (SOTER, GSM, WoSIS), рекомендованих для впровадження в Україні

База даних	Характерна особливість БД
SOTER	Містить оцифровані картографічні одиниці та асоційовані атрибутивні дані, що відображають інформацію про земельні ресурси, рельєф, рослинність, породи і ґрунти. Присутня ієрархічність опису картографічних одиниць з посиленням детальності у напрямі одиниць меншого розміру. Отже, найменша територіальна одиниця забезпечена найбільш детальною характеристикою і в т.ч. щодо компонентів ґрунтового покриву. Для кодування атрибутів використано систему кодів WRB і FAO. Кодування територіальних одиниць – унікальний ідентифікаційний чотирьохзначний код SOTER. Функціонує як глобальна інформаційна система, призначена для моніторингу стану ґрунтів, для оцінювання прояву деградаційних процесів тощо.
GSM	Включає 12 характеристик ґрунту, які мають бути пріоритетними для будь-якої БД у світі. Найкращим джерелом інформації для побудови GSM її автори вважають великомасштабні карти ґрунтів з базами атрибутивних точкових (профільних) даних, або набори даних, асоційовані з картографічними одиницями.
WoSIS	Атрибути і дані розподілені у стандартні таблиці, зразки оформлення яких є доступними в Інструкції до формування БД. Існує принциповий підхід до вимог щодо стандартизування вхідної інформації (стандартна назва показника, стандартний опис методу аналізування, стандартні одиниці вимірювання тощо). Існує чітка регламентація способів використання даних в ISRIC. До комплексу метаданих залучено всю необхідну інформацію, що гарантує недвозначність як у розумінні походження, типу і якості даних, так і в ідентифікації їх авторів. Розпочато процес гармонізації показників і, в першу чергу, для тих, що входять у БД GSM. Стандартна реляційна модель БД імплементована в PostgreSQL – потужну, відкриту об'єкт-орієнтовану систему баз даних.

В результаті дослідження прогресивних методичних особливостей створення і ведення національних ґрунтових баз даних у деяких країнах світу створено перелік можливих корисних елементів, які рекомендовано запозичити для формування Української ґрунтової інформаційної системи і бази ґрунтових даних (Табл. 6).

Таблиця 6

Перелік методичних, структурних і функціональних особливостей національних баз ґрунтових даних у різних країнах світу, прийнятних для запозичення в Україні

Характерна особливість БД	Країна, посилання
Сканування рукописних описів ґрунтових профілів та інших документів, створених під час ґрунтових обстежень	США [39]; Індонезія [44];
Зберігання оригінальних результатів лабораторних вимірювань	Австралія [41]
Інвентаризація наявних картографічних матеріалів у країні і розробка плану (черговості) їх дигіталізації; в т.ч. з метою їх використання у розробці Global Soil Map	Франція [40]; П. Корея [11]; Латвія [45]
Багаторівнева просторова ієрархія записів у БД – від країни до генетичного горизонту у профілі ґрунту	Австралія [42]; Латвія [45]
Кожна просторова територіальна одиниця забезпечена своїм набором характеристик (якостей), ступінь генералізації яких залежить від місця в ієрархії	Австралія [42]
Наявність двох частин бази ґрунтових даних: 1 – карти масштабів від 1:250 тис. до 1:5 тис.; 2 – парцел-базовані дані хімічних властивостей.	Південна Корея [11]
Система репрезентативних профілів і державний реєстр ґрунтів	Росія [46]
Конвертація національної класифікації ґрунтових одиниць у WRB 2014	Латвія [45]
Організація точкових і полігонних даних у цифрові набори даних	Угорщина [11]
Таблиці релятивної БД об'єднано у групи	Португалія [47]
Використання символічної системи кодування FAO USDA для позначення класу, до якого належить певний параметр (наприклад, клас гранскладу, клас дренажності або клас потужності профілю)	Бельгія [49]
Розділення процесу проектування БД на окремі послідовні етапи: збирання й аналізування вимог; створення концептуальної схеми; логічної схеми; фізичної схеми; імплементация.	Кенія [51,53]
Наявність державної програми щодо забезпечення доступності картографічних матеріалів на веб-ресурсах	Шотландія [11]

Отже, зважаючи на всі розглянуті й вивчені особливості баз ґрунтових даних у світі, можна вважати, що Україна цілком забезпечена прикладами інструктивних матеріалів для створення структури власної бази даних ґрунтів.

Список використаних джерел

1. Batjes N.H. Overview of procedures and standards in use at ISRIC WDC-Soils. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2017. 28 p.
2. ISRIC Soil Information System (ISIS) [Electronic resource] : Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2012-2018. URL: <http://isis.isric.org> (viewed on November 2, 2018).
3. Global and National Soils and Terrain Digital Databases (SOTER) / V.W.P. Van Engelen, J.A. Dijkshoorn [et al.]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2013. 198 p. URL: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/SOTER/isis_report_2013_04.pdf
4. Batjes N.H. Harmonized soil profile data for applications at global and continental scales: updates to the WISE database. *Soil Use Management*. Vol. 25. 2009. P. 124-127. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2009.00202.x
5. Batjes N.H. World Inventory of Soil Emission Potentials: WISE 2.1 – Profile database user manual and coding protocols. Wageningen : ISRIC Technical Paper 26, 1995. 56 p.
6. Towards the standardization and harmonization of world soil data: Procedures manual ISRIC World Soil Information Service (WoSIS version 2.0) / E.Ribeiro, N.H. Batjes, J.G.B. Leenaars [et al.]. Wageningen : ISRIC – World Soil Information. 2015. 100 p. URL: https://www.isric.org/sites/default/files/isis_report_2015_03.pdf
7. Ribeiro E., Batjes N.H., Oostrum A.J.M. World Soil Information Service (WoSIS)-Towards the standardization and harmonization of world soil data. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2018. 166 p. URL: https://www.isric.org/sites/default/files/isis_report_2018_01.pdf
8. Leenaars J.G.B. Africa Soil Profiles Database: a compilation of georeferenced and standardised legacy soil profile data for Sub Saharan Africa (version 1.2). Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2014. 160 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.10667.75040
9. Tóth G., Jones A., Montanarella L. The Lucas topsoil database and derived information on the regional variability of cropland topsoil properties in the European Union. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2013. Vol. 185. P. 7409-7425. DOI: 10.1007/s10661-013-3109-3
10. LUCAS: Land Use/Cover Area frame Statistical Survey [Electronic resource] Ispra : ESDAC, 2018. URL: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/lucas>. (viewed on November 2, 2018).
11. Soil legacy data rescue via GlobalSoilMap and other international and national initiatives / D. Arrouays, J.G.B. Leenaars, A.C. Richer-de-Forges [et al.]. *GeoResJ*. 2017. Vol. 14. P. 1–19. DOI: 10.1016/j.grj.2017.06.001 2214-2428
12. Soil data from Ukraine / T. Laktionova, V. Medvedev O. Bigun [et al.]. In: European Hydropedological Data Inventory (EU-HYDI) / Publications Office of the European Union. Luxembourg : 2013. P. 106-110. URL: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/european-hydropedological-data-inventory-eu-hydi>
13. Panagos P., Liedekerke M., Montanarella L. European Soil Portal. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2006. 77 p.
14. World Reference Base for soil resources. World Soil Resources Report No 84. Rome : FAO, 1998. 88 p.
15. FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC. Harmonized World Soil Database. Rome : FAO, 2012. 50 p. URL: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/ru/>
16. The European Soil Information System / L. Lahmar, V. Vanengelen [et al.]. Rome : FAO, 2000. 163 p.
17. Soil and Terrain (SOTER) database [Electronic resource]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2012-2018. URL: <http://www.isric.org/projects/soil-and-terrain-soter-database-programme> (viewed on November 2, 2018).
18. Global and National Soils and Terrain Databases (SOTER). Procedures Manual. Version 2.0 / ed. V.W.P. van Engelen, J.A. Dijkshoorn. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2013. 198 p. URL: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/SOTER/isis_report_2013_04.pdf
19. Development of soil databases for global modelling / N.H. Batjes, V.W.P. van Engelen, H. Kauffman, L.R. Oldeman. *Transactions: 15th World Congress of Soil Science : conference abstracts (Mexico, Acapulco, 10-16 July 1994) / International Society of Soil Science, Mexican Society of Soil Science. Acapulco : ISSS; MSSS, 1994. Vol. 6a. P. 40-57.*
20. SOTER Databases [Electronic resource]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2012-2018. URL: <http://www.isric.org/explore/soter> (viewed on November 2, 2018).
21. World reference base for soil resources 2006 / IUSS Working Group WRB. Rome : FAO, 2006. 145 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-a0510e.pdf>
22. FAO/UNESCO soil map of the world: revised legend / FAO, International Soil Reference and Information Centre. Rome : FAO, 1988. 119 p.
23. Guidelines for Soil Description / FAO. Rome : FAO, 2006. 110 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-a0541e.pdf>
24. ISRIC Soil Data Hub [Electronic resource]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2012-2018. URL: <https://www.isric.online/explore/isis-soil-data-hub> (viewed on November 2, 2018).
25. Data and Software Policy [Electronic resource]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2012-2018. URL: <https://www.isric.org/about/data-policy> (viewed on November 2, 2018).
26. GLOBALSOILMAP.NET [Electronic resource]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2008-2018. URL: <http://www.globalsoilmap.net> (viewed on November 2, 2018).
27. CSIRO contributes to Global Soil Map [Electronic resource]. Canberra : CSIRO, 2010-2018. URL: <https://data.csiro.au/dap/landingpage?pid=csiro%3A11413> (viewed on November 2, 2018).
28. Minasny B., McBratney A. Methodologies for Global Soil Mapping. In: *Digital Soil Mapping: Bridging Research, Environmental Application and Operation – 2010*. P. 429-436. DOI: 10.1007/978-90-481-8863-5_34
29. GLOBALSOILMAP.NET [Electronic resource]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2008-2018. URL: <http://www.globalsoilmap.net> (viewed November 2, 2018).
30. Soil survey manual / C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger [et al.]. Washington : U.S. Department of Agriculture Handbook, 1993. 639 p.

31. Burt R. Soil Survey Laboratory Methods Manual. In: Soil Survey Investigations Report. 2004. No. 42. 700 p. URL: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcseprd1026807.pdf
32. Global Soil Partnership : The five pillars of action, FAO Global Soil Partnership. [Electronic resource]. Rome : FAO-GSP, 2018. URL: <http://www.fao.org/globalsoilpartnership/the-5-pillars-of-action/en/> (viewed November 2, 2018).
33. Baritz R., Erdogan H., Fujii K. Harmonization of methods, measurements and indicators for the sustainable management and protection of soil resources. Rome : Global Soil Partnership, FAO, 2014. 44 p.
34. GlobalSoilMap Specifications / D. Arrouays, A. McBratney, B. Minasny, [et al.]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2015. 52 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/283156396_The_GlobalSoilMap_project_specifications
35. Omuto C., Nachtergaele F., Vargas R. State of the Art Report on Global and Regional Soil Information: Where are we? Where to go?, Rome : FAO, 2012. 69 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-i3161e.pdf>
36. PostgreSQL [Electronic resource]. California : The PostgreSQL Global Development Group, 1996-2019. URL: <http://www.postgresql.org/docs/9.2/static/index.html> (viewed November 2, 2018).
37. WoSIS: providing standardised soil profile data for the world. / N.H. Batjes, E. Ribeiro, A. van Oostrum [et al.]. *Earth Syst. Sci. Data*. 2017. Vol. 9. P. 1-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/essd-9-1-2017>.
38. Web soil survey [Electronic resource]. Washington : United States Department of Agriculture, 2018. URL: <http://websoilsurvey.nrcs.usda.gov> (viewed on November 2, 2018).
39. A digital collection of selected historical publications on soil survey and soil classification in the United States of America / W.R. Effland, D. Helms, H. Eswaran [et al.]. USDA Natural Resources Conservation Service. Washington, 2006. URL: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/publication/?cid=stelprdb1256535>
40. Le programme Inventaire Gestion Conservation des Sols de France: Volet Référentiel Régional Pédologique / B. Laroche, A.C. Richer de Forges, A. Leménager [et al.]. *Étude et Gestion des Sols*. 2014. Vol. 21. P. 125-140.
41. Soil and landscape grid of Australia / M.J. Grundy, R.A. Viscarra Rossel, R.D. Searle [et al.] *Soil Research*. 2015. Vol. 53. 835-844. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR15191>
42. Online Soil Information Systems – Recent Australian Experience / N.J. McKenzie, D.W. Jacquier, L.J. Gregory [et al.]. In: *Digital Soil Mapping with Limited Data*. 2008. P. 283-284.
43. Total soil organic carbon and carbon sequestration potential in Nigeria / S.I.C. Akpa, I.O.A. Odeh, T.F.A. Bishop [et al.]. *Geoderma*. 2016. Vol. 271. P. 202-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.02.021>
44. Harmonizing legacy soil data for digital soil mapping in Indonesia / Y. Sulaeman, B. Minasny, A.B. McBratney [et al.]. *Geoderma*. 2013. Vol. 192. P. 77-85. URL: https://www.academia.edu/3326578/Harmonising_legacy_soil_data_for_digital_soil_mapping_in_Indonesia
45. Nikodemus O., Kasparinskis R., Karklins A. Development of Digital Land and Soil Database of Latvia for support of sustainable land management. Final Report, Ministry of Agriculture. 2016.
46. Ivanov A.L., Shoba S.A. Unique state register of soil resources of Russia. Moscow : V.V. Dokuchaev Soil Science Institute. 2014. 768 p.
47. The INFOSOLO database as a first step towards the development of a soil information system in Portugal / T.B. Ramos, A. Hortab, M.C. Goncalves [et al.]. *Catena*. 2017. Vol. 158. P. 390-412. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.020>
48. European Hydropedological Data Inventory (EU-HYDI) / M. Weynants, L. Montanarella, G. Tóth [et al.]. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2013. 168 p. URL: <https://biblio.ugent.be/publication/5988012/file/5988022.pdf>
49. A procedure for the statistical characterization of the units of the Belgian soil map / J. Van Orshoven, J. Maes, H. Vereecken [et al.]. *Pedologie*, 1991. XLI-3. P. 193-212. URL: https://www.researchgate.net/profile/Jan_Feyen/publication/279705431_A_procedure_for_the_statistical_characterization_of_the_units_of_the_Belgian_soil_map/links/559e532308aeb45d171623b9/A-procedure-for-the-statistical-characterization-of-the-units-of-the-Belgian-soil-map.pdf
50. A structured database of Belgian profile data / J. Van Orshoven, J. Maes, H. Vereecken [et al.]. *Pedologie*. 1988. 38. P. 191-206.
51. Bezu T.B. Building a soil information system for multi-source data integration. In: A case study in Lake Naivasha area, Kenya. ITC, Enschede, 2001. 133 p. URL: <https://sites.google.com/site/naivasharesearch/Home/scientific-publications/msc-theses>
52. Reeve D.E., Petch J.R. GIS, Organisations and People: A Socio-technical Approach. In: *GIS for Beginners*. London : Taylor & Francis Ltd. 1999. 232 p.
53. Elmasri R., Navathe S.B. Fundamentals of Database Systems. The Benjamin. Cummings publishing C, Inc. Redwood California. 1989. 1201 p.
54. База даних «Свойства почв Украины». Структура и порядок использования / Т.Н. Лактіонова, В.В. Медведєв, К.В. Савченко и др. Харьков: ЦТ №1, 2012. 150 с.
55. Лактіонова Т.М. Досвід створення і використання семи баз даних в лабораторії геоєкофізики ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2018. № 87. С. 63-71. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss87-10>.

UDC 631.4

Design and functional features of the world leading soil databases. Analytical review**T.M. Laktionova*, O.M. Bigun, S.G. Nakisko, K.Yu. Uvarenko****National Scientific Center “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky”,
Kharkiv, Ukraine*** E-mail: tnlaktionova@ukr.net

The development of the concept of structural and functional foundations of the soil information system of Ukraine should be based on the analysis of information about the existing soil information centers and databases in the world. For this purpose, an analytical review of modern world publications in scientific journals and other sources of information was performed. The total list of investigated publications includes more than 90 scientific articles,

presentations, instructions, manuals, web pages etc. The review article presents the main results of analytical research and conclusions on the possibility of introducing in Ukraine various aspects of the positive experience of world soil science in the creation of soil databases. The work was carried out in three stages. The first was an expert review of published materials on relevant topics in foreign publications in order to identify the world's major international centers of soil information and leading databases most used in the World Society of Soil Scientists. As a result, a list of leading international information centers was provided, with an indication of their location and source of information. The second stage was a detailed study of the design characteristics, principles of operation and methods of information transformation in the three most famous international soil databases: SOTER: Soil and Terrain database; GSM: Global Soil Map; WoSIS: World Soil Information Service. The information about the list of attributes in each database, methods of their coding, common approaches to the construction of tables, normalization of parameters, formation of a set of metadata, etc. was summarized. And at the third stage the list of the most innovative features of national database designs in different countries over the World, acceptable for use in Ukraine, was determined.

Keywords: attributes; database; construction; metadata; soil.

Citing: Laktionova T.M., Bigun O.M., Nakisko S.G., Uvarenko K.Yu. 2020. Design and functional features of the world's leading soil databases. Analytical review. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 5-17. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-01>.

UDC 631.4: 502.3

Hydrus's-1D capability for assessment of soils water regime**Y. Dmytruk*, V. Zakharovskyi****Yu. Fed'kovych Chernivtsi national university, Chernivtsi, Ukraine**

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received 02.03.2020 Received in revised form 12.03.2020 Accepted 16.03.2020 Available online 01.06.2020	<p>Many areas of the world already have water shortages, and climate change could make this problem worse. Water regime is one of the components of soil system and it is very important for agriculture during nowadays climate change. Due to soil moisture nutrients become available for plants, chemical elements can migrate as radial, as lateral directions. Different soils have immanent features in the movement of water, so and movement of all dissolved in water elements. The aim of this research is comparative assessment of water dynamic between different two soils types located in similar climate conditions. These soils are characterized own texture because of features their genesis, first parent materials. For the simulation of water regime, we used well-known program Hydrus-1D. For it, we were compared next parameters: pressure head, water content, hydraulic conductivity and hydraulic capacity between Haplic Luvisol and Luvic Chernozem. On base of soil texture, we calculated some parameters becoming from modelling. These soil parameters assessed in fifth times: 0th, 15th, 30th, 45th, and 60th days. Thus, during of observation time these parameters were showing significant differences between Haplic Luvisol and Luvic Chernozem, despite the similar soil forming factors. The main difference is, first, their profile distribution, and then their quantitative values of parameters. Considering the location of the studied soils on Agroecosystems, the obtained data are important for the practical use of agro-technologies. Using of Hydrus-1D, we can also predict the soils contamination. Soil leaching processes is significantly relationship with vertical transport of water. This poses a risk both the loss of the nutrients from the soil and the contamination of the groundwater [1]. Therefore, the quality of the last is closely linked to the ability of soils to infiltrate water. Significant results of our researching indicate achieved in the simulation during the first 30 days. Therefore, for modelling it is advisable to choose periods of control over parameters of the Water regime in 5-10-20-30 days. Compared to Haplic Luvisol Luvic Chernozem have optimal indices of its texture, that provide better parameters of water regime, which is due to the higher content of fine particles. Illuvial clay of Haplic Luvisol, because of elluvial-illuvial processes, has an indicated effect on the vertical distribution such a parameter of the water regime as water content and less influence on the hydraulic capacity. When included in the simulation the real amount of precipitation during the observation, data on the corresponding changes for hydraulic conductivity and less for water pressure were obtained. It is likely that the more displayed effect of rain on day 45th than in other periods maybe explained by the nature of the precipitation (downpour rather than prolonged rain).</p>
Keywords: Haplic Luvisol; Hydrus-1D; Luvic Chernozem; model; simulation; soil texture.	

* E-mail: y.dmytruk@chnu.edu.ua

Citing: Dmytruk Y., Zakharovskyi V. 2020. Hydrus's-1D capability for assessment of soils water regime. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR. P. 18-27. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-02>.

1. Introduction

The effects of climate change are becoming more evident. Many areas of the world already have water shortages, and climate change could make this problem worse. Extreme precipitation and drought events occurred across the world [2]. Soil as a multifunctional resource plays a significant role in ecosystem services, which affects human well-being both directly or indirectly, including surface and groundwater supplies in water cycling. Soil parameters have a strong influence on drain water quality, while climate change does not have a sizeable impact on soil water distribution. However, plants must have water supply that is the main condition for solving food supply. As we have known [3] the climate is becoming warmer and warmer during last decades. Climate change dominated the global agenda in 2019. Several major reports in this year showed why this would be a disaster. As the latest reports show, climate changes already having profound consequences. Therefore, the assessment of water dynamic is the essential problem, but we have many ways and programs for modelling to solve it. Prediction modelling is an indispensable for monitoring nutrition elements. Water prediction is a difficult and complex, as we need to consider a high number of parameters, which are connected or independent. According to the problems the program Hydrus is one of the most popular program in the world because it is easy to use in water flow assessment, which requires information about soil texture, but also can include other parameters such as plant transpiration, weather conditions, solutions etc.

The basic information about modelling has been taken from the Hydrus-1D manual [4]. This book has a description of all methods we need for calculating. References of the manual were previous researches of authors: van Genuchten, Šimunek, Vogel and others. The Hydrus numerical models are widely used for water flow simulation and solution transportation in

variably saturated soils and groundwater [5]. In this paper, they offer a brief overview of the Hydrus code, which data can be used for built optimization routine. These previous researches describe using, opportunity, and theory about Hydrus-1D but our article shows a practical view. Min Chen et al. [6] used Hydrus-1D for modelling soil moisture dynamic within two catchments. They write about soil types and leaf area index effects on model performance and found that point-scale soil moisture data and simulations for predicting the soil wetness status over a drainage area of significant size (up to 1000 km²). Other researchers studied soil moisture storage in the subsurface and water infiltration rate in loess soil [7]. They used Hydrus-2D/3D in their research for two soil columns filled salty clay loam texture. Their results show that loess cavity significantly decreased the infiltration rates and was effectively ameliorated. While water moves through water repellent horizon (illuvial), which has a significant effect on infiltration [8] can stop layers. Minasny and McBratney [9] investigate that organic material has a small effect on soil water content. It made according to soil textures, so decreases the number of errors. Water movement simulated by Hydrus-1D could have a small error [10]. Last authors find out that simulation compared to real observation have errors no more than $\pm 10\%$. Hydrus-1D is one of the rated program, which can predict hydraulic soil parameters for monitoring. Modelling stays one of the main methods of prediction, because it creates an observation object in better scale for us and it is faster, than real observation, but it always has some errors, which we can decrease through entering additional information.

2. Materials and methods

In modelling, we studied two soil types, location in Prut-Dniester area: Grey Forest Soil and Chernozem Podzolized (Haplic Luvisol and Luvic Chernozem according to WRB classification); below in text – Luvisol and Chernozem. At first, these soils have great quantitatively differences in texture as the vivid illuvial horizon in Luvisol profile that is a waterproof horizon. It has decisive influence for stagnation moisture and genesis of the gleying process. Secondly, Luvisol is located under pasture agroecosystem while Chernozem is located on arable land. Podzolization process has an easy effect on soil texture. Sampling was according to [11]. Soil texture (Table 1) analyses by Kaczynski's method [12]. Kd was calculated as ratio between clay content in *n* horizon to clay content in parent material. The texture of Luvisol is loam. Clay content (Table 1) from upper horizons (Hd, He, Eh) are poor on fine dispersion particles comparatively to lower horizons (below than 49 cm) (less than 20 %).

Table 1
Soil texture

Number ¹	Horizon	Deep, cm	Sand, %		Silt, %			Clay, %	$\Sigma <0.01$ mm, %
			1-0,25 mm	0,25-0,05 mm	0,05-0,01 mm	0,01-0,005 mm	0,005-0,001 mm	<0.001 mm	
<i>Haplic Luvisol, Loam</i>									
1	Hd	0-12	4.83	34.61	23.69	9.27	14.73	12.87	36.87
2	He	12-34	5.0	35.37	21.47	7.23	12.77	17.46	37.46
3	Eh	34-49	4.37	38.17	20.08	7.36	10.81	19.21	37.38
4	l(h)(gl)	49-75	2.67	34.39	16.37	7.19	9.39	29.99	46.57
5	l(gl)	75-105	3.55	36.52	13.67	6.07	10.56	29.63	46.26
6	Pikgl	105-142	6.88	52.18	10.81	2.94	4.67	22.52	30.13
<i>Luvic Chernozem, Silty clay loam</i>									
1	H(e)	0-29	0.80	0.20	37.9	20.49	9.86	30.75	61.10
2	H(i)	29-44	0.70	0.14	21.28	26.40	10.08	41.40	77.88
3	Hpi	44-69	0.30	0.90	30.3	8.20	20.10	40.20	68.50
4	Phi(gl)	69-96	0.50	1.25	22.27	20.63	17.55	37.80	75.98
5	Pk	96-126	0.40	0.80	31.67	12.19	14.74	40.20	67.13

¹ The number of horizons according points on Figures 1 and 2

It confirms elluvial process in this soil profile. The fine particles transferred down and deposit in lower horizons, which created water repellent horizon (from below 49 cm). In these horizons are increasing clay percentages with growing up soil texture (clay loam) – illuvial process [13].

Elluvial and Illuvial processes are binding because fine soil particles leaked from upper horizons – formed elluvial horizon, and deposit in subsoil illuvial horizons [14, 15]. As a result, appear a gleying process, which shows that water held in these horizons as well as parent material. Unlike soil texture, remind upper loam horizons [16]. Gley (gl) horizons unless drained with reducing environment affect in the saturated layers, which become mottled greyish-blue or greyish-brown because of ferrous iron and organic matter content [17].

Meanwhile, the texture of Chernozem is heavier; it classified as Silty clay loam from surface to deeper horizons and it is Silty clay in parent material. Elluvio-illuvial process more expressed in Luvisol than in Chernozem. Clay distribution is more homogenous in Chernozem, than in the Luvisol. The slight signs of the gleying process is locally out were observed in Phi(gl) horizon of Chernozem, but in all low horizons (deeper 49 cm) of Luvisol. Organic material in Chernozem is spreading to the beginning of parent material while Luvisol to Eh horizon (49 cm) and locally appear deeper as effect of solute stagnation [18, 19]. Therefore, Chernozem has not waterproof horizons, but has heavier texture, which in fluencies on drainage. Kd confirms the removal of clay from upper elluvial horizons of Luvisol and accumulation of clay particles in illuvial horizons of Luvisol, compared to the parent material this soil (Table 2). At the same time, distribution of clay content in Chernozem is homogeneous. Some removal of clay from the upper horizon could be a result of natural process (elluvial) as an impact of annual ploughing [20].

Table 2
Kd¹ for profiles of soils

Haplic Luvisol				Luvic Chernozem			
Horizon	Deep, cm	Clay, %	Kd	Horizon	Deep, cm	Clay, %	Kd
Hd	0-12	12.87	0.57	H(e)	0-29	30.75	0.76
He	12-34	17.46	0.78	H(i)	29-44	41.40	1.03
Eh	34-49	19.21	0.85	Hpi	44-69	40.20	1.00
I(h)(gl)	49-75	29.99	1.33	Phi(gl)	69-96	37.80	0.94
I(gl)	75-105	29.63	1.32	Pk	96-126	40.20	1.00
Pikgl	105-142	22.52	1.00	-	-	-	-

¹ Kd was calculated as ratio of clay content in *n* horizon to clay content in parent material

In prediction modelling we used six parameters which calculated by SSC (Sand, Silt and Clay) model [21]. There are next parameters: θ_s – Residual soil water content; θ_r – Saturated soil water content; α – Parameter α in the soil water retention function [L⁻¹]; n – Parameter n in the soil water retention function; K_s – Saturated hydraulic conductivity K_s [LT⁻¹]; I – Tortuosity parameter in the conductivity function [non-dimensional] in our research $I = 0.5$ (Table 3).

Table 3
Parameters of the SSC¹ model

Horizon	θ_r	θ_s	α	n	K_s
<i>Haplic Luvisol</i>					
Hd	0.0502	0.4015	0.0069	1.5740	23.5
He	0.0584	0.4004	0.0089	1.5157	12.2
Eh	0.0609	0.4027	0.0109	1.4798	9.73
I(h)(gl)	0.0773	0.4249	0.0137	1.4024	5.85
I(gl)	0.0764	0.4192	0.0155	1.3836	5.78
Pikgl	0.0632	0.3878	0.0258	1.3389	15.68
<i>Luvic Chernozem</i>					
H(e)	0.0906	0.4810	0.0083	1.520	8.94
H(i)	0.1018	0.5075	0.0117	1.4256	11.29
Hpi	0.1005	0.5044	0.0113	1.4365	11.09
Phi(gl)	0.0978	0.4979	0.0104	1.4586	10.65
Pk	0.1005	0.5044	0.0113	1.4365	11.09

¹ SSC – Sand, Silt, Clay – model [21]

Graphical models calculated by Hydrus-1D, which used the van Genuchten-Mualem model [21]:

$$1) \text{ Pressure head (h) [22]} \quad h = H(\theta) - z \quad (1)$$

where z – vertical coordinate which is observation point [L]; θ – water content [L^3L^{-3}]; H – pressure head of soil moisture relative to atmospheric pressure ($H \leq 0$).

2) Water content θ [21]:

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha h|^n]^m}, & h < 0 \\ \theta_s, & h \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

3) Hydraulic conductivity K [21]:

$$K(h) = K_s S_e^l \left[\left(1 - S_e^{1/m} \right)^m \right]^2 \quad (3)$$

$$m = 1 - 1/n, \quad n > 1$$

where h_s – air-entry value [L]; θ_s – saturated water content [non-dimensional]; θ_r – residual water content [non-dimensional]; α , m , n – empirical parameters [1/L], [non-dimensional]; S_e – effective water content [non-dimensional], K_s – saturated hydraulic conductivity [L/T]; K_r – relative hydraulic conductivity [non-dimensional]; $K_k(h_k)$ – unsaturated hydraulic conductivity at pressure head (h_k) [L/T].

4) Hydraulic capacity (C) show amount on infiltration moisture in soil subsurface [21]:

$$C = \delta\theta/\delta h \quad (4)$$

where h – pressure head [L]; θ – water content [L^3L^{-3}].

Sequences of prediction: 1) prepare step – we need to choose major processes (water flow, root water uptake, root growth, heat transport and solute transport); Geometric information (the number of horizons, soil depth, and soil texture); Time information (the number of observation days, the period between observations). After that we calculated only water flow, with real geometric information took from soils texture (Table1) and the same parameters calculated with precipitation data. Rainfall was observed on such days and in such quantities: 03.10.2018 – 8,3 mm; 24.10.2018 – 0,3 mm; 25.10.2018 – 2,5 mm; 14.11.2018 – 3,8 mm; 15.11.2018 – 3,8 mm; 16.11.2018 – 4 mm; 17.11.2018 – 0,5 mm; 20.11.2018 – 6,0 mm; 21.11.2018 – 0,2 mm; 22.11.2018 – 1,8 mm; 27.11.2018 – 17,5 mm; 28.11.2018 – 8,3 mm; 29.11.2018 – 0,3 mm (there was no rain on other days). Duration of simulation in days: 1.10.2018 – first day; 15.10.2018 – 15th day; 30.10.2018 – 30th day; 14.11.2018 – 45th day; 29.11.2018 – 60th day. These dates we took from archive of Meteorological station of Chernivtsi (Ukraine) for 2018, from 1th October to 29th November. Time information printed in 0th, 15th, 35th, 45th and 60th days.

2) Setup step – entering the water flow parameters (θ_s , θ_r , α , n , K_s , and l). These parameters calculated by Hydrus using soil texture. Then we choose boundary conditions (upper and lower). For upper parameters, we chose Atmospheric BC with surface layer while lower boundary is free drainage. For initial condition, Pressure head (Fig. 1) has argument 100 in whole profiles for both soils. Nevertheless, programme propose other boundaries such as constant flux, drainage parameters, atmospheric BC etc.; line on the models (Fig.1 – 2) denote: solid line shows base boundary parameters in 0th day before modelling; long-dash line – observation parameters on 15th day; dotted line – observation parameters on 30th day; dot-dash line – observation parameters on 45th day; double dot-dash line – observation parameters on 60th day.

3) Modelling step – building model of a soil profile; enter depth and location of soil horizons. Here we can add other information: Pressure head calculation, root water uptake and/or speciality of water movement etc. As a result, we will have a summary table where we can correct all data about the profile. In this table, we can see information about soil, which based on water flow parameters (Table 3).

4) Calculating step – the modelling according to previously entered (see the third step) data.

Consequently we will get graphical models, with characteristics of dynamic parameters: 1) Pressure head distribution (h) (Fig.1A) – within energy pressing on soil in pore space (line value show mechanic solute energy in flux point); 2) Water content (θ) (Fig. 1B) – the quantity of water contained in a soil; 3) Hydraulic conductivity (K) (Fig. 1C) – the ability of soil to pass water through pore space; 4) Hydraulic capacity (C) (Fig. 1D) – the rate of infiltration of water into soil.

3. Results and discussion

The focus of the simulation results is the dynamic of soil water in the upper horizon. Under the same climatic conditions, the difference in texture and use of two types of soils can significantly effect on the parameters of soils water regime. Let us consistently characterize the dynamics of these indicators over time and radially, down the profile, paying particular attention to the top horizons of soils. Results of simulation with Hydrus 1-D give us some interesting facts.

Pressure head (h). The absolute values of Pressure head (Fig. 1A) in the Chernozem are from -125 to -250 cm (in the upper horizon – from -170 to -240 cm); the ranges are from -90 to -190 cm (in the upper horizon – from -130 to -170 cm) in Luvisol. Thus, the Pressure head is higher in Luvisol, especially in the upper horizon (in Chernozem – arable horizon). Key to understanding this fact is genesis of illuvial horizons that reason of these are elluvial-illuvial processes. More discussion focused on temporal dynamics of Pressure head: there is a sharp decrease in pressure during the first 15 days (for the upper horizon – from -100 to -140 cm in Luvisol and from -100 to -160 cm for Chernozem). In the future (more than 15 to 60 days), the decrease in Pressure head becomes almost equally regardless of the genetic horizons (Fig. 1A).

The following changes in Pressure head found down the soil profile to the parent material: an increase in its quantity is characteristic of both soils, but in Luvisol this increase is significantly, then in Chernozem, in which such changes are smoother (Fig. 1A). We noted, that at the bottom of the Luvisol profile, the value of Pressure head on the 15th and 30th days is greater, than at the beginning (0 day) of simulation (for the Luvisol parent material, such dynamic of Pressure head were: -100; -90; -95; -105; -115 cm, respectively; for the Chernozem parent material the values of Pressure head were: -100; -150; -175; -200 cm, respectively). Therefore, in the illuvial horizons and in the parent material of Luvisol, the Pressure head increases during the first 30 days compared to the initial one, whereas in the elluvial part of Luvisol the value of Pressure head sharply decreases (Fig. 1A).

Water content (θ). The beginning of the simulation (day 0) is immediately characterized by a significant differentiation of water content across the genetic horizons (Fig. 1B). In Chernozem, it is almost homogeneous distribution, with a significant decrease of (θ) from the day 0 to 15-th day and, subsequently, a slight coherent decrease in the water content, more marked in the upper horizon: the ranges of changes were: day 15th – 0.36-0.40; day 30th – 0.35-0.38; day 45th – 0.34-0.37 and day 60th – 0.33-0.36). For Luvisol (Fig. 1B), even at the beginning of the experiment, the water content was more differentiated, with expressed two maxima (in I_h horizon, \approx 0.34 and in H_d horizon, 0.35) and two minima (in P_i horizon, 0.28 and in E_h horizon, 0.33).

In time (up to the 60th day), there is mainly a decrease in the range of (θ), and this decrease for Luvisol is characterized by sharp differences compared to Chernozem. Smaller and absolute values water content of Luvisol likened to Chernozem (0.35-0.28 and 0.42-0.34, respectively). The main changes of (θ) (in particular its decrease), we found for the top of the Luvisol profile (H_d – H_e – E_h), whereas in the Illuvial horizons these changes are not significant.

Hydraulic conductivity (K) substantially different by genetic horizons, even at the beginning (day 0) of the simulation (Fig. 1C). Apparently, the texture (and soil density associated with the texture) has a distinct effect on the Hydraulic conductivity. In general, the K minimum in Chernozem at the beginning of the simulation ranges from 0.30 (genetic horizons H_i, H_{pi}, P_k) to 0.50 cm/day (horizon H_e). On day 15th of modelling K is significantly reduced compared to the beginning of the simulation (Fig. 1C). In the future (30-45-60th days) changes of K are already insignificant with some increase of its value down the profile to the lower transition horizon (Phi). It is noteworthy that over time the profile differentiation of Hydraulic conductivity in Chernozem is leveled (Fig. 1C).

Luvisol differs significantly from Chernozem in range and profile distribution of hydraulic conductivity (Fig. 1C). For Luvisol, absolute values of K varies from 0.10 to 2.20 cm/day, while in Chernozem it deviates from 0.10 to 0.50 cm/day (Fig. 1C). Note that at the beginning of the simulation (day 0), Hydraulic conductivity sharply decreases down for Luvisol profile from 2.0 cm/day (horizon H_d) to 0.65 (horizon H_e) and to 0.30 cm/day (horizon E_h) and even up to about 0.10 cm/day in the below located illuvial horizons (I_h-I_{gl}-P_i). Hence, the main differences, compared to Chernozem, relate to the two upper Luvisol horizons. That soil has a maximum hydraulic conductivity in the upper horizon that is explained by the saturation of this horizon by root systems of herbaceous plants. The minimum values of K observed in the compacted illuvial horizons (Fig. 1C). The temporal dynamics of Hydraulic conductivity below the three upper horizons in Luvisol is almost unheard of and becomes similar to that in Chernozem.

Water capacity (C), like other model parameters, is less differentiated as by genetic horizons of profile, as in time for Chernozem than for Luvisol (Fig. 1D). The major changes in C for Chernozem occur from the beginning of the simulation to the 15th and the 30th days, and

subsequently the temporal dynamic is almost declining. In absolute values, it ranges from $8 \cdot 10^{-4}$ 1/cm (day 0) to $4 \cdot 10^{-4}$ 1/cm (day 60th).

For Luvisol the start of the simulation is characterized by a water capacity value of $5,9 \cdot 10^{-4}$ 1/cm (parent material) to $6,8 \cdot 10^{-4}$ 1/cm (genetic horizon Eh). Over time, Water capacity decreases to $4,6 \cdot 10^{-4}$ 1/cm (in the upper horizon) and almost to $5 \cdot 10^{-4}$ 1/cm (genetic horizon Ip). The temporal dynamics of this parameter appear to us somewhat stochastic, although in general Water capacity increases downstream of the Luvisol profile (Fig. 1D).

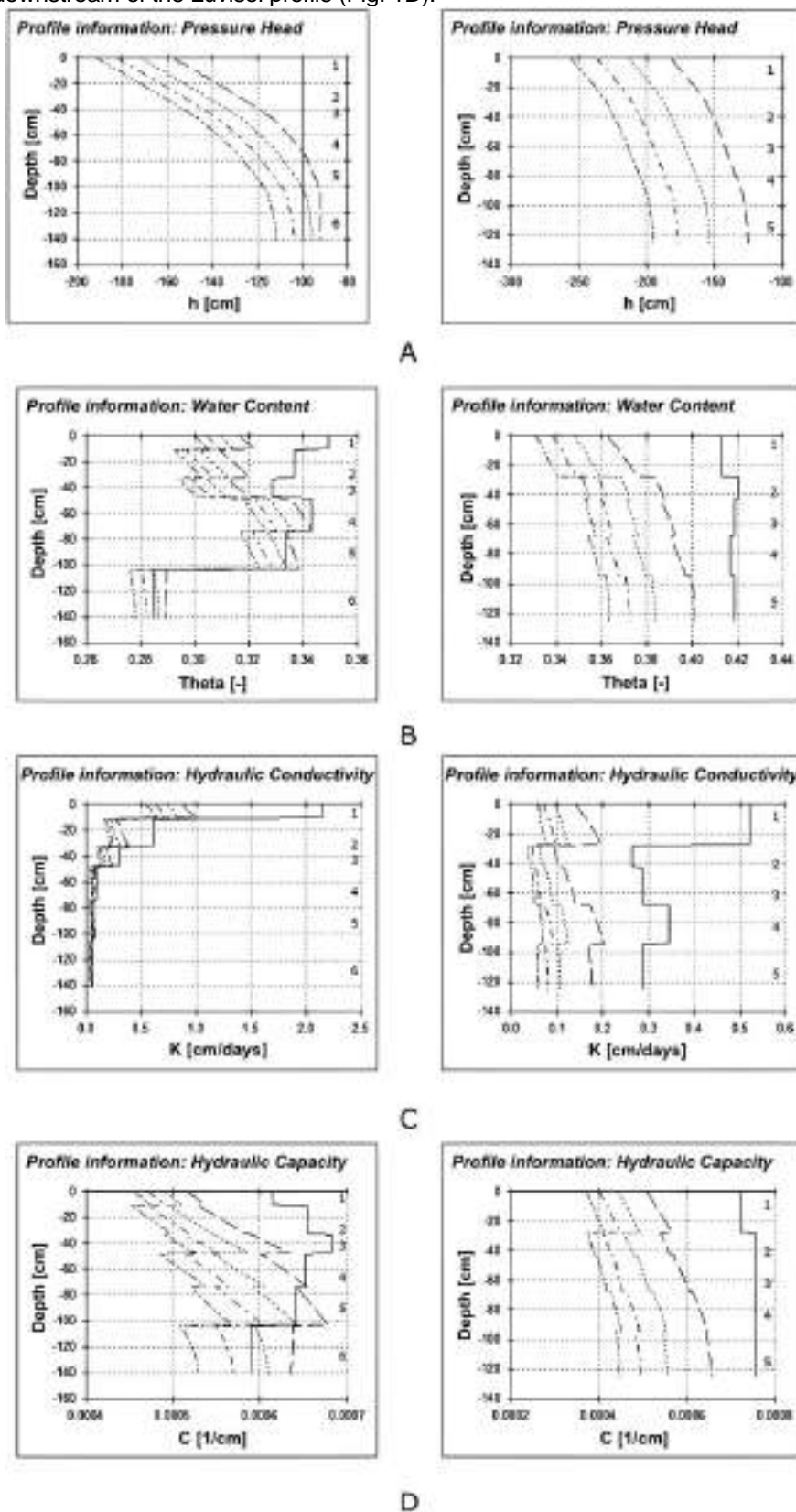


Figure 1. Models: A – Pressure head; B – Water content; C – Hydraulic conductivity; D – Hydraulic capacity; on left for Luvisol, on right for Chernozem

Additionally, for better understanding water regime for two researching soil types, we include in model parameter of precipitation (Fig. 2). Therefore, Pressure head (h) in Luvisol (Fig. 2A) has great changes on 45th and 60th days. While 15th and 30th days are equal to Pressure Head without precipitation (Fig. 1). Obviously of 15th and 30th days far from rainfall days. In 45th day we are witnessing start of rain period, which prolong 3 next days. Thus, Pressure head increase in upper horizons to illuvial part of profile, where h stabilized and became like standard Pressure head models (without precipitation).

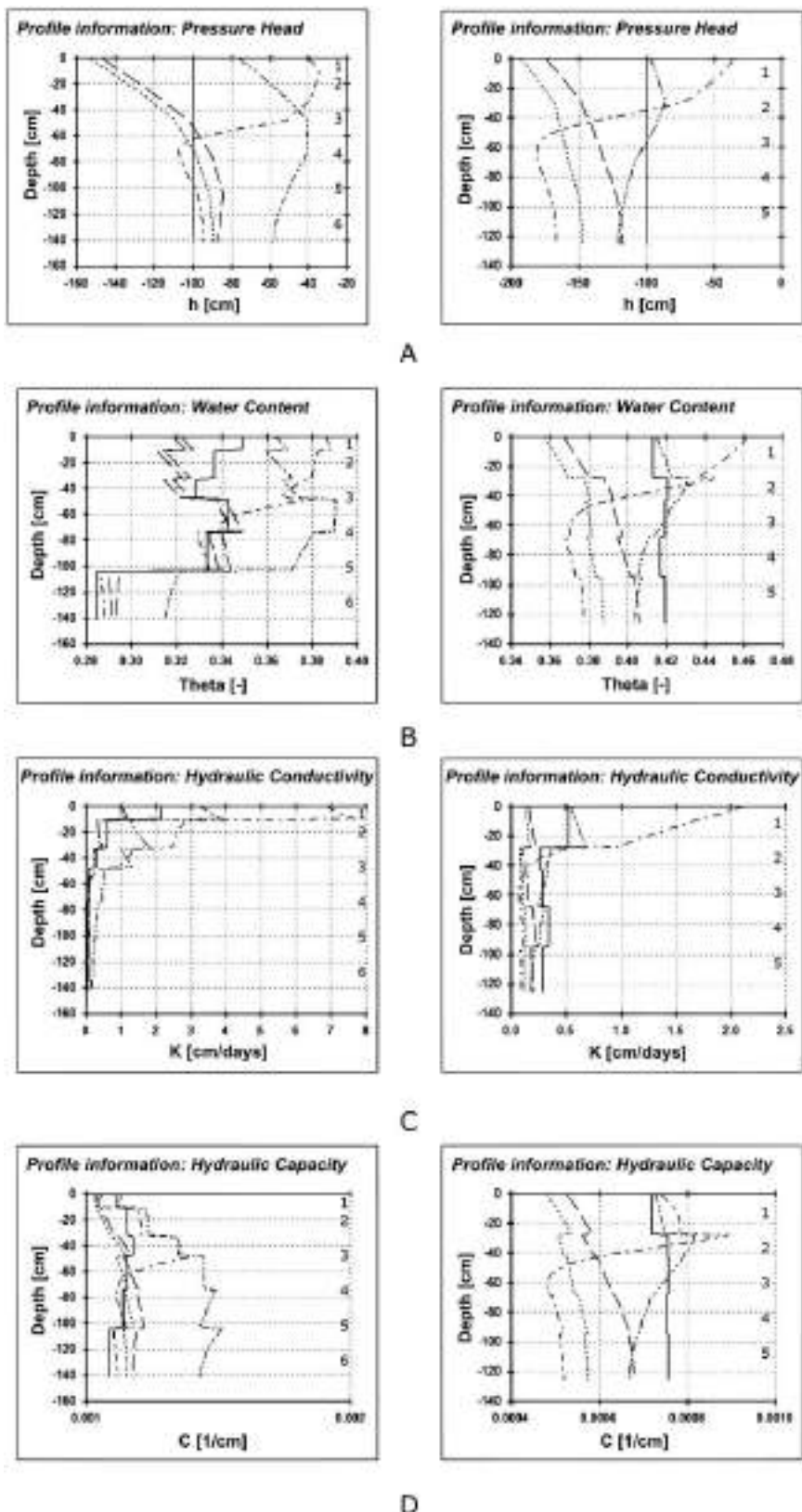


Figure 2. Models for rainfall (see Sequences of prediction): A – Pressure head; B – Water content; C – Hydraulic conductivity; D – Hydraulic capacity; on left for Luvisol, on right for Chernozem

Both soil types has the same changes in other days in modelling (θ , K and C), on 45th and 60th days same as Pressure head had, compare to models without precipitation (Fig. 1).

On 60th day, we are observing the last day of rainfall period (from 27th to 29th November). With respect to rain Pressure head increase in whole profile with maximum in illuvial horizons (Fig 2A). For Chernozem, we have been witnessing different changes with the same precipitation data. 15th day reflect to Pressure head without precipitation (Fig. 1). However, in 30th day Pressure head deviates because of evidence of rainfall during 3 days before it; 45th day demonstrate similar dynamic grow as Luvisol in this day, but changes more linear than for Chernozem due to the fact heavier texture. On 60th day Pressure head increase more in whole profile (Fig. 2A), compare to models without precipitation in this day (Fig. 1A), and has a light maximum in subsurface horizon.

This situation we understand through the equation where Pressure head has an impact on Water content and Hydraulic conductivity (equation 3) and then on Capacity (equation 4) through Water content. But the biggest changes reflecting in Hydraulic conductivity models, which has nearly seven times increase from surface in Luvisol and four times in Chernozem for 45th day compare to model without precipitation; deeper this parameter decrease to illuvial horizons (I(h)(gl) and H(i) respectively) in both soils. On 60th day they have nearly the same qualitative of differences.

More significantly modelling with precipitation, we get some information about influence the fine particles in soil profile on water regime. So Silty clay loam texture (Chernozem) passes three times less water than Loam texture (Luvisol) according to Hydraulic conductivity models (Fig. 2). In addition, Chernozem texture is better for water distribution. Water retain only on surface and upper horizons, which is well for agriculture using. While Luvisol has maximum values of parameters in subsoil's horizons often in illuvial genetic horizons.

4. Conclusions

Many of the above predictions by our researching indicate significant results achieved in the simulation by Hydrus-1D during the first 30 days. Later, the parameters of the water regime in the simulation do not change significantly. Therefore, for modelling it is advisable to choose periods of control over parameters of the Water regime in 5-10-20-30 days.

Compared to Luvisol, Chernozem, despite the ploughing, have the optimal indices of its texture, due to the natural genesis of this soil. Characteristics of texture provide better parameters of water regime (greater θ and K, at close h and C), which is due to the higher content of fine particles, which lend higher water content and hydraulic conductivity of Chernozem.

Illuvial clay of Luvisol, associated with eluvial-illuvial processes, has an indicated effect on the vertical distribution (down the profile) of such a parameter of the water regime as water content and less influence on the hydraulic capacity.

Inclusion in simulating of the precipitation that occurred during the observation time indicates that the model reflects the corresponding changes as a result of rain for hydraulic conductivity, and less for pressure head; water content and hydraulic capacity have changed slightly in such rainfall. It is likely that the more displayed effect of rain on day 45th than in other periods maybe explained by the nature of the precipitation (downpour rather than prolonged rain).

Acknowledgement

The authors are grateful to Dr. Boris Faybishenko from Lawrence Berkeley National Laboratory (USA) for the lectures that have opened us to Hydrus-1D and his sincere attitude to our requests.

References

1. Tsapko Y., Desyatnik K., Dmytruk Y. Assessment of changes of some functions of Ukrainian acid soils after chemical amelioration. *Soil Science Annual*. 2014. Vol. 65. (3). P. 111-117. DOI: <https://doi.org/10.1515/ssa-2015-0002>.
2. Global climate Report – Annual, 2019. URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>
3. FAO's work on climate change. *United Nations Climate Change Conference*. 2019. URL: <http://www.fao.org/3/ca7126en/CA7126EN.pdf>.
4. Šimuněk J., Šejna M., Saito H., Sakai M., Van Genuchten M.Th. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media, version 4.08. Department of Environmental Sciences. University of California. 2009. HYDRUS Software Series 3. Riverside. 330 p. URL: https://www.pc-progress.com/Downloads/Pgm_hydrus1D/HYDRUS1D-4.08.pdf.
5. Šimuněk J., Van Genuchten M.Th., Šejna M. HYDRUS: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*. American society of Agricultural Engineers 2012. Vol. 55(4). P. 1263-1274. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.42239>.

6. Chen M., Willgoose G., Saco P. Spatial prediction of temporal soil moisture dynamics using HYDRUS-1D. *Hydrological Processes*. 2014. Vol. 28(2). P. 171-185. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.9518>.
7. Porn L., Yan B., Soun S., Ouk S. Effects of Loess Cavity on Soil Moisture Movement: Revealed by Soil Column and HYDRUS Model. *Journal of Water Resource and Protection*. 2019. Vol. 11(04). P. 371. DOI: <https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.114022>.
8. Wang X., Li Y., Wang Y., Liu C. Performance of HYDRUS-1D for simulating water movement in water-repellent soils. *Canadian journal of soil science*. 2018. Vol. 98(3). P. 407-420. DOI: <https://doi.org/10.1139/CJSS-2017-0116>.
9. Minasny B., McBratney A. Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European journal of soil science*. 2018. Vol. 69(1). P. 39-47. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12475>.
10. Wu Y., Yang A., Zhao Y [et. al]. Simulation of soil water movement under biochar application based on the Hydrus-1D the black soil region of China. *Applied ecology and environmental research*. 2019. Vol. 17(2). P. 4183-4192. DOI: https://doi.org/10.15666/aeer/1702_41834192.
11. DSTU 4287:2004 Soil quality. Sampling (with abolition in Ukraine GOST 28168-89).
12. DSTU 4730:2007 Soil quality. The soil granulometric composition analysis by pipette method in modification of N.A.Kachynskyi. [Existing from 2008-10-01]. Kyiv: State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy. 2008. 18 p. (Ukr.).
13. Kühn P., Aguilar J., Miedema R., Bronnikova M. Textural pedofeatures and related horizons. *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths (Second Edition)*. 2018. P. 377-423. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53156-8.00011-8>.
14. Helevera O., Topolnyi F. Towards origin of podzolized and nonpodzolized acid soils. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 8(1). P. 516-526. DOI: https://doi.org/10.15421/2018_244.
15. Jačka L., Pavlásek J., Kovář M. The effect of the layer interface on the distribution of infiltrated water in the profile of mountain podzol. In 20th EGU General Assembly, EGU2018, Proceedings from the conference held 4-13 April 2018 in Vienna Austraalia. 2018. Vol. 20. P. 13767. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018EGUGA..2013767J/abstract>.
16. Balasubramanian A. Soil Forming Processes. Technical Report. University of Mysore. 2017. 10 p. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34636.00644>.
17. Génin J.M., Aissa R., Gehin A., Abbelmoula M., Benali O., Ernstsén V., Ona-Nguena G., Upadhyay C., Ruby C. Fougerite and FeII-hydroxycarbonate green rust; Ordering, deprotonation and/or cation substitution; Structure of hydroxycarbonate-like compounds and mythic ferrosichydroxide Fe(OH)_(2+x). *Solid State Sciences*. 2005. Vol. 7 P. 545-572. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solidstatedciences.2005.02.001>.
18. Mouhamad R., Atiyah A., Mohammad R., Iqbal M. Decomposition of organic matter under different soil textures. *Current Science*. 2015. Vol. 1(1). P. 22-25. URL: https://www.researchgate.net/publication/277775445_Decomposition_of_organic_matter_under_different_soil_textures.
19. Wang J., Huang Y., Long H. Water and salt movement in different soil textures under various negative irrigating pressures. *Journal of integrative agriculture*. 2016. Vol. 15(8). P. 1874-1882. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61209-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61209-6).
20. Belolipskyi V.O., Druhova O.P., Druhov O.N. Analysis of the soil hydrological function of steppe agrolandscapes: mathematical models of migration processes. *Agrochemistry and Soil Science. Collected papers. No.88*. 2019. NSC ISSAR. Kharkiv. P.12-21. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-02>.
21. Van Genuchten M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils 1. *Soil science society of America journal*. 1980. Vol. 44(5) P. 892-898. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>.
22. Hornberger G., Wiberg P., Raffensperger J., D'Odorico P. Elements of physical hydrology. Johns Hopkins University Press. Baltimore. 2014. 377 p. DOI: <https://doi.org/10.2307/1468014>.

УДК 631.4: 502.3

Можливості програми Hydrus-1D в оцінюванні водного режиму ґрунтів

Ю.М. Дмитрук*, В.А. Захаровський

Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича, Чернівці, Україна

* E-mail: y.dmytruk@chnu.edu.ua

Проблема забезпечення прісною водою постає все гостріше, і її посилюють кліматичні зміни, які спостерігаються у світі. Зростання температур повітря спричинює істотні пертурбації, які зачіпають всі аспекти життя людей. Проте особливої гостроти ця проблема набуває для сфери агровиробництва. Важливість водного режиму ґрунтів, як одного з їх компонентів, пояснюється не тільки власне функціонуванням екосистеми як такої. Насамперед через ґрунтову вологу забезпечується живлення рослин, а також міграція хімічних елементів як в межах профілю (радіально), так і між ґрунтовими педонами (латерально). Априорі зрозуміло, що різні ґрунти володіють іманентними особливостями водного режиму, який залежить від розміщення ґрунту в конкретних умовах (всі чинники ґрунтогенезу) та характеру ґрунтоутворення. Метою виконаного дослідження є порівняльна оцінка водного режиму різних ґрунтів (сірий лісовий та чорнозем опідзолений), які просторово межують між собою, а тому немає підстав говорити про достовірну різницю кліматичних умов (температура повітря, кількість опадів, гідротермічний коефіцієнт). Проте різниця в материнських породах цих ґрунтів і, як наслідок, в кінцевому результаті генезису зумовила низку відмінностей за їх показниками, найперше – за гранулометричним складом. Саме останній є одним з основних чинників впливу на водний режим ґрунту, що власне й враховує програма Hydrus-1D. Ця програма широко використовується закордонними дослідниками, проте в Україні вона якщо й відома, то немає достатньої бази даних про результати такого моделювання. У процесі останнього нами оцінювалися такі параметри: тиск води, її вміст, гідралічна провідність та гідралічна ємність. У модель включено дані про гранулометричний склад горизонтів досліджуваних ґрунтів, на основі яких вказані ще параметри ґрунтів оцінювали: на початок моделювання, 15-й, 30-й, 45-й і 60-й дні від початку. Встановлено, що протягом періоду спостереження ці параметри істотно відрізняються для сірого лісового ґрунту і чорнозему опідзоленого, незважаючи на тотожні кліматичні показники. Причому виявлено, що різниця між ґрунтами більша щодо профільного розподілу аналізованих параметрів, а потім вже за їх кількісними значеннями. Результати нашого дослідження демонструють істотну динаміку параметрів симуляції в процесі моделювання протягом

перших 30 днів, а надалі різниця між ними практично нівелюється. Тому для моделювання такого характеру доцільно вибирати періоди контролю параметрів водного режиму через 5-10-20-30 днів. Показники гранскладу чорнозему опідзоленого (важчий гранулометричний склад завдяки більшому вмісту дрібнодисперсних часток), забезпечують кращі параметри водного режиму, порівняно з сірим лісовим ґрунтом. Елювіально-ілювіальні процеси, які формували сірий лісовий ґрунт та призвели до утворення ілювіальних горизонтів з підвищеним, порівняно з іншими генетичними горизонтами вмістом мулу, істотно вплинули на вертикальний розподіл такого параметра водного режиму, як вміст води та менше на гідравлічну ємність. При включенні в моделювання реальної кількості опадів, які припали на час спостереження, одержано дані моделі щодо відповідних змін для гідравлічної провідності та менше для тиску води. Цілком ймовірно, що більш виражений ефект дощу на 45-й день, ніж в інші періоди, пояснюється характером опадів (зливи, а не тривалий помірний дощ). Отже, дані, одержані нами в процесі симуляції, зважаючи на розміщення ґрунтів в агроєкосистемах, можуть застосовуватися для впровадження конкретних агротехнологій та оцінювання їхніх результатів. Зокрема, є можливості передбачення інтенсивності процесів вилуговування, які істотно залежать від вертикального переносу води. Результатом є ризики як втрати поживних речовин з ґрунту, так і забруднення підґрунтових вод. Використання Hydrus 1D дає змогу прогнозувати забруднення ґрунтів, що надважливо для організації дієвого моніторингу стану ґрунтового покриву і ареалів антропогенних імпаکتів.

Ключові слова: Hydrus-1D; модель, сірий лісовий ґрунт; чорнозем опідзолений; гранулометричний склад, моделювання.

Форма цитування: Дмитрук Ю.М., Захаровський В.А. Можливості програми Hydrus-1D в оцінюванні водного режиму ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 18-27. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-02>.

УДК 631.482.1

Рухомі форми заліза в мікроелементному режимі алювіально-лучного ґрунту

Р.С. Трускавецький*, Н.Ю. Паламарь**

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 04.02.2020 Отримано після доопрацювання 08.03.2020 Затверджено до друку 16.03.2020 Доступно онлайн 01.06.2020</p> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>алювіально-лучний ґрунт; антагонізм; ґрунтовий розчин; мікроелемент; рухомі форми заліза; синергізм.</p>	<p>Представлено результати лабораторно-модельного дослідження з вивчення ролі рухомих форм заліза в мікроелементному режимі алювіально-лучного легкосуглинкового ґрунту. Мета роботи - виявити характер взаємодії (антагоністичної і/або синергетичної) між рухомими формами заліза та іншими мікроелементами (мідь, цинк та молібден), внесеними в ґрунт для поліпшення умов мікроелементного живлення бобових трав. У модельному лабораторному експерименті (вегетаційні посудини об'ємом 500 мл) дослідили вплив різних окремо та сукупно внесених мікроелементів на їх уміст у ґрунті і в рослинах пелюшки польової (<i>Pisum arvense</i> L.). Мікроелементи вносили на фоні мінерального удобрення (N₆₀P₆₀K₆₀) у вигляді сірчано-кислих солей у таких дозах: заліза – 200, міді – 132, цинку – 220 мг/кг ґрунту; молібден вносили у вигляді молібдату амонію у дозі 2 мг/кг ґрунту. Проби ґрунту і рослин відбирали, коли рослини були у фазі бутонізації. Застосовано аналітичний, модельний та статистично-математичний методи досліджень. Доведено, що рухоме залізо, яке є типоморфним елементом для гідроморфних ґрунтів, істотно впливає на надходження мікроелементів у бобову рослину. Показано, що антагонізм між залізом і цинком призводить до зниження доступності обох біогенних елементів рослинам пелюшки, маса яких на варіанті з парним внесенням цих елементів була найнижчою. Сукупне застосування молібдену, міді й цинку блокує негативний вплив рухомого заліза і позитивно впливає на зростання пелюшки; рослини відрізнялись найкращими біометричними показниками. Для ефективного вирощування пелюшки на лучних ґрунтах рекомендовано внесення молібденових добрив. Поліпшення мікроелементного режиму в лучних ґрунтах вимагає зниження концентрації закисних сполук заліза, як антагоністів інших мікроелементів, наприклад, шляхом аерації кореневмісного шару ґрунту.</p>

E-mail: *truskavetsky@ukr.net; **palamar@ukr.net

Форма цитування: Трускавецький Р.С., Паламарь Н.Ю. Рухомі форми заліза в мікроелементному режимі алювіально-лучного ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 28-33. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-03>.

1. Вступ

Забезпеченість рослин і насиченість кормових трав мікроелементами залежить не тільки від їх умісту у ґрунті, але й від наявності та взаємодії з іншими біогенними елементами в ґрунтового середовищі. Нестача того чи іншого мікроелементу в рослинах часто обумовлена явищами антагонізму, наявність якого між окремими біогенними елементами встановлено багатьма дослідниками [1-4]. Зокрема, латвійський учений Г.Я. Рінькіс [5] експериментально довів залежність поглинання рослинами мікроелементів від співвідношення їх концентрацій у ґрунтового розчині. Встановлено, що синергетичний ефект має місце за низького та оптимального вмісту біогенного елемента. Протилежний процес (антагонізм) найчастіше настає за високої концентрації в ґрунті елемента, який перетворюється на елемент-конкурент. Залізо, яке є типоморфним елементом гідроморфних і напівгідроморфних ґрунтів, чинить помітний вплив на поведінку інших елементів та умови мікроелементного живлення лучних бобових трав. Вони, як відомо, для формування білків потребують більше заліза порівняно зі злаковими культурами, що сприяє симбіотичній фіксації молекулярного азоту, локалізованого в кореневих бульбочках [6, 7]. Зі зміною режиму зволоження і переважання у ґрунті анаеробних умов окисні форми заліза легко переходять в активну, добре розчинну закисну форму, що призводить до його надлишку в ґрунтового розчині і погіршення умов мікроелементного живлення рослин. Водночас порушується баланс біогенних елементів у рослинному організмі [8-10]. Як зазначають деякі вчені [3, 11] симптоми залізистої токсичності проявляються по-різному, залежно від виду та стадії розвитку рослини. Питанням токсичної дії заліза на фізіологію і толерантність рослин присвячена оглядова робота С.Д. Фоу [12], де автор стверджує, що у разі, коли рослини добре забезпечені поживними речовинами, особливо Са, та SiO₂, вони здатні витримувати вплив дуже високих концентрацій заліза.

Пізнання закономірностей взаємодії між біогенними елементами дає можливість оцінити умови мінерального живлення рослин не тільки через уміст їх у ґрунтового

середовищі, але й у зв'язку з явищами антагонізму чи синергізму між ними. Відсутність знань з питань антагонізму/синергізму, передусім на ґрунтах, що зазнають періодичного перезволоження та накопичення закисних сполук, не дозволяє ефективно використовувати мікроелементний потенціал ґрунту та мікроелементні добрива. Виходячи з цього, предметом наших досліджень є встановлення антагоністичної і/або синергетичної взаємодії між рухомими формами заліза й окремими мікроелементами, які гостро необхідні для живлення рослин і, зокрема, гороху польового (*Pisum arvense* L.) або пелюшки. Вибір цієї культури як дослідної, обумовлено високою адаптацією її до алювіально-лучних ґрунтів, що є перспективним для вирощування високобілкового злаково-бобового трав'яного корму за розробленою нами раніше смужною технологією [13].

Мета досліджень – встановити характер взаємодії (антагоністичної і/або синергетичної) між рухомими формами заліза та іншими мікроелементами, внесеними в алювіально-лучний ґрунт для поліпшення умов мікроелементного живлення бобових трав.

2. Матеріали та методи досліджень

Виявлення антагонізму/синергізму між мікроелементами залізом, міддю, цинком та молібденом здійснювали шляхом проведення лабораторно-модельного дослідження. Для досліджень взято ґрунтову масу алювіально-лучного легкосуглинкового ґрунту з шару 0-30 см у заплаві річки Мерла у Краснокутському районі Харківської області. Для досліджуваного ґрунту виявлено такі параметри агрохімічних показників: рН_{H2O} – 7,4 (ГОСТ 26423-85); вміст рухомих форм елементів живлення: N-NH₄⁺ 12,3 мг/кг; N-NO₃⁻ сліди (ДСТУ 4729-2007); P₂O₅ – 21,3 мг/кг; K₂O – 110,9 мг/кг (за Чиріковим, ДСТУ 4115-2003); вміст гумусу 6,0 % (за Тюрніним, ДСТУ 4289-2004). Середній вміст фізичної глини (часток менше 0,01 мм) – 28,74 %. Ґрунт, за національними критеріями, містить достатньо макроелементів живлення рослин, але має низький рівень забезпеченості сільськогосподарських рослин рухомими формами мікроелементів.

Мікроелементи вносили у ґрунтову масу у вигляді сірчано-кислих солей у таких дозах: заліза – 200, міді – 132, цинку – 220 мг/кг. Молібден вносили у вигляді молібдату амонію у дозі 2 мг/кг ґрунту. Для фонового удобрення використовували аміачну селітру, суперфосфат та калійну сіль, норми яких у перерахунку на вказану масу ґрунту становили відповідно 60, 100, 50 мг, що адекватно дозі N₆₀P₆₀K₆₀ на 1 га, в розрахунку на 12-ти см шар ґрунту. Схему дослідження наведено в усіх таблицях з результатами.

Ґрунтовий субстрат з добавками мікроелементів та мінеральних добрив у трикратному повторенні поміщали в скляні посудини об'ємом 500 мл. Як тест-рослини використано горох польовий або пелюшку (*Pisum arvense* L.) сорту "Флора". У кожній посудині вирощували по 3 рослини; фенологічні спостереження і біометричні вимірювання продовжували від сходів до настання фази бутонізації.

Вміст рухомих сполук мікроелементів у ґрунті визначали на момент, коли рослини досягали стадії бутонізації, з використанням буферної амонійно-ацетатної витяжки з рН 4,8 за такими стандартизованими методиками: заліза – ДСТУ 4724:2007; міді – ДСТУ 4726:2007, цинку – ДСТУ 4722:2007.

У пробах рослин, відібраних одночасно з ґрунтовими, визначали вміст мікроелементів (Fe, Zn, Cu) після спалювання рослинної маси і розчинення у 10 % соляній кислоті атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі Сатурн-4 [14]. Визначити вміст Мо в ґрунті і рослинах не було можливості. Проте ця обставина не стала завадою для вирішення поставленої цільової задачі. Ефективність Мо було виявлено непрямыми методами – за станом розвитку бульбочкових бактерій та за результатами фенологічних спостережень за рослинами пелюшки від сходів до фази бутонізації.

3. Результати досліджень та їх обговорення

3.1. Дія окремого внесення мікроелементів

Залізо. Вміст Fe у ґрунті контрольного варіанту дослідження (без будь-яких добавок) на момент, коли рослини досягли фази розвитку «бутонізація», становив 32,4 мг/кг (Табл. 1). На варіанті, де було внесено тільки сульфат заліза (в. 3) вміст заліза в досліджуваному ґрунті після закінчення експерименту підвищився, порівняно з контролем, на 10,9 мг/кг ґрунту, а в рослинах пелюшки його визначено на рівні 1247 мг/кг сухої маси, що на 35 % більше порівняно з контролем (Табл. 2).

Таблиця 1

Вміст рухомих форм мікроелементів у ґрунті

Варіант досліді	Вміст мікроелементів, мг/кг ґрунту		
	Fe	Cu	Zn
1. Контроль (без добрив)	32,40	1,10	1,35
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (фон)	31,70	0,84	1,40
3. Фон+Fe	43,30	0,85	2,30
4. Фон+Mo	30,10	0,89	1,70
5. Фон+Zn	31,90	0,90	8,60
6. Фон+Cu	32,10	7,90	2,20
7. Фон+Mo+Fe	40,20	0,81	1,80
8. Фон+Zn+Fe	39,10	0,86	7,70
9. Фон+Cu+Fe	45,40	10,20	1,90
10. Фон+Mo+Cu+Zn+Fe	46,40	9,10	4,20

Таблиця 2

Вміст рухомих форм мікроелементів у біомасі пелюшки

Варіант досліді	Вміст мікроелементів, мг/кг сухої маси		
	Fe	Cu	Zn
1. Контроль (без добрив)	980	24,5	58,6
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (фон)	923	25,3	59,3
3. Фон+Fe	1247	18,7	61,2
4. Фон+Mo	919	11,1	80,0
5. Фон+Zn	917	23,3	89,1
6. Фон+Cu	920	29,7	39,7
7. Фон+Mo+Fe	1035	18,3	67,6
8. Фон+Zn+Fe	1144	19,3	56,1
9. Фон+Cu+Fe	1050	28,4	79,6
10. Фон+Mo+Cu+Zn+Fe	1249	30,1	43,7

Спостереженнями за ростом і розвитком пелюшки на цьому варіанті досліді (в. 3) виявлено явище скручування листків, а висота рослин була на 2,8 см меншою, ніж на контролі (Табл. 3). Причиною пригнічення рослин може вважатися акумуляція Fe понад 1000 мг/кг сухої маси, на що вказують роботи різних дослідників [3, 11]. Зазначимо, що природний вміст заліза в кормових рослинах може змінюватись від 18 до 1000 мг/кг сухої маси залежно від виду рослин та умов їх зростання [3].

Таблиця 3

Висота та надземна біомаса рослин пелюшки

Варіант досліді	Висота рослин, см	Біомаса, г/ посудину	
		зелена маса	суха маса
1. Контроль (без добрив)	18,5	1,28	0,22
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (фон)	21,0	1,31	0,27
3. Фон+Fe	15,7	1,17	0,16
4. Фон+Mo	20,5	1,38	0,18
5. Фон+Zn	19,9	1,49	0,17
6. Фон+Cu	19,8	1,33	0,21
7. Фон+Mo+Fe	15,6	1,16	0,14
8. Фон+Zn+Fe	18,3	1,23	0,29
9. Фон+Cu+Fe	14,6	0,77	0,18
10. Фон+Mo+Cu+Zn+Fe	26,4	1,62	0,34
НІР ₀₅	-	0,04	0,02

Цинк. Вміст цинку у ґрунті контрольного варіанту становить 1,35 мг/кг, отже, за національними критеріями, є достатнім. На варіанті №5, з внесенням сульфату цинку, констатували істотне підвищення вмісту рухомих форм Zn у ґрунті, що свідчить про низьку іммобілізаційну здатність дослідженого лучного ґрунту відносно цього мікроелементу. У надземній масі пелюшки його вміст також підвищився, але за зовнішнім виглядом рослини майже не відрізнялися від контролю. І цим підтверджуються висновки деяких вчених [15,16] стосовно того, що надходження цинку в рослини не завжди є адекватним його вмісту в ґрунті.

Мідь. Вміст міді у ґрунті контрольного варіанту становить 1,1 мг/кг (низький рівень забезпеченості, <1,5 мг/кг). Наші дослідження показали, що внесення міді в алювіально-лучний ґрунт сприяло збільшенню її вмісту в ґрунті порівняно з контрольним варіантом у декілька разів. Рослини також відреагували збільшенням вмісту рухомої міді на 5,2 мг/кг сухої маси. Спостереженнями за розвитком рослин на цьому варіанті не виявлено суттєвої різниці з контролем. Мідь є одним із малорухомих мікроелементів у ґрунтах, передусім карбонатних, та з нейтральною реакцією ґрунтового розчину, яким і є досліджуваний алювіально-лучний ґрунт. Її рухомість, тобто доступність рослинам, багато в чому залежить від процесів адсорбції і комплексоутворення.

Молібден. Позитивний вплив мікроелемента молібдену на продуктивність та якість бобових рослин неодноразово підтверджено. За нашими біометричними спостереженнями рослини пелюшки були добре розвинуті і мали здоровий вигляд, що

видно з таблиці 3, де на варіанті з окремим внесенням молібдену (в. 4) висота рослин помітно більша. Загалом відомо, що молібден сприяє активній діяльності азотобактера і бульбочкових бактерій, які засвоюють вільний азот з повітря і роблять його доступним для рослин. Тому бобові культури, в першу чергу, потребують внесення молібденових добрив, приріст урожаю від яких може досягати 3-4 ц/га, що є адекватним приросту від внесення 30 кг/га д. р. азоту. Таким чином, завдяки більш ефективній азотфіксації під впливом молібденових добрив, можна повністю відмовитись від внесення азотних добрив під бобові трави на добре гумусованих лучних ґрунтах.

3.2. Дія одночасного внесення двох і більше мікроелементів

Попарне внесення мікроелементів дало такі результати.

Mo+Fe. Внесення молібдену разом із залізом (в. 7) дещо знизило вміст рухомого заліза в ґрунті (40,2 мг/кг) порівняно з окремим внесенням заліза (43,3 мг/кг). Тенденція зниження вмісту Fe в ґрунті зберігалась і в зеленій масі пелюшки. Спостереженнями за станом рослин виявлено наявність плямистості на окремих листях, що, як доведено [3] є прямою ознакою нестачі в ґрунті молібдену. Висота рослин була меншою, ніж на варіанті з застосуванням окремо Mo. Отже, результати проведеного нами лабораторно-модельного дослідження свідчать, що підвищений вміст рухомого заліза антагоністично впливає на молібденове живлення бобових трав і призводить до затримки росту і розвитку.

Zn+Fe. Внесення цинку разом з залізом (в. 8) дещо знизило вміст рухомого заліза в ґрунті (39,1 мг/кг) порівняно з окремим його внесенням (43,3 мг/кг). Звертає на себе увагу, що вміст Zn, при цьому, також знизився з 8,6 до 7,7 мг/кг ґрунту. Вміст як цинку, так і заліза в зеленій масі пелюшки на цьому варіанті є помітно нижчим, ніж за внесення кожного мікроелементу окремо. У рослин спостерігалось в'янення і пожовтіння окремих листків. Висота рослин була меншою на 1,6 см, ніж за внесення цинку окремо. Комбінована дія двох мікроелементів-металів Zn+Fe призвела також до зниження надземної маси пелюшки на 0,26 г/посудину порівняно з окремим застосуванням цинку. І ми маємо погодитися з висновками Пулфорда [17], що взаємодія між залізом і цинком, вірогідно, призводить до осадження їх у вигляді мінералу франклініту ($ZnFe_2O_4$), через що різко знижується доступність обох металів для рослин. Результати наших досліджень певною мірою підтверджують цю гіпотезу.

Cu+Fe. Внесення міді разом із залізом (в. 9) незначно підвищило вміст їх рухомих форм у лучному ґрунті: Fe – до 45,4 мг/кг і Cu – до 10,2 мг/кг. Вміст цих мікроелементів у рослинах, навпаки, знизився. Так вміст міді в надземній біомасі пелюшки зменшився на 1,3 мг/кг сухої маси. За зовнішнім виглядом рослини пелюшки були більш дрібними і нерозвинутими, спостерігалось усихання і скручування листків. Надземна біомаса була найменшою серед досліджених варіантів (0,77 г на посудину) і висота рослин також була найменшою з усіх варіантів (14,6 см). Ці спостереження чітко показують, що надлишок рухомого заліза в ґрунтовому середовищі явно гальмує надходження інших мікроелементів у рослину.

Mo+Cu+Zn+Fe. На варіанті сукупного внесення всіх мікроелементів (в.10) у ґрунті помічено підвищення вмісту рухомих форм заліза та міді й зниження вмісту рухомого цинку порівняно із варіантами застосування мікроелементів окремо. Комбінована дія мікроелементів відобразилася деяким підвищенням їх вмісту в рослинах пелюшки порівняно з окремим застосуванням кожного елемента. В даному випадку проявився синергізм між мікроелементами. Висота рослин гороху в фазі бутонізації коливалася по всіх варіантах дослідження від 14,6 до 26,4 см (Табл. 3) і найбільш високими були рослини за сукупного внесення усіх досліджуваних мікроелементів (в. 10). Однак, слід відмітити, що хоча на варіанті з внесенням окремо молібдену рослини пелюшки були дещо нижчими, ніж на варіанті 10, але вони були товстшими та зеленішими.

3.3. Реакція кореневої системи рослин на внесені мікроелементи

Звертають на себе увагу помічені зміни в морфології та забарвленні кореневих систем. Корені рослин на варіанті, де вносились молібден, відрізнялися за потужністю розвитку – довжиною і розгалуженістю. На коренях сформувалися бульбочки яскравого жовтувато-молочного кольору. На варіанті з унесенням цинку, навпаки, корені були дуже слабо розвинуті (короткі з невеликим розгалуженням). Корені рослин на варіанті з унесенням міді відрізнялись жорсткістю, крихкістю і коричневим відтінком. На варіанті з унесенням заліза вони мало відрізнялися зовнішньо від коренів контрольних рослин.

4. Висновки

На основі результатів лабораторно-модельного дослідження та узагальнення й аналізу інформації з літературних джерел з питання ролі рухомих форм заліза в мікроелементному живленні рослин на алювіально-лучному ґрунті можна зробити такі висновки:

Підвищений вміст рухомих форм залізистих сполук в алювіально-лучному ґрунті погіршує його мікроелементний режим та біологічний кругообіг мікроелементів, призводить до блокування надходження мікроелементів у рослини пелюшки. Це явище відображається на гальмуванні росту і розвитку рослин та зниженні концентрації мікроелементів у надземній масі.

Особливо виразно проявляється антагоністичність характеру взаємодії Fe і Zn, що, вірогідно, пов'язано з утворенням мінералу франклініту ($ZnFe_2O_4$) й осадженням його в ґрунті у недоступній для рослин формі.

Для отримання високого і повноцінного урожаю пелюшки на лучних ґрунтах обов'язковим є застосування молібденових добрив.

Поліпшення мікроелементного режиму в лучних ґрунтах вимагає зниження концентрації закисних сполук заліза, як антагоністів інших мікроелементів, наприклад, шляхом аерації кореневмісного шару ґрунту.

Список використаної літератури

1. Лебедев С.И. Антагонизм ионов и уравновешенные растворы. Синергизм и аддитивность. // Физиология растений. Москва: Агропромиздат, 1988. Гл. 5. С. 313-315.
2. Охрименко М.Ф., Кузьменко Л.М., Сивак А.А. К вопросу о влиянии на растение сочетаний микроэлементов. // Микроэлементы в обмене веществ и продуктивности растений. Киев: Наукова думка, 1984. С. 16-20.
3. Каббата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. Москва: Мир, 1989. 440 с.
4. Фатеев А.И., Захарова М.А. Основы применения микроудобрений. Харьков: КП «Типография № 13», 2005. 134 с.
5. Ринькис Г.Я. Оптимизация минерального питания растений. Рига, 1972. 355 с.
6. Деревянский В.П., Стрюк М.В. Влияние микроэлементов на продуктивность сои. *Технические культуры*. 1993. № 3-4. С.8-9.
7. Пелюшка – перспективна кормова культура : наукове видання / Ю.І. Савченко, І.М. Савчук, М.Г. Савченко, К.В. Гончарова. *Аграрна наука виробництва*. 2008. №3. С. 26.
8. Трускавецький Р.С., Цапко Ю.Л. Основы управління родючістю ґрунтів: монографія / за наук. редакц. Р.С. Трускавецького. Харків: ФОП Бровін О.В., 2016. 388 с.
9. Зайдельман Ф.Р., Нарокова Р.П. Аккумуляция железа в заболоченных почвах и продуктивность растений. *Почвоведение*. 1973. № 10. С. 23-31.
10. Кашин В.К., Иванов Г.М. Железо в растениях Забайкалья. *Агрохимия*. 2007. №12. С. 36-43.
11. Зонн С.В. Железо в почвах. Москва: Наука, 1982. 206 с.
12. Foy C.D. General principles involved in screening plants for aluminum and manganese tolerance. In: *Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils*. ed. M.I. Wright, S.A. Ferrari. P. 255-267. Cornell Univ. Agric. Exp. Stn., Ithaca, NY. 420 p. 1977.
13. Трускавецький Р.С., Цапко Ю.Л., Калініченко В.М. Спосіб отримання високобілкового трав'яного корму на заплавах землях. *Аграрна наука виробництва*. 2007. №2 (40). С. 17.
14. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук мікроелементів у ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектроскопометрії: ДСТУ 4770:2007. [Чинний від 2007-28-04]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
15. Панин М.С., Бирюкова Е.Н. Закономерности аккумуляции меди и цинка в ризосфере растений. *Агрохимия*. 2005. № 1. С. 53-59.
16. Фиторемедиация. Железо. Микроэлементы в почвах и растениях [Электронный ресурс] URL: <http://phytoremediation.ru/8-group/zhelezo.html>
17. Pulford I.D. Mechanisms controlling zinc solubility in soils. *J. Soil Sci.* 1986. № 37. P. 427-438.

UDC 631.482.1

Movable forms of iron in the trace element mode of alluvial meadow soil

R.S. Truskavetskyi *, N.Yu. Palamar **

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
 Kharkiv, Ukraine
 E-mail: *truskavetskyi@ukr.net; **palamar@ukr.net

The results of a laboratory-model experiment on the study of the role of moving forms of iron in the trace element mode of alluvial-meadow loamy soil are presented. The purpose of the work is to identify the nature of the interaction (antagonistic and / or synergistic) between mobile forms of iron and other trace elements (copper, zinc and molybdenum) introduced into the soil to improve the conditions of trace element nutrition of legumes. In a model

laboratory experiment (500 ml vegetation vessels) investigated the effect of various trace elements, either alone or in a mixture, on their content in the soil and in the field dipter plants (*Pisum arvense L.*). The trace elements were used on the background of mineral fertilizer (N60P60K60) in the form of sulfuric acid salts in the following doses: iron - 200, copper - 132, zinc - 220 mg / kg of soil; molybdenum was made in the form of ammonium molybdate at a dose of 2 mg / kg soil. Samples of soil and plants were taken when the plants were in the budding phase. Analytical, model and statistical-mathematical research methods were applied. It was proved that movable iron, which is a typomorphic element for hydromorphic soils, significantly influences the input of trace elements into the legume. It was shown that the antagonism between iron and zinc leads to a decrease in the availability of both biogenic elements to the plants of dipter, the mass of which, in the variant with the pair introduction of these elements was the lowest. The combined use of molybdenum, copper and zinc blocks the negative effects of mobile iron and has a positive effect on the growth of dipter; the plants had the best biometrics. The use of these trace elements will thus contribute to the formation of high yields of legumes grown on iron-saturated hydromorphic and semi-hydromorphic floodplain soils.

Keywords: alluvial-meadow soil; antagonism; iron movable forms; soil solution; synergism; trace element.

Citing: Truskavetskyi R.S., Palamar N.Yu. Movable forms of iron in the trace element mode of alluvial meadow soil.. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 28-33. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-03>.

УДК: 631.4

Діагностичні критерії елементарних ґрунотворних процесів у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття

З.П. Пеньків*, С.З. Малик**, Т.С. Ямелинець***

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 27.12.2019 Отримано після доопрацювання 11.03.2020 Затверджено до друку 16.03.2020 Доступно онлайн 01.06.2020</p> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>профільно-диференційовані ґрунти; Передкарпаття; діагностичні ознаки; генеза; новоутворення.</p>	<p>Генеза профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття є найбільш дискусійною, оскільки для діагностики елементарних ґрунотворних процесів (ЕГП) використовують різні діагностичні ознаки. Метою дослідження є встановлення сукупності морфологічних, хімічних та фізико-хімічних діагностичних ознак ґрунотворних процесів на основі аналізу морфології ґрунту та новоутворень і валового хімічного складу дрібнозему, мулу та ґрунтових новоутворень (нодулів, ортштейнів, кутан). Методи дослідження: профільний, порівняльно-географічний, лабораторно-аналітичний. Об'єкт дослідження: профільно-диференційовані (дерново-підзолисті та буроземно-підзолисті) ґрунти Передкарпаття. На основі власних польових та лабораторно-аналітичних досліджень встановлено, що основними ЕГП, які формують генетичний профіль профільно-диференційованих ґрунтів є лесиваж, опідзолення, внутрішньоґрунтове оглинення, глее-елювіювання та сегрегація. У дерново-підзолистих ґрунтах основними профілеутворюючими ЕГП є такі: опідзолення, для якого характерні від'ємні значення елювіально-акумулятивних коефіцієнтів і коефіцієнта зміни силікатної частини у верхніх горизонтах, присутність скелетан і сескван; глее-елювіальний процес, характерною рисою якого є значне переважання втрат Fe₂O₃ над втратами Al₂O₃ та наявність ортштейнів. Процеси лесиважу та сегрегації мають незначну інтенсивність. Основними профілеутворюючими ЕГП у буроземно-підзолистих ґрунтах є лесиваж та внутрішньоґрунтове оглинення разом із незначною дією процесів опідзолення, та глее-елювіювання. На домінуючу у лесиважу у буроземно-підзолистих ґрунтах вказують наявність аргілан (глинисті кутани, гранулометричний склад яких є важчий порівняно з ґрунтом у горизонті, який їх уміщує) та рівномірний розподіл у межах профілю відношень SiO₂ : R₂O₃ і SiO₂ : Al₂O₃ у мулистій фракції. Процес внутрішньоґрунтового оглинення у буроземно-підзолистих ґрунтах характеризують додатний баланс оксидів у мулистій фракції, наявність нодулів у межах усього профілю, коефіцієнт зміни силікатної частини у мулистій фракції більше 1,0 і коефіцієнт нагромадження Mn₂O₄ у нодулях та аргіланах більше 1,0. Запровадження єдиних діагностичних ознак ЕГП у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття дозволить вирішити генетичну та класифікаційну проблеми.</p>

E-mail: *zpankiv@gmail.com; **szmalyk@gmail.com; ***taras.yamelynets@lnu.edu.ua

Форма цитування: Пеньків З.П., Малик С.З., Ямелинець Т.С. Діагностичні критерії елементарних ґрунотворних процесів у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття. *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 34-40. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-04>.*

1. Вступ

Територія Передкарпаття розташована у перехідній смузі між південно-західним краєм Подільської височини та північно-східними схилами Українських Карпат, характеризується відмінностями у рельєфі, кліматичних і біологічних чинниках ґрунтоутворення, що зумовило формування різних за генезою, морфологією та спектром внутрішньоґрунтових ґрунотворних процесів. Складний генетичний характер ґрунтів Передкарпаття, різноманітність трактування морфологічних особливостей, відсутність єдиних діагностичних ознак елементарних ґрунотворних процесів (ЕГП) та складність аналітичного визначення ряду показників спричинили дискусії між представниками різних ґрунтознавчих шкіл на таксономічно-класифікаційному рівні.

Профільно-диференційовані ґрунти (некласифікаційне поняття, яке об'єднує різні ґрунти з вертикальною диференціацією гранулометричного та валового хімічного складу дрібнозему в ґрунтового профілі) гумідних областей світу (лювісолі, ретісолі, планосолі, акрісолі і ін.), сформовані на суглинкових та глинистих субстратах різного генезису, є одними із складно організованих та інформаційно ємних [1]. На основі результатів ґрунтових досліджень у Передкарпатті виділено два типи профільно-диференційованих ґрунтів – дерново-підзолисті та буроземно-підзолисті, профілі яких мають аналогічний набір генетичних горизонтів, проте формуються за участі різних за спрямованістю та інтенсивністю ЕГП. За всю історію розвитку вітчизняного ґрунтознавства одним із найдискусійніших питань було пояснення генези профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття. Погляди науковців щодо формування елювіально-ілювіальної, зокрема мінералого-гранулометричної, диференціації профілю були і залишаються

неоднозначними, що зумовлено суперечливістю критеріїв діагностики процесів елювіальної деградації ґрунту (лесиваж, опідзолення, глеє-елювіювання) та майже аналогічним результатом їх проходження. Складність та неоднозначне тлумачення генетичної природи профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття зумовлює необхідність розробки чітких діагностичних критеріїв їхнього генезису [2]. Метою роботи є встановлення діагностичних критеріїв ЕГП у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття на основі узагальнення результатів власних досліджень та опублікованих даних інших дослідників у регіоні Передкарпаття [2, 13, 14] щодо гранулометричного та валового хімічного складу, морфологічних особливостей та фізико-хімічних властивостей дрібнозему, мулистої фракції і ґрунтових новоутворень.

2. Об'єкти і методи дослідження

На основі опрацювання карт ґрунтів у межах Передкарпаття ми вибрали 3 ключові ділянки, в межах яких заклали ґрунтові розрізи. Ключова ділянка «Камінь» (К) розташована у межах Прилуквинської височини на сьомій надзаплавній терасі Дністра (рівень Красної, $h=515$ м н. р. м.). Ключова ділянка «Лоева» (Л) розташована у межах Прут-Бистрицької височини на шостій надзаплавній терасі Дністра (рівень Лоевої, $h=570$ м н. р. м.). Ключова ділянка «Гірне» (Г) розташована у межах Дрогобицької височини на четвертій надзаплавній терасі Дністра ($h=325$ м н. р. м.). Профільно-диференційовані ґрунти Передкарпаття сформувалися на давньоалювіальних та алювіально-делювіальних відкладах. Схему розміщення ґрунтових розрізів представлено на рисунку.

У польових умовах дослідили морфологічні особливості та відібрали проби ґрунту із генетичних горизонтів, ґрунтоутворної породи та з таких новоутворень: *нодулі* – Fe-Mn конкреційні новоутворення з відносно рівномірним насиченням оксидами Fe і Mn у всьому перерізі, нечіткою формою та дифузними контурами, а їхній хімічний склад не відрізняється від ґрунту в горизонті, який їх уміщує; *ортштейни* – Fe-Mn конкреційні новоутворення, які мають чітку внутрішню структуру, відмінну за хімічним складом із добре вираженими концентричними кільцями акумуляції Fe і Mn, овальної та трубчастої форми з чіткими контурами; *аргілани* – глинисті кутани; *скелетани* – кутани скелетних зерен (присипка SiO_2); *сесквани* – кутани півтораоксидів. У лабораторних умовах із ґрунтових зразків відмили фракцію мулу ($< 0,001$ мм) за методикою Н.І. Горбунова [3].

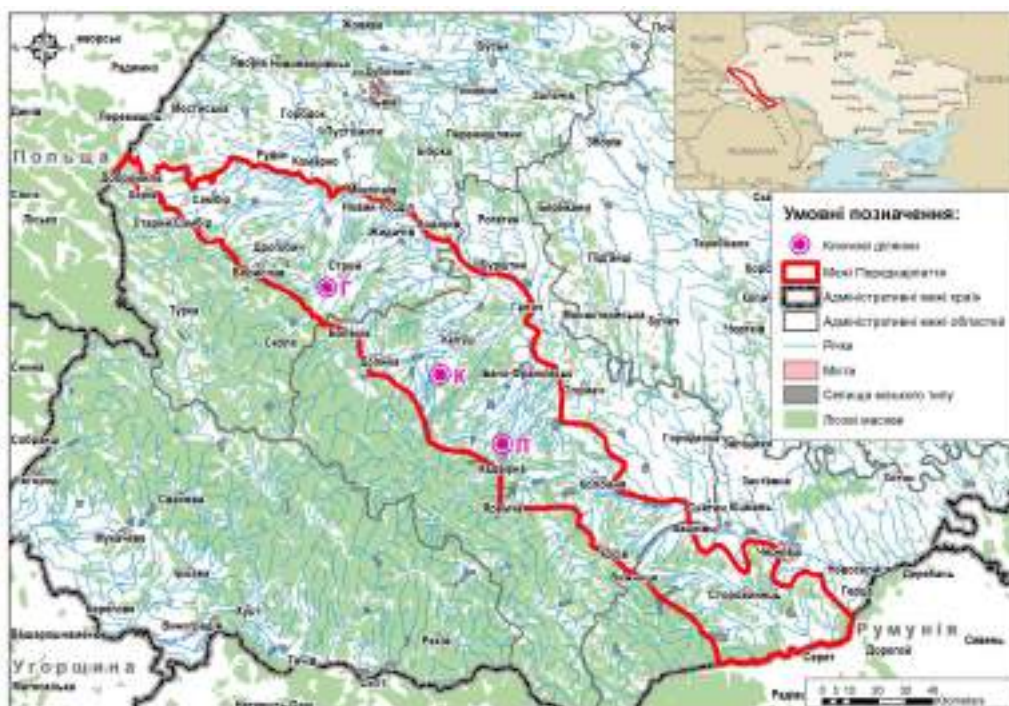


Рис. Картохема розташування ключових ділянок у межах Передкарпаття

У загальній масі ґрунту та окремо в мулистій фракції, нодулях, ортштейнах та аргіланах визначили валовий хімічний склад: Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO – комплексометричним методом; K_2O , Na_2O , Mn_3O_4 , TiO_2 – фотометричним; SO_2 , SiO_2 – ваговим [4]. Гранулометричний склад ґрунту, аргілан, ортштейнів і нодулів визначили за методом

Н.А. Качинського з підготовкою зразків пірофосфатним методом за С. Долговим і А. Лічмановою [5].

На основі результатів аналізу валового хімічного складу мулу, дрібнозему й ґрунтових новоутворень розраховали молярні відношення за методикою Г. Герасовіца (показники диференціації профілю) [6], «фактор вилугування» за методикою Г. Йенні [7], елювіально-аккумулятивні (ЕА) коефіцієнти Fe_2O_3 , R_2O_3 , загальний елювіально-аккумулятивний коефіцієнт для усіх оксидів (ЕА t) та елювіально-аккумулятивний коефіцієнт для усіх оксидів, крім оксиду-свідка, (ЕА m) за методикою О.А. Роде [8]. Для встановлення генези нодулів, ортштейнів та аргілан розраховали коефіцієнт нагромадження (Кх) [9]. Гідролітичну кислотність визначали за методом Каппена [10].

3. Результати досліджень та їх обговорення

У ґрунтознавстві ніколи не було обмежень щодо правил відбору основних діагностичних ознак, а їхня кількість та різноманіття мають бути достатніми, щоб сформуванню генетичну концепцію щодо утворення типу ґрунту. При цьому у кожному типі мають бути достовірно обґрунтовані всі основні властивості та комбінації ґрунтів, а якщо певні властивості ґрунтів не отримують процесного пояснення, то, як вважають, потрібно виділяти нові ЕГП [11]. Аналіз ґрунтоутворних процесів у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття дав змогу авторам статті [12], а також іншим дослідникам [13, 14] виділити кілька основних ЕГП – опідзолення, лесиваж, внутрішньоґрунтове оглинення, глеє-елювіювання і сегрегація, які формують морфологічні ознаки та фізико-хімічні властивості ґрунту. Неоднозначність генези профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття зумовлена тим, що іноді різні процеси формують подібний морфологічний профіль.

Процес опідзолення не має однозначного трактування, тому у науковій літературі існує декілька класичних теорій: колоїдно-хімічна, біохімічна та фізико-хімічна. Для діагностики процесу опідзолення використовують ряд критеріїв: накопичення SiO_2 в Е горизонті; накопичення SiO_2 в мулистій фракції в Е горизонті; розширення відношення $SiO_2 : Al_2O_3$ і $SiO_2 : Fe_2O_3$ у межах профілю [14]. Процес опідзолення у ґрунтах Передкарпаття І.С. Смага діагностує за молярними відношеннями $SiO_2 : Al_2O_3$ та елювіально-аккумулятивними коефіцієнтами Алюмінію (ЕАК $_{Al_2O_3}$) [13].

За результатами власних досліджень для діагностики процесу опідзолення у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття ми використали такі морфологічні показники: наявність світлого елювіального горизонту; присутність ґрунтових новоутворень (скелетани у верхніх горизонтах і сесквани на гранях структурних агрегатів у I(e)m gl та Pi gl горизонтах). За результатами лабораторно-аналітичних досліджень здобуто такі показники: елювіально-аккумулятивні коефіцієнти (ЕА); коефіцієнт зміни силікатної частини; показники гранулометричної диференціації профілю (показник ступеня диференціації профілю $S > 2,0$) (Табл. 1).

Таблиця 1

Діагностичні критерії ЕГП опідзолення у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття

ЕГП	Критерій
	від'ємні значення ЕА t та ЕА m у мулистій фракції для HE gl горизонту
	від'ємні значення ЕА t та ЕА m у дрібноземі для HE gl та Eh gl горизонтів
	від'ємні значення ЕА $_{Fe_2O_3}$ та ЕА $_{R_2O_3}$ у мулистій фракції HE gl горизонту
	від'ємні значення ЕА $_{Fe_2O_3}$, ЕА $_{Al_2O_3}$, ЕА $_{R_2O_3}$ у HE gl та Eh gl горизонтах у дрібноземі
	коефіцієнт зміни силікатної частини у дрібноземі для HE gl та Eh gl горизонтів $< 1,0$.
Опідзолення	звуження молярних відношень у дрібноземі $SiO_2 : Al_2O_3$, $SiO_2 : Fe_2O_3$ та $SiO_2 : R_2O_3$
	звуження молярних відношень у мулистій фракції $SiO_2 : Al_2O_3$; $SiO_2 : Fe_2O_3$ та $SiO_2 : R_2O_3$
	наявності скелетан (присипки SiO_2) у HE gl та Eh gl горизонтах
	наявності сескван на гранях структурних агрегатів у I(e)m gl та Pi gl горизонтах
	наявності елювіального горизонту, потужністю понад 10 см
	показник ступеня диференціації профілю $S > 2,0$

Від'ємні значення елювіально-аккумулятивних коефіцієнтів і коефіцієнта зміни силікатної частини, які діагностуються нашими попередніми результатами [12] тільки у верхніх (HE gl та Eh gl) горизонтах, незначна кількість скелетан та відсутність сескван вказують на мінімальну інтенсивність процесу опідзолення у буроземно-підзолистих ґрунтах. У дерново-підзолистих ґрунтах від'ємні значення елювіально-аккумулятивних коефіцієнтів і коефіцієнта зміни силікатної частини є характерними для верхніх трьох горизонтів (HE gl, Eh gl та El gl), а звуження молярних відношень $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ у мулистій фракції, присутність скелетан у HE gl та Eh gl горизонтах і сескван у I(e)m gl та Pi gl горизонтах, вказує на більшу інтенсивність процесу опідзолення.

Профільна диференціація ґрунтів, які сформувалися на суглинкових породах, може бути зумовлена процесом лесиважу – переміщення мулистих частинок із елювіального горизонту без їх хімічного руйнування по порах та тріщинах під дією гравітаційних вод і перевідкладення у нижчих горизонтах. Таку теорію запропонували ще у 1920-х роках К. Д. Глінка та О. Н. Соколовський. У подальшому Н. Чернеску та Ф. Дюшофур сформували концепцію лесиважу – процесу пептизування, відмивання мулистих часточок з поверхні зерен грубозернистого (піщаного або грубопилуватого) матеріалу та їх виносу в непорушеному стані з елювіального горизонту [15, 16].

Результатами досліджень виявлено, що лесиваж у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття діагностується морфологічно – за наявністю в ілювіальному горизонті аргілан (глинистих кутан), формування яких зумовлено перенесенням тонкодисперсних часточок із верхніх горизонтів гравітаційним потоком води та суспензійним перенесенням мулу. Процес лесиважу ми діагностували за порівнянням значень гранулометричного складу аргілан та дрібнозему у горизонті, який їх уміщує, а також за додатними значеннями елювіально-аккумулятивних (EA) коефіцієнтів у мулистій фракції та дрібноземі в ілювіальній частині профілю і за рівномірним розподілом у профілі відношень $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ та $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ у мулистій фракції. Додатні значення $EA_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$, $EA_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ та $EA_{\text{R}_2\text{O}_3}$ та $>1,0$ коефіцієнт зміни силікатної частини у El gl, I(e)m gl та Pi gl горизонтах підтверджують наявність процесу лесиважу у профільно-диференційованих ґрунтах (Табл. 2) [17].

Таблиця 2

Діагностичні критерії ЕГП лесиважу у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття

ЕГП	Критерій
Лесиваж	рівномірний розподіл у профілі відношень $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ та $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ у мулистій фракції
	наявність аргілан (глинистих кутан) у межах I(e)m gl та Pi gl горизонтів
	мулувато-важкоглинистий гранулометричний склад аргілан, більш важкий порівняно з горизонтом, який їх уміщує, а вміст мулу в аргіланах - понад 50 %
	додатні значення EAt та EAm у мулистій фракції у El gl, I(e)m gl та Pi gl горизонтах
	додатні значення EAt , та EAm у дрібноземі у El gl, I(e)m gl та Pi gl горизонтах
	додатні значення $EA_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ та $EA_{\text{R}_2\text{O}_3}$ у мулистій фракції у El gl, I(e)m gl та Pi gl горизонтах
	додатні значення $EA_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$, $EA_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ та $EA_{\text{R}_2\text{O}_3}$ у El gl, I(e)m gl та Pi gl у дрібноземі
коефіцієнт зміни силікатної частини у дрібноземі у El gl, I(e)m gl та Pi gl горизонтах $>1,0$	

У буроземно-підзолистих ґрунтах у I(e)m gl та Pi gl горизонтах чітко виражені аргілани (глинисті кутани), які покривають включення валунів та гальки, а їхній гранулометричний склад є мулувато-важкоглинистим, що є надійнішою ознакою лесиважу. Рівномірний розподіл у межах профілю співвідношень $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ та $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ у мулистій фракції, додатні значення EA коефіцієнтів у El gl, I(e)m gl та Pi gl горизонтах та $>1,0$ коефіцієнт зміни силікатної частини у El gl, I(e)m gl та Pi gl горизонтах підтверджують процес лесиважу. Натомість, у дерново-підзолистих ґрунтах спостерігаємо відсутність аргілан (глинисті кутани), звуження від верхніх горизонтів до породи відношень $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ та $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ у мулистій фракції та рівний 1,0 коефіцієнт зміни силікатної частини у I(e)m gl та Pi gl горизонтах, що вказує на мінімальну інтенсивність процесу лесиважу у дерново-підзолистих ґрунтах.

Внутрішньоґрунтове оглинення – це процес формування глини *in situ* внаслідок трансформаційного глиноутворення із первинних шаруватих силікатів та синтезу глинистих мінералів. Результатом внутрішньоґрунтового оглинення є накопичення мулу у

будь-якій частині профілю без виявлених причин такого накопичення (Табл. 3) [11]. Процес внутрішньоґрунтового оглинення характеризують додатній баланс оксидів у мулистій фракції, наявність нодулів у межах усього профілю, коефіцієнт зміни силікатної частини у мулистій фракції більше 1,0 і коефіцієнт нагромадження Mn_3O_4 у нодулях та аргіланах більше 1,0 [18, 19].

Таблиця 3

Діагностичні критерії ЕГП внутрішньоґрунтового оглинення у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття

ЕГП	Критерій
Внутрішньо-ґрундове оглинення	додатний баланс оксидів у мулистій фракції
	коефіцієнт зміни силікатної частини у мулистій фракції $>1,0$ в усьому профілі
	максимальні значення гідролітичної кислотності та pH_{KCl} у $E1\ gl$ та $I(e)m\ gl$ горизонтах
	наявність у межах усього профілю нодулів, хімічний склад яких є майже ідентичним із складом ґрунту в горизонті, який їх уміщує, що свідчить про їх «кінсітну» генезу
	значення коефіцієнта нагромадження Mn_3O_4 у нодулях $>10,0$
	значення коефіцієнта нагромадження Mn_3O_4 в аргіланах $>1,0$

Процес внутрішньоґрунтового оглинення є характерним для буроземно-підзолистих ґрунтів, у яких, за рахунок руйнування первинних та вторинних мінералів *in situ*, формується потужний ілювіальний метаморфічний горизонт. Наявністю нодулів, які мають «кінсітну» генезу та великими значеннями коефіцієнта нагромадження Mn_3O_4 підтверджується процес внутрішньоґрунтового оглинення. У дерново-підзолистих ґрунтах ілювіальний горизонт характеризується збільшенням вмісту мулу, принесеного із верхніх горизонтів.

Суттєвий вплив на формування світлих елювіальних горизонтів має процес – руйнування глинистих силікатів при оглеєнні з наступним перенесенням, або сегрегацією продуктів руйнування та залишковим накопиченням кремнезему [20]. Оглеєння, як вважає Ф.Р. Зайдельман [21], при застійно-промивному типі водного режиму, є єдиною причиною для формування елювіального горизонту. Тому, основною ознакою глеевого процесу є вивільнення Феруму, і як наслідок, утворення світлого елювіального горизонту [21]. Для діагностики глее-елювіального процесу ми використовували такі критерії: відсутність плавного розширення відношення $SiO_2 : R_2O_3$ вниз по профілю; розширення відношення $SiO_2 : Fe_2O_3$; розширені співвідношення відношень $SiO_2 : Fe_2O_3 / SiO_2 : Al_2O_3$. Глее-елювіальний процес у профільно-диференційованих ґрунтах ми діагностували за втратами Fe_2O_3 відносно материнської породи, рівномірним профільним розподілом відношення $Al_2O_3 : Fe_2O_3$ у мулистій фракції та дрібноземі, переважанням втрат Феруму над Алюмінієм (Табл. 4).

Таблиця 4

Діагностичні критерії глее-елювіального ЕГП у профільно-диференційованих ґрунтах Передкарпаття

ЕГП	Критерій
Глее-елювіальний	рівномірний профільний розподіл відношення $Al_2O_3 : Fe_2O_3$ у мулистій фракції
	рівномірний профільний розподіл відношення $Al_2O_3 : Fe_2O_3$ у дрібноземі
	рівномірний профільний розподіл відношення $\frac{SiO_2 : Fe_2O_3}{SiO_2 : Al_2O_3}$ у мулистій фракції
	рівномірний профільний розподіл відношення $\frac{SiO_2 : Fe_2O_3}{SiO_2 : Al_2O_3}$ у дрібноземі
	переважання втрат Fe_2O_3 над втратами Al_2O_3 у $HE\ gl$ та $Eh\ gl$ горизонтах у дрібноземі
	наявність в елювіальному горизонті ортштейнів круглої та овальної форми, які складені концентричними кільцями чорного та вохристого забарвлення, а коефіцієнт нагромадження оксидів $>1,0$

У буроземно-підзолистих ґрунтах незначне переважання втрат Fe_2O_3 над втратами Al_2O_3 вказує на мінімальну інтенсивність глеє-елювіального процесу у них, на відміну від дерново-підзолистих ґрунтів, у яких втрати Fe_2O_3 у 2-3 рази перевищують втрати Al_2O_3 . Діагностичною ознакою глеє-елювіального процесу у дерново-підзолистих ґрунтах є наявність ортштейнів, які формуються внаслідок окисно-відновних умов та мають «ексітну» ґенезу.

Вищезгадані процеси у профільно-диференційованих ґрунтах доповнюються також сегрегацією – процесом формування стягнень, які ростуть по субпаралельних поверхнях та відрізняються від навколишнього матеріалу за хімічним складом і морфологічними особливостями [20].

Сегрегаційні процеси у профільно-диференційованих ґрунтах спричинені окисно-відновними умовами за активної участі ґрунтових мікроорганізмів. Процес сегрегації ми діагностували [18] за наявністю новоутворень нодулів та додатними значеннями коефіцієнта нагромадження (K_x) елементів у них: Mn_3O_4 (9,0-53,6); CaO (1,3-3,4); MgO (1,1-1,6); Na_2O (1,1-1,4); K_2O (1,0-1,1); за наявністю новоутворень ортштейнів та додатними значеннями K_x у них: Fe_2O_3 (2,7); Al_2O_3 (1,0-1,9); CaO (1,2-1,7); Mn_3O_4 (1,4-1,6); TiO_2 (1,0) [19]. Як відомо з літератури [11], процес сегрегації не може відбуватися без процесу оглеєння, який мобілізує в розчин елементи зі змінною валентністю.

4. Висновки

В результаті узагальнення даних, здобутих власними дослідженнями, й аналізу опублікованих у світовій літературі відомостей запропоновано переліки основних критеріїв для діагностування елементарних ґрунтових процесів у профільно-диференційованих ґрунтах.

Виявлено, що основними ЕГП, які формують генетичний профіль профільно-диференційованих ґрунтів є лесиваж, опідзолення, внутрішньоґрунтове оглинення, глеє-елювіювання та сегрегація. Встановлено, що у дерново-підзолистих ґрунтах основними профілеутворюючими ЕГП є опідзолення, для якого характерні від'ємні значення елювіально-аккумулятивних коефіцієнтів і коефіцієнта зміни силікатної частини для верхніх трьох горизонтів (HE gl, Eh gl та El gl), присутність скелетан у HE gl та Eh gl горизонтах і сескван у I(e)m gl та Pi gl горизонтах та глеє-елювіальний ЕГП, характерною рисою якого є значне переважання втрат Fe_2O_3 над втратами Al_2O_3 та наявність ортштейнів. Процеси лесиважу та сегрегації мають незначну інтенсивність. Основними профілеутворюючими ЕГП у буроземно-підзолистих ґрунтах є лесиваж та внутрішньоґрунтове оглинення при незначній дії опідзолення, глеє-елювіювання та сегрегації. На переважання процесу лесиважу у буроземно-підзолистих ґрунтах вказують присутність у I(e)m gl та Pi gl горизонтах аргілан, гранулометричний склад яких є важчим порівняно з дрібноземом у горизонті, який їх уміщує, та рівномірний розподіл у межах всього профілю відношень $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ та $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ у мулистій фракції. Процес внутрішньоґрунтового оглинення у буроземно-підзолистих ґрунтах характеризують додатній баланс оксидів у мулистій фракції, наявність нодулів у всьому профілі, коефіцієнт зміни силікатної частини у мулистій фракції більше 1,0 і коефіцієнт нагромадження Mn_3O_4 у нодулях та аргіланах більше 1,0. Запровадження єдиних діагностичних ознак для профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття дозволить вирішити генетичну та класифікаційну проблеми.

Список використаних джерел

1. Бронникова М.А., Таргульян В.О. Кутанный комплекс текстурно-дифференцированных почв. Москва: Академкнига, 2005. 197 с.
2. 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.
3. 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>
4. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. Москва: Издательство Московского университета, 1970. 488 с. URL: <https://mexalib.com/view/39693>.
5. Качинский Н.А. Физика почвы. Москва: Высшая школа. Ч. 1. 1965. 324 с. URL: http://www.pochva.com/?content=3&book_id=0441.
6. Harrassowitz H. Laterit. *Fortschr. Geolog. und Palaont.* 1926.
7. Jenny H. Behavior of potassium and sodium during the process of soil formations. *Missouri Agris. Exp. Sta. Res. Bull.* 1931. №162. P. 24–52.
8. Роде А.А. Избранные труды. Подзолообразовательный процесс. Москва: ГНУ Почвенный ин-т им.В.В. Докучаева Россельхозакадемии. 2008. 480 с.

9. 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.
10. Практикум по агрохімії: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп./ Под ред. академика РАСХН В.Г.Минеева. Москва: Изд-во МГУ, 2001. 689 с. URL:http://bookshare.net/books/chem/mineevvg/2001/files/prak_agrochem.pdf
11. Элементарные почвообразовательные процессы: опыт концептуального анализа, характеристика, систематика / Н.А. Караваева, В.О. Таргульян, А.Е. Черкинский, Л.К. Целищева [и др.]. Москва, 1992. 184 с. URL: http://www.pochva.com/?book_id=0204&content=3
12. Паньків З.П., Позняк С.П. Дерново-підзолисті поверхнево-оглеєні ґрунти північно-західного Передкарпаття. Львів: Меркатор, 1998. 132 с.
13. Смага І.С. Особливості генезису бурувато-підзолистих оглеєних ґрунтів Передкарпаття в залежності від географічного розміщення та еволюція їх під впливом використання. Автореф. дис. на здобуття н. с. канд. с.-г. наук. Київ, 1996. 23 с.
14. Польшина С.М. Профільно-диференційовані оглеєні ґрунти Передкарпаття: генеза, варіабельність, систематика: монографія. Чернівці, 2014. 271 с. URL: <https://www.academia.edu/9850975/>
15. Cernescu N. Fapte urs declimatet zones de solen Romanie. *Inst. Geol. Romanic. Stud.techn.si econ. Ser. C. București*. 1934. № 2. 70 p.
16. Duchaufour Ph. Lessivage et podzolisation. *Revue forestiere francaise*. 1951. №10. P. 18–27.
17. Паньків 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>.
18. Паньків З.П., Малик С.З. Ґрунтові новоутворення – як діагностичний критерій ґрунтотворних процесів у буроземно-підзолистих глейових ґрунтах Пригорганського Передкарпаття. *Вісник Одеського національного університету*. Серія географічні та геологічні науки. Том 24. Вип. 1(34). 2019. С. 108–118. DOI: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2019.1\(34\).169715](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2019.1(34).169715)
19. Паньків З.П., Ілясевич О.Р., Малик С.З. Новоутворення заліза у ґрунтах Львівської області. *Вісник ЛНУ*. Серія географічна. 2017. Вип. 51. С. 256–266. URL: http://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/07/025_Pankiv_Iliasevych_Malyk.pdf
20. Розанов Б.Г. Морфология почв. Москва: Издательство Московского университета, 1988. 320 с. URL: <http://www.pochva.com/?content>.
21. Зайдельман Ф.Р. Лессиваж и его связь с гидрологическим режимом почв. *Почвоведение*. 2007. №2. С. 133–144. URL: <http://www.pochva.com/index.php?content=5>

UDC 631.4

Diagnostic criteria for elementary soil-forming processes in profile-differentiated soils of the Precarpathian region

Z. Pankiv*, S. Malyk**, T. Yamelynets***

Ivan Franko National University of Lviv, Ukraine

E-mail: * zpankiv@gmail.com; ** szmalyk@gmail.com; *** taras.yamelynets@lnu.edu.ua

The genesis of profile-differentiated soils of the Precarpathian region is the most debatable process because of the different diagnostic features that are used to determine the elementary soil process (ESP). The aim of the study is to establish a set of morphological, chemical and physico-chemical diagnostic features of soil-forming processes based on the analysis of soil morphology and neoplasms, gross chemical composition of fine earth, silt and soil tumors (nodules, hardpans and cutans). Methods of research: profile, comparative-geographical, laboratory-analytical. The object of the study: profile-differentiated soils (sod-podzolic and brown-podzolic soils) of the Precarpathian region. It was established that the main ESPs that form the genetic profile of profile-differentiated soils is lessivage, podsolization, internal soil argillization, gley-elluviation and segregation. These research was based on own field and laboratory-analytical studies. In sodpodzolic soils major profile forming of ESP is podsolization, characterized by negative values of the elluvial-accumulative coefficients and the coefficients of silica changes for the upper horizons, presence of skeletans and seskvans and gley-elluvial which is diagnosed by a significant predominance losses of Fe₂O₃ over Al₂O₃ and as well as with the presence of hardpans. The processes of lessivage and segregation have little intensity. The main profile forming of the ESP in brownsoil-podzolic soils are lesyvazh and internal soil argillization with little action of podsolization and gley-elluviation. On a dominant effect of lessivage in brownsoil-podzolic soils indicate argillans (clay cutans). Their particle size distribution is heavier compared to that which is contained in the horizon and flat within the profile relations SiO₂: R₂O₃ and SiO₂: Al₂O₃ in silty fractions. The process of internal soil argillization in brownsoil-podzolic soils characterize the positive balance of oxides of silt fraction, the nodules presence within the whole profile, rate of change of silica in the silt fraction of more than 1.0, the rate of accumulation of Mn₃O₄ in nodules and argillans more than 1.0. Introduction of united diagnostic features for profile-differentiated soils of the Precarpathian region will solve genetic and classification problems.

Keywords : diagnostic features; genesis; neoplasms; Precarpathians; profile-differentiated soils.

Citing: Pankiv Z., Malyk S., Yamelynets T. 2020. Diagnostic criteria for elementary soil-forming processes in profile-differentiated soils of the Precarpathian region. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 34-40. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-04>.

УДК 631.67

Системний підхід до сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів в умовах змін клімату

Л.І. Воротинцева

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 04.02.2020 Отримано після доопрацювання 14.03.2020 Затверджено до друку 16.03.2020 Доступно онлайн 01.06.2020	Сталий, збалансований менеджмент зрошуваних ґрунтів розглядається як одна з цілей сталого розвитку країни та інструмент для його досягнення. Аналіз літературних джерел свідчить, що на сьогодні цей аспект є вельми актуальним як на міжнародному, так і на національному рівнях і потребує розробки системних науково-методичних підходів до його виокремлення серед інших нагальних справ аграрної сфери для вирішення проблем продовольчої безпеки, збереження та раціонального використання природних ресурсів й адаптації до змін клімату. Метою досліджень є визначення переліку базових властивостей системи «зрошувані ґрунти» та науково-методологічних підходів до сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів сільськогосподарського використання у сучасних умовах змін клімату. Методологічною основою досліджень є структурно-функціональний аналіз, яким передбачено системне вивчення рівня внутрішньої організації зрошуваних ґрунтів аграрної сфери, характеру їхнього функціонування та особливостей еволюції залежно від ландшафтних умов. В результаті роботи сформульовано науково-методологічні підходи до сталого менеджменту на сучасному етапі розвитку гідромеліорації, що ґрунтуються на таких концептуальних положеннях: (а) необхідність застосування системного підходу, сутністю якого є цілісне дослідження та керування станом взаємопов'язаних елементів ланцюгу – «зрошувальні води – підґрунтові води – ґрунт – рослини»; (б) обов'язковість дослідження комплексу блоків-складових – інформаційного, нормативного, технологічного, економічного та організаційного; (в) прийняття управлінських рішень щодо збалансованого використання зрошуваних ґрунтів на підставі просторово диференційованого комплексного моніторингу й оцінювання еколого-агромеліоративного стану земель; (г) постійне коригування алгоритму менеджменту згідно з тактичними й оперативними цілями системи. Показано, що системний підхід базується на дослідженні об'єкта – зрошуваних ґрунтів, як цілісної сукупності взаємопов'язаних компонентів, з урахуванням принципів комплексності, узгодженості цілей, безперервності процесу коригування цілей системи та надійності інформації.
<i>Ключові слова:</i> властивості системи; зрошувані ґрунти; менеджмент; системний підхід.	

* E-mail: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

Форма цитування: Воротинцева Л.І. Системний підхід до сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів в умовах змін клімату. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2020. С. 41-50. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-05>.

1. Вступ

Серед глобальних і довгострокових викликів 21-го століття й пріоритетів міжнародного порядку денного слід назвати продовольчу безпеку і досягнення її через пошук шляхів адаптації до негативних наслідків глобальних змін клімату – опустелювання, деградації та погіршення якості ґрунтів [1]. У роботі С.А. Балюка зі співавторами [2] визначено актуальність і перспективність вирішення проблем системного керування трансформацією ґрунтів та потенціалом їхньої родючості у контексті євроінтеграційних процесів. Прогнозовані зміни клімату становлять значний ризик для сільського господарства [3]. До 2050 року знадобиться на 70–100 % більше продовольчих товарів, тому вже зараз постає завдання одночасно і гарантувати продовольчу безпеку, і зберегти природні ресурси та родючість ґрунтів [4]. Стале землекористування і захист ґрунтів відіграють чи не найголовнішу роль у продовольчій безпеці та безпеці людства взагалі [5].

Ґрунт є одним із ключових базових ресурсів, незамінним національним багатством, що має вирішальне значення для створення величезної кількості товарів і надання екосистемних послуг з метою забезпечення благополуччя людини та збереження природи. Тому в умовах підвищення антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив, зростання площ деградованих земель і посилення посушливості клімату пріоритетним напрямом дій, як на міжнародному, так і на національному рівнях, є забезпечення сталого менеджменту ґрунтових ресурсів, спрямоване на їх збалансований розвиток, зниження рівня деградації та адаптацію до посушливих умов з метою гарантування продовольчої безпеки країни [6]. Підтвердженням цього є прийняття цілої низки як міжнародних, так і національних документів: Конвенції ООН «Про боротьбу з опустелюванням», «Про охорону біологічного різноманіття», «Про зміну клімату»; Програма дій «Порядок денний XXI століття» (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.); Стратегічна програма захисту ґрунтів; Оновлена Всесвітня хартія ґрунтів [7]; Добровільні принципи сталого менеджменту ґрунтових

ресурсів [8]. В основу сталого розвитку мають бути покладені соціальні, економічні та екологічні цілі, які доповнюють одна одну та є взаємозалежними [9]. Велику роль відіграє також наявність якісної інформації про ґрунти, для того щоб розробити систему коригувальних або профілактичних заходів, реалізувати необхідні режими управління для підвищення стійкості ґрунту [10].

Саме цей напрям є одним із ключових у діяльності Глобального ґрунтового партнерства, членом якого є Україна (напрямок 1 «Запровадження сталого управління ґрунтовими ресурсами з метою їх захисту, охорони та забезпечення сталої продуктивності»). Стале, збалансоване управління ґрунтовими і водними ресурсами розглядається як одна зі складових та інструмент для досягнення цілей сталого розвитку країни у рамках інтеграції положень Конвенції Ріо-де-Жанейро в національну політику.

Експертами ФАО та Глобального ґрунтового партнерства розроблено Добровільні керівні принципи сталого управління ґрунтами [0], де зрештованим ґрунтам відводиться значна роль з огляду на глобальні зміни клімату. Міжнародною спільнотою визнано, що стале управління ґрунтовими ресурсами є важливим інструментом для забезпечення Цілей сталого розвитку до 2030 року, перелік яких (17 цілей) був затверджений на саміті ООН з питань сталого розвитку [11].

У глобалізованому світі XXI століття стійкість ґрунту залежить не лише від вибору способу управління фермерами, лісниками та землевпорядниками, а й від політичних рішень щодо правил, маркетингу та субсидій, тоді як сприйняття громадськістю є чи не найважливішим питанням [12].

Питання сталого розвитку є актуальним також і для України, що закріплено указом Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» (від 30.09.2019 р. № 722/2019).

З метою сталого управління ґрунтовими ресурсами постає питання щодо забезпечення актуальною інформацією про стан ґрунтів. Дані про ґрунт є основою ґрунтово-інформаційних систем у всьому світі [13]. Функціонує глобальна мережа WOCAT (Всесвітня мережа природоохоронних технологій та підходів), мета якої полягає в поліпшенні стану земель шляхом обміну, удосконалення та використання знань щодо сталого менеджменту земель. Створено глобальну базу даних – Global Database on Sustainable Land Management, яка містить понад 1500 практик з усього світу.

Значна увага приділяється питанням регулювання здоров'я та якості ґрунтів. Здоров'я ґрунту визначається як здатність ґрунтової біосистеми в заданих просторових і часових межах підтримувати продуктивність рослин і тварин [14, 15]. Дослідженнями [16] встановлено, що екологічна стійкість здорового ґрунту та агроценозу визначається станом та функціями мікробного ценозу, його оптимальним, збалансованим різноманіттям

Відповідно до Всесвітньої хартії ґрунтів, здоров'я ґрунту є однією з головних умов, необхідних для задоволення різноманітних потреб у продовольстві, біомасі (енергії), кормах та інших видах продукції, а також для забезпечення основних екосистемних послуг у всіх регіонах Світу [7]. При цьому запроваджуються різні концептуальні підходи та індикатори для оцінювання якості ґрунту з метою раціонального його використання, наприклад, через визначення екосистемних послуг [17], інтегрованого індексу ґрунту [18], індексу стійкості ґрунту [19]. У роботі [20] вказується на взаємозв'язок соціально-економічних напрямів розвитку з функціями ґрунту та їх впливом на соціальну складову. У процесі визначення критеріїв для оцінювання якості ґрунту корисною є думка зацікавлених сторін, що визначається шляхом опитування [21].

Останнім часом у світі значна увага приділяється екосистемним послугам, що визначаються як здатність природних компонентів надавати товари та послуги, що прямо або опосередковано забезпечують потреби людини [22]. Актуальним це питання є і для зрештованих ґрунтів [23]. Метою є визначення впливу екосистемних змін на благополуччя людини та наукове обґрунтування заходів, необхідних для поліпшення якості навколишнього середовища, забезпечення сталого використання екосистем та їх компонентів, зокрема ґрунтових ресурсів. Е. Dominati зі співавторами [24] розробили структуру, що відображає зв'язок між екосистемними послугами, властивостями ґрунту та процесами, що погіршують стан ґрунту

Отже, питання сталого управління ґрунтовими ресурсами є вельми актуальним як на міжнародному, так і на національному рівнях і потребує розробки науково-методичних основ його запровадження для вирішення проблем продовольчої безпеки, збереження та раціонального використання природних ресурсів, адаптації до змін клімату. Особлива увага приділяється зрештованим ґрунтам, роль яких у забезпеченні стабільного розвитку аграрного виробництва та продовольчої безпеки країни зростає в умовах кліматичних змін.

Метою досліджень є визначення переліку базових властивостей системи «зрошувані ґрунти» та науково-методологічних підходів до сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів сільськогосподарського використання у сучасних умовах змін клімату.

2. Об'єкти та методи досліджень

Об'єктом досліджень є зрошувані ґрунти, процеси і режими в зрошуваних і прилеглих до них ґрунтах різних природно-кліматичних зон України, підходи до сталого менеджменту ґрунтів.

Загальною методологічною основою досліджень є структурно-функціональний аналіз, яким передбачено системне вивчення рівня внутрішньої організації ґрунтів (у межах певної структури ґрунтового покриву), характеру їхнього функціонування та особливостей еволюції залежно від ландшафтних умов.

3. Аналіз існуючих підходів до менеджменту ґрунтів в умовах зрошення

З наростанням посушливості клімату істотно зростає роль зрошення в оптимізації водного режиму ґрунту, забезпеченні вологою сільськогосподарських культур та підвищенні їх урожайності, що вимагає першочергового вирішення завдання відновлення та ефективного використання наявних зрошувальних систем [25, 26]. Тому актуальності й практичної значущості набувають питання розробки науково-методологічних основ сталого управління зрошуваними ґрунтами на сучасному етапі розвитку меліорації.

Одним із підходів є системне регулювання родючості ґрунтів [27], що базується на постійному утриманні режиму функціонування ґрунтових систем в оптимальних або близьких до них параметрах. Ключовим принципом є прямі та зворотні зв'язки в системі «зовнішні навантаження – ґрунт – рослина». Стале використання передбачає регулювання навантаження на ґрунти та встановлення динамічної рівноваги між антропогенним навантаженням на природне середовище та його здатністю до самовідновлення шляхом визначення граничних значень потенціалу стійкості [6].

У роботі [28] запропоновано чотири пріоритетних напрями сталого менеджменту ґрунту, що включають: поширення практики сталого менеджменту ґрунту за допомогою відповідної політики; посилення вимог до менеджменту в межах стандарту Європейського Союзу; застосування передових практик для визначення ризиків на регіональному та місцевому рівнях; розробка регіональних і національних програм щодо захисту від впливу клімату.

Сталий менеджмент ґрунту базується на тому, що його функції сприяють виконанню екосистемних послуг і збереженню біорізноманіття, природні та економічні ресурси використовуються ефективно, сільське господарство залишається прибутковим, а умови виробництва відповідають етичним нормам та стандартам охорони здоров'я [29].

Дослідженнями [30] доведено, що у посушливих агроекосистемах в системі сталого управління якістю ґрунту значну роль відіграє сівоzmіна, тип ґрунту (його гранулометричний склад). В умовах глобальних змін клімату підвищується роль зрошення у забезпеченні стабільності агровиробництва [28, 31]. Вода вважається одним із найбільш важливих ресурсів для розвитку сільського господарства у всьому світі у зв'язку зі зменшенням обсягів прісної води. У роботі [32] зазначається, що стале управління водними ресурсами може бути досягнуто шляхом удосконалень у галузі іригації практики використання ґрунту і рослин, утворення цін на воду, повторного використання очищених стічних вод, участі фермерів у цих питаннях. У зв'язку з кліматичними змінами актуальним є розширення площ зрошення з використанням ресурсозберезувальних видів поливу

Сталий розвиток сільськогосподарського виробництва ґрунтується на системному керуванні землекористуванням та трьох взаємопов'язаних принципах: економічний, соціальний розвиток і збереження навколишнього середовища. На сьогодні у світовій практиці поширеним є «кліматично розумне» сільське господарство (Climate-smart agriculture) – альтернативний підхід до менеджменту земельних ресурсів та підвищення продуктивності сільськогосподарської продукції за нових реалій зміни клімату. Воно базується на трьох головних напрямках: стійке підвищення продуктивності сільського господарства та доходів; адаптація та підвищення стійкості до кліматичних змін; скорочення та/або припинення викидів парникових газів [33, 34].

Розробляються аграрні стратегії для забезпечення високої врожайності сільськогосподарських культур за умов зменшення впливу на навколишнє середовище. Вони базуються на суворому дотриманні балансу між надходженням та виносом поживних речовин через два ключових принципи – відповідність кількості внесених поживних

речовин потребам рослин для формування врожаю і синхронізація термінів їх внесення з фазами росту рослин [35].

Сталий менеджмент має збалансовувати виробництво сільськогосподарської продукції та захист і поліпшення стану навколишнього середовища [36]. Хоча принципи, що визначають якість і здоров'я ґрунту, є загальновідомими, але вони потребують адаптації до конкретних умов земельної ділянки. Сталі адаптовані методи землекористування в умовах зрошення мають враховувати взаємозв'язки між ґрунтом, водою і сільськогосподарськими культурами та бути спрямованими на вологозбереження, запобігання або припинення деградації ґрунту, підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва та пом'якшення наслідків зміни клімату [37, 38]. У посушливих регіонах для вологозбереження застосовують гребнювання і борознування з мульчуванням плівкою та соломкою [39, 40].

4. Результати досліджень

4.1. Основні властивості системи «зрошувані ґрунти»

На підставі узагальнення результатів досліджень розроблено науково-методологічні підходи до сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів, як важливої складової сталого розвитку країни.

Сталий менеджмент зрошуваних ґрунтів ми визначаємо як комплекс взаємопов'язаних блоків-складових (інформаційного, організаційного, технологічного, економічного та нормативного) та управлінських рішень, що забезпечують збалансоване землекористування, оптимізацію режимів функціонування ґрунтів, зниження рівня деградації, надання ґрунтом екосистемних послуг та вирішення питань продовольчої безпеки країни. Менеджмент базується на поєднанні процесів моніторингу, діагностики, оцінювання еколого-агромеліоративного стану зрошуваних земель, вибору просторово-диференційованих управлінських рішень щодо напрямів використання ґрунтів, оптимізації їх стану із застосуванням синергічних комплексних заходів.

Основою сталого менеджменту є системний підхід, що ґрунтується на принципах комплексності, надійності інформації, узгодженості цілей та їх коригування. Передбачається перехід до нової стратегії менеджменту зрошуваних ґрунтів та стратегії землекористування в аграрній сфері з метою збалансування стану природних екосистем та потреб суспільства, забезпечення екологічної та соціальної стабільності агропромислового виробництва, підвищення якості та здоров'я ґрунту. Концептуальною основою сталого менеджменту є системний підхід, сутність якого полягає в дослідженні об'єкта як цілісної сукупності взаємопов'язаних компонентів (елементів).

Сталий менеджмент передбачає комплексне вивчення земельних ресурсів, як системи – стану, структури взаємозв'язків, місця в системі вищого рангу, функцій, організації, внутрішньої ієрархії та стійкості до розвитку деградаційних процесів, що надає можливість прийняття обґрунтованого управлінського рішення, яке забезпечить підвищення ефективності функціонування, розвитку зрошуваних ґрунтових систем та виконання ними екосистемних послуг. Управлінське рішення розглядається як основний результат процесу управління та важливий інструмент системного підходу [0,42].

Система «зрошувані ґрунти» включає такі складові: зрошувальні та підґрунтові води, ґрунти та сільськогосподарські культури.

Основними властивостями системи «зрошувані ґрунти» є такі:

- цілісність – система є, передусім, цілісною сукупністю елементів, з яких вона складається;

- емерджентність – неможливість зведення властивостей системи до суми властивостей її компонентів. Тобто, стан зрошуваних ґрунтів не можна визначати лише на підставі оцінки стану окремих елементів, оскільки він є результатом виникнення між ними синергічних зв'язків, які забезпечують більш високий загальний ефект функціонування системи;

- взаємозалежність між системою та зовнішнім середовищем. Система формує та проявляє свої властивості у взаємодії із зовнішнім середовищем та під дією зовнішнього навантаження. Зовнішні чинники (наприклад, кліматичні показники, дія зрошувальної води, заходи з хімічної меліорації) впливають на речовинний баланс ґрунту через зміну спрямованості процесів і режимів. Система розвивається під впливом зовнішнього середовища, але при цьому намагається зберегти свої властивості, що забезпечують відносну стійкість та адаптивність її функціонування;

- синергетика – досліджуються зв'язки між елементами структури, які утворюються у відкритих системах завдяки інтенсивному обміну речовинами та енергією з навколишнім середовищем. При системному підході до розробки управлінських рішень кожен окремий

прийом повинен підсилювати позитивну дію інших прийомів, підвищуючи сукупний ефект [27]. Тому при плануванні заходів з хімічної меліорації зрошуваних ґрунтів (агромеліоративні, агротехнічні та інші) перевагу слід надавати тим, які у комплексі забезпечують зростання їх ефективності та сприяють досягненню тактичних цілей;

- надійність системи – характеризується безперервністю її функціонування, стійкістю до дії зовнішніх чинників;

- рівень самостійності й відкритості системи визначається такими показниками, як кількість зв'язків системи із зовнішнім середовищем у середньому на один її елемент, інтенсивність обміну інформацією або ресурсами між системою та зовнішнім середовищем, ступінь впливу інших систем;

- детермінованість системи – процеси в системі взаємопов'язані так, що можна відстежити ланцюг причин і наслідків. Ця властивість допомагає оцінити, наприклад, вплив зрошення непридатною водою на властивості ґрунту та ступінь його трансформації або вплив рівня забруднення ґрунту на транслокацію ВМ у сільськогосподарські рослини та якість продукції;

- динамічність – це розвиток системи і рух її під впливом внутрішніх і зовнішніх чинників. Стан ґрунтової системи змінюється під впливом дії зовнішніх чинників, тому необхідна постійна корекція управлінських рішень, з огляду на еколого-агромеліоративний стан ґрунту;

- наявність прямих і зворотних зв'язків – всі складові елементи системи є взаємопов'язаними і зазнають впливу. Тому розробка диференційованих управлінських рішень має базуватися на постійно оновлюваній інформації про еколого-агромеліоративний стан зрошуваних земель на підставі моніторингу.

4.2. Базові принципи сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів

Системний підхід, як основа сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів, базується на таких принципах [43]:

- комплексність – орієнтація на цілісне дослідження взаємопов'язаних елементів системи «зрошувальні води – підґрунтові води – ґрунт – сільськогосподарська культура», що дає можливість виявити зв'язок між ними та їх вплив на еколого-агромеліоративний стан зрошуваних земель, а також запропонувати диференційовані заходи щодо їх використання та підвищення родючості ґрунту;

- узгодженість цілей – розуміння що цілі окремих елементів системи мають бути узгодженими між собою (взаємопов'язані, взаємозалежні) та зі стратегічними, тактичними й оперативними цілями всієї системи (збереження ґрунту як компоненту біосфери, зниження рівня його деградації, гарантування продовольчої безпеки, охорона та підвищення родючості ґрунтів, збалансоване землекористування, усунення шкідливої дії води на ґрунт, поліпшення якості зрошувальної води й еколого-агромеліоративного стану зрошуваних земель, застосування агромеліоративних заходів);

- безперервність процесу коригування цілей системи на базі даних моніторингу стану зрошуваних земель в агровиробничих умовах;

- надійність (об'єктивність, точність) і постійне оновлення інформації про стан зрошуваних земель шляхом моніторингу.

4.3. Складові системи сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів

Розроблена нами система сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів складається з п'ятьох основних блоків (Рис. 1).

1. *Інформаційний блок* включає моніторинг, діагностику стану та якості зрошувальних і підґрунтових вод, ґрунтів і сільськогосподарських культур, збір та аналіз оперативної інформації, оцінювання еколого-агромеліоративного стану зрошуваних земель, створення баз даних і картографічних матеріалів [44]. Цей блок є базовою складовою системи сталого менеджменту, оскільки основою для прийняття обґрунтованих управлінських рішень є наявність оперативної, точної та комплексної інформації. Цей блок призначено для регіонального рівня – від організації до агронома, які отримують оперативну інформацію, опрацьовують її та використовують для прийняття управлінських рішень на регіональному та місцевому рівнях.

В Україні на базі Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» створено Ґрунтовий інформаційний центр з метою накопичення, обробки та розповсюдження даних про стан та якість ґрунтів України. До баз даних Центру надходить інформація про якість ґрунтів на всій території країни, і в тому

числі, на зрошуваних землях, що дасть змогу систематизувати й оцінити ефективність різних регіональних підходів до сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів.

2. **Організаційний блок** включає організацію та координацію центральними органами виконавчої влади діяльності у галузі меліорації земель, контроль використання зрошуваних земель, організацію екологобезпечного функціонування зрошуваних агроландшафтів, розробку заходів з інтегрованого управління водними і земельними ресурсами (на прикладі сільських громад) за участю представників громад, водо- і землекористувачів. Цей блок призначений для всіх рівнів організації – від національного до регіонального – від органів виконавчої влади до землекористувачів.

3. **Технологічний блок** включає застосування комплексу синергічних заходів з раціонального використання, охорони та підвищення родючості зрошуваних ґрунтів:

- інженерно-технічні заходи з реконструкції і ремонту систем зрошення, інженерного закритого і відкритого дренажу для підтримки у належному стані і відновлення гідротехнічних споруд і зрошувальних мереж з метою розширення площ зрошення; забезпечення сучасною поливною технікою;

- агротехнічні заходи з розробки структури посівних площ і сівозмін, системи удобрення, обробітку ґрунту та режимів зрошення. Залежно від спеціалізації господарств оптимальна структура сівозмін на зрошуваних землях має включати 35-40 % зернових, не менше 30 % кормових, у тому числі багаторічних бобових трав, насамперед, люцерни – 15-20 %, технічних культур – 10-15 %, овоче-баштанних – 10-15 % [45]. Для сучасних умов характерним є застосування короткоротаційних сівозмін. За зрошення мінералізованими забрудненими водами слід надавати перевагу культурам, які є стійкими до засолення й осолонцювання ґрунту та накопичення важких металів.

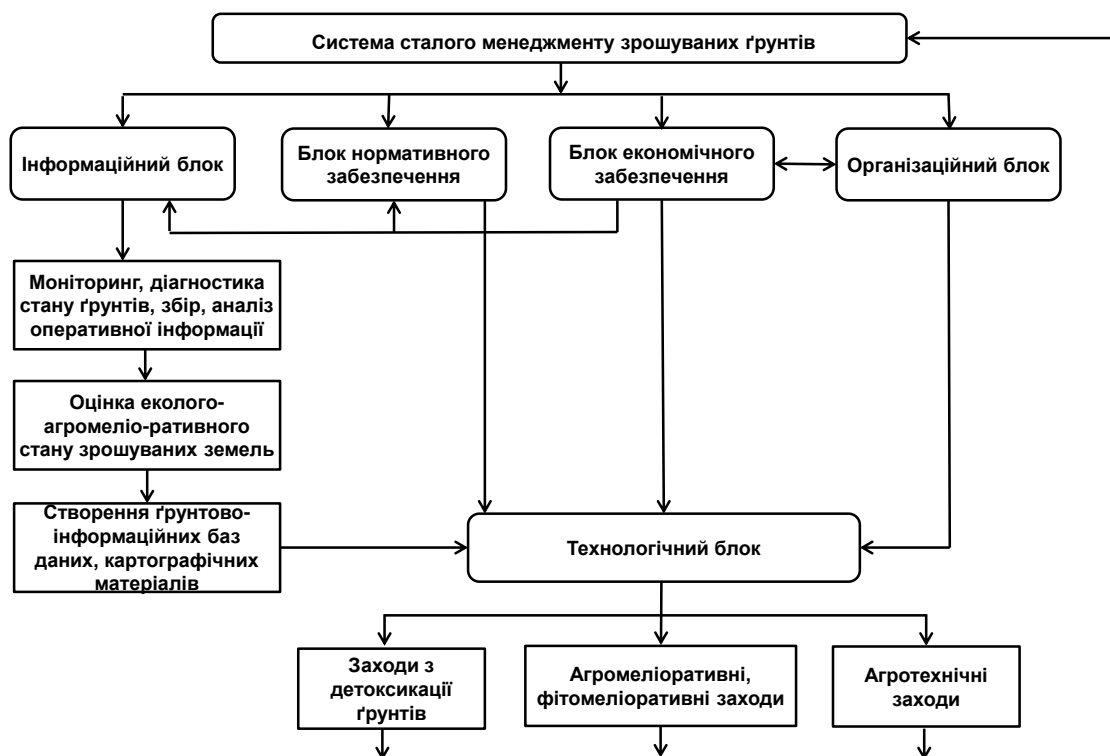


Рис. 1. Структурна схема системи сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів

Система удобрення ґрунту має бути орієнтована на внесення добрив у дозах, що забезпечують бездефіцитний баланс гумусу, з урахуванням вмісту у ґрунті доступних сполук азоту, фосфору, калію та мікроелементів. За зрошення, особливо мінералізованими водами, перевагу має органо-мінеральна система удобрення [45]. Мінеральні добрива краще вносити локально в прикореневу зону рослин, а також разом із поливною водою.

Всі агротехнічні заходи мають бути спрямовані на накопичення, збереження вологи та зменшення випаровування, транспірації її з ґрунту. Найбільш ефективною на зрошуваних землях є диференційована система обробітку, якою передбачено поєднання основного глибокого обробітку з поверхневим. При цьому рекомендується

використовувати мульчування ґрунту для зменшення випаровування вологи, ущільнювальні та повторні посіви культур.

Пропоновано водоощадні режими зрошення, за яких у некритичні фази розвитку рослин зрошувальні норми знижуються на 5-10 %. Рекомендації щодо ефективності різних видів поливів і технології їх проведення викладено в роботі [46]. На сьогодні перспективним способом поливу є краплинне зрошення, яке набуло широкого застосування у технологіях вирощування овочевих, плодових культур і винограду;

- агрометеліоративні заходи включають проведення плантажної оранки, поліпшення якості зрошувальної води, внесення у ґрунт меліорантів у сухому вигляді та у формі суспензії тощо [47];

- фітомеліоративні заходи – насичення сівозмін культурами-меліорантами, що здатні накопичувати та виносити з урожаєм значну кількість важких металів та інших токсикантів.

Цей блок призначено, переважно, для відомчого та регіонального рівнів організації – відомчих служб, агрономів, землекористувачів, фермерів.

4. Блок економічного забезпечення включає фінансове забезпечення реалізації заходів з охорони ґрунтів; створення механізму економічного стимулювання ґрунтоохоронної діяльності підприємств та екологічних інновацій в галузі меліорації, запровадження ґрунтозахисних технологій, агрометеліоративних заходів з підвищення родючості зрошуваних ґрунтів; створення комплексного механізму кредитного стимулювання інноваційної діяльності у сфері меліорації земель для впровадження розробок у виробництво, зокрема, шляхом пільгового кредитування підприємств; удосконалення організаційно-економічного механізму залучення іноземних інвестицій; підвищення ефективності інвестиційно-інноваційного забезпечення меліорації земель [47].

Цей блок призначено, переважно, для національного та відомчого рівнів організації – органів виконавчої влади, відомчих служб з питань меліорації та землекористування.

5. Блок нормативного забезпечення: розроблення нормативної бази у галузі меліорації земель. Необхідним є прийняття Закону про сталий менеджмент зрошуваних ґрунтів, який визначатиме правові, економічні, екологічні та соціальні норми використання ґрунтів та охорони їх родючості, основні принципи державної політики у цій сфері, вимоги щодо збереження стану та якості ґрунтів, захисту їх від негативних природних та антропогенних впливів. Цей блок призначено для національного та відомчого рівнів організації.

Результатом системного підходу до вивчення взаємопов'язаної системи «зрошувальні води – підґрунтові води – ґрунт – сільськогосподарська культура» є вибір науково обґрунтованих управлінських рішень на підставі моніторингу, діагностики та комплексного оцінювання еколого-агрометеліоративного стану зрошуваних земель (Рис. 2).

Якщо за комплексом показників стан земель оцінюють як добрий, то зрошення проводять без обмежень, якщо задовільний стан – зрошують із застосуванням комплексу агрометеліоративних, агротехнічних заходів з підвищення родючості ґрунтів. За незадовільного стану земель, їх вилучають зі зрошення або застосовують комплекс ґрунтоохоронних заходів, спрямованих на поліпшення якості ґрунтів до параметрів задовільного стану.

Запропонована система сталого менеджменту призначена для трьох рівнів організації:

1. національний – для центральних органів виконавчої влади, що беруть участь у формуванні та забезпечують державну політику з питань водного господарства, меліорації земель та управління ґрунтовими ресурсами;

2. відомчий – для служб, комісій та установ, що відповідають за моніторинг та оцінку стану зрошуваних земель;

3. регіональний – для представників місцевих громад, організацій, землевласників, які проводять обстеження ґрунтового покриву, застосування комплексу меліоративних заходів з підвищення родючості зрошуваних ґрунтів тощо.

Таким чином, у контексті сталого розвитку надзвичайно важливим є застосування системи сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів для забезпечення збалансованого, раціонального використання всіх природних ресурсів, як одного з невід'ємних елементів стабільного розвитку агровиробництва та чинника регулювання клімату, збереження екосистемних послуг ґрунту й біорізноманіття.

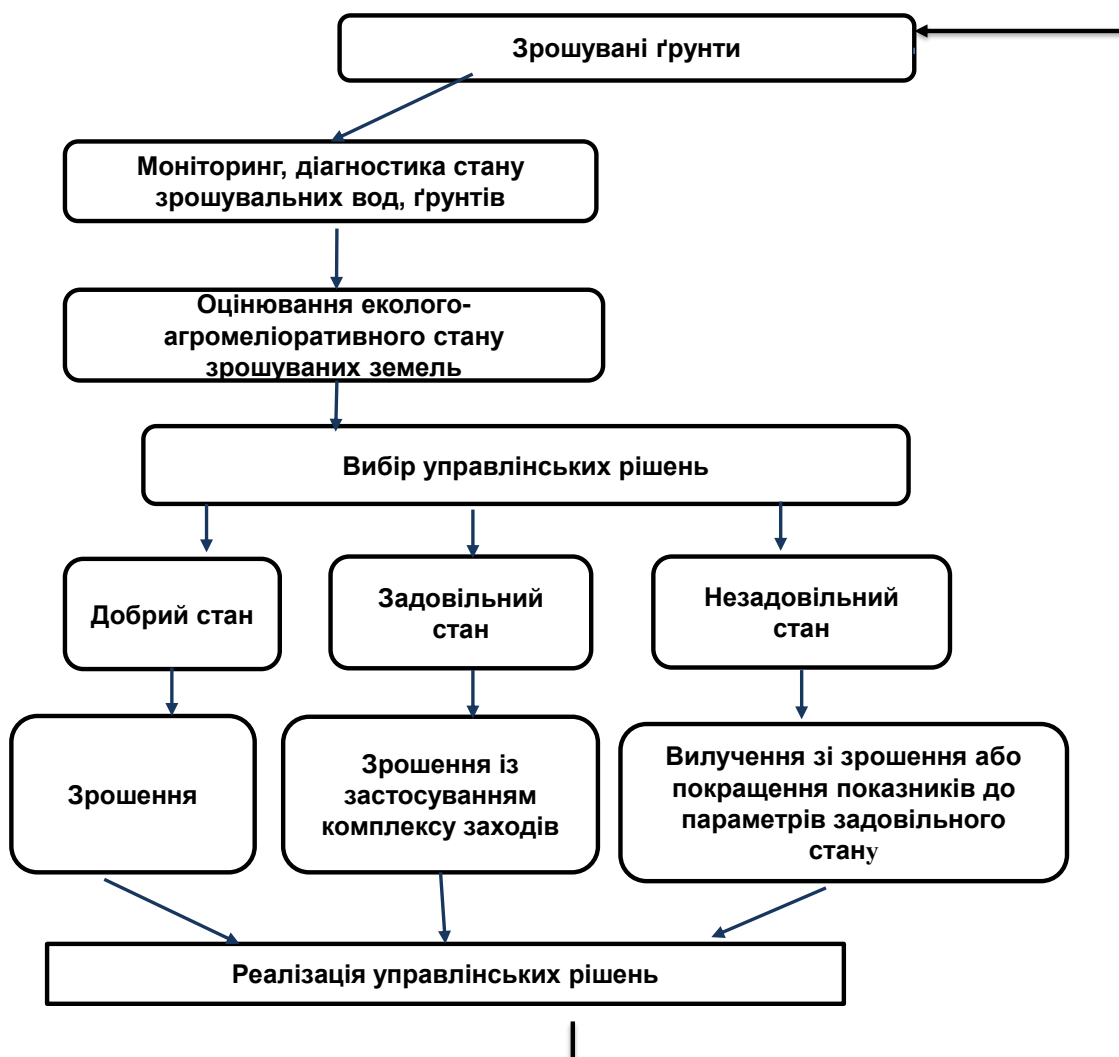


Рис. 2. Алгоритм вибору управлінських рішень

5. Висновки

Викладено науково-методологічні основи сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів, як важливої складової сталого розвитку країни, спрямованого на утримання ґрунтових систем в оптимальних або близьких до них параметрах, оптимізацію та стабілізацію режимів функціонування ґрунтів, надання екосистемних послуг, зниження рівня деградації ґрунтів, збалансоване та раціональне землекористування.

Розроблено концептуальні положення та структурну схему системи сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів, складовими частинами якої є п'ять взаємопов'язаних блоків-складових – інформаційний, організаційний, технологічний, економічний та нормативний.

Основою сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів є системний підхід, що базується на дослідженні системи «зрошувальні води – підґрунтові води – ґрунт – сільськогосподарська культура» як цілісної сукупності взаємопов'язаних компонентів (елементів). Наведено принципи, на яких базується даний підхід.

Вибір управлінських рішень щодо напрямів раціонального використання зрошуваних ґрунтів визначається їх еколого-агромеліоративним станом. Запропонована система сталого менеджменту призначена для трьох рівнів організації – національного, відомчого та регіонального.

Список використаних джерел

1. FAO. 2011. The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London. 308 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-i1688e.pdf>

2. Наукове забезпечення управління ґрунтовими ресурсами в контексті євроінтеграційних процесів : наукова доповідь / А.С. Заришняк, С.А. Балюк, В.В. Медведєв [та ін.]. Харків: Смуґаста типографія, 2016. 44 с.
3. Ukraine: Soil fertility to strengthen climate resilience. Preliminary assessment of the potential benefits of conservation agriculture / T. Fileccia, M. Guadagni, V. Hovhera, M. Bernoux. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2014. 96 p. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/755621468319486733/pdf/918500WPOUKRAI0E0Box385344B00OUO090.pdf>
4. Gomiero T., Pimentel D., Paoletti M.G. Is there a need for a more sustainable agriculture? *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2011. Vol. 30. Issue 1-2. P. 6-23. DOI: 10.1080/07352689.2011.553515.
5. Nkonya E., Mirzabaev A., Braun J. Economics of Land Degradation and Improvement: An Introduction and Overview. In: Economics of Land Degradation and Improvement – A Global Assessment for Sustainable Development/ Nkonya E., Mirzabaev A., Braun J., Eds. Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2016. P. 1-14. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-19168-3_1.
6. Стратегія збалансованого використання, відтворення і управління ґрунтовими ресурсами України; за ред. С.А. Балюка, В.В. Медведєва. Київ: Аграрна наука, 2012. 239 с
7. Revised World Soil Charter. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2015. 10 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-i4965e.pdf>
8. Добровільні принципи сталого менеджменту ґрунтових ресурсів. FAO and NSC ISSAR. Rome, 2019. 26 p. URL: <http://www.fao.org/publications/card/en/c/16874UK/>
9. Jahangir M.R., Jahan I., Mumu N.J. Management of Soil Resources for Sustainable Development under a Changing Climate. *J. Environmental Sciences and Natural Recourses*. 2018. Vol. 11(1-2). P. 159-170. DOI: <https://doi.org/10.3329/jesnr.v11i1-2.43383>.
10. Bruyn L., Ingram J. Soil information sharing and knowledge building for sustainable soil use and management: insights and implications for the 21(st) Century. *Soil use and management*. 2019. Vol. 35, № 1. P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12493>.
11. Цілі сталого розвитку: Україна/ Національна доповідь. 2017. 174 с. URL: http://un.org.ua/images/SDGs_NationalReportUA_Web_1.pdf.
12. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations sustainable development goals / S.D. Keesstra, J. Bouma, J. Wallinga [et al.]. *Soil*. 2016. Vol. 2. P.111-128. DOI: 10.5194/soil-2-111-2016.
13. Testing the public-private soil data and information sharing model for sustainable soil management outcomes / N.J. Robinson, H.G. Dahlhaus, M. Wong. [et al.]. *Soil use and management*. 2019. Vol. 35, № 1. P. 94-104. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12472>.
14. Doran J.W., Zeiss M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*. 2000. Vol. 15. P. 3-11. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6).
15. Здоров'є ґрунту агроценозів як атрибут її якості та стійкості до біотических та абиотических стресорів / М.С. Соколов, А.І. Марченко, С.С. Санін [и др.]. *Известия ТСХА*. 2009. Вып. 1. С. 13-22.
16. Doran J.W., Sarrantonio M.I., Liebig M.A. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*. 1996. Vol. 56. P. 1-54. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60178-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60178-9).
17. Baveye P.C., Baveye J., Gowdy J. Soil «Ecosystem» Services and Natural Capital: Critical Appraisal of Research on Uncertain Ground. *Frontiers in Environmental Science*. 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00041>.
18. Fuqiang D., Zhiqiang L., Gangcai L. Assessing soil quality for sustainable cropland management based on factor analysis and fuzzy sets: a case study in the Lhasa River Valley, Tibetan Plateau. *Sustainability*. 2018. Vol. 10 (10). DOI: <https://doi.org/10.3390/su10103477>.
19. Sustainable Land management Using Spatial Analyst in North Nile Delta soil, Egypt/. S. Moganm, A. Darwish, E. Elwakeel [et al.]. *Egyptian journal of Soil Science*. 2018. Vol. 58, Issue 4. P. 435-442. DOI: 10.21608/ejss.2018.5378.1210
20. Managing soil functions for a sustainable bioeconomy – Assessment framework and state of the art / K. Helming, K. Daedlow, C. Paul [et al.]. *Land Degradation & Development*. 2018. Vol. 29. P. 3112–3126. DOI : <https://doi.org/10.1002/ldr.3066>.
21. Soil indicators for sustainable development: A transdisciplinary approach for indicator development using expert stakeholders / J.Ö.G. Jónsson, B. Davíðsdóttira, E.M. Jónsdóttirb [et al.]. *Agriculture, Ecosystem & Environment*. 2016/ Vol. 232. P. 179-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.009>.
22. A methodological framework to assess the multiple contributions of soils to ecosystem services delivery at regional scale / C. Calzolari, F. Ungaro. N. Filippi [et al.]. *Geoderma*. 2016. Vol. 261. P. 190-203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.07.013>.
23. Оцінювання екосистемних послуг засоленних ґрунтів під впливом меліорації : методичні рекомендації / за ред. С.А. Балюка, О.М. Дрозд. Харків, 2017. 128 с.
24. A soil change-based methodology for the quantification and valuation of ecosystem services from agro-ecosystems: a case study of pastoral agriculture in New Zealand / E. Dominati, A. Mackay, S. Green [et al.]. *Ecological Economics*. 2014. Vol. 100. P. 119-129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.02.008>.
25. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України / за ред. В.А. Сташук, С.А. Балюка, М.І. Ромашенка. Київ: Аграрна наука, 2009. 624 с.
26. Балюк С.А., Ромашенко М.І., Трускавецький Р.С. Проблеми екологічних ризиків та перспективи розвитку меліорації земель в Україні. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 87 Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2018. С. 5-10. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss87-01>.
27. Трускавецький Р.С., Цапко Ю.Л. Основи управління родючістю ґрунтів. Харків : ФОП Бровін О.В., 2016. 388 с.
28. Sustainable management of natural resources with a focus on water and agriculture /J. Polakova, A. Farmer, S. Berman [et al.]. Brussels, 2013. 113 p. DOI: <https://doi.org/10.2861/27324>
29. Assessment and Governance of sustainable soil management / K. Helming, K. Daedlow, B. Hansjurgens, T. Koellner . *Sustainability*. 2018. Vol. 10. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10124432>.
30. Impacts of selected management practices on soil quality in an irrigated arid agroecosystem / M. Omer, O.J. Idowu, A. Ulery [et al.]. *Journal of soil and water conservation*. 2020. Vol. 75, Issue 2. P. 143-152. DOI: <https://doi.org/10.2489/jswc.75.2.143>
31. Sustainable soil and land management and climate change. URL: <http://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/production-resources/module-b7-soil/chapter-b7-1/en>.
32. Chartzoulakis K., Bertaki M. Sustainable water management in agriculture under climate change. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015. Vol. 4. P. 88-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.011>.

33. Climate-Smart Agriculture (CSA) and Importance of Water Management. URL: <https://www.kisanhub.com/blog/climate-smart-agriculture-csa-and-importance-of-water-management>
34. Climate-smart agriculture. Sourcebook. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2013. 570 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-i3325e.pdf>
35. Shah F., Wu W. Soil and crop management strategies to ensure higher crop productivity within sustainable environments. *Sustainability*. 2019. Vol. 11, Issue 5. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11051485>.
36. Conceptual framework underpinning management of soil health-supporting site-specific delivery of sustainable agro-ecosystems / E.A. Stockdale, B.S. Griffiths, P.R. Hargreaves [et al.]. *Food and energy security*. 2019. Vol. 8. DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.158>.
37. Smith P., Powlson D. Sustainability of soil management practices – a global perspective. In: *Soil Biology Fertility*. Springer, 2007. P. 241-254.
38. Sustainable Land Management in Practice / H. Liniger, R. Studer, C. Hauert [et al.]. Rome, 2011. 243 p.
39. Ridge-Furrow Mulching Systems – An innovative Technique for boosting crop productivity in Semiarid rainfed environments/ Y. Gan, K. Siddique, N. Turner [et al.]. *Advances in Agronomy*. 2013. Vol.118. P. 429-476. DOI:10.1016/B978-0-12-405942-9.00007-4.
40. Ridge-furrow with plastic film mulching practice improves maize productivity and resource use efficiency under the wheat-maize double-cropping system in dry semi-humid areas / L. Changjiang, W. Changjiang, W. Xiaoxia [et al.]. *Field Crops Research*. 2017. Vol. 203. P. 201-211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.029>.
41. Королев Ю.Б., Коротнев В.Д., Кочетова Г.Н. Менеджмент в АПК. Москва: Колос, 2007. 424 с.
42. Системний аналіз інформаційних процесів / В.М. Варенко, І.В. Братусь, В.С. Дорошенко [та ін.]. Київ, 2013. 203 с.
43. Воротинцева Л.І. Наукові основи сталого управління ґрунтовими ресурсами Степу України в умовах зрошення : дис... д-ра с.-г. наук / 06.01.03, Харків, 2019. 51 с.
44. Воротинцева Л.І. Науково-методичні підходи до сталого управління ґрунтовими ресурсами Степу України в умовах зрошення. Вісник аграрної науки. 2018. № 12. С. 31-37. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201812-11>
45. Комплекс протидеградаційних заходів на зрошуваних землях України / за ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенко, В.А. Сташук. Київ : Аграрна наука, 2013. 160 с.
46. Системи землеробства на зрошуваних землях України / за ред. Р.А. Вожегової. Київ: Аграрна наука, 2014. 260 с.
47. Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації) / за ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенко, Р.С. Трускавецького. Херсон : Гринь Д.С., 2015. 668 с.

UDC 631.67

Systematic approach to sustainable management of irrigated soils under climate changes

L.I. Vorotyntseva

National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky»,
Kharkiv, Ukraine
E-mail: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

Sustainable management of irrigated soils is one of the components and a tool for achieving the sustainable development goals of the country. An analysis of literature sources indicates that today this issue is very important both at the international and national levels. Developments of scientific and methodological approaches to its implementation to address challenges of food security, conservation and rational use of natural resources, adaptation to climate change are necessary. The purpose of the research is to determine the list of basic properties of the "irrigated soils" system and methodological approaches of the sustainable management of irrigated soils of agricultural use under climate changes. The methodological basis of research is structural and functional analyse, which involves a systematic study of the level of internal soils organization, the nature of their functioning and features of evolution depending on the landscape conditions. The result of the work is the scientific and methodological approaches to the sustainable management of irrigated soils at the present development stage of land amelioration. It's based on the following conceptual positions: (a) application of a systematic approach, the essence of which is a holistic study and management of the interconnected elements of circuit «irrigation water – ground water – soil – crop»; (b) the study of a complex of blocks - informational, normative, technological, economic and organizational; adoption of differentiated measures on the balanced use of irrigated soils on the basis of an objective; (c) management decisions on the balanced use of irrigated soils based on spatially differentiated integrated monitoring and assessment of the ecology-ameliorative condition of lands; (d) constant adjustment of the management algorithm according to the tactical and operational goals of the system. It is shown that a systematic approach is based on the study of the object – irrigated soils as an integral set of interconnected components in accordance with the principles of comprehensiveness, consistency of goals, continuity of the process of adjusting system goals and reliability of information (elements). An integrated approach is based on such principles as complexity, consistency of goals, the continuity of the process of adjusting the goals of the system and reliability of information.

Keywords: irrigated soils; management; systems approach; system properties.

Citing: Vorotyntseva L.I. 2020. Systematic approach to sustainable management of irrigated soils under climate changes. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 41-50. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-05>.

ҐРУНТОВЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН SOIL NUTRITION of PLANTS

УДК 631.81.036

Надходження елементів живлення до рослин пшениці озимої різних сортів у контрастні за погодними умовами роки

М.М. Мірошніченко^{1*}, А.М. Звонар¹, Є.В. Панасенко¹, О.Ю. Леонов²¹Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна²Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 29.01.2020 Отримано після доопрацювання 13.03.2020 Затверджено до друку 16.03.2020 Доступно онлайн 01.06.2020	Описано результати польових досліджень з метою виявлення особливостей споживання основних елементів живлення пшеницею озимою різних сортів вітчизняної та європейської селекції у відмінні за погодними умовами роки, виконаних на сортовипробувальному полігоні (ґрунт – чорнозем типовий) у Харківській області впродовж 2018 та 2019 рр. Як індикатори взято вміст елементів живлення (N, P, K) у надземних органах рослин у фази кушіння, цвітіння та повної стиглості. Об'єктами дослідження слугували 4 сорти-національні стандарти та 8 сортів пшениці озимої іноземної селекції. Виявлено, що незалежно від сорту, внаслідок ефекту ростового розбавлення, концентрація N у рослинах зменшується від 3,6-4,2 % у фазу кушіння до 1,3-1,6 % у фазу цвітіння, P ₂ O ₅ – від 0,7-0,9 % до 0,3-0,5 %, K ₂ O – від 3,9-4,6 % до 1,5-2,8 % відповідно. Залежно від умов року відношення P ₂ O ₅ : N у зерні та соломі може відрізнятись вдвічі, а K ₂ O : N у соломі – в 1,3 раза. Сортів відмінності споживання NPK були більш помітними у рік зі сприятливим зволоженням у квітні-травні та стресовими умовами під час досягання зерна. За результатами дворічних випробувань на чорноземі типовому група сортів вітчизняної селекції загалом проявила ознаки меншої потреби у калії, ніж сорти європейської селекції. Констатовано, що за однакового вмісту у ґрунті NPK накопичення азоту, фосфору та калію в надземній частині рослин пшениці озимої визначається як погодними умовами весняно-літнього періоду, так і сортовими особливостями споживання окремих елементів живлення. Через це, співвідношення вмісту фосфору й азоту та калію й азоту у тканинах рослин, що вегетують, а також у зерні й соломі може варіювати в широких межах. Генетично обумовлена підвищена або знижена потреба окремих сортів щодо елементів живлення може мати сталий характер, а може змінюватись за певних гідротермічних умов у період вегетації. Отже, для надійного визначення потреб окремих сортів пшениці озимої щодо умов живлення дослідження необхідно проводити впродовж не менше 2-3 років з різними метеорологічними умовами.
Ключові слова: елемент живлення; сорт; погодні умови; пшениця озима.	

E-mail: *ecosoil@meta.ua

Форма цитування: Мірошніченко М.М., Звонар А.М., Панасенко Є.В., Леонов О.Ю. Надходження елементів живлення до рослин пшениці озимої різних сортів у контрастні за погодними умовами роки. *Агрехімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2020. Вип. 89. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». С. 51-62. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-06>.

1. Вступ

Пшениця озима традиційно займає одне з провідних місць у рослинництві України. Завдяки прогресу в селекції, технічному та технологічному забезпеченні, врожайність пшениці озимої в нашій країні стрімко зростає за останні роки. В середньому за 2016-18 рр. у господарствах усіх форм власності в Україні з 1 га було зібрано 4,02 т зерна [1]. За даними Міністерства сільського господарства США, стрибок урожайності пшениці озимої від 1996-2000 до 2011-2015 років в Україні був найвищим серед країн – головних експортерів зерна у світі – зростання становило 44 % порівняно із 41 % – у Росії, 30 % – у Канаді, 14 % – в Аргентині, 13 % – в ЄС, 10 % – у США та 1 % – в Австралії [2]. За сприятливих погодних умов урожайність понад 7 т/га стає нормою для вітчизняних господарств з високим рівнем агротехніки і належною увагою до системи удобрення, адже сучасні сорти пшениці є набагато вимогливішими до умов живлення. Це засвідчено результатами експерименту на дослідницькій станції Dikopshof Бонського університету у 2015-2016 рр., де порівняли реакцію на удобрення сортів пшениці, виведених впродовж останнього століття. На фоні N₁₂₀P₃₀K₁₁₅ урожайність пшениці озимої сортів новітньої селекції становила 10,0-10,5 т/га, а сортів, селекціонованих понад 100 років тому – 6,7-7,0 т/га [3].

Різні сорти, в силу генетичних особливостей ферментативних систем, органів поглинання і фотосинтезу, неоднаково реагують на форми і дози добрив [4-5], ступінь кислотності [6] і засоленості [7-8] ґрунту. Тому врахування особливостей живлення рослин

певного сорту є перспективним напрямом підвищення ефективності системи удобрення, науково обґрунтованим Е.Г. Клімашевським ще 30 років тому [9]. На жаль, через брак інформації, системи удобрення зазвичай розробляються без урахування генотипної специфіки мінерального живлення рослин, а процедура сортопробування в Україні не передбачає визначення сортових особливостей живлення [10].

Ключовим елементом формування врожаю зерна є азот, із накопиченням якого у тканинах рослини тісно пов'язані приріст біомаси та об'єм споживання більшості інших біофільних елементів [11]. Найбільш значущою є стехіометрія (масове співвідношення) $C:N:P$ у тканинах, яка тісно пов'язана як з урожайністю, так і з ефективністю водоспоживання [12]. Однак, фази розвитку та органи рослин, за якими краще діагностувати нестачу тих чи інших елементів живлення, є різними. Зокрема, прапорцевий листок успішно використовується для діагностики вмісту азоту вже понад двадцять років [13-14]. Стебло є основним депо N в рослинах пшениці під час цвітіння, однак дослідженнями P.V. Barraclough et al [15] не виявлено істотної кореляції врожайності зерна ані з вмістом азоту у цьому органі, ані зі ступенем реутилізації. Публікацією I.M. Shegoda та ін. [16] показано, що сорти пшениці озимої дуже різняться за внеском азоту, що мобілізується з пагона, і пояснюють це різною здатністю до його поглинання з ґрунту після цвітіння. Встановлено, що деякі генотипи пшениці характеризуються підвищеною здатністю поглинати азот із ґрунту на пізніх стадіях розвитку рослин та його ремобілізацією до надземної частини [17]. Крім того, останні дослідження показують, що на стадії утворення та досягання зерен більш значущою в постачанні азоту для них є реутилізація з колоса [16]. Для інших елементів живлення ліпшими можуть бути інші фази розвитку. Наприклад, дослідження R. Gaj et al. [19] підтверджують залежність між урожаєм зерна та вмістом поживних речовин (особливо, цинку та магнію) у листках пшениці на початку стадії подовження стебла (BBCH31). Мало що відомо про генотипні відмінності сортів пшениці щодо кількості елементів живлення, які залишаються у нетоварній частині врожаю [20].

Тривалі дослідження генотипної специфіки живлення пшениці озимої на Ротамстедській дослідній станції показали, що серед факторів, які впливають на варіабельність вмісту азоту в рослинах, найбільший внесок належить рівню застосування азотних добрив, другим за значущістю є фаза розвитку, а третім – генотип [15, 21]. Однак, A.G. Gómez et al. [22] довели, що фактор генотипу, який є найбільш «впливовим» у поглинанні та використанні азоту за оптимальних умов, не обов'язково буде найбільш ефективним у випадку обмеження живлення. На думку G. Agren and M. Weih [23], мінливість концентрації біофільних елементів, спричинена факторами навколишнього середовища, є такою самою, як і мінливість, обумовлена генетичними чинниками, тому правомірно нарівно розглядати індивідуальну, екологічну та генотипну складові цієї мінливості [22]. Завдяки цьому (за методом мультиелементної ідентифікації (multi-element fingerprinting)) можливо розрізнити зерно окремих сортів пшениці, умови та особливості технології її вирощування, які неминуче позначаються на хімічному складі зерна [24].

Порівнюючи особливості надходження елементів живлення до надземної частини рослин пшениці озимої, M. Weih et al [25-26] виявили, що ефективність споживання P, Ca, K, Mg, Na, S, Cu Fe, Mn, Zn є значно вищою у більш вологому й тепломu весняному періоді 2014 року, ніж у посушливому та більш прохолодному 2013-го. Разом з тим, ефективність поглинання Ca та K виявилася вищою за оптимальну в обидва роки, а P та Mg – нижчою, тобто, дисбаланс ґрунтового живлення залишається майже незмінним за різних погодних умов [27].

На жаль, до цього часу ще не розроблено динамічних моделей, за допомогою яких можна надійно оцінювати та прогнозувати трофічний стан рослин [28]. Оскільки показники, що використовуються для оцінювання ефективності споживання елементів живлення, базуються на співвідношенні накопичення пластичних речовин та концентрації елементів живлення у тканинах, то перевищення цього співвідношення може бути артефактом, не пов'язаним із накопиченням біомаси. Багато спірних питань виникає щодо діагностики генотипної мінливості ефективності споживання фосфору – другого за значущістю поживного елементу для зернових культур [29]. Одним із таких питань є вплив на формування елементного складу рослин стресових погодних умов, через які істотно змінюються співвідношення вмісту азоту та фосфору у тканинах, і через що виникає потреба відповідного коригування удобрення [30].

Враховуючи багатогранність взаємозв'язків, що виникають у системі ґрунт-рослина-навколишнє середовище, метою досліджень було виявлення сортових особливостей споживання основних елементів живлення пшеницею озимою з урахуванням погодних умов вегетаційного періоду.

2. Матеріали та методи

2.1. Характеристика об'єктів дослідження та методика досліджень

Дослідження проведено у 2018 та 2019 рр. на сортовипробувальному полігоні дослідного поля «ДГ Елітне» Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН України, що знаходиться в Харківському районі Харківської області. Ґрунт під дослідом – чорнозем типовий середньогумусний на лесоподібному суглинку. Для дослідження було обрано 4 сорти-національні стандарти пшениці озимої (Розкішна (оригіатор – Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва), Бунчук (Селекційно-генетичний інститут), Смуглянка та Подолянка (Інститут фізіології рослин та генетики)), а також 8 сортів закордонної селекції (Балітус, Панонікус (Saatzucht Donau, Австрія), Арктіс, Матрикс (Deutsche Saatveredelung AG, Німеччина), Анніца, Мандіца (Zagreb Bc Institute, Хорватія), Бодічек і Дарія (RAGT Semences, Чехія).

Розмір кожної з дванадцяти випробувальних ділянок – 1,25 × 2,4 м; ділянки було рендомізовано розміщено разом з іншими сортами пшениці озимої на сортовипробувальному полігоні загальною площею 13,6 га. На початку проведення досліджень (у фазу куцїння) на вибірці з 12 проб ґрунту з орного шару було визначено міру однорідності ґрунту за вмістом доступних форм поживних речовин. Вміст мінерального азоту у ґрунті становив $8,2 \pm 1,4$ мг/кг, рухомого фосфору та калію за методом Чирикова (екстракція 0,5 м СН₃СООН) – відповідно, 126 ± 4 мг/кг та 162 ± 4 мг/кг, що відповідає градаціям низького забезпечення азотом, підвищеного – фосфором, та високого – калієм (за національними критеріями [31]).

Усі досліджувані сорти пшениці озимої вирощували на одному кліні сортовипробувального полігону з розміщенням після чистого пару, під який було внесено гній нормою 25 т/га. Безпосередньо під пшеницю вносили аміачну селітру в підживлення по мерзло-талому ґрунту дозою N₃₀. Системи обробітку та захисту рослин були однаковими в межах усього сортовипробувального полігону.

Проби рослин пшениці озимої відбирали після відновлення весняної вегетації у такі фази: куцїння, цвітіння та досягання зерна. Для цього зрізали надземну частину рослин на висоті 5 см. Проби всіх досліджуваних сортів відбирали в один день у 3-разовій повторності, кожна проба складалася з 15-20 рослин.

Вміст азоту, фосфору та калію у рослинному матеріалі визначали методом мокрого озолення із аналітичним закінченням на спектрофотометрі СФ-4 та полуменевому фотометрі СЛ-22D. Аналітична повторюваність вимірювань 2-разова. Статистичний аналіз експериментальних даних виконано з використанням програми Statistica 10.

2.2. Метеорологічні особливості вегетаційних періодів

Кожного року реєстрацію метеорологічних умов здійснювали у період від відновлення весняної вегетації у квітні до збирання врожаю пшениці озимої у липні. За тепловим режимом обидва вегетаційні періоди виявилися більш теплими ніж середні багаторічні показники, що відображає сучасну тенденцію кліматичних змін (Табл. 1). Однак, за зволоженням весняний період 2018 року був більш посушливими, ніж у 2019 році. Кількість опадів у квітні-травні становила лише 28,8 мм, що на 64 % менше за середньобагаторічну норму. За цих умов спостерігалось посилення диференціації сортів за інтенсивністю росту, особливо під час переходу від фази куцїння до фази виходу в трубку. Метеорологічні умови періоду від відновлення вегетації до закінчення цвітіння у 2019 році склалися краще і були більш близькими до середньої багаторічної норми. Червень, навпаки, був значно більш спекотливим і посушливим у 2019 році. Отже, гідротермічний режим у вегетаційні періоди 2018 і 2019 рр. виявився достатньо контрастним для вирощування пшениці озимої, що позначилося на динаміці споживання елементів живлення рослинами.

Таблиця 1

Погодні умови в період досліджень (за даними з метеопоста ХНАУ ім. В.В. Докучаєва)

Місяць	Температура повітря, °С			Кількість опадів, мм		
	2018 р.	2019 р.	середня багаторічна	2018 р.	2019 р.	середня багаторічна
Квітень	12,4	11,5	9,6	12,9	44,5	35,5
Травень	19,9	18,4	16,1	15,9	43,4	43,7
Червень	21,6	24,8	20,2	43,5	15,2	63,3
Липень	23,0	21,4	21,4	28,7	38,8	71,7
Середня температура і сума опадів	19,2	19,0	16,8	101,0	141,9	214,2

3. Результати й обговорення

3.1. Надходження азоту в рослини пшениці

Добре відомо, що концентрація елементів живлення у тканинах зменшується, згідно з відомим ефектом розбавлення (dilution effect), під час інтенсивного нарощування вегетативної маси рослин [32]. Цей ефект може бути критичним для формування врожаю пшениці озимої, тому часто використовується у листовій діагностиці живлення рослин [33-35]. Нашими дослідженнями в обидва роки також засвідчено значне зниження концентрації азоту в надземній частині рослин з 3,6 і 4,2 % у фазу кущіння до 1,3 і 1,6 % у фазу цвітіння (Рис. 1). Ми констатували, що сортові відмінності на цьому фоні дійсно мають другорядне значення, як це відмічено й Р.В. Barraclough et al. [18]. Споживання азоту рослинами показує тенденцію до більшого накопичення у зерновій продукції у 2018 році (в середньому 2,11 %) порівняно із 2019 роком (1,85 %), а в соломі – навпаки (0,34 % та 0,45 % відповідно). Разом з тим, сортові відмінності у споживанні азоту, вагомість яких можна оцінити за розміром довірчого інтервалу на графіку, більше проявилися у 2019 році, погодні умови якого у квітні-травні були більш сприятливими.

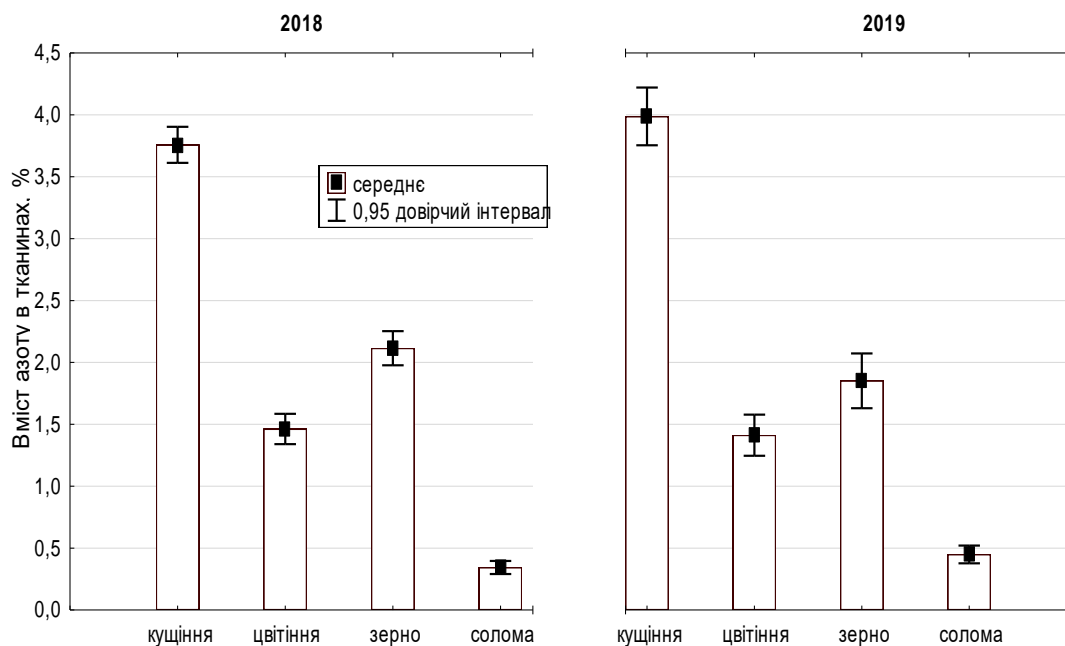


Рис. 1. Концентрація N у надземній частині рослин пшениці озимої (середні значення для сукупності досліджуваних сортів)

Виходячи з динаміки концентрації N у тканинах, за однорічними даними не можна однозначно виділити більш вимогливі та менш вимогливі сорти, оскільки інтенсивність накопичення цього елемента тісно пов'язана із реакцією рослин на погодні умови [23, 25-26]. Справедливість цієї тези можна довести на прикладі сортів-національних стандартів (Табл. 2).

Таблиця 2

Вміст N у надземній частині рослин пшениці сортів-національних стандартів у різні фази розвитку

Сорт	Вміст N, % на суху речовину							
	2018				2019			
	кущіння	цвітіння	повна стиглість	зерно	солома	кущіння	цвітіння	повна стиглість
	листо-стеблова маса		зерно	солома	листо-стеблова маса		зерно	солома
Смуглянка	3,73	1,49	1,79	0,19	4,03	1,46	1,72	0,47
Розкішна	3,35	1,06	2,15	0,24	3,66	1,47	1,84	0,39
Бунчук	3,77	1,53	2,36	0,49	4,51	1,53	2,27	0,39
Подольянка	3,81	1,49	2,37	0,36	3,80	0,88	1,58	0,28
НІР ₀₅	0,40	0,34	0,46	0,21	0,25	0,10	0,13	0,08

Зокрема, пшениця сорту Подолянка у 2018 році мала найвищі параметри вмісту азоту, а у 2019 р. вже істотно поступалася іншим сортам. Натомість, пшениці сорту Розкішна притаманна більш стала динаміка: у першу половину вегетації вона поступається іншим сортам, але згодом набуває більш високих показників. Це свідчить про те, що для об'єктивного оцінювання потреб окремих сортів щодо живлення недостатньо досліджень упродовж одного вегетаційного періоду, а потрібно, як мінімум, два роки з контрастними погодними умовами, а ще краще – мати трирічні спостереження.

3.2. Надходження фосфору та співвідношення фосфору й азоту в рослинах

На відміну від азоту, вміст фосфору (у сукупності досліджуваних сортів) в зерні 2019 року виявився більшим, ніж у 2018, а в соломі – навпаки (Рис. 2). Помітнішим було накопичення цього елемента також і впродовж вегетації. Однак, відгук живлення різних сортів на погодні умови відрізнявся кардинально.

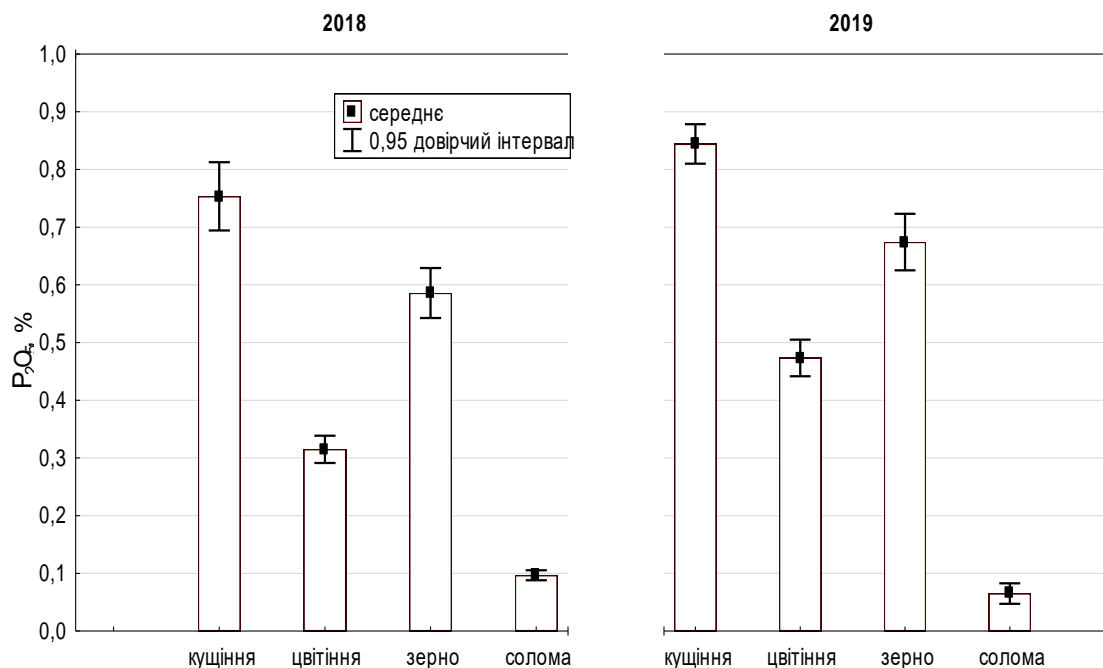


Рис. 2. Концентрація фосфору у надземній частині рослин пшениці озимої (середні значення для сукупності досліджуваних сортів)

Зокрема, серед сортів-національних стандартів (Табл. 3) пшениця сорту Подолянка мала найвищі параметри накопичення фосфору в 2018 році і найнижчі – у 2019. У перерахунку на P, діапазон коливань вмісту фосфору у зерні був досить широким – від 0,20 до 0,35 %, що певною мірою, співпадає з даними L. Ozturk et al. [36] щодо варіабельності цього елемента у вибірці 73 сортів у діапазоні від 2,7 мг/кг до 4,2 мг/кг.

Загалом, динаміка вмісту азоту та фосфору у надземній частині рослин пшениці дуже схожа, а рівні вмісту цих елементів тісно пов'язані. Ця залежність описується регресійним рівнянням: $P_2O_5 = 0,178 + 0,165N$ з високим коефіцієнтом кореляції $r = 0,89$. Такими ж тісними є зв'язки між азотом і калієм ($r = 0,88$) та фосфором і калієм ($r = 0,79$), що обумовлено, насамперед, вищезгаданим dilution effect, вплив якого на елементний склад надземної листо-стеблової маси рослин домінує в період між кушінням та цвітінням.

Незважаючи на подібність динаміки вмісту азоту і фосфору у рослинах, відношення фосфору до азоту має тенденцію до поступового збільшення впродовж вегетації (Рис. 3). Більш сприятливі умови зволоження весною 2019 року забезпечили значно ліпше засвоєння фосфору з ґрунту у фазу цвітіння, але спекотні посушливі умови червня спричинили гальмування реутилізації азоту з вегетативних органів. Через ці особливості погодних умов співвідношення фосфору та азоту в зерні та соломі пшениці у 2018 та 2019 рр. є дуже відмінним. Середні значення відношення $P_2O_5 : N$ у зерні та соломі у 2018 році становило 1 : 0,28 і 1 : 0,29, а в 2019 р. – 1 : 0,37 і 1 : 0,15, відповідно. Очевидно, що така відмінність є прямим наслідком контрастних погодних умов у період весняної вегетації та досягання зерна у 2018 та 2019 рр. За меншої контрастності погодних умов, як було показано M. Weih et al. [25], у 2013-2014 рр., відношення вмісту фосфору до азоту у кінцевій продукції є більш сталим. Сортові відмінності відношення

$P_2O_5 : N$, які характеризуються результатами дисперсійного аналізу, зокрема стандартним відхиленням на рис. 3, також виявилися набагато сильнішими у 2019 році.

Таблиця 3

Вміст фосфору в надземній частині рослин пшениці сортів-національних стандартів у різні фази розвитку

Сорт	Вміст P_2O_5 , % на суху речовину							
	2018				2019			
	кущіння	цвітіння	повна стиглість		кущіння	цвітіння	повна стиглість	
	листо-стеблова маса		зерно	солома	листо-стеблова маса		зерно	солома
Смуглянка	0,73	0,32	0,47	0,08	0,79	0,44	0,61	0,05
Розкішна	0,70	0,27	0,54	0,09	0,90	0,53	0,61	0,04
Бунчук	0,81	0,32	0,60	0,13	0,91	0,52	0,61	0,05
Подольанка	1,00	0,31	0,65	0,09	0,74	0,38	0,61	0,04
$НІР_{05}$	0,20	0,04	0,12	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01

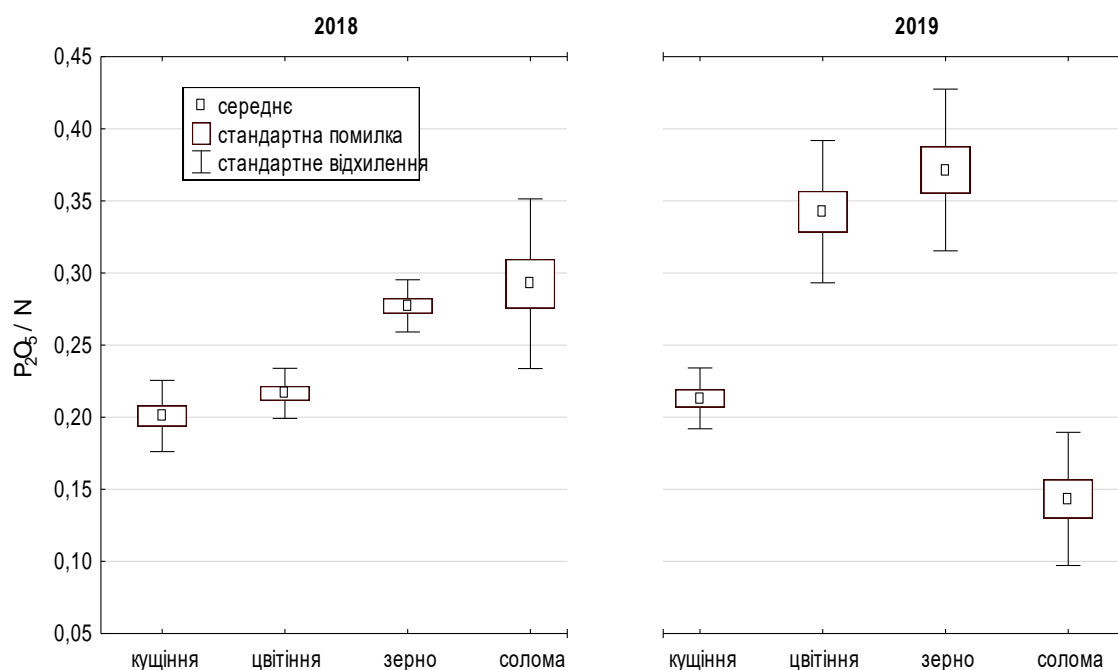


Рис. 3. Відношення $P_2O_5 : N$ у надземній частині рослин пшениці озимої (середні значення для сукупності досліджуваних сортів)

Залежність відношень $P_2O_5 : N$ або $P : N$ від погодних умов ставить під сумнів надійність оцінювання дефіциту елементів живлення рослин за нормативами цього показника, як це передбачено методологією DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) [37], так само, як і надійність інших методів, заснованих на парних співвідношеннях елементів. Різні дослідники наводять дуже різні дані щодо співвідношення фосфору й азоту в основній або побічній продукції пшениці озимої. За даними [34], у 2010-2013 рр. у Південному Степу України відношення $P_2O_5 : N$ у зерні пшениці озимої становило 0,11-0,12 на фоні без добрив та 0,17-0,22 за високого рівня удобрення, а згідно з [35], у 2007-2008 рр. у Правобережному Лісостепу України це відношення становило 0,29 та 0,37 відповідно. Узагальненням великої кількості результатів визначення вмісту азоту та фосфору у зерні пшениці, проведеного у Канаді [38] та Великобританії [39], показано, що середні значення $P : N$ наближаються до 0,16-0,17, що відповідає відношенню $P_2O_5 : N$ в межах 0,36-0,39. Спостереженнями в умовах Пакистану показано значення $P : N$ лише 0,11-0,12 та $P_2O_5 : N$ – 0,25-0,27 [40]. Отже, результати наших досліджень та літературні дані підтверджують висновок G. Ågren & M. Weih [23] про те, що умови навколишнього природного середовища та особливості

технології вирощування (іригація, удобрення) визначають варіабельність відношення фосфору до азоту з імовірністю 99 %.

3.3. Надходження калію та співвідношення вмісту калію й азоту в рослинах

Середній рівень накопичення калію у зерні та соломі був дуже близьким у роки досліджень, однак впродовж вегетації 2019 р. його концентрація у надземній частині рослин була нижчою на 0,5-0,7 % (Рис. 4). Найбільший інтервал варіабельності вмісту калію спостерігався у соломі та у листо-стебловій масі на етапі цвітіння, коли масова частка соломи в рослині є домінуючою. Відомо, що найбільше поглинання калію рослинами пшениці відбувається під час інтенсивного росту пагону [41]. Це наводить на думку про важливість врахування сортових особливостей вимогливості пшениці до калію, тому що цей елемент відіграє винятково важливу роль у підтриманні тургору клітин та формуванні стійкості до посух.

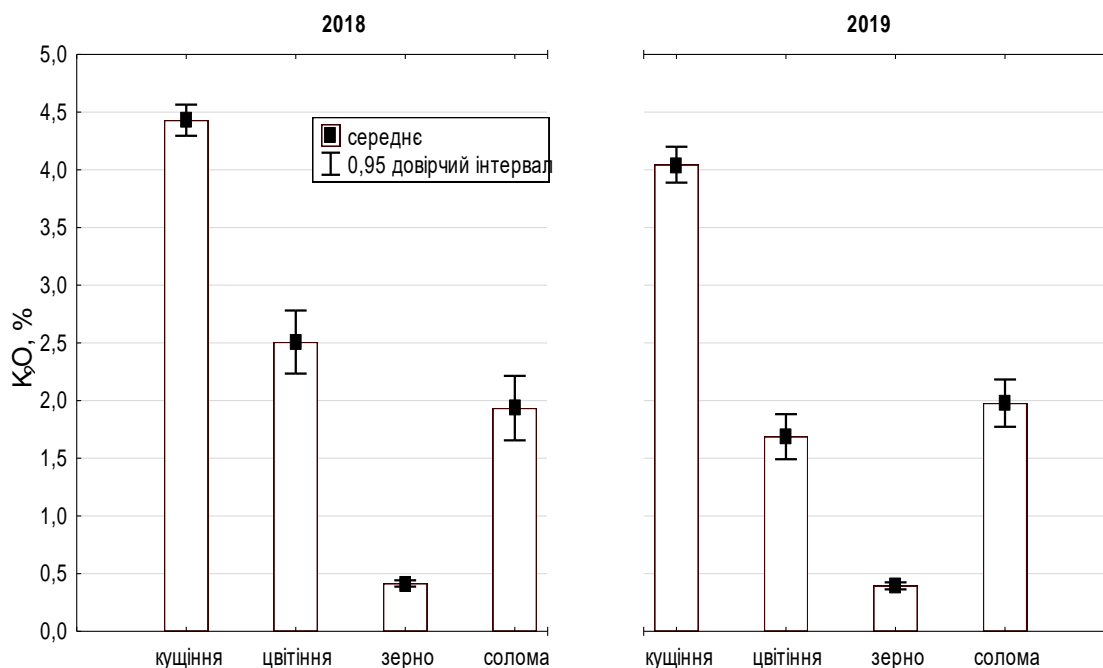


Рис. 4. Концентрація калію у надземній частині рослин пшениці озимої (середні значення для сукупності досліджуваних сортів)

Однак, стали різницю між сортами визначити важко (так само, як і для азоту), оскільки, через неоднаковий розвиток рослин, ступінь ростового розбавлення концентрації К також різний (Табл. 4).

Таблиця 4

Вміст калію у надземній частині рослин пшениці сортів-національних стандартів у різні фази розвитку

Сорт	Вміст K ₂ O, % на суху речовину							
	2018 р.				2019 р.			
	кущіння	цвітіння	повна стиглість		кущіння	цвітіння	повна стиглість	
	листо-стеблова маса	зерно	солома		листо-стеблова маса	зерно	солома	
Смуглянка	4,35	2,76	0,37	1,53	3,78	2,04	0,37	1,91
Розкішна	4,08	2,04	0,37	1,29	4,02	2,24	0,34	1,74
Бунчук	4,32	2,46	0,41	2,58	4,14	1,17	0,38	1,83
Подольянка	4,59	2,70	0,38	1,38	3,66	1,40	0,33	1,43
НІР ₀₅	0,31	0,54	0,03	0,82	0,13	0,17	0,02	0,11

Якщо у 2018 р. пшениця сорту Розкішна мала найнижчі параметри вмісту калію за всіма дослідженими фазами розвитку, то під час цвітіння у 2019 р. цей параметр виявився найвищим серед сортів-національних стандартів. Сорт Бунчук характеризувався

найбільшим накопиченням калію у зерновій та нетоварній продукції, але під час цвітіння у 2019 році вміст цього елемента в листо-стебловій масі поступався іншим сортам на 16-48 %. Отже, погодні умови, що складаються на певний період вегетації, дуже сильно впливають на прояви сортової специфічності споживання калію рослинами пшениці.

Порушення процесу реутилізації азоту під час формування зернівки через посуху та високу температуру повітря, яке спостерігалось у 2019 році, позначилося й на відношенні $K_2O : N$. Як свідчать дані рис. 5, відношення калію до азоту в листо-стебловій масі рослин у 2019 році було істотно нижчим вже починаючи від фази цвітіння. Те ж саме спостерігається й у соломі.

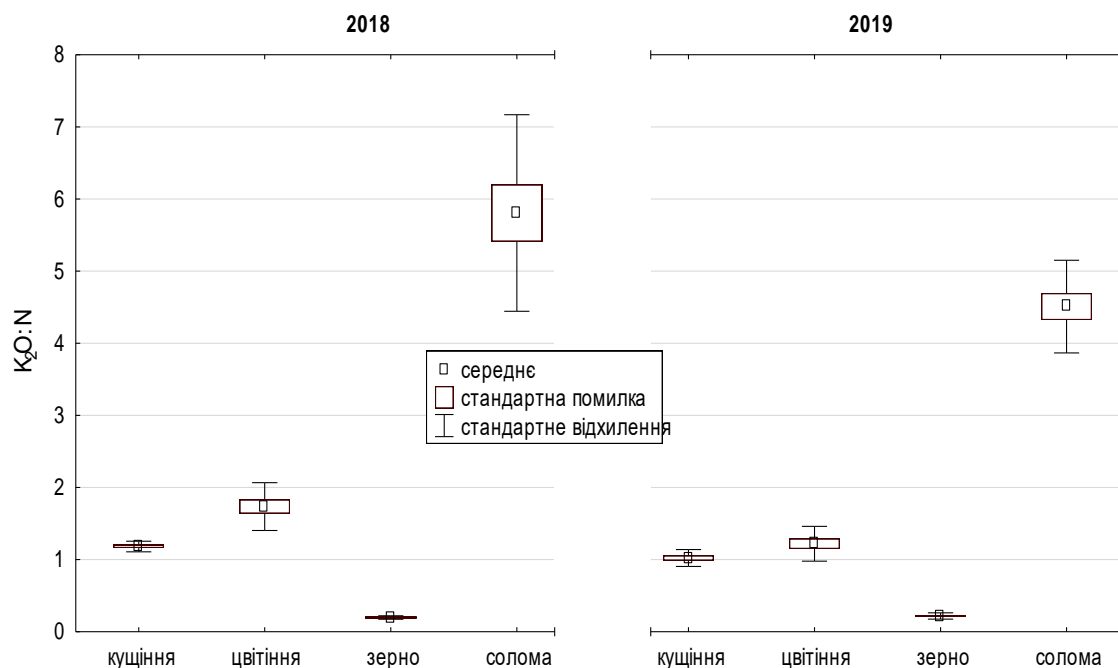


Рис. 5. Відношення $K_2O : N$ у надземній частині рослин пшениці озимої (середні значення для сукупності досліджуваних сортів)

3.4. Вміст NPK у рослинах пшениці озимої сортів закордонної селекції

Серед сортів закордонної селекції в окремі строки спостережень також вирізнялися лідери та аутсайтери за вмістом NPK у рослинах, проте, через неоднаковий вплив погодних умов у 2018 та 2019 рр., ці відмінності не були сталими за дослідженими фазами розвитку. Тому, для характеристики особливостей сортової вимогливості до основних елементів живлення ми наводимо лише дані щодо їхнього вмісту в кінцевій продукції (Табл. 5). В обидва роки спостерігали більше накопичення азоту в зерні та соломі пшениці сортів Арктис і Панонікус, а калію – у пшениці сорту Матрікс. Сорта Бодічек і Мандіца, навпаки, характеризувалися зниженим вмістом азоту та фосфору. Враховуючи відмінність погодних умов 2018 і 2019 рр., можна очікувати, що вищевказані відмінності будуть проявлятися й у подальшому.

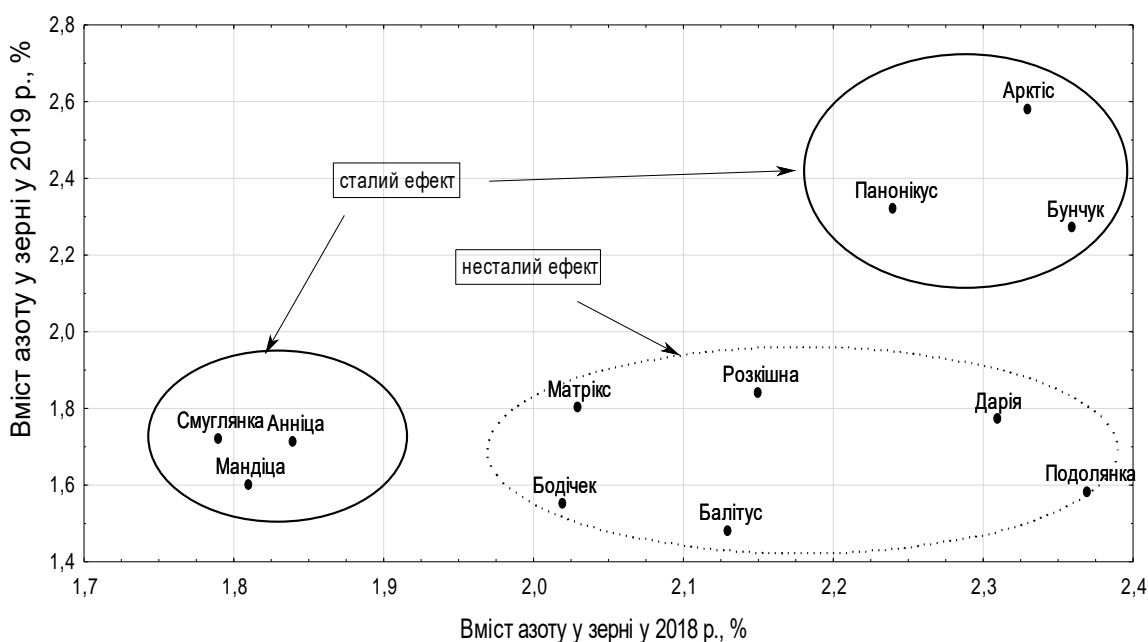
У випадку менш вираженої специфіки споживання елементів живлення, генотипні особливості можуть проявлятися не кожного року. Це візуалізовано на графіку (Рис. 6), де за накопиченням азоту в зерні чітко вирізняються групи сортів зі сталим та несталім ефектом.

Загалом, незважаючи на відмінність погодних умов, у кінцевій продукції досліджуваних сортів вітчизняної та закордонної селекції простежується істотна різниця за рівнем накопичення елементів живлення. Насамперед це стосується калію, вміст якого у зерні групи європейських сортів становив $0,43 \pm 0,02$ % у 2018 р. і $0,41 \pm 0,02$ % у 2019 р. У сортів-національних стандартів ці показники становили $0,38 \pm 0,01$ % і $0,36 \pm 0,04$ %, відповідно. Аналогічна відмінність притаманна й накопиченню калію у соломі: $2,05 \pm 0,11$ % у 2018 р. і $2,10 \pm 0,11$ % у 2019 р. для закордонних сортів та $1,70 \pm 0,30$ % у 2018 р. і $1,73 \pm 0,10$ % у 2019 р. відповідно для вітчизняних. За накопиченням азоту істотної різниці між цими групами сортів не виявлено, а за накопиченням фосфору різниця між середніми значеннями була істотною лише у 2019 році, а саме: $0,71 \pm 0,03$ % у зерні і $0,08 \pm 0,01$ % у соломі європейських сортів та $0,61 \pm 0,01$ % і $0,04 \pm 0,003$ % відповідно для вітчизняних.

Таблиця 5

Вміст NPK у зерні та соломі сортів пшениці озимої закордонної селекції

Сорт	Вміст елементів живлення у зерні (над рискою) та соломі (під рискою), %					
	2018 р.			2019 р.		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Анніца	<u>1,84</u>	<u>0,53</u>	<u>0,36</u>	<u>1,71</u>	<u>0,79</u>	<u>0,45</u>
	0,35	0,09	1,41	0,55	0,10	2,13
Арктіс	<u>2,33</u>	<u>0,62</u>	<u>0,46</u>	<u>2,58</u>	<u>0,83</u>	<u>0,45</u>
	0,38	0,09	2,28	0,44	0,12	2,31
Балітус	<u>2,13</u>	<u>0,60</u>	<u>0,42</u>	<u>1,48</u>	<u>0,65</u>	<u>0,45</u>
	0,33	0,10	2,04	0,47	0,06	1,80
Бодічек	<u>2,02</u>	<u>0,54</u>	<u>0,38</u>	<u>1,55</u>	<u>0,59</u>	<u>0,37</u>
	0,30	0,09	2,40	0,39	0,05	2,07
Дарія	<u>2,31</u>	<u>0,75</u>	<u>0,45</u>	<u>1,77</u>	<u>0,69</u>	<u>0,39</u>
	0,28	0,09	1,86	0,47	0,06	2,46
Мандіца	<u>1,81</u>	<u>0,54</u>	<u>0,44</u>	<u>1,60</u>	<u>0,68</u>	<u>0,37</u>
	0,36	0,11	2,34	0,35	0,05	1,62
Панонікус	<u>2,24</u>	<u>0,68</u>	<u>0,45</u>	<u>2,32</u>	<u>0,73</u>	<u>0,36</u>
	0,41	0,09	2,04	0,46	0,05	1,97
Матрікс	<u>2,03</u>	<u>0,56</u>	<u>0,49</u>	<u>1,80</u>	<u>0,69</u>	<u>0,47</u>
	0,43	0,11	2,07	0,73	0,11	2,46
НІР ₀₅	<u>0,21</u>	<u>0,05</u>	<u>0,03</u>	<u>0,13</u>	<u>0,03</u>	<u>0,02</u>
	0,03	0,01	0,25	0,08	0,01	0,11

**Рис. 6.** Збіжність посиленого або послабленого накопичення N у зерні пшениці озимої різних сортів у роки досліджень

Сортові відмінності споживання елементів живлення та вплив на них погодних умов неодмінно позначаються на розмірі виносу NPK з урожаєм. Середня врожайність зерна пшениці досліджуваних сортів становила 7,5 т/га з коливаннями від 5,9 до 9,2 т/га, маса сухої речовини соломи – 11,8 т/га з коливаннями від 9,3 до 14,4 т/га. Залежно від сорту, за такого врожаю із зерном виносилося 106-203 кг/га N, 41-58 кг/га P₂O₅, 23-37 кг/га K₂O. Господарський винос із соломою становив 32-95 кг/га N, 5-17 кг/га P₂O₅, 161-354 кг/га K₂O. Серед досліджуваних сортів-національних стандартів найбільший винос NPK був притаманний сортам Бунчук та Смуглянка, серед досліджуваних іноземних сортів – Панонікус та Арктіс.

4. Висновки

За однакових умов забезпеченості пшениці озимої елементами живлення, накопичення азоту, фосфору та калію в надземній частині рослин визначається погодними умовами весняно-літнього періоду та сортовими особливостями споживання. Через ці причини, співвідношення вмісту фосфору й азоту та калію й азоту у тканинах рослин, що вегетують, а також у зерні й соломі може варіювати у широких межах. Відношення $P_2O_5 : N$ у зерні пшениці у 2019 р. зі сприятливими погодними умовами квітня-травня та спекотним і посушливим червнем становило $0,37 \pm 0,02$, а у 2018 р. із посушливими погодними умовами квітня-травня і сприятливими у червні – $0,28 \pm 0,01$; відношення $K_2O : N$ у соломі – $5,8 \pm 0,4$ та $4,5 \pm 0,2$ відповідно.

Генетично обумовлена підвищена або знижена вимогливість окремих сортів до елементів живлення може мати стабільний характер, а може проявлятися лише за певних гідротермічних умов вегетації. Через це, для надійного визначення сортових особливостей потреб пшениці озимої до умов живлення необхідно не менше 2-3-річного періоду досліджень з контрастними метеорологічними параметрами.

За результатами дворічних випробувань на чорноземі типовому, більше накопичення азоту у зерні та соломі спостерігалось у пшениці сортів Бунчук, Арктіс і Панонікус, а калію – у пшениці сорту Матрікс. Сорти Смуглянка, Бодічек і Мандіца, навпаки, характеризувалися зниженим вмістом азоту та фосфору у зерні. У групі сортів вітчизняної селекції (Розкішна, Бунчук, Смуглянка, Подолянка) виявлено ознаки меншого накопичення калію у зерні та соломі, ніж у сортів європейської селекції (Балітус, Панонікус, Арктіс, Матрікс, Анніца, Мандіца_Бодічек і Дарія).

Список використаних джерел

1. Рослинництво України. Статистичний збірник. 2018. Державна служба статистики України, 2019. 220 с. (Crop production of Ukraine. Statistical yearbook. 2018. State Statistical Service of Ukraine, 2019. 220 p.)
2. Bond J., Liefert O. Wheat Outlook. U.S. Production and Domestic Use Lowered, Netting Increase for 2016/17 Carryout. Economic Research Service, USDA, WHS-16j, Oct. 14, 2016. URL: <https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/80243/whs-16j.pdf?v=0>.
3. Genetic yield gains of winter wheat in Germany over 100 years (1895-2007) under contrasting fertilizer applications / H.E. Ahrends, W. Eugster, T. Gaiser [et al.]. *Environmental Research Letters*. 2018. 13:104003. URL: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aade12> (Accepted Aug 13, 2018).
4. Sugár E., Berzsenyi Z., Bónis P., Árendás T. Growth analysis of winter wheat cultivars as affected by nitrogen fertilization. *Die bodencultur: Journal of Land Management, Food and Environment*. 2017; 68(1): 57-70. DOI: <https://doi.org/10.1515/boku-2017-0005>.
5. Abd El-Razek U.A., El-Sheshtawy A.A. Response of Some Wheat Varieties to Bio and Mineral Nitrogen Fertilizers. *Asian Journal of Crop Science*. 2013; 5: 200-208. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajcs.2013.200.208>.
6. Hard Red Winter Wheat Cultivar Responses to a pH and Aluminum Concentration Gradient / S.R. Kariuki, H. Zhang, J.L. Schroder [et al.]. *Agronomy Journal*. 2007; 99: 88-97. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0128>.
7. Higher salt tolerant winter wheat cultivars relieves senescence at reproductive stage / Y. Zheng, Z. Wang, X. Sun [et al.]. *Environmental and Experimental Botany*. 2008; 62(2): 129-138. DOI: [10.1016/j.envexpbot.2007.07.011](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.07.011).
8. Identification and Characterization of Salt Tolerance of Wheat Germplasm Using a Multivariable Screening Approach / B.C. Oyiga, R.C. Sharma, J. Shen [et al.]. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2016; 202: 472-485. DOI: <https://doi.org/10.1111/jac.12178>.
9. Климашевский Э.Л. Генетический аспект минерального питания растений. Москва: Агропромиздат, 1991. 415 с.
10. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Затв. наказом Мінагрополітики України від 12.06.2016 р. № 540. Український Інститут експертизи сортів рослин. 117 с. URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f413bb9be6.pdf>.
11. Hamnér K., Weih M., Eriksson J., Kirchmann H. Influence of nitrogen supply on macro- and micronutrient accumulation during growth of winter wheat. *Field Crops Research*. 2017; 213: 118-129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.002>.
12. Yan W., Zhong Y., Shanguan Z. The relationships and sensibility of wheat C:N:P stoichiometry and water use efficiency under nitrogen fertilization. *Plant, Soil and Environment*. 2015; 61(5): 201-207. DOI: <https://doi.org/10.17221/28/2015-PSE>.
13. Lopez-Bellido R.J., Shepherd C., Barraclough P.B. Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with Minolta SPAD meter. *European Journal of Agronomy*. 2004; 20(3): 313-320. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00025-X](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00025-X).
14. Asplund L., Bergkvist G., Weih M. Functional traits associated with nitrogen use efficiency in wheat. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. Soil and Plant Science*. 2015; 66(2): 153-169. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1087586>.
15. Barraclough P.B., Lopez-Bellido R., Hawkesford M.J. Genotypic variation in the uptake, partitioning and remobilization of nitrogen during grain-filling in wheat. *Field Crops Research*. 2014; 156: 242-248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.10.004>.
16. Реутилізація азоту в зерно у різних сортів пшениці залежно від умов мінерального живлення. / І.М. Шегада, Д.А. Кірізія, А.П. Іваницька, Л.В. Сеніна. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія біологія*. 2018. 2(44), 69-80. URL: https://knau.kharkov.ua/uploads/visn_biology/2018/2/6.pdf.

17. Починок В.М., Кірізій Д.А. Продуктивність і якість зерна пшениці у зв'язку з особливостями розподілу азоту в рослині. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2010. Т. 42. 5. 393-402. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/66313/02-Pochinok.pdf?sequence=1>.
18. Relative Contribution of Nitrogen Adsorption, Remobilization, and Partitioning to the Ear During Grain Filling in Chinese Winter Wheat / D. Zhou, M.D. Serret, J.B. Pie [et al.]. *Frontiers in Plant Science*. 2018. 9:1351. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01351>.
19. Gaj R., Górski D., Przybył J. The effect of differentiated phosphorus and potassium fertilization on winter wheat yield and quality. *Journal of Elementology*. 2013; 18(1): 55-67. DOI: <https://doi.org/10.5601/jelem.2013.18.1.04>.
20. El-Nashaar H.M., Banowetz G.M., Peterson C.J., Griffith S.M. Genetic variability of Elemental Concentration in Winter Wheat Straw. *Energy Fuels*. 2010; 24(3): 2020-2027. DOI: <https://doi.org/10.1021/ef901181h>.
21. Hawkesford M.J. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Science*. 2014; 59: 276-283. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.12.001>.
22. Górny A.G., Banaszak Z., Ługowska B., Ratajczak D. Inheritance of the efficiency of nitrogen uptake and utilization in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under diverse nutrition levels. *Euphytica*. 2011. 177: DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-010-0230-z>.
23. Ågren G.I., Weih M. Plant stoichiometry at different scales: element concentration patterns reflect environment more than genotype. *New Phytologist*. 2012. 194: 944-952. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04114.x>.
24. Limitation of multi-elemental fingerprinting of wheat grains: Effect of cultivar, sowing date, and nutrient management / A. Suarez-Tapia, S.V. Kucheryavskiy, B.T. Christensen [et al.]. *Journal of Cereal Science*. 2017. 76: 76-84.
25. Weih M., Pourazari F., Vico G. Nutrient stoichiometry in winter wheat: Element concentration pattern reflects developmental stage and weather. *Scientific reports*. 2016. 6: 35958. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep35958>.
26. Weih M., Hamnér K., Pourazari F. Analyzing plant nutrient uptake and utilization efficiencies: comparison between crops and approaches. *Plant and Soil*. 2018; 430(1-2): 7-21.
28. Santa-Maria G.E., Moriconi J.I., Oliferuk S. Internal efficiency of nutrient utilization: what is it and how to measure it during vegetative plant growth? *Journal of Experimental Botany*. 2015; 66(11): 3011-3018. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv162>.
29. Rose T.J., Wissuwa M. Chapter five – Rethinking Internal Phosphorus Utilization Efficiency: A New Approach Is Needed to Improve PUE in Grain Crops. *Advances in Agronomy*. 2012; 116: 185-217. DOI:10.1016/B978-0-12-394277-7.00005-1.
30. Гладкіх Є.Ю., Круподеря Ю.О., Панасенко Є.В. Роль окремих елементів у підвищенні стресостійкості рослин за екстремальних погодних умов. Людина та довкілля. *Проблеми неоекології*. 2016; 1-2(25): 55-63.
31. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ / за ред. І.П. Яцук, С.А. Балюка. Вид. 2-е допов. Київ, 2019. 108 с.
32. Jarell W.M., Beverly R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*. 1981; 34: 197-224.
33. Development of a Critical Nitrogen Dilution Curve Based on Leaf Area Duration in Wheat / X. Wang, T. Ye, S.T. Ata-Ul-Karim [et al.]. *Frontiers in Plant Science*. 2017; 8:1517. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01517>.
34. Гамаюнова В.В., Смірнова І.В. Вміст у надземній масі сортів пшениці озимої елементів живлення залежно від мінерального живлення та їх винос урожаєм. *Вісник ХНАУ. Серія «Рослинництво, селекція і насінництво, плодощовивництво і зберігання*. 2018; 1: 241-250. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/5740>
35. Бордюжа Н.П. Винос елементів живлення урожаєм різних сортів пшениці озимої за систематичного застосування добрив. *Научные труды SWorld*. 2016. 3(44): 50-53. URL: <http://www.sworld.com.ua/ntsw/316-7.pdf>.
36. Ozturk L., Eker S., Torun B., Cakmak I. Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. *Plant and Soil*. 2005; 269: 69-80. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0469-z>.
37. Bhaduri D., Pal Sh. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): Concept and Application on Nutritional Diagnosis of Plants: A Review. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2013; 12 (1): 70–79.
38. Effect of crop rotation, fertilizer and tillage management on spring wheat grain yield and N and P content in a thin Black Chernozem: A long-term study / C.F. Campbell, G.P. Lafond, A.J. Vanden Bygaart [et al.]. *Canadian Journal of Plant Science*. 2011; 91: 467-483. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjps10032>.
39. N, P and K budget for crop rotation on nine organic farms in the UK / P.M. Berry, E.A. Stockdale, R. Sylvester-Bradley [et al.]. *Soil Use and Management*. 2003; 19(2): 112-118. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2003.tb00289.x>.
40. Effect of different Nitrogen and Phosphorus ratios on the performance of wheat cultivar "Khirman" / P. Khan, M. Imtiaz, S.K.H. Shah [et al.]. *Sarhad Journal of Agriculture*. 2008; 24(2): 233-239. URL: https://www.researchgate.net/publication/263547281_Effect_of_different_nitrogen_and_phosphorus_ratios_on_the_performance_of_wheat_cultivar_'Khirman.
41. Pettigrew W.T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia Plantarum*. 2008. 133: 670-681. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01073.x>.

UDC 631.81.036

Inputs of nutrients to winter wheat plants of different varieties in years, contrasting in weather

M. Miroshnychenko^{1*}, A. Zvonar¹, Ye. Panasenko¹, O. Leonov²

¹ National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine

² Institute of Plant Production named after V.Ya. Yuryev NAAS, Kharkiv, Ukraine
E-mail: *ecosoil@meta.ua

The purpose of the research was to compare features of wheat winter plants nutrition cased their variety specify in different weather conditions. The studies were carried out on Haplic Chernozem Loamic of the test field in the Kharkiv region during 2018 and 2019. Four varieties which are a national standards of Ukraine (Smuglyanka, Podolyanka, Bunchuk and Rozkishna) and 8 varieties of European selection ((Balitus, Panonicus (Saatzucht Donau, Austria), Arctis, Matrix (Deutsche Saatveredelung AG, Germany), Annitza (Zagreb Bc Institute, Croatia), Bodiček and Dariya (RAGT Semences, Czech Republic)) were studied. Due to the effect of growth dilution, content of N in plants decreased from 3.6-4.2 % in the tillering phase to 1.3-1.6 % in the anthesis phase, P_2O_5 - from 0.7-0.9 % to 0.3-0.5 %, K_2O – from 3.9-4.6 % to 1.5-2.8 % respectively. Depending on the weather condition, the ratio of P_2O_5 : N in grain and straw varied twice and ratio K_2O : N in straw varied in 1.3 times. Differences in NPK consumption between varieties were more in the year with favorable moisture in April-May and stressful conditions after anthesis. According to two-year studies, a group of Ukrainian varieties generally showed less potassium demand than varieties of European selection. Studies showed that under the equal fertilizing, the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in the aboveground part of winter wheat plants was determined by the weather conditions of the spring-summer period and the varietal specify of nutrition. This leads to wide variation of the ratio phosphorus to nitrogen and potassium to nitrogen in the tissues of vegetating plants, as well as in grain and straw. Genetically determined increased or reduced need in nutrients might be of a permanent nature or might occur under certain hydrothermal conditions during the growing season.

Keywords: nutrient element; varieties; weather conditions; winter wheat.

Citing: Miroshnychenko M., Zvonar A., Panasenko E., Leonov O. 2020 Inputs of nutrients to winter wheat plants of different varieties in years, contrasting in weather. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 51-62. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-06>.

УДК 631.81+633.34

Засвоєння основних елементів живлення соєю з ґрунту й добрив**Г.М. Господаренко*, І.В. Прокопчук, В.П. Бойко**

Уманський національний університет садівництва, Умань, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 25.12.2019 Отримано після доопрацювання 13.03.2020 Затверджено до друку 16.03.2020 Доступно онлайн 01.06.2020	Досліджували вплив тривалого застосування різних доз і співвідношень мінеральних добрив у 4-пільній польовій сівозміні на вміст основних елементів живлення в рослинах сої. Роботу виконано у стаціонарному польовому досліді на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому у Правобережному Лісостепу України. У статті представлено середні дані врожайності сої та складу рослинної продукції за результатами визначень упродовж 2016–2018 рр., на час другої ротації сівозміни. Схема досліді включає 11 варіантів комбінацій та окремого внесення мінеральних добрив і, в тому числі, контрольний варіант без удобрення. У варіанті досліді, де середня доза елементів живлення у сівозміні на гектар становить $N_{110}P_{60}K_{80}$, заплановано повне (100 %) компенсування добривами господарського винесення культурами основних елементів живлення. Порівняння маси елементів живлення, внесених у ґрунт з мінеральними добривами, з умістом елементів у насінні й соломі сої визначили тісноту прямого зв'язку за такими показниками: азот ($R^2 = 0,82-0,92$); фосфор ($R^2 = 0,69-0,80$); калій ($R^2 = 0,63-0,68$). Внесення на 1 га сівозмінної площі $N_{110}P_{60}K_{80}$, порівняно з ділянками без добрив, збільшує винесення з урожаєм сої азоту на 102 %, фосфору – 86 і калію – на 100 %. Показано, що на формування 1 т насіння та відповідної кількості соломи, залежно від доз і співвідношень добрив у сівозміні, соя засвоює 52,0–59,4 кг азоту, 20,6–26,9 кг P_2O_5 і 23,4–26,4 кг K_2O . З соломою сої у ґрунт повертається від 6–8 % азоту, 47–54 – фосфору і 51–52 % калію від усієї маси елементів, внесених урожаєм (господарського винесення), залежно від системи удобрення.
Ключові слова: ґрунт; елементи живлення; насіння; солома; соя; удобрення.	

*E-mail: hospodarenko@gmail.com

Форма цитування: Господаренко Г.М., Прокопчук І.В., Бойко В.П. Засвоєння основних елементів живлення соєю з ґрунту й добрив. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2020. Вип. 88. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 63-70. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-07>.

1. Вступ

Для подальшого розвитку теоретичних положень оптимізації системи удобрення сільськогосподарських культур у сівозміні та розроблення практичних рекомендацій із застосування добрив, необхідно встановити, який саме елемент або елементи живлення, обумовлюють їх ефективність, визначити необхідну кількість засвоєних рослинами елементів живлення і використаних на формування врожаю, визначити частку засвоєних елементів живлення окремо з ґрунту і добрив за різного удобрення [1].

Теоретично і практично доведено, що реалізовувати потенційну продуктивність сільськогосподарських культур слід не за допомогою високих доз добрив, а оптимізацією всіх властивостей ґрунту і процесів, що забезпечують підтримку його родючості, створення сприятливих параметрів поживного, водного, повітряного режимів, відповідно до біологічних потреб рослин і оптимального рівня біологічної активності ґрунту без негативних змін стану мікробіоценозів [2, 3]. Дози мінеральних добрив повинні відповідати збалансованому живленню рослин всіма біогенними елементами з урахуванням екологічних наслідків їх застосування. Оптимізація доз добрив під окремі культури у спеціалізованих сівозмінах вимагає подальшого вдосконалення методів ґрунтової і комплексної діагностики потреби культур в окремих елементах живлення. За даними [4], заорювання 4 т/га нетоварної продукції у ланці сівозміни соя–овес–кукурудза дозволяє компенсувати витрати азоту на формування урожайності на 43 %, фосфору – 35, калію – 90 % та підвищує урожайність культур на 15 %. Всі ці питання потребують подальшого розширення та поглиблення комплексних досліджень, особливо в стаціонарних агрохімічних досліді.

У довідкових виданнях є дані про нормативні параметри витрат елементів живлення на формування одиниці насіння та відповідну кількість соломи, за якими можна визначити й загальну потребу в елементах живлення для формування запланованого врожаю сої на певній площі. Але відносне внесення елементів живлення соєю на формування одиниці урожаю насіння та відповідну кількість соломи істотно варіює залежно від ґрунтово-кліматичних умов, величини урожаю, співвідношення в урожаї мас насіння і соломи, якості насіння та сортових особливостей [5, с. 258; 6, с. 195]. Дані про оптимальний хімічний склад насіння та соломи слід включати до складу обов'язкових показників якості районованих сортів сої, тому що основні показники якості (вміст білка,

жиру тощо) значно залежать від хімічного складу, тобто, вмісту в продукції N, P, K, Ca, Mg та інших елементів [7-9].

Одним із головних чинників формування максимальної продуктивності сільськогосподарських культур можна вважати оптимальний рівень їх забезпеченості елементами живлення. Слід зазначити, що кореневе живлення рослин залежить не тільки від їх біологічних особливостей і забезпеченості продуктами фотосинтезу. На нього впливає інтенсивність розвитку кореневої системи, структура та вологість ґрунту, реакція ґрунтового середовища, вміст і співвідношення елементів живлення, активність ґрунтової біоти, кореневі виділення тощо [10]. Тому вважається, що проведення листової діагностики мінерального живлення рослин є недостатнім. Її результати потрібно уточнювати хімічними аналізами рослинних проб. Наприклад, встановлено [11], що для пшениці озимої оптимальний вміст елементів живлення у різних ґрунтово-кліматичних умовах відрізняється не більше, ніж на 5 %. Щодо вмісту калію в рослинах, то вчені [12-14] не мають одноставної думки про вплив ґрунтово-кліматичних умов, рівня застосування добрив та інших чинників. Так, у вегетаційному досліді з 14-ма культурами і концентрацією калію від 0,1 мкмоль до 1 ммоль поживного розчину лише за вмісту понад 95 мкмоль/л простежувалось незначне підвищення його вмісту в органах рослин [15].

Елементний склад рослин найбільше залежить від хімічного складу земної кори [16, с. 72]. Рослини добре реагують на підвищення вмісту рухомих сполук елементів живлення в ґрунті, а тому їх вміст у тканинах підвищується під впливом удобрення [17-19]. Для розрахунку доз добрив зазвичай користуються показником господарського винесення елементів живлення запланованим урожаєм, хоч це і не відповідає біологічним потребам культур для його формування. При цьому вважають, що частину елементів живлення рослини візьмуть з ґрунту, і з метою оптимізації їх живлення та забезпечення простого відтворення родючості ґрунту потрібно повернути лише ту кількість, яку буде витрачено на формування основного і нетоварного врожаю. Для практичних розрахунків використовують показники відносного винесення елементів живлення – винесення одиницею основної продукції і відповідною кількістю нетоварної частини врожаю. Ці показники відносно стабільні, що пояснюється законами постійності хімічного складу рослин і їх вибірковою здатністю поглинати поживні речовини [20, 21]. Показники відносного винесення елементів живлення на одиницю врожаю необхідно постійно уточнювати з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов регіону, сортів і гібридів культури, оскільки вони відрізняються за генотипом, хімічним складом, відношенням товарного врожаю до відповідної кількості нетоварного. Так, за узагальненими даними географічної мережі дослідів [22] вміст азоту, фосфору і калію на неудобрених і удобрених ділянках відрізнявся відповідно на 14; 3 і 13 %, а на неудобрених ділянках між зонами дерново-підзолистих, каштанових і чорноземних ґрунтів відповідно на 37; 57 і 80 %. При цьому витрати поживних речовин на одиницю врожаю за високих доз добрив збільшуються. На думку Б. С. Носка [23], за оптимальний потрібно брати показник вмісту і відносного їх винесення, що відповідає максимальному високоякісному врожаю. Ці показники також важливі для розрахунку балансу елементів живлення за умови різного використання нетоварної частини врожаю (на добриво, корм чи підстилку для худоби, тощо).

Мета дослідження – уточнити рівні вмісту елементів живлення та засвоєння їх на формування одиниці врожаю сої, що вирощується у 4-пільній сівозміні на чорноземі опідзоленому залежно від доз і співвідношень мінеральних добрив в умовах стаціонарного польового досліді у Правобережному Лісостепу України.

2. Об'єкти і методи досліджень

Дослідження проведено в 2016-2018 рр. у стаціонарному польовому досліді Уманського національного університету садівництва (атестат НААН № 87) [24], розміщеному в Правобережному Лісостепу України з географічними координатами за Гринвічем 48°46' N, 30°14' E. Дослід закладено 2011 року. Загальною метою польового досліді є встановлення ефективності дії різних видів, доз і співвідношень мінеральних добрив на врожайність і якість зерна та насіння польових культур і на родючість ґрунту.

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі, має такі характеристики в межах орного шару: вміст гумусу 3,8 %; вміст азоту легкогідролізованих сполук (за методом Корнфілда) 105 мг/кг (низький за національними стандартами); рухомих сполук фосфору та калію (за методом Чирикова, екстракція 0,5 м СН₃COOH) – відповідно 106 мг/кг (підвищений) і 132 мг/кг (високий); рН_{KCl} – 5,7.

Схема досліді включає 11 варіантів комбінацій та окремого внесення мінеральних добрив і, в тому числі, контрольний варіант без удобрення (Табл. 1). Фосфорні

(суперфосфат гранульований) і калійні (калій хлористий) добрива вносили під зяблевий обробіток ґрунту, азотні (аміачна селітра) – під передпосівну культивуацію.

Таблиця 1
Схема дослідю

Варіант: середня доза елементів живлення в сівозміні (кг д. р/га за рік)	Внесення елементів живлення під культури сівозміни (кг д.р./га)			
	Пшениця озима	Кукурудза	Ячмінь ярий	Соя
Без добрив (контроль)	–	–	–	–
N ₅₅	N ₇₅	N ₈₀	N ₃₅	N ₃₀
N ₁₁₀	N ₁₅₀	N ₁₆₀	N ₇₀	N ₆₀
P ₆₀ K ₈₀	P ₆₀ K ₈₀	P ₆₀ K ₁₁₀	P ₆₀ K ₇₀	P ₆₀ K ₆₀
N ₁₁₀ K ₈₀	N ₁₅₀ K ₈₀	N ₁₆₀ K ₁₁₀	N ₇₀ K ₇₀	N ₆₀ K ₆₀
N ₁₁₀ P ₆₀	N ₁₅₀ P ₆₀	N ₁₆₀ P ₆₀	N ₇₀ P ₆₀	N ₆₀ P ₆₀
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	N ₇₅ P ₃₀ K ₄₀	N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	N ₁₅₀ P ₆₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₄₀	N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	N ₁₅₀ P ₆₀ K ₄₀	N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	N ₇₀ P ₃₀ K ₇₀	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀

У варіанті дослідю, де середня доза елементів живлення у сівозміні на гектар становить N₁₁₀P₆₀K₈₀, заплановано повне (100 %) компенсування добривами середньорічного господарського винесення культурами основних елементів живлення. Схему дослідю складено так, щоб за результатами проведених досліджень можна було визначити можливість (раціональність) зниження доз окремих видів мінеральних добрив. Розміщення варіантів у дослідю послідовне.

У чотиріпільній польовій сівозміні вирощують такі культури: пшениця озима; кукурудза; ячмінь ярий; соя. Розгортання дослідю одночасно на чотирьох полях дало змогу щорічно отримувати дані врожайності всіх культур 4-пільної польової сівозміни. Повторення дослідю триразове. Загальна площа дослідної ділянки 110 м², облікова – 72 м².

У статті представлено середні дані врожайності насіння сої (сорт Аннушка) та вмісту основних елементів живлення в рослинній продукції за результатами визначень впродовж 2016-2018 рр., на час другої ротації сівозміни. Технологія вирощування сої традиційна для регіону. Збирання врожаю проводили прямим комбайнуванням. Урожайність соломи обліковували методом пробного снопа.

Вміст азоту, фосфору та калію у пробах насіння і соломи сої визначали після мокрого озолення із аналітичним закінченням на спектрофотометрі та полуменевому фотометрі [25].

Статистичний аналіз експериментальних даних виконано з використанням програми Statistica 10. Для оцінювання тісноти зв'язку між досліджуваними чинниками використовували градації коефіцієнту кореляції за шкалою R. E. Chaddock [26]: 0,1-0,3 – зв'язок незначний; 0,3-0,5 – помірний; 0,5-0,7 – істотний; 0,7-0,9 – високий; 0,9-0,99 – дуже високий; 1 – функціональний. Коефіцієнт стабільності досліджуваних показників розраховували за такою формулою: $K_{\text{стаб}} = V_{\text{сер}} : (\text{max} - \text{min})$, де: $V_{\text{сер}}$ – показник середньої величини; $\text{max} - \text{min}$ – різниця між максимальним і мінімальним значеннями показника в дослідю.

3. Аналіз результатів досліджень

Результатами аналітичних досліджень виявлено певні зміни вмісту основних елементів живлення в насінні та соломі сої. Як видно з даних табл. 2, вміст елементів живлення в урожаї залежить від доз застосування мінеральних добрив у сівозміні. Складові частини врожаю сої суттєво відрізнялися за вмістом азоту: у насінні – 5,53-6,24 % (у перерахунку на суху речовину), у соломі – 0,32-0,44 % залежно від варіанту удобрення. Завдяки удобренню вміст азоту в насінні сої максимально підвищувався на 13 % (варіант N₆₀P₆₀K₆₀), а в соломі – на 38 % (N₆₀P₆₀K₆₀) порівняно з контролем. Загальною закономірністю, яка не залежить від удобрення, є значно менший вміст азоту в сухій речовині соломи сої. Це можна пояснити переміщенням його під час формування врожаю з вегетативних органів у генеративні. Проте застосування мінеральних добрив, особливо азотних, сприяло підвищенню вмісту азоту в нетоварній частині врожаю. Через низький

вміст азоту у соломі сої, а отже, високе значення відношення С : N, у разі залишення її на полі на добриво, наступна культура (в нашому досліді – пшениця озима) буде відчувати нестачу азотного живлення.

Таблиця 2

Вміст основних елементів живлення в урожаї сої залежно від удобрення в польовій сівозміні

Варіант досліді	Вміст елементів живлення, % на суху речовину					
	Насіння			Солома		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив (контроль)	5,53	1,08	1,27	0,32	1,08	1,19
N ₃₀	5,75	1,10	1,29	0,37	1,09	1,20
N ₆₀	5,87	1,12	1,31	0,41	1,11	1,22
P ₆₀ K ₆₀	5,56	1,36	1,38	0,32	1,16	1,27
N ₆₀ K ₆₀	6,06	1,10	1,39	0,41	1,10	1,28
N ₆₀ P ₆₀	6,19	1,60	1,29	0,42	1,23	1,19
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	5,86	1,36	1,39	0,38	1,16	1,25
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	6,24	1,62	1,46	0,44	1,23	1,31
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	6,17	1,38	1,40	0,42	1,18	1,26
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	6,22	1,58	1,42	0,44	1,20	1,27
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	6,03	1,40	1,41	0,42	1,20	1,30
HIP ₀₅	0,33	0,06	0,07	0,02	0,06	0,07

Вважається [23, 27], що рослини мають здатність регулювати вміст фосфору у своєму складі, але цього не достатньо щоб повністю обмежити його засвоєння за високого вмісту в ґрунті.

Результати досліджень показали (див. табл. 2), що навіть за високих доз внесення мінеральних добрив (N₆₀P₆₀K₆₀) вміст фосфору в насінні сої підвищувався з 1,08 до 1,62 % у перерахунку на суху речовину, що майже адекватно збільшенню доз добрив. При цьому за внесення азотних добрив живлення рослин сої фосфором також поліпшувалось, тоді як впливу калійних добрив не було відмічено.

У вегетативній масі (соломі) сої, порівняно з насінням, вміст фосфору був значно меншим, проте зміни під впливом удобрення були значними. Так, у соломі він підвищувався на варіанті з високими дозами добрив (N₆₀P₆₀K₆₀) на 13 %.

За результатами визначень констатовано (див. табл. 2), що вміст калію в насінні та соломі сої залежить від насиченості сівозміни добривами менш суттєво, ніж вміст азоту та фосфору. Навіть застосування калійних добрив у дозі 60 кг/га д. р. на азотно-фосфорному фоні (варіант N₆₀P₆₀K₆₀) підвищувало вміст калію в соломі сої не більше, ніж на 14 % порівняно з неудобрененими ділянками; щоправда, у насінні збільшення було більш суттєвим – на 50 %.

Розрахунки показали, що між дозами азотних добрив і вмістом азоту в насінні та соломі сої існує високий і дуже високий кореляційний зв'язок ($R^2 = 0,82-0,92$), залежність між дозами фосфорних добрив і вмістом у рослинах фосфору висока – $R^2 = 0,69-0,80$. Між дозами калійних добрив і вмістом калію в насінні й соломі спостерігалась істотна залежність ($R^2 = 0,63-0,68$). Це вказує на те, що корегуючи дози мінеральних добрив, можна в певних межах регулювати хімічний склад урожаю.

Використовуючи параметри вмісту основних елементів живлення в складових урожаю (див. табл. 2) та значення врожайності насіння сої (Рис.) розраховали господарське вилучення з ґрунту елементів живлення. Цей показник також залежить від структури урожаю сої – співвідношення між насінням і соломою.

Розрахунки показали, що в насінні й соломі сої елементи живлення містяться не лише в різній кількості, але й у різному співвідношенні (Табл. 3).

Загалом, серед досліджуваних елементів живлення, з насінням соя з ґрунту найбільше виносить азоту, і найменше – калію, а з соломою калію виносить навіть більше, ніж азоту (закономірність порушується лише на деяких варіантах). Також з насінням виносить з ґрунту багато фосфору – 16-38 кг P₂O₅/га залежно від варіанту удобрення.

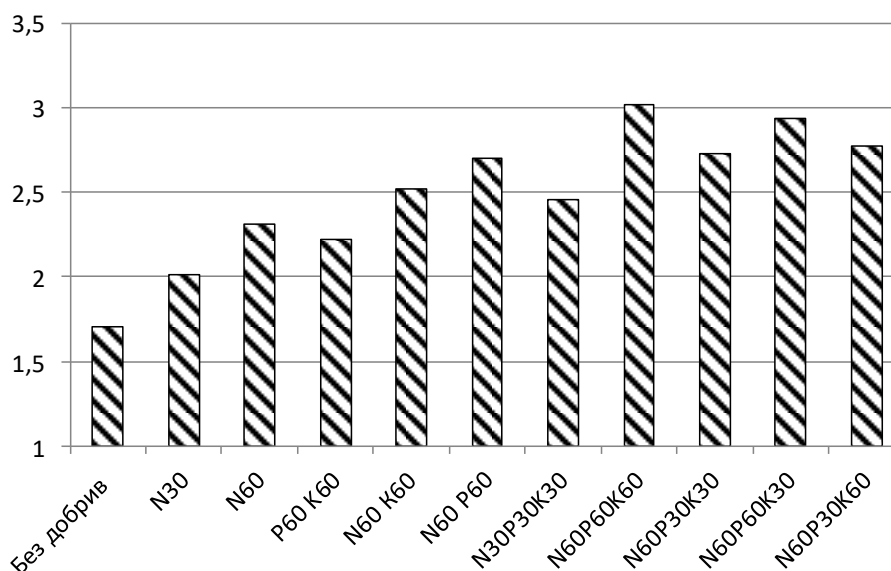


Рис. Вплив доз (кг д.р./га) і комбінації добрив, внесених під сою у 4-пільній сівозміні, на врожайність насіння сої (т/га)

Внесення максимальних доз добрив на 1 га сівозмінної площі ($N_{110}P_{60}K_{80}$), призвело до збільшення, порівняно з ділянками без добрив, винесення з урожаєм сої (господарське винесення) азоту на 102 %, фосфору – 86 і калію – на 100 %.

Таблиця 3

Господарське винесення основних елементів живлення соєю за різних доз і комбінації добрив у польовій сівозміні

Елемент живлення	Варіант дослідів										
	Без доб-рив	N ₃₀	N ₆₀	P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₆₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀
Винесено елементів живлення, кг/га											
<i>з насінням</i>											
Азот	84	106	119	109	134	147	127	166	149	161	147
Фосфор	16	20	23	27	24	38	29	43	33	41	34
Калій	19	24	27	27	31	31	30	39	34	37	34
<i>з соломою</i>											
Азот	6	8	10	7	11	12	10	14	12	13	12
Фосфор	19	24	27	27	29	34	29	38	33	36	34
Калій	21	26	29	29	33	33	32	41	36	39	37
<i>господарське винесення (сума)</i>											
Азот	90	114	129	116	145	159	137	180	161	174	159
Фосфор	35	44	50	54	53	72	58	81	66	77	68
Калій	40	50	56	56	64	64	62	80	70	76	71

Нині в господарствах рослинницького напрямку гостро стоїть проблема органічних добрив. Тому важливим є залишення на полях нетоварної частини врожаю, що є одним із засобів повернення органічного вуглецю, а разом і елементів живлення, в ґрунт. Як видно з даних табл. 4, з соломою сої виноситься значна кількість елементів живлення, які можна повернути у ґрунт. З практичного погляду для розрахунку доз добрив важливо знати, яка частка елементів живлення, використаних рослинами для формування господарського врожаю, повернеться в ґрунт у разі залишення на полі на добриво нетоварної продукції.

Розрахунки показали, що з соломою сої у ґрунт повертається лише 6-8 % азоту, але від 47 до 54 % фосфору й калію від усієї маси елементів, винесеної врожаєм. Однак багато що залежить від варіанту удобрення – можливість повернення зростає з підвищенням доз мінеральних добрив, особливо азотних. Відомо, що калій в рослинах не утворює складних органічних сполук, а тому після надходження в ґрунт із соломою сої

буде легкодоступним наступним культурам сівозміни. Це потрібно враховувати у схемі застосування калійних добрив у сівозміні.

Дані табл. 4 показують, що параметри відносного винесення елементів живлення соєю залежать від системи удобрення. Винесення азоту насінням сої залежно від удобрення змінюється від 48,7 до 54,9 кг/т.

Таблиця 4

Відносне винесення з ґрунту основних елементів живлення з насінням і соломкою сої залежно від доз і співвідношення добрив у сівозміні

Варіант досліджу	Відносне винесення елементів живлення з частинами урожаю, кг/т					
	з насінням			з соломкою		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив (контроль)	48,7	9,5	11,2	2,8	9,3	10,2
N ₃₀	50,6	9,7	11,3	3,2	9,4	10,3
N ₆₀	51,6	9,8	11,5	3,5	9,6	10,5
P ₆₀ K ₆₀	48,9	12,0	12,1	2,8	10,0	10,9
N ₆₀ K ₆₀	53,3	9,7	12,2	3,5	9,5	11,0
N ₆₀ P ₆₀	54,5	14,1	11,3	3,6	10,6	10,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	51,6	11,9	12,2	3,3	10,0	10,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	54,9	14,2	12,8	3,8	10,6	11,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	54,3	12,1	12,3	3,6	10,1	10,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	54,7	13,9	12,5	3,8	10,3	10,9
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	53,0	12,3	12,4	3,6	10,3	11,2

Параметри винесення фосфору і калію з насінням сої є стабільними, але винесення фосфору частково зростає за посилення фосфорного живлення рослин у сівозміні. З одиницею маси соломи, порівняно з насінням, соя виносить із ґрунту менше азоту, але значно більше калію й фосфору.

Як уже зазначалось, у практиці, для розрахунку доз добрив, особливо у разі видалення нетоварної частини врожаю з поля, використовується показник винесення елементів живлення на одиницю основної і відповідну кількість нетоварної продукції. Винесення основних елементів живлення з однією тонною насіння та відповідною масою соломи не є постійною величиною, а варіює у певних межах залежно від рівня врожайності, доз добрив і ґрунтово-кліматичних умов. Як видно з порівняння узагальнених середніх даних і діапазонів витрат елементів живлення на формування одиниці врожаю сої, ці параметри в умовах проведення досліджу є досить стабільними, тобто, діапазон варіювання є незначним (Табл. 5).

Таблиця 5

Середнє відносне винесення з ґрунту основних елементів живлення з урожаєм сої у польовій сівозміні

Елемент живлення	Середнє у сівозміні винесення елементів живлення з урожаєм, кг/т		
	з насінням	з соломкою	з насінням і відповідною масою соломи
Азот (N)	<u>52,4</u> 48,7–54,9	<u>3,4</u> 2,8–3,8	<u>56,4</u> 52,0–59,4
Фосфор (P ₂ O ₅)	<u>11,7</u> 9,5–14,2	<u>10,0</u> 9,30–10,6	<u>23,7</u> 20,6–26,9
Калій (K ₂ O)	<u>12,0</u> 11,2–12,8	<u>10,7</u> 10,2–11,3	<u>24,0</u> 23,4–26,4

Примітка. Над рискою – середнє значення, під рискою – діапазон варіювання по варіантах.

Як видно з даних табл. 5, з однією тонною зерна соя виносить у середньому 52,4 кг азоту і лише 3,4 кг – з 1 т соломи. Відносні винесення із ґрунту фосфору й калію на формування врожаю насіння й відповідної маси соломи, порівняно з азотом, суттєво менші – 23,7 та 24,0 кг/га.

На формування урожаю одиниці товарної і відповідної маси нетоварної продукції соя засвоює елементи живлення у такому співвідношенні N : P₂O₅ : K₂O = 1 : 0,4 : 0,4. Параметри

відносного винесення основних елементів живлення різними частинами урожаю сої мають неоднакову стабільність, що характеризується коефіцієнтом стабільності (Табл. 6).

Таблиця 6
Коефіцієнт стабільності відносного винесення
з ґрунту елементів живлення соєю

Елемент живлення	Коефіцієнт стабільності відносного винесення ($K_{\text{стаб}}$)		
	з насінням	з соломкою	з насінням та соломкою
Азот	8,5	3,4	7,6
Фосфор	2,5	7,7	3,8
Калій	7,5	9,7	8,0

Це пояснюється, очевидно, законами генетичної спадковості рослин. Так, найстабільнішим є вміст азоту в насінні, а калію й фосфору – в соломі.

4. Висновки

1. Вміст основних елементів живлення в урожаї сої істотно залежить від доз і співвідношень добрив у польовій сівозміні. Особливо це стосується азоту і меншою мірою – калію.

2. У господарському вилученні елементів живлення з урожаєм зерна сої найбільшу частку становить азот (90-180 кг/га), потім – P_2O_5 (36-81) і K_2O – (40-80 кг/га) залежно від насиченості добривами сівозміни.

3. На формування 1 т зерна та відповідної маси соломи залежно від доз і співвідношень добрив у сівозміні на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу соя засвоює 52,0-59,4 кг азоту, 20,6-26,9 кг P_2O_5 і 23,4-26,4 кг K_2O , або в середньому відповідно 56,4; 23,7 і 24,0 кг.

4. З соломкою сої у ґрунт повертається 6-8 % азоту, 47-54 – фосфору і 51-52 % калію від господарського винесення, що залежить від системи удобрення.

5. На формування одиниці врожаю насіння та відповідної маси соломи соя засвоює N, P_2O_5 і K_2O у такому співвідношенні мас: 1 : 0,4 : 0,4.

Список використаних джерел

1. Єщенко В.О., Опришко В.П. Екологічні основи проектування польових сівозмін. Зб. наук. праць Уманського с.-г. інституту. Київ: Сільгоспосвіта, 1994, С. 31-36.
2. Волкогон В.В., Бердніков О.М., Лопушняк В.І. Екологічні аспекти системи удобрення сільськогосподарських культур. За ред. В.В. Волкогона. Київ: Аграрна наука. 2019, 264 с.
3. Минеев В.Г., Ремпе Е.Х. Экологические последствия длительного применения повышенных и высоких доз минеральных удобрений. *Агрехимия*. 1991. №3. С. 35-48.
4. Клименко І.І. Вплив системи удобрення на продуктивність культур ланки зерно-просапної сівозміни та родючість темно-сірого опідзоленого ґрунту: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Київ, 2015. 22 с.
5. Симбіотична азотфіксація та врожай / Г.М. Господаренко, В.І. Невлад, І.В. Прокопчук [та ін.]. За заг. ред. Г.М. Господаренка. Умань: Видавець «Сочінський М. М.», 2017. 324 с.
6. Складові технології вирощування сої / Г.М. Господаренко, О.М. Бахмат, І.В. Прокопчук [та ін.]. За заг. ред. Г.М. Господаренка. Умань: Видавець «Сочінський М.М.», 2018. 208 с.
7. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd edition. Edited by P. Marschner. Amsterdam, Netherlands: Elsevier/Academic Press, 2012. 684 p.
8. Справочник по зерновым культурам / Под ред. И. М. Карасюка. Киев: Урожай, 1991. 320 с.
9. Баранов В.Ф., Корреа У.Т. Сортовая специфика возделывания сои. Краснодар: ВНИИМК, 2007. 84 с.
10. Agren G.I., Weih M. Plant stoichiometry at different scales: element concentration patterns reflect environment more than genotype. *New Phytologist*. 2012. 194: 944-952. doi:10.1111/j.1469-8137.2012.04114.x
11. Ягодин Б.А., Буторина Е.П., Феофанов С.Н. Уточнение некоторых вопросов применения тканевой диагностики в регулировании азотного питания озимой пшеницы. *Агрехимия*. 1993. №4. С. 19-28.
12. Господаренко Г.М. Основні принципи побудови системи удобрення в польовій сівозміні. *Агрехімія і ґрунтознавство* (спецвипуск). Кн. 3. Харків, 2002. С. 200-203.
13. Ивойлова А.В., Шильников И.А., Шелкунова А.В. Вынос N, P, K и Ca культурами зернопопашного севооборота. *Агрехимия*. 1990. №1. С. 26-32.
14. Нікітіна О.В. Зміна калійного стану чорнозему опідзоленого за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні в умовах Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Харків, 2017. 23 с.

15. Acher C.J., Ozanne P.L. Calcium and potassium content of plant in solution cultures maintained at constant potassium concentration. *SoilSci*. 1963. V. 103. P. 155.
16. Вибрані праці академіка В. І. Вернадського. Київ, 2011. Т. 1. Кн. 2. 584 с.
17. Діагностика стану хімічних елементів системи ґрунт–рослина / За ред. А.І. Фатєєва., В.П. Самохвалової. Харків: КП «Міськдрук», 2012. 146 с.
18. Загорча К.Л. Оптимизация системы удобрения в полевых севооборотах. Кишенев: Штиинца, 1990. 288 с.
19. Ильин В.Б. Элементарный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 1985. 129 с.
20. Климашевский Э.Л. Генетический аспект минерального питания растений. Москва: Агропромиздат, 1991. 415 с.
21. Ткаченко М.А., Драч Ю.О. Видове генотипне співвідношення елементів живлення як основа оптимізації удобрення сільськогосподарських культур. Зб. наук. пр. ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2016. Вип. 1. С. 113-123.
22. Юркин С.Н., Пименов Е.А., Макаров Н.Б. Почвенно-зональные различия расхода питательных веществ в связи с применением удобрений. *Агрохимия*. 1979. №12. С. 127-130.
23. Носко Б.С. Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Харків: ФОП «Бровін О.В.», 2017. 476 с.
24. Стационарні польові досліді України. Київ: Аграрна наука, 2014. 146 с.
25. Рослини. Визначення загальних форм азоту, фосфору і калію в одній наважці рослинного матеріалу: МВВ 31–497058–019–2005. Методика визначення складу та властивостей ґрунтів. Харків: Типографія №13, 2005. Кн. 2. С. 189-208.
26. Сеницький О.М., Батюк О.Я. Економетрія. Львів: Сполом, 2011. 210 с.
27. Туева О.Ф. Фосфор в питании растений. Москва: Наука, 1966. 296 с.

UDC 631.81+633.34

Soybean uptake of essential nutrients from soil and fertilizers

H.M. Hospodarenko*, I.V. Prokopchuk, V.P. Boiko

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

*E-mail: hospodarenko@gmail.com

The effect of prolonged use of different doses and ratios of mineral fertilizers in 4-field crop rotation on the content of essential nutrients in soybean plants investigated. The work was carried out in a stationary field experiment on chernozem podzolized heavy-loam in the Right-bank Forest Steppe of Ukraine. The article presents the average yield data of soybean and the composition of plant products according to the determinations during 2016-2018, at the time of the second crop rotation. The experiment scheme includes 11 variants of combinations and separate application of mineral fertilizers and, including, the control variant without fertilizer. In the experiment, where the average dose of crop rotation nutrition per hectare is $N_{110}P_{60}K_{80}$, full (100 %) compensation of essential crop nutrients removal by fertilizers is planned. Comparison of the mass of nutrients introduced into the soil with mineral fertilizers with the content of the elements in seeds and straw of soybean determined the close direct correlation according to the following indicators: nitrogen ($R^2=0,82-0,92$); phosphorus ($R^2 =0,69-0,80$); potassium ($R^2 =0,63-0,68$). Application of $N_{110}P_{60}K_{80}$ on 1 ha of crop rotation area, compared to areas without fertilizers, increases nitrogen absorbing with the soybean yield by 102%, phosphorus by 86 % and potassium by 100%. It shown that soybean absorbs 52.0-59.4 kg of nitrogen, 20.6-26.9 kg of P_2O_5 , and 23.4-26.4 kg of K_2O by forming 1 ton of seeds and an appropriate amount of straw, depending on the doses and fertilizer ratios in the rotation. With soybean straw, 6-8% of nitrogen return to the soil, 47-54% of phosphorus and 51-52% of potassium from the entire mass of the elements, removed by the harvest (economic removal), depending on the fertilizer system.

Keywords: essential nutrients; fertilizer; seeds; soil; soybean; straw.

Citing: Hospodarenko H.M., Prokopchuk I.V., Boiko V.P. 2020. Soybean uptake of essential nutrients from soil and fertilizers.

Agrochemistry and Soil Science. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 63-70. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-07>.

УДК 631.153.3

Вплив гідротермічних флуктуацій та способів обробітку на рухомість фосфатів у ґрунті

Я.А. Погромська

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 10.08.2019 Отримано після доопрацювання 02.02.2020 Затверджено до друку 16.03.2020 Доступно онлайн 01.06.2020</p>	<p>Стаття є продовженням серії публікацій результатів дослідження поведінки елементів живлення у системі «ґрунт-рослина» на тлі глобальних кліматичних змін з огляду на можливість мінімізації обробітку ґрунту. В умовах стаціонарних польових дослідів на чорноземі звичайному у Донецькому регіоні впродовж дев'яти років (1997-2005) провели моніторинг вмісту фосфатів у ґрунті в межах орного шару. Досліджували ґрунт під основними культурами зерно-просапної сівозміни на варіантах з різними способами обробітку за однакової системи мінерального удобрення. Одночасно реєстрували динаміку кількості опадів і температури повітря. Виявлено стійкий ефект впливу метеорологічних факторів на рівень фосфорного живлення рослин. Показано, що вміст фосфатів залежить від погодних умов не тільки поточного, але й двох попередніх років, і також від способу основного обробітку ґрунту. Визначено особливості формування фосфорного режиму ґрунту на варіантах із традиційною відвальною оранкою, безвідвальним плоскорізним та нульовим обробітками. Показано, що у ґрунтово-кліматичних умовах Донецького регіону ґрунт під традиційною оранкою в сівозміні зерно-просапних культур є найбільш стійким щодо впливу погодних факторів на рухомість фосфору. Відмова від обертання скиби, особливо в системі no-till, посилює ризик негативної зміни вмісту фосфатів у ґрунті за тривалого впливу високих температур протягом вегетаційного періоду. За безвідвального основного обробітку плоскорізом створюються умови, за яких вміст фосфатів у ґрунті помітно залежить від характеристик погоди осіннього періоду попередніх двох років. Всі висновки підтверджено результатами кореляційного аналізу та дисперсійного аналізу (ANOVA).</p>
<p><i>Ключові слова:</i></p> <p>безвідвальний обробіток; гідротермічні флуктуації; ґрунт; Донецький регіон; нульовий обробіток; оранка; опад; температура повітря; фосфати.</p>	

*E-mail: joanap@i.ua

Форма цитування: Погромська Я.А. Вплив гідротермічних флуктуацій та способів обробітку на рухомість фосфатів у ґрунті. *Агрехімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 71-82. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-08>.

1. Вступ

Вміст фосфатів в орному шарі, як рухомого фосфору, що характеризує запаси найбільш засвоюваної частини цього елемента, є одним з основних показників рівня родючості ґрунту в агрохімічному паспорті поля. У зв'язку з цим, до стабільності та відтворюваності даних щодо вмісту рухомого фосфору висуваються підвищені вимоги. Основними впливовими чинниками формування рівня вмісту фосфатів у ґрунті є внесення фосфорних добрив та винос фосфору сільськогосподарськими культурами.

За думкою деяких дослідників вміст фосфатів у ґрунті вважають досить інертним показником, для зміни параметрів якого потрібні вельми високі рівні удобрення [1]. Поряд із цим відомо про залежність фосфорного живлення рослин від кліматичних чинників [2, 3] і помічено, що впровадження ґрунтозахисних технологій також впливає на рухомість фосфору в ґрунті та на розподіл його у ґрунтовому профілі [4]. Класичним є ствердження, що «на стан фосфатів у ґрунті впливають органічні речовини, вологість і температура» [5].

Доступність фосфору рослинам залежить від урівноваження протилежно направлених процесів – його мобілізації та іммобілізації, які обумовлюють розчинення чи осадження мінеральних сполук, що містять фосфор, їх сорбцію і десорбцію, мінералізацію фосфорорганічних сполук та біологічне закріплення елемента. Направленість цих процесів у ґрунті суттєво визначається активністю ґрунтової біоти і залежить як від загальної кількості мікроорганізмів у ґрунті, так і від кількості мікроорганізмів, що мінералізують органічні сполуки фосфору [6]. А діяльність мікрофлори є функцією гідротермічних умов та умов аерації ґрунту.

Перехід до ґрунтозахисних технологій обробітку ґрунту призводить до фізико-хімічних змін у ґрунтовому профілі, зміни будови верхніх його шарів, що впливає на водно-повітряний та температурний режими ґрунту змінюючи умови функціонування біоти. Зокрема, дослідники [7] вказують на підвищення рухомості фосфору за відмови від обертання скиби на чорноземних ґрунтах. Збільшення вмісту фосфатів за таких умов

великою мірою визначається накопиченням у ґрунті підвищеної кількості CO₂, що є результатом життєдіяльності рослин та ґрунтової мікрофлори [8]. Розчинення вуглекислого газу у ґрунтовому розчині призводить до утворення вуглекислоти і часткового заміщення воднем поглинутого ґрунтовим поглинальним комплексом кальцію та переведення сполук фосфору у більш розчинні гідро- і дігідрофосфати. Після висихання ґрунту частина дігідро- і гідрофосфат-іонів переходить у нерозчинні фосфати кальцію та магнію і рівновага порушується, а після зволоження ґрунту, навпаки, відбувається перехід у розчин додаткової кількості фосфат-іонів і рівновага відновлюється [9].

Збільшення частоти проявів критичних погодних явищ (посуха, злива, надмірно висока чи низька температура тощо) на тлі глобальних кліматичних змін актуалізує дослідження поведінки фосфору в системі «ґрунт-рослина» в сучасних технологіях рослинництва з огляду на перехід до мінімізації обробітку ґрунту.

Метою досліджень є визначення нагального й тривалого впливу метеорологічних факторів на вміст фосфатів в орному шарі ґрунту та формування фосфорного режиму чорнозему звичайного за оранки, безвідвального плоскорізного та нульового обробітку ґрунту в зерно-просапній сівозміні в умовах Донецького регіону.

2. Об'єкти, матеріали і методи досліджень

Роботу проведено в межах польового стаціонарного дослідження на базі дослідного господарства ДП «ДГ «Донецьке» Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Територія досліджень розташована на Донецькій височині північно-західної частини Донецького кряжу: 48°19'39.3"N 37°46'12.9"E, висота над рівнем моря 190 м. Ґрунт – чорнозем звичайний важкосуглинковий слабоеродований на лесі. Дослідження проведено протягом 1997-2005 рр. у зерно-просапній сівозміні з чергуванням культур: *кукурудза на силос; пшениця озима; кукурудза на зерно; ячмінь; соняшник; зерносуміш; пшениця озима*.

Застосовано три типи основного обробітку ґрунту: різноглибинна відвальна оранка; різноглибинний безвідвальний плоскорізний обробіток (глибина обробітку відповідно до технологічних потреб культури); нульовий обробіток (*no-till*). Застосування мінеральних добрив та гербіцидів – за традиційною схемою, з додатковою (лише для *no-till*) обробкою ділянок за два тижні до посіву гербіцидом Раундап (3 кг/га).

Проби ґрунту відбирали з шару 0-30 см в період активної вегетації культур.

Вміст фосфатів у зразках ґрунту визначали за методом Мачігіна (ДСТУ 4114-2002), вміст органічної речовини за Єгоровим (ДСТУ 4732:2007). Здобуті дані застосовували для оцінки рівня рухомості фосфору і доступності його рослинам та рівня лабільності органічної речовини ґрунту. Целюлозолітичну активність (ЦЛА) визначали аплікаційним методом [10].

Статистичну обробку даних виконували методами багатфакторного дисперсійного (ANOVA) та кореляційного аналізу.

Метеорологічні дані взято безпосередньо з результатів спостережень на метеопосту селища Суха-Балка (48°19'33.9"N 37°45'54.3"E). Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) розраховували за Селяниновим [11].

3. Метеорологічні умови

Період досліджень характеризується контрастністю погодних умов. Закладку дослідження здійснено в рік (1997) інтенсивного зволоження із значенням гідротермічного коефіцієнта Селянинова 1,25 (Табл. 1).

Таблиця 1

Середньорічні гідротермічні параметри періоду досліджень

Метеорологічний показник	Метеорологічні параметри у роки досліджень (у період активних температур >10 °C)										
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	1996-2005
Сума опадів, мм	306	374	197	238	329	605	332	349	374	218	322
Сума температур повітря, °C	3488	2990	3736	3733	3482	3625	3650	3293	3371	3735	3510
ГТК	0,88	1,25	0,53	0,64	0,94	1,67	0,91	1,06	1,11	0,58	0,97

Перші два (1998 і 1999) й останній (2005) роки, є такими, що відповідають умовам зони сухого землеробства. Протягом чотирьох років (2000, 2002-2004) зволоження було достатнім і один рік (2001) характеризується як рік інтенсивного зволоження. Таким чином, впродовж часу експерименту ми мали змогу фіксувати вплив різноманітних погодних умов на поведінку об'єкту досліджень – вмісту фосфатів у ґрунті.

Найбільш помітні різниці метеопараметрів між роками дослідження спостерігали у такі періоди: (1) період активних температур більше + 10 °С; (2) період вегетації основних культур (V-VII місяці); (3) пізня осінь (X-XI місяці) (Табл. 2).

Таблиця 2

Динаміка метеорологічних параметрів по місяцях

Рік	Місяць													
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
	Температура повітря, °С							Опади, мм						
1997	18,0	22,6	20,6	19,7	12,8	6,2	2,9	29,5	107,1	163,0	52,0	22,0	86,5	50,0
1998	17,3	24,2	26,8	23,1	17,2	9,0	-0,9	40,0	35,0	58,5	31,0	2,8	43,5	33,0
1999	12,9	24,5	27,3	23,0	17,1	11,5	-0,6	68,0	13,5	62,5	14,5	0,0	57,5	52,5
2000	15,0	19,9	24,2	23,8	14,7	8,9	2,5	11,0	156,4	10,0	23,0	104,5	24,5	2,0
2001	15,5	19,2	27,6	23,6	17,0	9,5	3,9	97,0	245,6	13,0	78,0	44,5	7,5	44,5
2002	17,9	21,5	27,6	21,8	17,4	8,2	3,7	19,9	34,5	66,6	32,0	153,7	59,0	41,5
2003	21,0	19,2	21,3	20,9	15,2	9,0	2,5	0,8	89,0	155,7	79,0	3,0	39,3	37,4
2004	15,7	18,5	21,6	21,5	17,1	8,8	3,1	48,5	71,5	25,0	114,5	34,5	52,5	46,5
2005	19,9	20,0	22,5	23,5	18,4	10,1	3,7	7,8	57,6	74,6	25,0	12,5	29,7	76,0
<i>Середні багаторічні параметри</i>														
1970-2015	17,0	21,0	23,2	22,3	16,0	8,7	2,2	47,7	69,4	55,4	37,4	47,7	34,9	38,5
1997-2005	17,0	21,1	24,4	22,3	16,3	9,0	2,3	35,8	90,0	69,9	49,9	41,9	44,4	42,6

4. Результати досліджень та їх обговорення

4.1. Загальний рівень вмісту фосфатів у ґрунті та його динаміка

Динаміка вмісту фосфатів в орному шарі у період 1998-2005 рр. вказує на достатньо відчутне коливання його середнього значення від 24,7 до 47,5 мг/кг ґрунту (Табл. 3).

Таблиця 3

Динаміка середньорічного вмісту фосфатів у ґрунті під вегетуючими культурами на неудобрених ділянках дослідів (шар 0-30 см)

Показник	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
P ₂ O ₅ , мг/кг ґрунту	24,7 ^e	47,5 ^d	25,6 ^{a,e}	36,2 ^{a,b}	42,6 ^{c,d}	34,7 ^{a,b}	39,1 ^{b,c}	44,0 ^{c,d}

Примітка: a, b, c, d, e – гомогенні групи згідно з критерієм Фішера порівняння середніх (тест LSD ANOVA) на рівні значущості 95 % – свідчать про суттєвість різниці між значеннями середніх.

Динамічність показника свідчить про нестабільність вмісту фосфатів в орному шарі, і це узгоджується зі ствердженнями щодо залежності фосфорного режиму ґрунту від багатьох природних факторів, зокрема і від погодно-кліматичних умов [9,12-16].

4.1.1. Загальні тенденції динаміки вмісту фосфатів у ґрунті залежно від погоди

Аналізуючи періоди зниження та підвищення рівня вмісту фосфатів у ґрунті констатували, що цьому передують певні погодні умови. Так, мало зважаючи на погоду попереднього року, підвищення рухомості фосфору у 1999, 2002 та 2004-2005 рр. визначається прохолодним та відносно зволеним літом за 2 роки до вимірювання, тобто, у роках 1997, 2000 та 2003-2004 (див. табл. 2).

Розглянемо детальніше, які саме погодні умови склалися за два роки до помітного підвищення вмісту фосфору в ґрунті. У 1997 р. середня температура у VII-IX місяцях становить 17,7 °С, що на 2,8 °С менше за середню багаторічну (20,5 °С). Літні опади становлять 322 мм, що набагато більше середніх багаторічних (162 мм). Саме такі умови передують підвищенню вмісту у ґрунті фосфатів у 1999 р.

У 2000 р. середньодобова температура повітря у VII-IX місяцях становить 20,9 °С і є ледь нижчою від середньої багаторічної у період досліджень (21,0 °С), як і температура повітря червня – 19,9 °С (середня 21,1 °С), але температура липня – 24,2 °С, є нижчою за середню багаторічну (24,4 °С) та суттєво нижчою за температуру у цей період попередніх двох років та послідуєчих двох років. Температура вересня 14,7 °С є на 1,6 °С нижче середньої за період дослідження. Тільки температура серпня 23,8 °С на 1,5 °С перевищує середню багаторічну. Тобто, літо 2000 р. характеризується дуже коротким спекотним періодом і раннім осіннім похолодання. Опади теплового періоду сконцентровані у червні (156,4 мм), але сумарна кількість опадів влітку 2000 р. (189,4 мм) є більшою за середню багаторічну (162,2 мм). Такі умови передують підвищенню вмісту фосфатів у ґрунті 2002 р.

Рік 2002 характеризується холодним серпнем з температурою 21,8 °С (середня – 22,3 °С) та сумарною кількістю опадів за літо 133 мм (середня – 162,2 мм). А літо 2003 р. повністю прохолодне – середня температура у період червень-вересень 19,1 °С (середня – 21,0 °С) із сумарною кількістю опадів 323,7 мм, що у два рази більше за середню багаторічну. Такі умови передують підвищенню вмісту фосфатів у ґрунті у 2004 і 2005 роках.

Падінню вмісту фосфатів у ґрунті у 2000 та 2003 роках передують тривалі дуже спекотні періоди 1998 та 2001 років та посушливі літні умови 1999 та 2002 років відповідно.

Тепер детальніше розглянемо погодні умови, які склалися за два роки до помітного зниження вмісту фосфору в ґрунті. Середня температура періоду червень-вересень 1998 р. становить 22,8 °С, що значно вище за середню за всі роки спостережень (21,0 °С) і середню багаторічну (20,6 °С). Кількість опадів у літній період 1999 р. становить 133 мм, що нижче за середню багаторічну (162,2 мм). Такі умови передують падінню вмісту фосфатів у ґрунті 2000 р.

Середня температура періоду червень-вересень 2001 р. становить 22,8 °С, що вище порівняно з середньою багаторічною (20,5 °С) і середньою за всі роки досліджень (21,0 °С). Кількість опадів літнього періоду 2002 р. становить 133 мм, що також менше середньої багаторічної (162,2 мм). Такі умови передують падінню вмісту фосфатів у ґрунті у 2003 році.

4.1.2. Динаміка вмісту фосфатів у ґрунті залежно від способу його обробітку

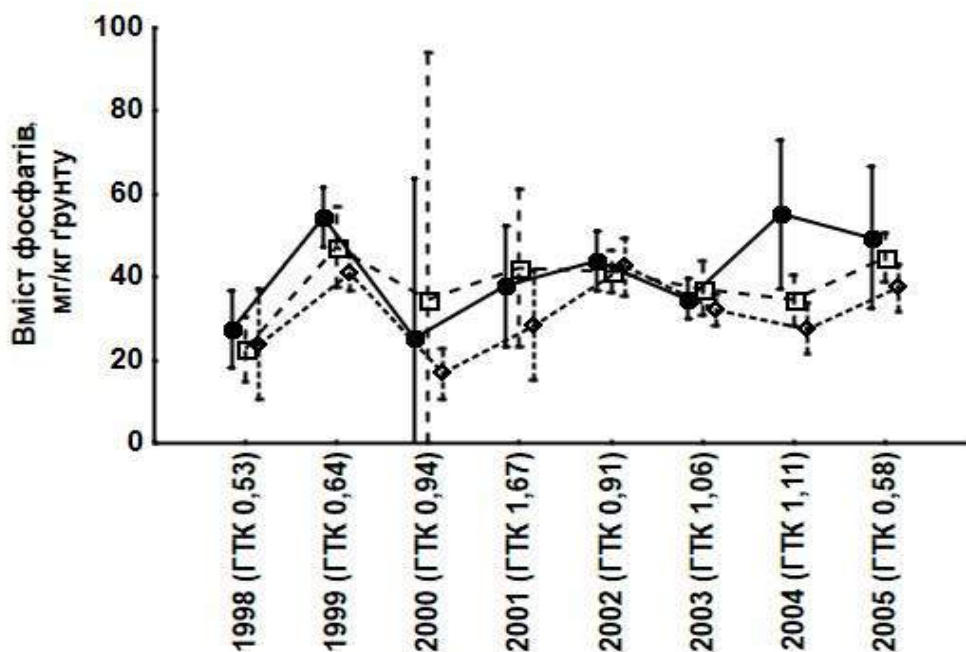
Усереднення даних досліду під усіма культурами сівозміни, вказує на зменшення за відмови від обертання скиби вмісту фосфатів у ґрунті у межах досліджуваного шару: від 40,0 мг/кг за відвального і 40,9 мг/кг ґрунту за безвідвального до 35,1 мг/кг ґрунту за нульового обробітку ґрунту (найменша істотна різниця середніх становить 3,7 мг/кг ґрунту за 95 % рівня достовірності). Тобто, маємо суттєве і достовірне зниження вмісту фосфатів за нульового обробітку і статистично недостовірне збільшення за безвідвального плоскорізного обробітку.

Однак коливання параметрів вмісту фосфатів у ґрунті в різні роки спостереження вказують на те, що існують умови збільшення та зменшення суттєвості диференціації параметрів, обумовленої способом обробітку ґрунту (Рис. 1).

Найбільш вірогідним є перевищення вмісту фосфатів за оранки відносно обробіток без обертання скиби в роки підвищення рухомості фосфору 1999 р. та 2004-2005 рр. На рівні 95 % достовірності в ці роки оранка є більш ефективною, ніж нульовий обробіток. Для таких років характерним є передування за рік до попереднього (у позаминулому відносно року спостереження році) короткотривалих (не більше місяця) періодів перевищення середньомісячної температури (22 °С).

Для випадків відсутності достовірної диференціації по обробітках (1998, 2000-2003 рр.) літо за рік до попереднього характеризується більш тривалим періодом (2-3 місяці) перевищення середньомісячної температури (див. табл. 2). Тобто, тривалі спеки обумовлюють зменшення диференціації за обробітками щодо рухомості фосфатів у верхньому шарі ґрунту.

Однак більш «чутливим» до зниження температури повітря і підвищення кількості опадів є орний шар ґрунту за відвального обробітку, де створюються умови для формування максимального (серед варіантів обробітку) вмісту фосфатів у ґрунті.



Умовні позначення - тип обробітку: — відвальний; - - - безвідвальний; ····· нульовий (вертикальними лініями позначено 95% довірчий інтервал)

Рис. 1. Середній (під усіма культурами сівозміни) вміст фосфатів у ґрунті в шарі 0–30 см у період активної вегетації рослин

Помітною є затримка терміну підвищення рухомості фосфору за відмови від обертання скиби до 2005 року на відміну від оранки, за якої підвищення спостерігається вже з 2004 року. Тобто, сумарна кількість опадів за літо 2002 року 133 мм (проти багаторічних 158 мм) є достатньою для формування збільшення вмісту фосфатів у 2004 році для оранки, але за відмови від обертання скиби такої кількості опадів не достатньо.

Виходячи із порівняння середніх значень констатуємо, що найбільш достовірним і суттєвим є падіння вмісту фосфатів за нульового обробітку. Тобто система *no-till* є ризикованою щодо рухомості фосфору за умови комбінування спеки із послідуною або тривалою посухою. Інтенсивні обробітки, навпаки, зменшують ризики можливого падіння рухомості фосфору через перегрів ґрунту.

Найбільш суттєве підвищення вмісту фосфатів спостерігається за оранки. Тобто, відвальний обробіток формує умови засвоєння опадів за помірного температурного режиму теплого періоду, що сприяє мобілізації фосфатів у наступні роки.

За безвідвального плоскорізного обробітку коливання рухомості фосфору є найменшими. Діапазон коливання значень протягом періоду дослідження для оранки становить 29,8 мг/кг ґрунту, для нульового обробітку – 25,7 мг/кг ґрунту, для безвідвального плоскорізного – 24,7 мг/кг ґрунту.

4.2. Кореляційний зв'язок між вмістом фосфатів у ґрунті та метеорологічними показниками

4.2.1. Зв'язок із кількістю опадів

Вологістю середовища суттєво контролюється кількісний і якісний склад мікрофлори. Тому нерівномірність розподілу річних опадів є одним із факторів змін сукупності ґрунтових мікроорганізмів. А диференціація режиму вологості ґрунту за різних видів механічного обробітку формує зсуви у часі пікових параметрів мікробіологічної активності. Так, результатами моніторингу на темно-каштановому ґрунті [17] констатовано, що пік кількості в орному шарі фосфат мобілізуючої мікрофлори за відвального обробітку приходить на березень, за безвідвального – на травень, а за нульового – на жовтень. Отже зв'язок між фосфатним режимом ґрунту у різних системах обробітку і за різними метеорологічними показниками є логічним.

Кореляційний аналіз дозволяє оцінити щільність впливу сезонних метеорологічних факторів на загальну рухомість фосфору за різних способів обробітку ґрунту. Із загальних тенденцій можна відмітити існування відчутного впливу на рухомість фосфору в ґрунті погодних умов не тільки поточного року, але й попереднього, і за два роки до поточного.

Опади періоду активних температур поточного року позитивно, але дуже слабо, корелюють з умістом фосфатів у шарі 0-30 см за відвального і безвідвального обробітків, однак за нульового обробітку залежність від'ємна (Рис. 2).

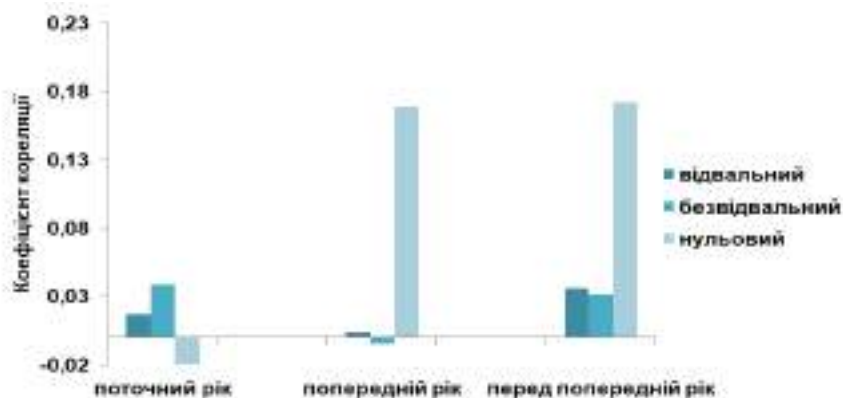


Рис.2. Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів в орному шарі ґрунту з опадами періоду активних температур

Опади попереднього року (періоду активних температур) практично не корелюють з умістом фосфатів у ґрунті за оранки, за безвідвального обробітку зв'язок між показниками слабкий від'ємний, а за нульового – позитивний і максимально щільний ($r=0,17$). Опади періоду активних температур перед попереднього року позитивно корелюють з умістом фосфатів у ґрунті, але за оранки і безвідвального обробітку не суттєво і більш щільно за нульового обробітку ($r=0,17$).

Можна зробити висновок, що декілька більш чутливим до опадів періоду активних температур з тривалим ефектом є рівень вмісту фосфатів в орному шарі ґрунту за системи no-till, а інтенсивні обробітки зменшують щільність залежності формування рухомості фосфору від зволоження в цей період.

Більше того, існування від'ємних кореляцій, особливо з опадами періоду активної вегетації культур V-VII місяців ($r = 0,44$, див. Рис. 3) для обробітків без обертання скиби, може свідчити про негативний вплив перезволоження та формування при цьому умов іммобілізації фосфору та зменшення його рухомості. Констатовано, що негативний ефект може бути відчутним за нульового обробітку вже в поточному році, а за безвідвального плоскорізного – навіть наступного року.

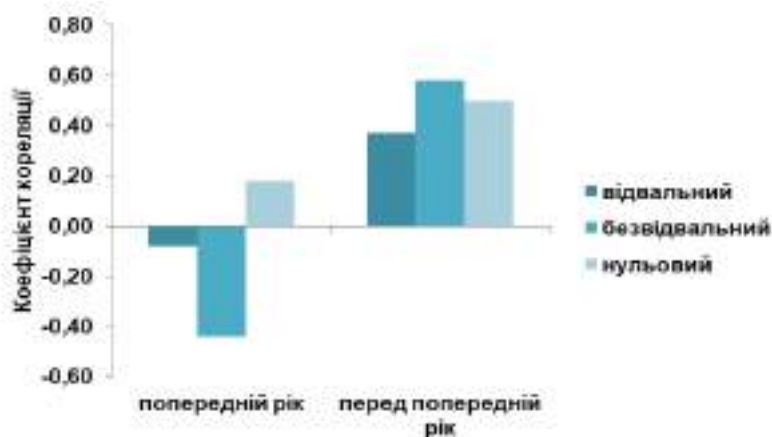


Рис.3. Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів у ґрунті в межах орного шару з опадами періоду активної вегетації культур (V-VII місяці)

Із цього виходить, що перезволоження саме в період активного розвитку біологічних процесів у системі «ґрунт-рослина» може викликати суттєвий негативний ефект за безвідвального плоскорізного обробітку щодо рухомості фосфору наступного року, через біологічну іммобілізацію фосфатів.

Це підтверджує більш інтенсивний за безвідвального обробітку розвиток ґрунтової мікрофлори в період активної вегетації рослин 1998 року, якому передують нетипово для регіону прохолодний та зволожений 1997 рік (див. табл. 1), зокрема, збільшення целюлозолітичної активності орного шару у 1,5-3 рази порівняно з оранкою (Табл. 4).

Таблиця 4

Динаміка целюлозолітичної активності у шарі ґрунту 0-30 см під кукурудзою залежно від способу обробітку

Спосіб обробітку	Рік, місяць									
	1996		1997		1998		1999		2000	
	VII	VII	VIII	VI	VII	VI	VII	VI	VII	
Целюлозолітична активність, % за добу										
Відвальний	0,23	0,75*	2,57**	0,89	0,26	0,66**	0,44*	0,6	0,24	
Безвідвальний	0,14	0,20*	0,56**	1,42	0,74	0,39**	0,11*	0,11	0,68	

Примітка: * і ** – різниця за обробітком достовірна на рівні 95 % та 90 % відповідно.

Інтенсифікація мікробіологічної активності орного шару спостерігається на фоні підвищення вмісту рухомого вуглецю, як живильного середовища для ґрунтової мікрофлори, за відмови від обертання скиби за післядії перезволоження (Табл. 5).

Таблиця 5

Вміст лужнорозчинного вуглецю у ґрунті (шар 0-10 см) у травні залежно від способу обробітку

Спосіб обробітку	Рік				
	1996	1997	1998	1999	2000
	Вміст вуглецю, мг/кг ґрунту				
Відвальний	478	537*	358*	196	341
Безвідвальний	404	416*	459*	200	214

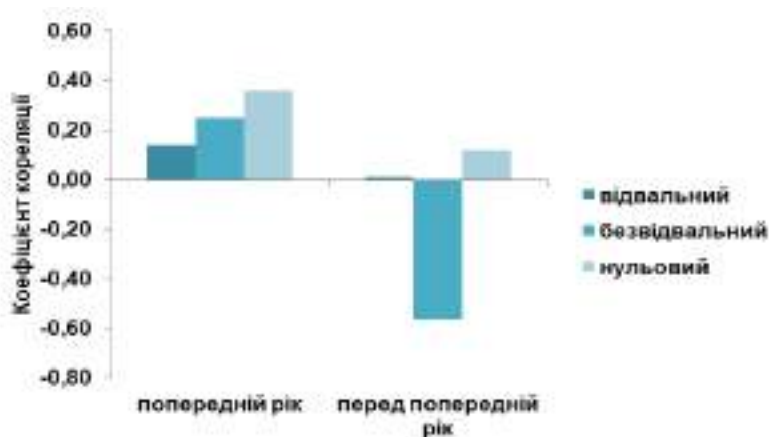
Примітка: * – різниця за обробітком достовірна на рівні 95 %.

Згадку про перебільшення вмісту лужнорозчинного вуглецю в орному шарі чорнозему звичайного за безвідвального обробітку у чергуванні зволжених та посушливих років знайдено і в роботах інших дослідників [18].

Тобто, безвідвальний плоскорізний обробіток, за перезволоженого періоду активної вегетації культур, обумовлює можливість ризику ситуативного зниження рухомості фосфору через його біологічну іммобілізацію.

Але така іммобілізація є, одночасно, фактором утворення запасів фосфору, доступного для його подальшої мобілізації, ще через рік, про що свідчить позитивний кореляційний зв'язок вмісту фосфатів в орному шарі ґрунту поточного року та кількості опадів періоду активної вегетації культур за два роки до поточного (див. рис. 3). І більш високі позитивні значення коефіцієнта Пірсона за обробітків без обертання скиби для опадів періоду активної вегетації позаминулого року (r 0,37 для оранки і 0,58 та 0,50 за безвідвального та нульового обробітків відповідно) говорять про більш щільний вплив умов зволоження цього періоду на утворення резерву фосфатів для подальшої їх мобілізації.

Опади після вегетаційного періоду (VIII-IX місяців) не сильно (хоча й позитивно) впливають на фосфатний режим ґрунту в наступному році (Рис. 4).

**Рис. 4.** Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів у ґрунті в орному шарі з кількістю опадів після вегетаційного періоду (VIII-IX місяці)

Більш помітним цей зв'язок є за відмови від обертання скиби (r 0,14 для оранки і 0,25 та 0,36 за безвідвального та нульового обробітків відповідно). Однак для безвідвального плоскорізного обробітку щільним є від'ємний зв'язок між вмістом фосфатів у ґрунті та опадами цього періоду за два роки до поточного. Тобто, такий тип обробітку за перезволоження може формувати умови зменшення рухомості фосфору.

Вплив кількості опадів осіннього періоду, за X-XI місяці, на вміст фосфатів у ґрунті орного шару наступного року залежно від способу обробітку ґрунту показано на рисунку 5. Мінімальною є кореляція за оранки, максимальною – за безвідвального плоскорізного обробітку (r -0,41 за оранки і -0,62 та -0,47 за безвідвального та нульового обробітків відповідно).

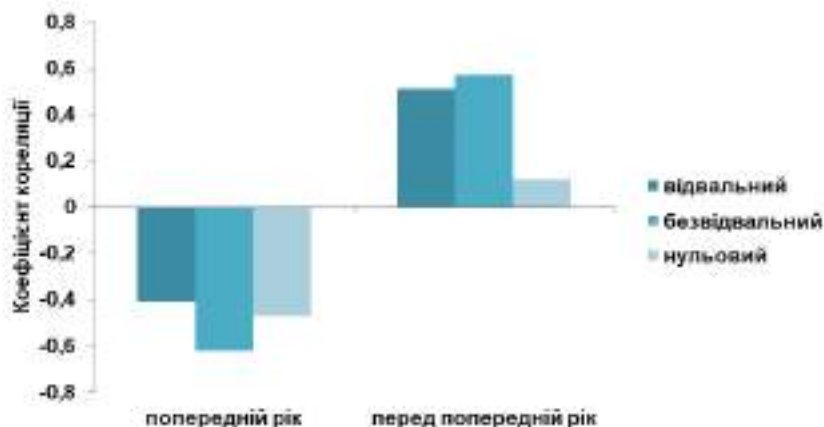


Рис. 5. Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів у ґрунті в межах орного шару з кількістю опадів у X-XI місяцях

Однак у послідуєчому (ще через рік) вплив опадів жовтня-листопаду на рухомість фосфору є позитивним. При цьому, максимально щільною є кореляція за інтенсивних обробітків ґрунту (r 0,51 за оранки і 0,55 за безвідвального плоскорізного) і мінімальним є зв'язок за *no-till* (r 0,12). Це можна пояснити тим, що іммобілізація фосфатів в осінній період є тимчасовою і утворює запаси рухомого фосфору з перспективою на їх мобілізацію в період активної вегетації через рік, що менш відчутно в системі прямого посіву (за нульового обробітку), де можливим є зменшення інтенсивності процесів активації фосфору.

4.2.2. Вплив температурного режиму на рухомість фосфору

На вміст фосфатів у ґрунті значною мірою впливає температурний чинник. Критичними є як низькі, так і високі температури. У разі підвищення температури може спостерігатися посилення іммобілізації фосфору ґрунтовою мікрофлорою [19] та хімічної фіксації фосфору ґрунтом [20]. Тоді як низькі температури знижують інтенсивність мінералізації органічного фосфору [21].

Зв'язок суми активних температур поточного року з вмістом фосфатів у ґрунті є позитивним (Рис. 6), що свідчить про вагомість внеску процесів мінералізації органічного фосфору у формування рівня рухомості елемента.

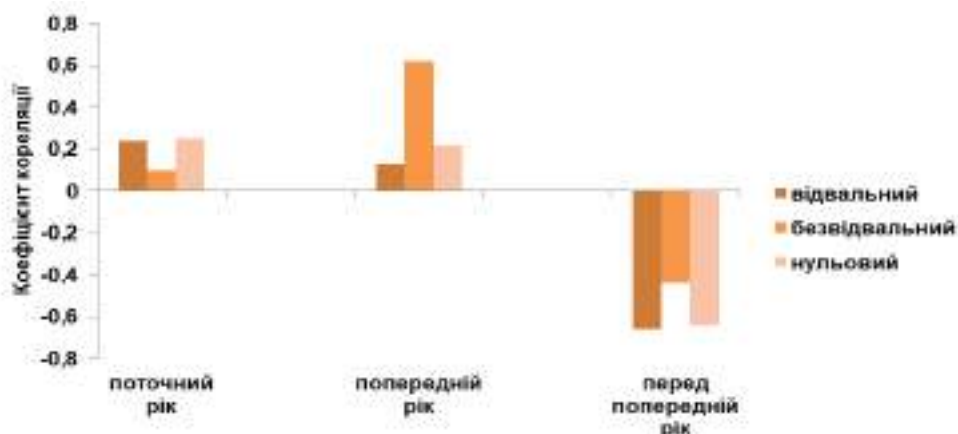


Рис. 6. Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів у ґрунті з сумою активних температур

Мінімально щільний зв'язок спостерігається за безвідвального обробітку ($r = 0,10$), а за оранки і *no-till* – майже однаковий (r 0,24 і 0,25 відповідно). Зв'язок з показниками попереднього року мінімальний за оранки ($r = 0,13$), відмова від обертання скиби збільшує щільність кореляції (r 0,62 і 0,22 за безвідвального та нульового обробітків відповідно).

Характерною є висока щільність від'ємної кореляції з умістом фосфатів у ґрунті суми температур у період активних температур за два роки до поточного. Це свідчить про наявність необоротної температурної фіксації фосфору в ґрунті. При чому, для оранки і нульового обробітку – майже однакова (r -0,66 і -0,64) відповідно) та найменша для безвідвального обробітку ($r = -0,44$). Тобто, особливою безвідвального плоскорізного обробітку є зменшення вірогідності температурної активації рухомості фосфору в період активних температур поточного року, але сприяння підвищенню вмісту фосфатів у ґрунті наступного року, зменшення температурної фіксації фосфору через рік.

Достатньо щільною є від'ємна кореляція середньої температури повітря періоду активної вегетації культур (V-VII місяці) за два роки до поточного із кількістю фосфатів в орному шарі ґрунту (Рис. 7). Надмірні температури у цей період негативно впливають на формування запасів рухомого фосфору в перспективі на два роки вперед. Причому, виходячи із величин коефіцієнтів кореляції (r -0,65, -0,82 і -0,87 для оранки, безвідвального і нульового обробітків відповідно) ефект температури за відмови від обертання скиби збільшується. Тобто, ризик температурної іммобілізації фосфору в період активної вегетації культур збільшується за мінімізації обробітку ґрунту.

Середня температура повітря після вегетаційного періоду (VIII-IX місяці) позитивно корелює з умістом фосфатів у ґрунті наступного року (Рис. 8), і щільність залежності збільшується із мінімізацією обробітку ґрунту, причому максимально – за безвідвального плоскорізного обробітку (r 0,27, 0,75 і 0,36 для оранки, безвідвального і нульового обробітків відповідно). Констатовано, що тривалий (дворічний) вплив температур цього періоду є негативним і найменш щільним за того ж безвідвального обробітку (r -0,48, -0,14 і -0,42 для оранки, безвідвального і нульового обробітків відповідно). Тобто, в тих самих межах температур повітря активація рухомості фосфору високою температурою періоду VIII-IX місяців є більш характерною за безвідвального обробітку, за оранки і нульового обробітку більш ймовірними є прояви пролонгованої температурної фіксації фосфатів.

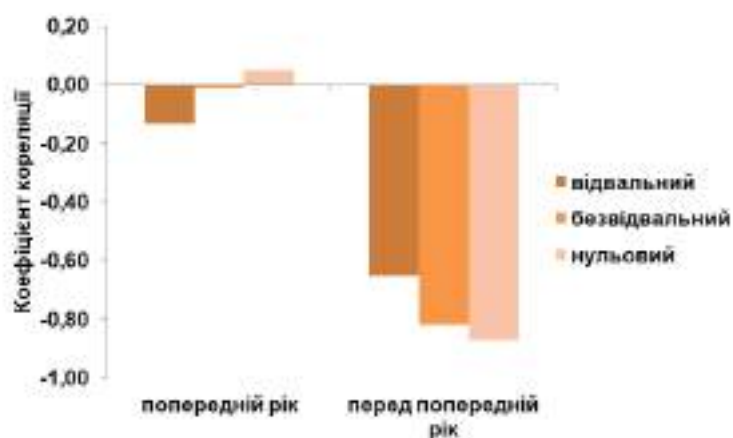


Рис. 7. Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів у ґрунті з середньою температурою періоду активної вегетації культур (V-VII місяці)

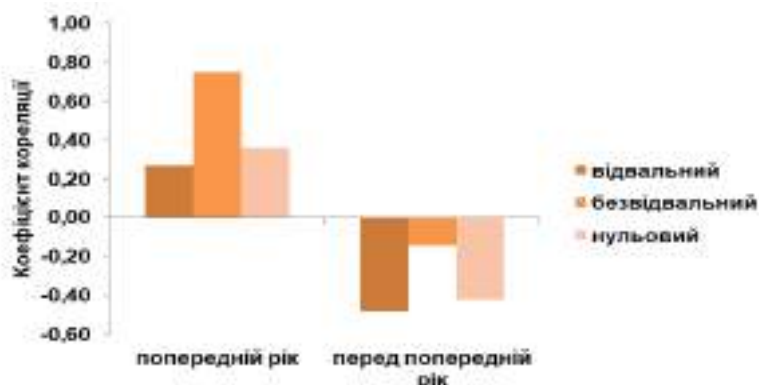


Рис. 8. Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів у ґрунті з середньою температурою після вегетаційного періоду (VIII-IX місяці)

Середня температура осіннього періоду (жовтень-листопад) не дуже щільно, хоча й позитивно, корелює з умістом фосфатів у ґрунті наступного року (Рис. 9) (r 0,03, 0,22 і 0,18 для оранки, безвідвального і нульового обробітків відповідно). Тобто, відмова від обертання скиби сприяє збільшенню чутливості процесів мобілізації фосфору до зниження осінніх температур.

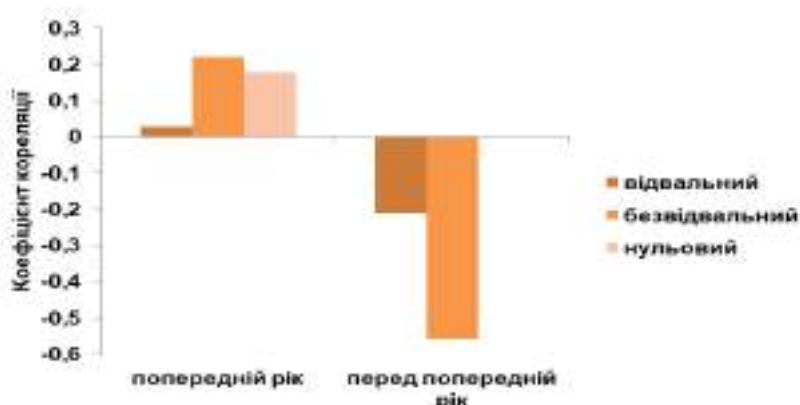


Рис. 9. Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів у ґрунті з середньою температурою X-XI місяців

Однак через рік потому можна спостерігати від'ємну залежність від температурного режиму осені позаминулого року вмісту фосфатів у період активної вегетації культур поточного року за безвідвального плоскорізного обробітку (r -0,56). Оранка зменшує щільність негативного впливу підвищення температури жовтня-листопада (r -0,21). А система no-till практично нівелює такий кореляційний зв'язок.

4.3. Вплив типів обробітку ґрунту на формування вмісту фосфатів

Вибрано зв'язки із величиною коефіцієнту Пірсона за модулем більше 0,5 і виокремлено особливості кожного з типів обробітку щодо формування вмісту фосфатів у ґрунті орного шару залежно від метеорологічних параметрів у таких трьох періодах: 1) активної вегетації культур (V-VII місяці - період максимальної інтенсивності біологічних процесів у ґрунті, біологічної іммобілізації фосфатів та мобілізації фосфору з його важкорозчинних форм); 2) післявегетаційний (VIII-IX місяці - «консервація» рухомого фосфору через гумусоутворення, фіксація через пересушування ґрунту тощо); 3) передзимів'я (X-XI місяці, коли за оптимальних умов зволоження та температури процеси перетворення фосфору в ґрунті продовжуються [22]).

Для *відвального обробітку* не спостерігається щільних ($r > 0,5$) кореляційних зв'язків із гідротермічними коливаннями попереднього року (в межах років проведення дослідів). Але суттєвим (r -0,65), хоча і мінімальним серед інших обробітків, є від'ємний вплив температур повітря періоду активної вегетації позаминулого року, а також позитивний вплив опадів передзимів'я позаминулого року (r 0,51).

Безвідвальный плоскорізний обробіток відрізняється щільною залежністю вмісту фосфатів у ґрунті від погодних умов попередніх двох років.

Для гідротермічних умов попереднього року за безвідвального плоскорізного обробітку спостерігається позитивний зв'язок із температурою повітря *післявегетаційного* періоду (r 0,75). Це цілком може свідчити про наявність впливу температурного фактору на процеси «консервації» рухомого фосфору, «напрацьованого» в період активної вегетації. Від'ємний зв'язок із опадами *передзимів'я* передуючого року (r -0,62) та менш щільний із опадами періоду активної вегетації культур (r -0,44) може вказувати на чутливість до перезволоження ґрунту процесів іммобілізації фосфору за безвідвального плоскорізного обробітку.

Щодо гідротермічних умов за два роки до поточного (тобто, позаминулого року) для безвідвального плоскорізного обробітку щільним є від'ємний зв'язок вмісту фосфатів у ґрунті з температурою *періоду активної вегетації* культур (r -0,82). Тобто, ризикованим є перегрів ґрунту, що зменшує процеси утворення фосфатів у цей період. Від'ємний зв'язок з опадами *післявегетаційного* періоду за два роки до поточного (r -0,56) свідчить про збільшення інтенсивності процесів фіксації фосфатів (напрацьованих під час посушливих умов) в умовах вологості осені за безвідвального плоскорізного обробітку. Від'ємний зв'язок із температурою (r -0,56) та додатна кореляція із кількістю опадів (r 0,57) у передзимів'я свідчить про чутливість ґрунту за такого обробітку щодо фіксації фосфору за теплої довгої осені та активації процесів мобілізації фосфатів за достатньої зволоженості в осінній період.

Саме за безвідвального обробітку більшою мірою проявляється залежність від погодних умов осені попереднього року щодо формування рівня рухомості фосфору в ґрунті, оранка зменшує щільність цієї залежності. Умови проведення основного обробітку у період осінніх польових робіт та перед виходом в зиму для плоскорізного обробітку є важливими – перезволоження і низькі температури у цей період не сприяють мобілізації фосфору в наступному сезоні вегетації культур.

Нульовий обробіток формує максимально щільну від'ємну залежність ($r = -0,87$) вмісту фосфатів у ґрунті від температури і додатну залежність ($r = 0,50$) від кількості опадів *вегетаційного* періоду позаминулого року. Тобто, за no-till для рухомості фосфору в ґрунті максимально несприятливими є спекотні та посушливі умови цього періоду із тривалим ефектом. Погодні умови періодів післявегетаційного та передзимів'я менш щільно корелюють із вмістом фосфатів у ґрунті. Вплив гідротермічних умов передзимів'я позаминулого року за нульового обробітку практично не відчувається.

5. Висновки

Виходячи з аналізу результатів багаторічного моніторингу ґрунтово-кліматичних умов у зерно-просапній сівозміні на території Донецької області констатовано, що оранка, як спосіб основного обробітку ґрунту, забезпечує найбільшу (серед інших досліджуваних способів) здатність ґрунту протистояти зовнішньому впливу мінливості погодних факторів щодо формування рівня вмісту фосфатів у ґрунті в орному шарі.

Відмова від обробітку ґрунту з обертанням скиби, зокрема система no-till, посилює ризик негативних наслідків тривалого впливу високих температур повітря та перезволоження у вегетаційний період на вміст фосфатів у ґрунті.

Незмінний безвідвальний плоскорізний обробіток формує умови щільної залежності вмісту фосфатів у ґрунті від погодних умов осінніх періодів попередніх двох років.

Подяка. Автор висловлює свою вдячність д.б.н. М.М. Мірошниченку за консультації та поради щодо узагальнення даних.

Список використаних джерел

- Христенко А.А. Теоретические и практические аспекты оценки состояния и динамики азотных, фосфорных и калийных систем почв. Харьков: ФЛП Бровин А.В., 2019. 180 с.
- Changes in the content of soil phosphorus after its application into chernozem and haplic luvisol and the effect on yields of barley biomass / T. Lošák, J. Hlušek, I. Lampartom [et al.]. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2016. Vol. 64. № 5. P. 1603-1608, DOI: <http://dx.doi.org/10.11118/actaun201664051603>. https://acta.mendelu.cz/media/pdf/actaun_2016064051603.pdf.
- Recommendations for establishing Action Programmes under Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources Contract number N° 07 0307/2010/580551/ETU/B1 Part C Analysis of the processes in soil that influence nutrient leaching and runoff Final Report December 2011 Consortium DLO-Alterra Wageningen UR DLO-Plant research International Wageningen UR NEIKER Tecnalia, Derio, Spain Institute of Technology and Life Sciences (ITP), Warsaw, Poland Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering (JTI), Uppsala URL: http://publications.europa.eu/resource/ellar/4ec63804-0cc9-4133-ad73-31b65ef584f3.0001.01/DOC_1.
- Beegle D.B., Durst P.T. Managing phosphorus for crop production. PennState University Extension. *Agronomy Facts* 13. 2014. URL: https://extension.psu.edu/programs/nutrient-management/educational/soil-fertility/managing-phosphorus-for-crop-production/extension_publication_file.
- Господаренко Г.М. Агрохімія: Підручник. Київ: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2018. 560 с.
- Соболева Е.А., Лукин А.Л. Влияние агроэкологических условий на численность и активность почвенной микрофлоры при выращивании подсолнечника в южной Лесостепи ЦЧР. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2013. № 1. С. 18-24. URL: http://vestnik.vsau.ru/wp-content/uploads/2014/12/2013_1-36.pdf.
- Піковська О.В. Вплив різних способів обробітку на вміст елементів живлення у чорноземі звичайному. *Научные труды SWORLD*. Иваново : ООО «Научный мир», 2014. Т. 27. № 2. С. 47-50.
- Зміна поживного режиму при ґрунтозахисних технологіях вирощування культур / Гнатенко О.Ф., Назаренко Г.В., Сегеда М.М. [та ін.]. / Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві. Наукова монографія / Під ред. М. К. Шикили. Київ: ПФ «Оранта», 1998. С. 76-101.
- Крамарьов С. Фосфорна проблема українських чорноземів та можливі шляхи її вирішення. 2014 р. Електронний ресурс, URL: <http://imptorgservis.uaprom.net/a170873-fosforna-problema-ukrayinskih.html>.
- Федорец Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.
- Селянинов Г.Т. Принципы агроклиматического районирования СССР. Вопросы агроклиматического районирования СССР. Москва: МСХ СССР, 1958. С. 7-14.
- Моніторинг агрохімічних властивостей чорноземів Дніпропетровської області за інтенсивного їх використання / Жученко С.І., Чабан В.І., Геллер О.І. [та ін.]. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2008. № 2. С. 21-24.

13. Зуза В.О. Ґрунтоохоронна ефективність протиерозійно упорядкованого агроландшафту в умовах Степу Північного Донецького : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец.: 06.01.03 "Агроґрунтознавство і агрофізика". ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського". Харків : [б. и.], 2013. Б. ц. 22 С.
14. Циліорик О. No-till для зернових у Степу: наскільки ефективно? *Журнал - Агрономія Сьогодні*. 2015. №15-16. С. 310-311. Електронний ресурс. URL: www.agro-business.com.ua/agronomiia-siogodni/3877-no-till-dlia-zernovykh-u-stepu-naskilky-efektyvno.html.
15. Войнова-Райкова Ж., Ранков В., Ампова Г. Микроорганизмы и плодородие. Москва: Агропромиздат, 1986. 120 с.
16. Встановити оптимальні рівні мікроелементного живлення для зернових культур в умовах Донбасу : звіт НДР (заклучн.) : 25.12.15 / Донецький відділ родючості ґрунтів ННЦ ІГА імені О. Н. Соколовського НААН України ; керів. В.О. Зуза ; викон. : Погромська Я. А. [та ін.]. Донецьк, 2015. 81 с. Інв. № 1428, кн. III.
17. Мікробіологічний стан темно-каштанового ґрунту за зміни умов його обробітку / Чекаліна Ю.В., Дишлюк В.Є., Мельничук Т.М. [та ін.]. *Науковий вісник Чернівецького ун-ту. Біологія (Біологічні системи)*. 2012. Т. 4, вип. 3. С. 348-352. URL: http://ibhb.chnu.edu.ua/uploads/files/vb/BS_T4_V3_2012.pdf.
18. Циліорик О. І., Кулік А. Ф., Гончар Н. В. Біологічна активність ґрунту за різних способів його обробітку та удобрення в посівах соняшнику. *Вісник Дніпровського державного аграрно-економічного університету*. 2017. №2(44). С. 42-48. URL: <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/361>.
19. Гамкало З.Г., Бедернічек Т.Ю. Роль активного пулу органічної речовини ґрунту як регулятора біологічної доступності фосфору в едафотопі. *Науковий вісник Чернівецького ун-ту. Біологія*. Збірник наукових праць. Чернівці : Рута, 2007. Вип. 360. С. 93-102.
20. Hunsigi G. Soil temperature and nutrient availability. *Ann. Arid Zone*. 1975. № 14. P. 87-91.
20. Hunsigi G. Soil temperature and nutrient availability. *Ann. Arid Zone*. 1975. № 14. P. 87-91.
21. Gahoonia T.S., Nielsen N.E. 2003. Phosphorus (P) uptake and growth of root hairless barley mutant (bald root barley) and wild type in low- and high-p soils. *Plant, Cell & Environment*. 26. P. 1759-1766. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01093.x>.
22. Малиновская И.М. К вопросу о времени проведения почвенных микробиологических исследований. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 82. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2015. С. 27-32.

UDC 631.153.3

Influence of hydrothermal fluctuations and tillage methods on soil phosphate mobility**Ya.A. Pogromska**

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

The article is a continuation of a series of publications on the results of the study of the behavior of nutrients in the system "soil-plant" in global climate change, taking into account the possibility of minimizing tillage. In stationary field experiments on chernozem ordinary in the Donetsk region for nine years (1997-2005) monitored the content of phosphates in the soil within the arable layer. The soil under the main crops of grain-row crop rotation studied on variants with different methods of tillage under the same system of mineral fertilizer. At the same time recorded the dynamics of precipitation and air temperature. The stable effect of meteorological factors on the level of phosphorus nutrition of plants revealed. It shown that the phosphate content depends on the weather conditions not only in the current but also in the previous two years, as well as on the method of primary tillage. The peculiarities of the phosphorus regime of the soil on the variants with traditional deep moldboard plowing, subsoil non-turning tillage and zero tillage are determined. It shown that in the soil-climatic conditions of the Donetsk region the soil under traditional deep plowing in the crop rotation of grain-row crops is the most stable to the influence of weather factors on the mobility of phosphorus. Failure to rotate the soil, especially in the no-till system, increases the risk of negative changes of phosphate content in the soil under prolonged exposure to high temperatures during the growing season. When cultivating without rotating the soil, conditions created, under which the content of phosphates in the soil significantly depends on the weather characteristics of the autumn period of the previous two years. All conclusions confirmed by the results of correlation analysis and analysis of variance (ANOVA).

Keywords: hydrothermal fluctuations; moldboard plowing; phosphates; precipitation; soil; subsoil non-turning tillage; zero tillage (no-till).

Citing: Pogromska Ya.A. 2020. Influence of hydrothermal fluctuations and tillage methods on soil phosphate mobility. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 71-82. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-08>.

МЕТОДОЛОГІЯ ДИСТАНЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ METHODOLOGY of REMOTE RESEARCH

УДК 631.42+528.855

Діагностика еродованих чорноземів південних за допомогою багатоспектральних супутникових зображень «Ландсат-8»

С.Г. Чорний*, Д.Ш. Садова

Миколаївський національний аграрний університет, Миколаїв, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 09.02.2020 Отримано після доопрацювання 09.03.2020 Затверджено до друку 16.03.2020 Доступно онлайн 01.06.2020</p> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>багатоспектральне сканування; вегетаційні індекси; відбивна здатність; карта ґрунтів; GNDVI; NDVI; EVI.</p>	<p>Детальні карти ґрунтів, які використовуються для планування і проведення агротехнічних і меліоративних робіт та організації раціонального режиму використання території потребують оновлення. Сучасний етап картування ґрунтів може бути здійснено лише з використанням ГІС-технологій та дистанційних методів, за допомогою яких можливо максимально адекватно відобразити просторову структуру ґрунтового покриву, з виділенням меж окремих ґрунтових різновидів та ступеню еродованості. Незважаючи на існування прямих дистанційних методів дослідження оптичних характеристик поверхні ґрунтів за допомогою супутникових зображень, необхідно вивчати й стан сільськогосподарської рослинності, який віддзеркалює певні властивості ґрунту. Метою досліджень була розробка методичного підходу до ідентифікації еродованих чорноземів південних через оцінку відбивної здатності посівів соняшнику, який є найбільш поширеною сільськогосподарською культурою в регіоні. Попередніми підсупутниковими обстеженнями виділено на двох ключових ділянках контури еродованих ґрунтів і впродовж 2017-2019 рр., за результатами багатоспектрального сканування поверхонь агроландшафтів сканером OLI, який знаходиться на борту американського супутника Ландсат-8, були проведені дослідження відбивної здатності посівів соняшнику. За результатами аналізу відбивної здатності на етапах «початку бутонізації», «бутонізації» та «цвітіння» виявлено, що на еродованих ґрунтах (на схилах) величина вегетаційного індексу GNDVI суттєво менша ніж на нееродованих (на вододілах), що свідчить про дефіцит азоту. Це віддзеркалюється в обсягах фотосинтетично активної біомаси, що фіксується збільшеними значеннями вегетаційних індексів NDVI та EVI. Для дистанційної ідентифікації еродованих південних чорноземів з метою їх картування, рекомендовано використовувати зображення сканера OLI відбивної здатності посівів соняшнику в фазі наростання фотосинтетично активної біомаси з подальшим часовим та просторовим аналізом значень вегетаційних індексів GNDVI, NDVI та EVI.</p>

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

Форма цитування: Чорний С.Г., Садова Д.Ш. Діагностика еродованих південних чорноземів за допомогою багатоспектральних супутникових зображень «Ландсат-8». *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2020. С. 83-89. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-09>.

1. Вступ

Великомасштабні карти ґрунтів (1:5000, 1:10000, 1:25000) є основним видом карт, застосовуваних для планування і проведення агротехнічних і меліоративних робіт та організації раціонального режиму використання території. На цих картах зображують різні підтипи ґрунтів з урахуванням їх видів, варіантів та різновидів, що важливо для проведення землеустрою, грошової оцінки земель, розробки конкретних заходів щодо підвищення ґрунтової родючості. Карти ґрунтів, використовувані зараз в Україні, здебільшого були створені на основі результатів великомасштабного ґрунтового обстеження 1957-1961 рр. і мають низьку інформативність та не відповідають вимогам сьогодення через застарілість даних та методичні недоліки. Сучасний етап картування ґрунтів не може бути здійсненим інакше, ніж із використанням ГІС-технологій та дистанційних методів, якими можливо максимально адекватно відобразити просторову структуру ґрунтового покриву, з виділенням меж окремих ґрунтових різновидів, ступеню еродованості, засолення, осолонцювання тощо [1, 2].

Основні підходи до використання ГІС-технологій та дистанційних методів для картування ґрунтів України викладено в роботах А. Ачасова та А. Ачасової [1], В. Петриченко та ін. [3], Т. Биндич та ін. [2]. У цих публікаціях декларуються прямі методи досліджень оптичних характеристик поверхні ґрунтів, визначення генетично обумовлених параметрів, зокрема, вмісту гумусу та гранулометричного складу. Обмеженість такого підходу пов'язана з тим, що в умовах сучасного інтенсивного використання ґрунтів поверхня ґрунту на сільськогосподарських угіддях тривалий час протягом року вкрита сільськогосподарською рослинністю, або її залишками. Причому, як правило, в кожній

природній зоні вирощується обмежений перелік сільськогосподарських культур. Наприклад, у Степовій зоні України, згідно з офіційною статистикою, під соняшник зайнято 30-35 % площі ріллі. А тому треба розробляти технології великомасштабного картування ґрунтів за допомогою вивчення актуального стану сільськогосподарської рослинності. Необхідно також відзначити, що використання даних дистанційного зондування (ДЗ) для обстеження угідь на значних площах і, особливо, в умовах недостатнього застосування інструментальних методів наземних досліджень, сприяє підвищенню достовірності та точності визначення елементів ґрунтового покриву (ГП), що веде до зниження вартості, трудомісткості і тривалості польових робіт [2].

Як правило, стан рослинності у дослідженнях дистанційними методами, зокрема, з використанням багатоспектральних супутникових зображень, характеризується набором вегетаційних індексів (ВІ), для розрахунку яких використовують значення яскравостей різних спектральних каналів та параметрів «лінії ґрунтів» [4-11].

Слід зазначити, що на тлі більш-менш однорідного гранулометричного складу еродовані ґрунти є важливим фактором неоднорідності ґрунтового покриву в Степовій зоні України. Площа сільськогосподарських угідь України, які зазнають згубного впливу водної ерозії, становить 13,4 млн га, у тому числі 10,6 млн га орних земель, вітрової ерозії – 6 млн га, а в роки з катастрофічними пиловими бурями – 20 млн га [12]. Очевидно, що ерозія ґрунту призводить до зменшення потужності профілю і глибини залягання карбонатів, зменшення кількості органічної речовини та зниження вмісту рухомих сполук азоту, фосфору, калію і мікроелементів. В еродованих ґрунтах мало корисних мікроорганізмів, які формують азотний режим ґрунту. А тому дистанційна ідентифікація еродованих ґрунтів для подальшого картування є непересічним й актуальним завданням. Для дистанційної ідентифікації еродованих ґрунтів, очевидно, необхідно використовувати кілька ВІ, які би враховували зменшення загальної біомаси на еродованих ґрунтах і вірогідний дефіцит азоту та віддзеркалювали оптичні характеристики поверхні ґрунтів, особливо, на перших етапах вегетації сільськогосподарських культур.

Метою досліджень була розробка методичного підходу до дистанційної ідентифікації еродованих ґрунтів Степової зони України через оцінку відбивної здатності посівів соняшнику, який є найбільш поширеною сільськогосподарською культурою в регіоні.

Для досягнення мети виконано декілька задач: вибір та дешифрування багатоспектральних супутникових зображень; просторова прив'язка зображень до ключових дослідних ділянок, де були проведені дослідження ґрунтів; підбір переліку ВІ, якими з різних позицій можна характеризувати стан сільськогосподарської культури за різних фенологічних фаз розвитку на еродованих і нееродованих ґрунтах; встановлення доведеної різниці між яскравостями.

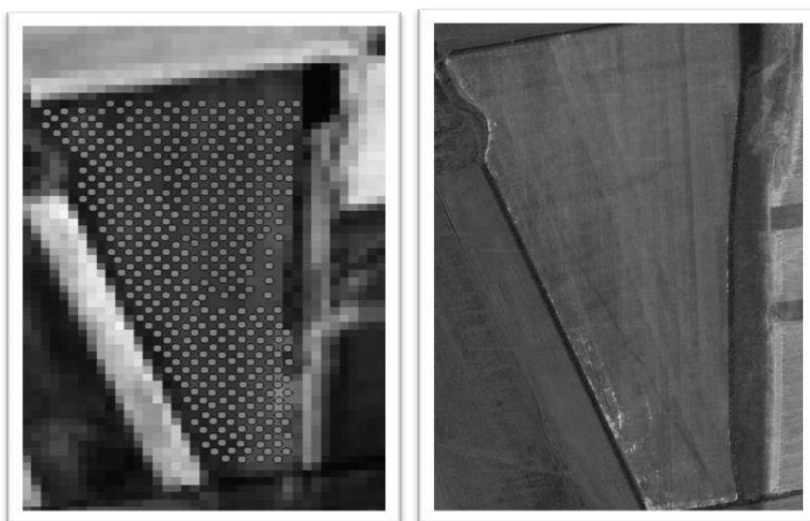
2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Об'єктами досліджень були дві дослідні ділянки: перша (ННПЦ) – поле №8 ННПЦ Миколаївського НАУ у Миколаївському районі Миколаївської області (координати середини ділянки – N 46°53'53", E 31°40'55,9"); друга (Б) – поле у фермерському господарстві «Воля» у Березнегуватському районі Миколаївської області (N 47°20'55,1", E 32°52'13,5"). Ґрунтовий покрив представлено чорноземом південним важкосуглинковим нееродованим та слабо- і середньоеродованим. Окрім польових досліджень для ідентифікації ґрунтів дослідних ділянок використовували також архівні матеріали ДП «Миколаївський науково-дослідний та проєктний інститут землеустрою».

Як вихідні дані дистанційного зондування використали супутникові зображення, що були отримані з періодичністю в 16 діб сканером OLI (Operational Land Imager), який знаходиться на борту американського супутника Ландсат-8. Зображення для восьми спектральних каналів мають просторову роздільну здатність в 30 м у пікселі.

Для ідентифікації еродованих ґрунтів використовували космічні багатоспектральні зображення американського супутника Landsat-8, з просторовою здатністю пікселя зображення у 30×30 метрів. Зображення завантажували із сервера Геологічної служби США (USGS) (www.glovis.usgs.gov). Для аналізу брали лише беззмарні зображення. Дослідження цих зображень було виконано за допомогою відкритої геоінформаційної системи QGIS 2.18 шляхом аналізу супутникових знімків та вилучення відбивної здатності (або яскравостей) поверхонь, яка міститься в синьому (B), зеленому (G), червоному (R) та близькому до інфрачервоного (NIR) спектральних каналах. Відбивну здатність вимірювали в безрозмірних одиницях від 0 до 1. Перед безпосереднім визначенням величини спектральної яскравості по складових спектру на основі метаданих, які були отримані разом із супутниковими знімками, проводили попередню обробку зображень, яка включала атмосферну та радіометричну корекцію цих даних. Для визначення

спектральних характеристик еродованих та нееродованих ґрунтів у контурах попиксельно визначали спектральну відбивну здатність посівів сільськогосподарських культур (Рис. 1).



Зліва – зображення сканера OLI супутника Ландсат-8 з мережею точок для визначення спектральних яскравостей, справа - фрагмент GoogleMaps. Координати середини ділянки: N 46°53'53", E 31°40'55,9".

Рис. 1. Поле №8 ННПЦ МНАУ Миколаївського району Миколаївської області

На першій дослідній ділянці (ННПЦ) на нееродованих ґрунтах досліджували 161 піксель, на еродованих – 258. На другій дослідній ділянці (Б) на нееродованих ґрунтах досліджували 128 пікселів, на еродованих – 161. За роки досліджень (2017-2019) на цих дослідних ділянках вирощували дві сільськогосподарські культури – озима пшениця та соняшник. У цій роботі мова буде йти лише про вплив еродованості ґрунтів на спектральні характеристики посівів соняшнику. Для ідентифікації еродованих ґрунтів через спектральну відбивну здатність посівів соняшнику використовували три вегетаційні індекси (ВІ) – NDVI, EVI, GNDVI.

Індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) розраховується таким чином:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

де NIR і R – значення спектральної відбивної здатності рослинного покриву у ближньому інфрачервоному та червоному частинах спектру відповідно. NDVI має високу чутливість до змін у рослинному покриві. Він є ефективною кількісною характеристикою фотосинтетично активної біомаси рослинності. Відомо, що висока фотосинтетична активність (пов'язана, як правило, з густою рослинністю) призводить до нижчої відбивної здатності рослинного покриву у червоній області спектра і вищої – в інфрачервоній [4, 14]. Відношення цих показників один до одного дозволяє чітко виокремлювати й аналізувати різні рослинні покриви. Недоліком NDVI є неможливість його ефективного використання для виявлення та кількісного опису рослинності у випадку негустої рослинності та явно вираженого змішаного характеру рослинного покриву. Особливо проблемним використання NDVI є тоді, коли (на ранніх стадіях вегетації) проєктивне покриття рослинністю ґрунту є істотно меншим від повного, і певний внесок у загальну спектральну відбивну здатність поверхні «рослинність-ґрунт» робить саме ґрунт.

Цього недоліку не має індекс EVI (Enhanced Vegetation Index). Це модифікований NDVI з коефіцієнтом коригування на ґрунт L і з двома коефіцієнтами C₁ і C₂, які описують використання даних синьої складової спектру для корекції значень червоного каналу. Цей ВІ має високу чутливість до обсягів тільки рослинної біомаси та не реагує на атмосферні впливи, зокрема, вміст аерозолі та відбивну здатність ґрунту [13].

Індекс EVI розраховується за формулою:

$$EVI = G \times \frac{NIR - R}{N + C_1 \times R - C_2 \times B + L}$$

де NIR, R та B – відбивна здатність рослинного покриву в ближній інфрачервоній, червоній та синій частинах спектра, відповідно. В роботі A. Huete et al. [13], коефіцієнти, які були прийнятими у розрахунку EVI, є такими: L=1; C₁=6; C₂=7,5; G=2,5.

Третім ВІ, який використовується для ідентифікації еродованих ґрунтів через стан посівів соняшнику, був GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), так званий, «зелений» NDVI [6], який часто використовується для оцінки ступеню забезпеченості посівів сільськогосподарських культур азотом [15; 16].

Індекс GNDVI розраховується за формулою:

$$GNDVI = \frac{NIR - G}{NIR + G}$$

де NIR – відбивна здатність рослинного покриву в ближній інфрачервоній частині спектра, G – відбивна здатність рослинного покриву в зеленому діапазоні спектра.

Різниця між ВІ, що були отримані скануванням рослинних покривів на схилових еродованих ґрунтах і на вододілах з нееродованими ґрунтами перевірялась на суттєвість за критерієм Стьюдента.

3. Результати досліджень та їх обговорення

В таблиці наведено узагальнені середні значення ВІ NDVI, EVI та GNDVI по окремих фенологічних фазах росту і розвитку соняшника на двох дослідних ділянках – поле №8 ННПЦ МНАУ (ННПЦ) та поле в фермерському господарстві «Воля» (Б) за 2017-2019 рр. Відсутність у деяких випадках даних пов'язана з тим, що, або час супутникового сканування поверхонь агроландшафтів регіону не збігався з актуальними, заздалегідь визначеними, фенологічними фазами органогенезу рослин соняшника (які визначалися за BBCH [17]), або з наявністю хмар над дослідними ділянками.

Різницю між ВІ NDVI, здобутого скануванням посівів соняшнику на схилових еродованих ґрунтах і нееродованих ґрунтах вододілів, перевіряли на істотність за критерієм Стьюдента. Цей аналіз показав, що у більшості випадків така різниця є доведеною на рівні значущості в 5 %. На перших і останніх етапах вегетації соняшника різниця значень NDVI між рослинним покривом на схилах та на вододілах була незначною або навіть значення NDVI на схилах було більшим ніж на вододілі. Але на етапах органогенезу «початок бутонізації», «бутонізація» та «цвітіння» («inflorescence emergence», «flowering emergence», згідно з BBCH [17]), величина NDVI рослинного покриву вододілів значно перевищує величину NDVI рослинного покриву схилів з еродованими чорноземами, що підтверджується й оцінками різниці за допомогою критерію Стьюдента (таблиця). Це пояснюється тим відомим фактом, що в період швидкого зростання надземної і підземної біомаси швидко засвоюються приблизно 80 % від загальної кількості азоту, необхідного для повноцінного формування рослини. А тому очевидний дефіцит азоту в еродованих ґрунтах схилів відбивається на загальній кількості біомаси, яку характеризує NDVI.

Водночас, відомо, що важливим недоліком показника NDVI є його значення на перших етапах вегетації сільськогосподарських культур з проєктивним покриттям поверхні ґрунту менше ніж 30 %, коли на загальну величину спектральної відбивної здатності поверхні агроландшафтів у ближньому інфрачервоному та червоному діапазонах спектра впливає стан поверхні ґрунту, а саме, його вологість, забарвлення, текстура [18; 14]. А тому значення NDVI на перших етапах вегетації соняшника, коли тільки починається формування листового апарату, не можуть бути включені до аналізу впливу на цей показник загального стану рослинного покриву залежно від еродованості чорнозему південного. Треба також виключити із такого аналізу і значення NDVI, отримані в останні фази вегетації соняшника, коли настає стиглість і надземна біомаса перестає бути фотосинтетично активною. NDVI в ці терміни вже не реагує на обсяги надземної біомаси.

Вважається, що певною мірою вплив ґрунту усувається при застосуванні показника EVI. Але дані, наведені в таблиці показують, що загальна динаміка, яка була виявлена аналізом показника NDVI протягом вегетації, зберігається. В період максимального накопичення біомаси, тобто, на етапах «початок бутонізації», «бутонізація» та «цвітіння» спостерігається суттєва різниця між значеннями EVI поверхні посівів соняшнику на вододільних нееродованих та еродованих ґрунтах схилів, що вказує не тільки на більшу надземну біомасу, але й на більший загальний вміст хлорофілу в рослинному покриві [19].

«Зелений» NDVI - GNDVI, який часто використовують для оцінки ступеню забезпеченості посівів сільськогосподарських культур азотом, для оцінки доз і термінів азотного підживлення і навіть для прогнозу майбутньої урожайності [6; 15; 16], в наших дослідженнях продемонстрував (Табл.) найбільшу різницю на нееродованих та еродованих ґрунтах у ті самі етапи розвитку що й інші ВІ. Цей факт у більшості випадків підтверджується оцінками за допомогою критерію Стьюдента.

Таблиця
Динаміка вегетаційних індексів на посівах соняшнику

Рік і об'єкт	Веgetаційні індекси за фенологічними фазами соняшника																		
	(1) 2-3 пари листків (Principal growth stage 1: Leaf development, code -12-14)*			(2) Початок бутонізації (Principal growth stage 5: Inflorescence emergence, code - 51-55)*			(3) Бутонізація (Principal growth stage 5: Inflorescence emergence, code - 57-59)*			(4) Цвітіння (Principal growth stage 6: Flowering emergence, code - 61-69)*			(5) Побуріння кошиків (Principal growth stage 7: Development of fruit, code - 70-79)*			(6) Дозрівання насіння (Principal growth stage 8 Ripening, code - 80-89)*			
	NDVI	EVI	GNDVI	NDVI	EVI	GNDVI	NDVI	EVI	GNDVI	NDVI	EVI	GNDVI	NDVI	EVI	GNDVI	NDVI	EVI	GNDVI	
2017 (ННПЦ)	вододіл	0,359**	0,144**	0,504**	0,734	0,369**	0,729**												
	схил	0,380**	0,157**	0,515**	0,738	0,378**	0,733**												
2017 (Б)	вододіл	0,371	0,130	0,482	0,507**	0,251	0,553												
	схил	0,372	0,130	0,480	0,498**	0,249	0,543**												
2018 (Б)	вододіл				0,574**	0,259**	0,617**	0,759**	0,404**	0,720**						0,400**	0,136**		0,495
	схил				0,522**	0,230**	0,580**	0,705**	0,351**	0,684**						0,410**	0,148**		0,493
2019 (ННПЦ)	вододіл							0,580**	0,304**	0,606**	0,748	0,451	0,736**			0,380**	0,156**		0,508**
	схил							0,603**	0,327**	0,621**	0,747	0,450	0,732**			0,400**	0,170**		0,514**
Серед- не зна- чення	вододіл	0,365	0,137	0,493	0,605	0,293	0,633	0,670	0,354	0,663	0,698	0,369	0,698	0,499	0,197	0,568	0,390	0,146	0,502
	схил	0,376	0,144	0,498	0,586	0,285	0,619	0,654	0,339	0,653	0,669	0,353	0,679	0,507	0,200	0,574	0,405	0,159	0,503

*Фенологічні стадії росту за ВВСН (Lancashire et al., 1991 [17]).

**Доведена суттєва різниця за T_{st} між значеннями «вододіл»-«схил» при $\alpha=0,05$.

Швидше за все, саме показник GNDVI найбільш точно висвітлює «азотні» чинники впливу еродованості ґрунтів на обсяги накопичування біомаси. Це пов'язано з тим, що «зелений» NDVI (GNDVI), набагато більш чутливий до концентрації хлорофілу в листях, яка, своєю чергою, визначається азотним живленням рослини.

Спільний графік (Рис. 2) розподілу значень вегетаційних індексів NDVI, EVI та GNDVI протягом вегетаційного періоду соняшника (середні значення, виведені з даних на еродованих (схил) і нееродованих (вододіл) ґрунтах на обох об'єктах за 2017-2019 рр.) вказує на практично синхронну їх динаміку.

Максимальні значення спостерігаються у фенологічні фази 2 – «Початок бутонізації», 3 – «Бутонізація» і 4 – «Цвітіння» (Згідно з ВВСН [17], Principal growth stage – «Inflorescence emergence» і «Flowering emergence»). Мінімальні – у фенологічні фази 1 – «2-3 пари листків» («Leaf development»), 5 – «Побуріння кошиків» («Development of fruit») і 6 – «Достигання насіння» («Ripening»).

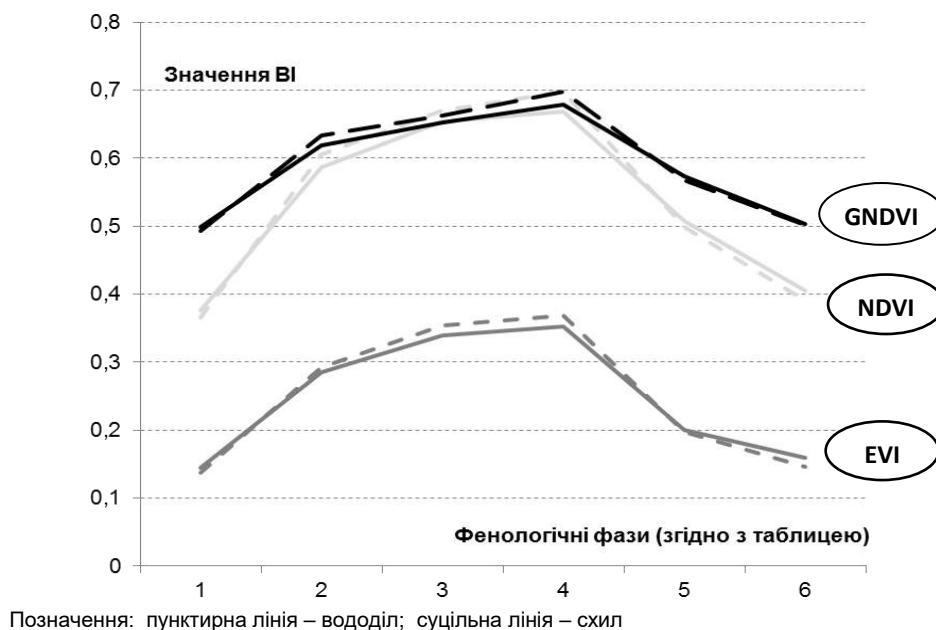


Рис. 2. Динаміка вегетаційних індексів (VI) на посівах соняшнику (середні значення для двох об'єктів у 2017-2019 рр.)

4. Висновки

Кількісний аналіз відбивної здатності посівів соняшнику по ключових ділянках за результатами зондування сканера OLI, який знаходиться на борту американського супутника Ландсат-8, показав, що на схилових чорноземах південних еродованих величина вегетаційного індексу GNDVI на етапах «початок бутонізації», «бутонізація» та «цвітіння» суттєво менша ніж на нееродованих ґрунтах на вододілах, що свідчить про певний дефіцит азоту на цих ґрунтах. Своєю чергою це віддзеркалюється в обсягах фотосинтетично активної біомаси на цих етапах органогенезу, що фіксується збільшеними значеннями вегетаційних індексів NDVI та EVI.

Отже, для дистанційної ідентифікації еродованих південних ґрунтів з метою їх картування, можна використовувати зображення сканера OLI відбивної здатності посівів соняшнику в фази наростання фотосинтетично активної біомаси з подальшим часовим та просторовим аналізом значень вегетаційних індексів GNDVI, NDVI та EVI. Опрацьований методичний підхід дозволяє перед початком картографування дистанційно ідентифікувати наявність еродованих ґрунтів.

Список використаних джерел

1. Ачасов А.Б., Ачасова А.О. Методичні основи сучасного просторового моніторингу ґрунтів. *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Сер.: Екологія*. 2011. 944 (6). С. 20-27. URL: <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/751/542>.
2. Бындыч Ю.Т., Коляда Л.П., Трускавецкий С.Р. Современные подходы к дистанционной фитоиндикации состояния почвенного покрова. *Почвоведение и агрохимия*. 2015. № 2(55). С. 30-37. URL: http://aw.belal.by/russian/science/soilandagro_pdf/55/55-3.pdf.
3. Великомасштабне дослідження ґрунтового покриття України – стратегічний захід ефективного збалансованого його використання./ Петриченко В.Ф., Заришняк А.С., Балюк С.А. [та ін.] *Вісник аграрної науки*. 2013. №5. С. 5-13. URL: www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/cgiirbis_64.

4. Analysis of vegetation indices to determine nitrogen application and yield prediction in maize (*Zea mays* L.) from a standard UAV service./ A. Maresma, M. Ariza, E. Martinez [et al.]. *Remote Sensing*. 2016. 8. P. 973-987. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8120973>.
5. Estimating foliar nitrogen in eucalyptus using vegetation indexes / L.F.R. Oliveira, M.L.R. Oliveira, F.S. Gomes, R.C. Santana. *Scientia Agricola*. 2017. 74. P. 142-147. DOI:10.1590/1678-992X-2015-0477.
6. Proximal optical sensors for nitrogen management of vegetable crops: a review / F.M. Padilla, M. Gallardo, M.T. Pena-Fleitas, R. Souza [et al.]. *Sensors*. 2018. 18. P. 2083-2105. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18072083>.
7. Huete A.R. A Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 1988. 25. P. 295-309. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X).
8. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices / A. Huete, K. Didan, T. Miura [et al.]. *Remote Sensing of Environment*. 2002. 83. P. 195-213. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).
9. Broge N.H., Leblanc E. Comparing Prediction Power and Stability of Broadband and Hyper spectral Vegetation Indices for Estimation of Green Leaf Area Index and Canopy Chlorophyll Density. *Remote Sensing of Environment*. 2000. 76. P. 156-172. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00197-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00197-8).
10. Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology / T. Motohka, K.N. Nasahara, H. Oguma, S. Tsuchida. *Remote Sensing*. 2010. 2. P. 2369-2387. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs2102369>.
11. Vegetation indices: Advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years / N.G. Silleos, T.K. Alexandridis, I.Z. Gitas, K. Perakis. *Geocarto Intern.* 2006. 21(4). P. 21-28. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106040608542399>
12. Екологічний стан ґрунтів України / С.А. Балюк, В.В. Медведєв, М.М. Мірошніченко [та ін.]. *Український географічний журнал*. 2012. 2. С. 38-42. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz>.
13. Huete A., Justice C., van Leeuwen W. MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document. Version 3. 1999. 120 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/268745810_MODIS_vegetation_index_MOD13/link/569182f408aee91f69a51e8e/download.
14. Кохан С.С., Востоков А.Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи. Київ: Вища школа. 2009. С. 511. URL: https://scholar.google.com.ua/scholar?hl=en&as_sdt=0,5&cluster=10259588037180298716.
15. Дистанційний моніторинг стану посівів озимої пшениці впродовж весняно-літньої вегетації 2016 р. За вегетаційними індексами супутника Sentinel-2A (на прикладі Лісостепової зони України) / Г.М. Жолобак, О.М. Сибірцева, М.В. Ваколюк, Ю.В. Захарчук. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2017. 15. С. 23-30. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/115>.
16. Agronomic and Economic Potential of Vegetation Indices for Rice N Recommendations under Organic and Mineral Fertilization in Mediterranean Regions / B. Moreno-García, M. Casterad, M. Guillén, D. Quílez. *Remote Sensing*. 2018. 10(12). P. 2-21. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10121908>.
17. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds / P.D. Lancashire, H. Bleiholder, P. Langeluddecke [et al.]. *Ann. Appl. Biol.* 1991. 119 (3). P. 561-601. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x>.
18. Montandon L.M., Small E.E. The impact of soil reflectance on the quantification of the green vegetation fraction from NDVI. *Remote Sensing of Environment*. 2008. 112. P. 1835-1845. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.09.007>.
19. Wu C., Niu Z., Gao S. Nondestructive estimation of canopy chlorophyll content using Landsat TM and Hyperion image. *International Journal of Remote Sensing*. 2010. 31. P. 2159-2167. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161003614382>.

UDC 631.42+528.855

Diagnosis of chernozem southern eroded using of Landsat-8 multispectral satellite images

S.G. Chornyi*, D.Sh. Sadova**Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, Ukraine*** E-mail: s.g.chornyy@gmail.com

Detailed maps of the soils that used for planning and carrying out of agrotechnical and amelioration and the rational use of the territory require immediate updates. The current stage mapping of soils can be carried out only with the use of GIS-technologies and remote methods, which most adequately reflect the spatial structure of the soil, highlighting the boundaries of the individual soil types and the diagnosis, in particular the degree of erosion. Despite the existence of direct methods for studies of the optical characteristics of the surface of the soil using satellite images, for distant learning, in particular, with the purpose of mapping, it is necessary to study the condition of agricultural vegetation, which reflects certain soil properties. The purpose of the research was to develop a methodological approach to the identification of eroded chernozems southern by assessing the reflectivity of sunflower crops, which is the most common crop in the region. Previous studies allowed to identify two key areas of the contours of eroded soils and, in 2017-2019, the results of multispectral surface scans of agro-landscapes by an OLI scanner aboard on the Board of the USA satellite Landsat-8, studies were conducted reflectivity of sunflower crops. Quantitative analysis of the reflectivity of sunflower crops showed that on the slopes with the eroded chernozem southern, the magnitude of the vegetative index GNDVI at the principal growth stage – «Inflorescence emergence» and «Flowering emergence» are significantly less than in watersheds with soils no eroded, indicating nitrogen deficiency in these soils. In turn, this reflected in the amounts of photosynthetic active biomass at these stages of organogenesis, which recorded increased values of vegetation indices NDVI and EVI. Therefore, for remote identification of eroded chernozem southern with the aim of mapping, it is possible to use the image scanner OLI reflectance of sunflower crops in the phase of increase of the photosynthetic active biomass with the subsequent temporal and spatial analysis of the values of the vegetation index GNDVI, NDVI and EVI.

Keywords: soil maps; multispectral scanning; crop reflectivity; vegetation indices; GNDVI; NDVI; EVI.

Citing: Chornyi S.G., Sadova D.Sh. 2020. Diagnosis of chernozem southern eroded using of Landsat-8 multispectral satellite images. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 83-89. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-09>.

УДК 631.81

Методичні підходи до ідентифікації рослин в оптичному діапазоні за моніторингу з використанням безпілотного літального апарату

Н.А. Пасічник*, В.П. Лисенко, О.О. Опришко

Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 01.02.2020 Отримано після доопрацювання 11.03.2020 Затверджено до друку 16.03.2020 Доступно онлайн 01.06.2020	Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА), як платформи для сенсорного обладнання, має розширити потенціал спектральних досліджень і забезпечити можливість отримання даних, придатних для управління врожаєм. Метою роботи є розроблення методу програмної ідентифікації на цифрових знімках посівів культури суцільного висіву пікселів, що відповідають саме рослинам, а також оцінка горизонтальної проекції куполу рослин. Ідентифікацію рослинних насаджень для культур суцільного висіву виконували в 2017-2018 роках на дослідному стаціонарі з вивчення системи застосування добрив НУБІП України на прикладі пшениці озимої сорту Colonia в стадії вегетації куцнення та вихід у трубку. Зйомку здійснювали з допомогою БПЛА Phantom 3+ з висоти 40-100 метрів камерою FC200. Цифрову обробку графічних даних формату jpeg проводили в програмному середовищі MathCAD, де графічні дані розглядалися у вигляді матриці, кількість стовбців якої була втричі більшою за кількість пікселів по горизонталі вихідного зображення. Досліджували ефективність каскадних фільтрів та спеціалізованих індексів EGVI, ERVI та MNVI. Встановили, що фільтрація ґрунту по окремому каналу за умов оптичного моніторингу рослинних насаджень виявилась недостатньо ефективною для культур суцільного висіву. Індеси для ідентифікації рослин в оптичному діапазоні EGVI, ERVI та MNVI, створені для висот в 5-7 метрів, виявились неідеальними для висот від 40 м і вище, а тому їх використання у виробничих масштабах є недоцільним. Виходячи з результатів розробили методику ідентифікації рослин для практичного використання на основі спектральних портретів рослин, що базується на оцінці різниці між значеннями інтенсивностей зеленого та синього каналів пікселю. Запропонували для створення вегетаційних індексів з метою ідентифікації культур суцільного висіву використовувати горизонтальну проекцію куполу рослин як частку загальної площі зображення, що належить куполу рослин.
<i>Ключові слова:</i> безпілотний літальний апарат; БПЛА; дистанційний моніторинг; образ об'єкту; пшениця озима.	

*E-mail: n.pasichnyk@nubip.edu.ua

Форма цитування: Пасічник Н.А., Лисенко В.П., Опришко О.О. Методичні підходи до ідентифікації рослин в оптичному діапазоні за моніторингу з використанням безпілотного літального апарату. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 90-97. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-10>.

1. Вступ

Дистанційний спектральний моніторинг посівів із використанням літаків та супутників ефективно застосовувався для оцінки майбутнього врожаю. Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА), як платформи для сенсорного обладнання, має розширити потенціал спектральних досліджень і забезпечити можливість отримання даних, придатних для керування врожаєм. Одним із ефективних способів технологічного менеджменту врожаю, з дотриманням принципу максимального прибутку, є диференційоване підживлення посівів. Пшениця озима, як відомо, має кілька критичних періодів щодо азотного живлення і, відповідно, обмежених часових відрізків для її ефективного підживлення. Одним із таких періодів є весняне куціння, період, коли власник посівів повинен оцінити їх стан та потребу в добривах.

Технології дистанційного моніторингу, що використовують інфрачервоний діапазон, мають певні методологічні проблеми в ідентифікації стану посівів, оскільки рослинні залишки від попередньої культури можуть спотворити отримані результати. Традиційний спектральний моніторинг з використанням супутників не дозволяє оцінити габарити рослин, що також є інформативним параметром їх стану. Існує наземне обладнання, створене для оцінки індексу листової поверхні (LAI), на прикладі LAI-2000. Проте для пшениці озимої у фазі куціння воно, за результатами Grant D. Pearse та ін. [1], також є неефективним через малі розміри рослин. В оглядовій роботі Yan Guangjian та ін. [2], присвяченій опосередкованим методам вимірів LAI, рекомендовано як апаратні методи з використанням лазерних радарів (LiDAR), так і програмні засоби на стандартному спектральному обладнанні.

Використання для моніторингу рослин LiDARів, технічних засобів накопичення та обробки інформації, що здатні фіксувати і висоту рослин, описане в роботах Yue Pan та ін. [3].

У той же час слід враховувати, що на стадії кушіння ширина листка становить кілька міліметрів, а висота рослин – кілька сантиметрів, що з урахуванням нерівностей рельєфу поля є замалим для отримання достовірних даних, як це показано в дослідженні Tai Guo та ін. [4]. До того ж, в означену фазу для пшениці озимої найбільш актуальною є інформація про «загальну площу листків», а не «довжину окремого листка». Окрім того, вартість LiDARів поки що є порівняно високою, що слід враховувати з огляду на перспективу їх масового використання, як це зазначається в роботі W.A. Dorigo та ін. [5].

Наявне на ринку серійне спектральне обладнання, адаптоване під БПЛА, має високу здатність розрізнення, що дозволяє візуально відрізнити рослини від ґрунту, органічних залишків тощо. Відповідно, метою роботи стало розроблення методу програмної ідентифікації на цифрових знімках посівів пікселів, що відповідають саме рослинам, а також оцінка горизонтальної проекції куполу рослин.

Наземним індексом LAI оцінюють площу листової поверхні за тінню на поверхні землі як рефлекторний аналог. У роботі B.D. Thomson та K.H.M. Siddique [6] запропоновано індекс зеленої площі (Green Area Index - GAI), яким враховано площу листків, стебла тощо. В роботі F.Varet та ін. [7] описано адаптацію його для БПЛА шляхом особливого спрямування сенсору під кутом 57.5°. Запропоноване рішення було використане на початкових стадіях вегетації пшениці та ріпаку озимих у роботі A. Verger та ін. [8], де відзначено більшу стійкість GAI, порівняно з суто спектральними індексами, щодо змін освітлення. Проте авторами, попри вжиті заходи щодо зменшення впливу тіні шляхом вибору напрямів польоту, було отримано середню точність лише за 3-кратних експериментальних даних, що ускладнює впровадження технології у виробництво.

Програмну ідентифікацію спектральних даних на супутникових знімках пшениці для боротьби з бур'янами представлено в роботі I.L.Castillejo-González та ін. [9], де використовувались різноманітні піксельні та об'єктні методи ідентифікації. Проте, для супутникових даних ідентифікація була полегшена – для представлених полів було лише два варіанти її проведення, а для БПЛА їх буде значно більше. Автори відзначили високу вартість моніторингу за умов використання систем машинного навчання. Із співвідношення якості/вартість було обрано піксельний аналіз.

Піксельний аналіз за результатами моніторингу з використанням БПЛА широко застосовується для вирішення багатьох задач, у тому числі, таких як визначення кількості та щільності паростків, що показано в роботі J.Torres-Sánchez та ін. [10]. Автори використовують підхід щодо граничного значення для гістограми сірого кольору та пропонують спеціальний спектральний індекс – надлишковий зелений (excess green ExG) $= (2G-R-B)/(R+G+B)$. Зазначене розглянуто в роботі Xiuliang Jin та ін. [11], де оцінювалася щільність посівів пшениці за надвисокої здатності розрізнення камери в 0,2 мм/піксель. Додатково до індексу ExG на базі індексів EGVI (excess green vegetation index) $= 2G-R-B$ та ERVI (excess red vegetation index) $= 1.4R-B$ запропонували індекс MNVI (Meyer-Neto vegetation index) $= 2G-2B-2.4R$. За додатних значень MNVI піксель вважали таким, що належить рослинам, а за від'ємних – відповідно, ґрунту. Такий підхід не потребує використання значних обчислювальних потужностей, що є корисним для промислових масштабів. Проте в роботі не описано врахування змін освітлення, що може вплинути на різницю величин спектральних каналів, на якій і побудовано механізм ідентифікації. На додаток, такий алгоритм розраховано лише на дві градації і, не зрозуміло, як у такому випадку система спроможна враховувати, наприклад, наявність тіні на рослинах, що неодмінно з'явиться у більш пізніх фазах вегетації. Крім того, забарвлення рослин може відрізнитися від зеленого кольору через, зокрема, післядію гербіцидів, як показано на прикладі ріпаку озимого, M. Dolia та ін. [12]. Можливість налагодження системи ідентифікації рослин з використанням каскадних фільтрів показана в роботі V. Lysenko та ін. [13]. Проте ефективність системи не перевіряли для культур суцільного висіву, зокрема озимих, де можуть бути присутніми залишки культури попередника. У роботі F.M. De Rainville та ін. [14] для фільтрації бур'янів на просапних культурах використали фільтр, побудований на оцінці габаритів, проте на початкових стадіях вегетації розміри рослинних залишків можуть перевищувати габарити сходів.

Проблема ідентифікації й визначення спектральних параметрів саме рослинних насаджень є актуальною. Нині серійно випускається спеціалізований спектральний комплекс Slantrange, описаний у роботі J. Encisoa та ін. [15], де завдяки програмному забезпеченню Slantview, фільтрується ґрунт й інші сторонні вклучення. Алгоритм розрахунку компанією не наводиться і, відповідно, налагодження здійснюється оператором в ручному режимі, завдяки чому автори роботи, для отримання відтворюваних результатів при обчисленні вегетаційних індексів, використовували додаткове програмне забезпечення.

Огляд літературних джерел дозволяє зробити висновки:

- розмір поверхні рослин є перспективним параметром для оцінки стану посівів, потенційно стійким до зміни освітлення;
- попіксельний аналіз для ідентифікації рослин має переваги у співвідношенні якість/ціна, порівняно з об'єктовим аналізом;
- за використання RGB простору для ідентифікації рослин перспективними є індекси EGVI, ERVI та MNVI;
- механізми каскадної фільтрації, побудовані на межових значеннях і розроблені для просапних культур, доцільно перевірити на культурах суцільного висіву за наявності на полі залишків культури попередника.

Метою роботи є розроблення методу програмної ідентифікації на цифрових знімках посівів культури суцільного висіву пікселів, що відповідають саме рослинам, а також оцінка горизонтальної проекції куполу рослин.

2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Ідентифікацію рослинних насаджень для культур суцільного висіву виконували для пшениці озимої. Дослідження проводили в 2017-2018 роках на полях багаторічного стаціонарного дослідження кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва НУБіП України (GPS координати: 50°4'30"N, 30°13'21"E), де вивчаються системи застосування добрив. Розглядалися 6 варіантів внесення добрив: 0 – без добрив; 1 – P₈₀; 2 – P₈₀K₈₀; 3 і 4 – N₉₀P₈₀K₈₀; 5 – N₁₃₅P₁₂₀K₁₂₀.

Моніторинг проводили 05.05.2017 (Рис. 1). Посіви пшениці перебували у фазі виходу в трубку, ґрунт на поверхні поля був у повітряно-сухому стані. У 2018 році моніторинг пшениці озимої сорту Colopia здійснювали 12.04 у фазу куціння (Рис. 2). Ґрунт у полі в день моніторингу був у зволоженому стані.



Рис. 1. Посіви пшениці озимої 05.05.2017 (висота зйомки 100 метрів)



Рис. 2. Посіви пшениці озимої 12.04.2018 (висота зйомки 40 метрів)

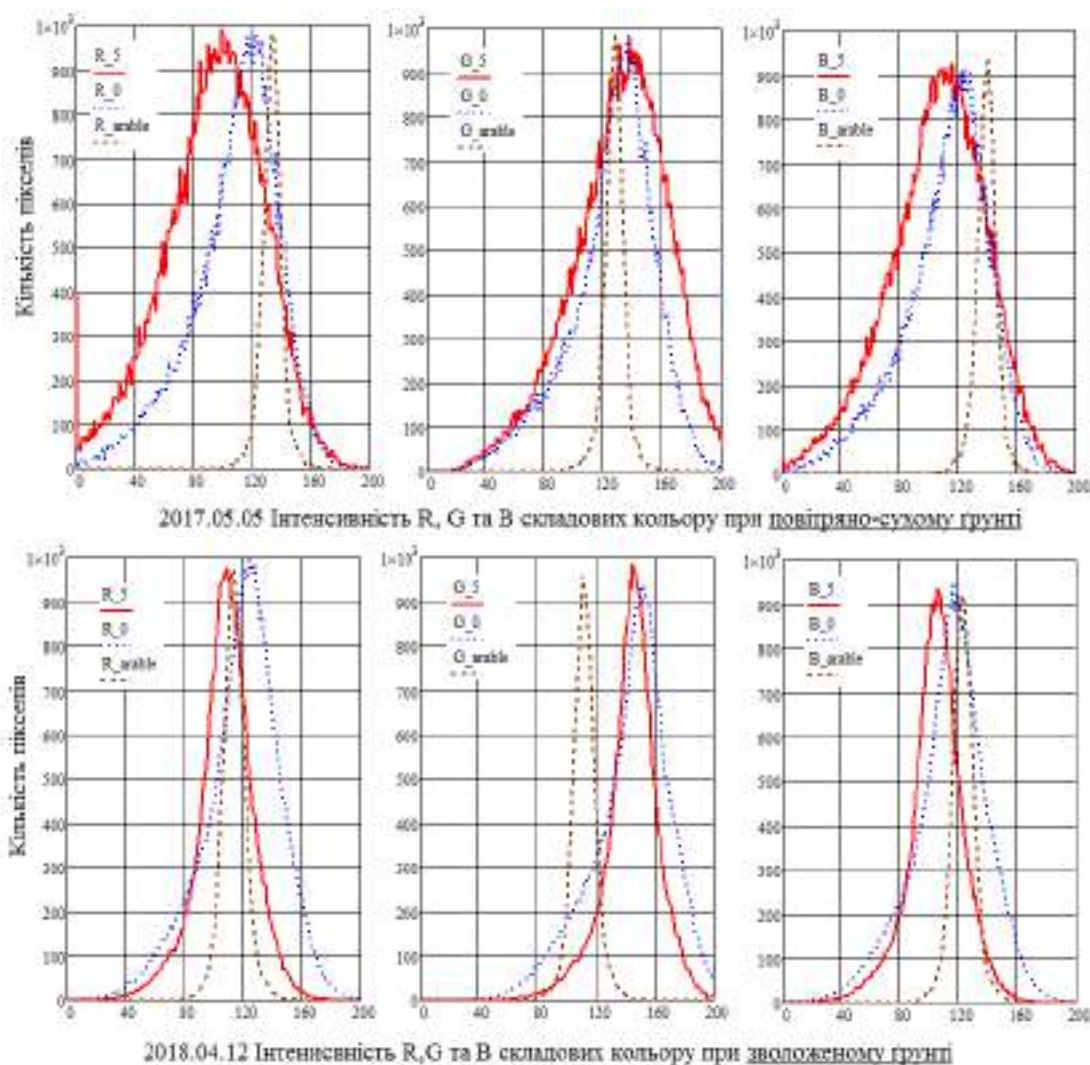
Спектральні параметри визначали з використанням штатної фотокамери квадрокоптеру DJI Phantom 3+ FC200. Радіометричне калібрування щодо змін освітлення

здійснювали на базі службових даних з exiff файлу про величину Light Value (LV). Параметри налагодження цифрової фотокамери у дослідженнях: Aperture Value – 2.8; Light Source – Fine Weather. Розмір знімку – 4384×2466 пікселів. Цифрову обробку графічних даних формату jpeg проводили в програмному середовищі MathCAD (version 14.0.0.163), а статистичну обробку результатів – у програмному середовищі OriginPro v.8 від OriginLab Corporation.

3. Результати досліджень

3.1 Оцінка ефективності каскадних фільтрів

Для досліджень було вибрано дві ділянки з рослинами та одну без них. Для врахування максимального діапазону мінерального живлення було відібрано варіанти 0 (без добрив) і 5 (150 % норма мінеральних добрив - $N_{135}P_{120}K_{120}$). Для запобігання нерівномірності стану з висоти 100 метрів фіксували 80-90 % площі розмежованої ділянки. Значення світового числа LV становило 12,8. Зі знімку, виконаного з висоти 40 метрів, було окремо визначено ділянку ріллі із рослинними залишками від попереднього року. Для наочності було введено додатковий коефіцієнт, щоб максимум розподілу відповідав діапазону 900-1000 одиниць. Здобуті результати представлено на рис. 3.



Варіанти досліду: 0 – без добрив; 5 – 150 % рекомендованої дози добрив; able – рілля із залишками рослин;
R - червона, G – зелена, B – синя складові кольору

Рис. 3. Залежність кількості пікселів від інтенсивності складової кольору

Аналізом спектральних портретів ділянок на варіантах, що досліджувались, визначено, що всі залежності є характерними для нормального розподілу. Для їх апроксимації використовували нелінійне рівняння Lorentz. Аналіз отриманих результатів

для ріллі із залишками рослин дозволив встановити значення інтенсивності складових кольору за RGB каналами, що давали максимальну кількість пікселів (134,128,141 відповідно). Для ділянок із рослинами, за відсутності добрив, максимуми розподілу становили 116,133,120 пікселів, а за 150 % норми добрив – 97,136,119, відповідно. Таким чином, для поверхні ріллі, що перебуває у повітряно-сухому стані, за наявності рослинних залишків, не вдалось знайти діапазон для однозначної ідентифікації саме ґрунту, оскільки діапазони інтенсивності кольорів мають незначну різницю.

Для зволоженого стану ґрунту максимуми розподілу становили: для посівів без добрив – 123,150,117 пікселів; за 150 % норми добрив – 109,146,106; для ріллі – 114,112,123. У випадку вологого ґрунту зелений канал виявився придатним для фільтрації, проте при цьому було зафіксовано діапазон інтенсивності складової кольору від 40 до 80, де рослини були темнішими за ґрунт. Ймовірним поясненням цього є перебування ґрунту в тіні від рослин.

3.2 Оцінка ефективності індексів EGVI, ERVI та MNVI

Для оцінки індексів, запропонованих Х. Jin та ін. [11], визначали складові кольору ділянок після видалення сторонніх включень, а також частку від загальної площі, що її займали рослини (площа горизонтальної проєкції куполу S, %). Здобуті результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Спектральні та габаритні показники пшениці озимої, ідентифіковані з використанням індексів EGVI, ERVI та MNVI

Рік, варіант	EGVI=2G-R-B				ERVI=1.4R-B				MNVI=2G-2B-2.4R			
	R	G	B	S, %	R	G	B	S, %	R	G	B	S, %
2017 - 0	108	126	112	99,8	109	127	112	99	9	33	13	0,5
2017 - 1	105	128	112	99,8	107	130	113	98	8	37	16	1,1
2017 - 2	97	128	105	100	100	131	108	97	10	43	19	2,1
2017 - 3	97	130	106	100	99	133	108	97	11	46	20	2,0
2017 - 4	95	130	105	100	98	134	108	96	11	47	22	2,3
2017 - 5	94	131	106	100	98	135	109	95	11	49	23	2,7
2018 - 0	119	144	114	100	119	144	114	100	33	63	114	0,6
2018 - 1	119	145	114	100	119	145	114	100	39	67	114	0,2
2018 - 2	115	145	110	100	115	145	110	100	41	74	109	0,4
2018 - 3	113	144	108	100	113	144	108	100	43	77	108	0,6
2018 - 4	110	143	106	100	110	143	106	100	45	82	106	0,7
2018 - 5	109	144	105	100	109	144	105	100	47	86	105	0,6

За даними аналізу, що наведені в табл.1, виявили, що використання індексів EGVI, ERVI та MNVI для ідентифікації рослин за отриманими у польових умовах фотознімками посівів пшениці не є ефективним. Так, візуальна оцінка ділянок на варіантах без внесення добрив (0) показує, що кількість пікселів, що не належать рослинам, становить десятки відсотків та кілька відсотків відповідно (Рис. 1), а не частки відсотка, як обчислено для індексу EGVI. Зі збільшенням кількості добрив до 150 % норми габарити рослин мали б зростати, а не зменшуватись, як це було обчислено для індексу ERVI. За індексом MNVI відсоток рослин зростав за поліпшення умов мінерального живлення, проте як рослини були ідентифіковані лише від 0,5 до 3 % загальної площі, що вочевидь також є помилковим. На думку авторів, такі результати можуть бути обумовлені тим, що паростки пшениці мають природну неоднорідність забарвлення і за такої ідентифікації фіксувалась лише частина рослини, що й обумовило малий відсоток відібраних пікселів.

4. Обговорення результатів

Ймовірно, причиною неспрацьовування індексів EGVI, ERVI та MNVI є те що розробники використовували надвисоку здатність розрізнення за малої висоти польоту. Так, Х. Jin та ін. в описаних дослідженнях [11] використовували розмір знімків 6024×4024 пікселів за висоти польоту 3-7 метрів. За висоти 100 метрів доцільно враховувати й

особливості формату збереження даних, оскільки в форматі jpeg визначаються області з однаковим забарвленням, на відміну від формату bmp, де фіксується колір кожного пікселя. Цифрові камери, зазвичай, мають можливість збереження даних, окрім стандартного формату jpeg, у якому можлива часткова втрата якості за суттєвого зменшення розміру файлу і в таких форматах як raw. Проте обсяг файлів стає завеликим, що принципово ускладнює його використання у промислових масштабах. З цієї причини методика моніторингу передбачає ідентифікацію рослин, що здійснюється камерою з єдиним об'єктивом для всіх наявних каналів, із адаптацією під формат jpeg.

Ідея ідентифікації рослин для індексів EGVI, ERVI та MNVI побудована на розпізнаванні образів рослин і їх відмінностей від ґрунту у разі поєднання різних спектральних каналів. Так, аналізуючи дані на рис. 3, робимо висновок, що значення інтенсивності зеленої складової (G) для максимуму розподілу перевищували значення для червоної (R) та синьої (B) складових. Для ґрунту – навпаки. Тобто, якщо для пікселю величина зеленої складової більша за червону чи синю, її можна ідентифікувати як таку, що відповідає рослині. В індексах EGVI та MNVI використовували як червоний, так і синій канали, а індекс ERVI побудовано виключно на означених каналах. При цьому найбільшу різницю значень фіксували саме між зеленим та червоним каналами. Водночас, червоний канал виявив найбільшу чутливість щодо рівня мінерального живлення, тоді як показник синього був стабільним. Виходячи з можливих змін норм висіву й нерівномірності схожості насіння, використання синього каналу матиме потенційно більшу достовірність. За організації фільтрації було передбачено можливість налагодження фільтрів, а саме попіксельного зображення рослин, дотримуючись умови $G-B \geq \text{Wheat}$, де Wheat – налагодження фільтрації.

У фазу «вихід у трубку» рослини мають меншу площу покриття, відповідно, вплив ґрунту на результати спектрального моніторингу буде більшим. Тому запропонований метод ідентифікації рослин використали для даних, отриманих 2017.05.05 (Табл. 2.).

Таблиця 2

Спектральні та габаритні показники рослин пшениці озимої, ідентифіковані з використанням запропонованої методики для даних моніторингу 2017.05.05

Ва- ріант	Wheat ≥ 4				Wheat ≥ 8				Wheat ≥ 12				Wheat ≥ 20			
	R	G	B	S, %	R	G	B	S, %	R	G	B	S, %	R	G	B	S, %
0	108	127	111	96	107	127	110	87	105	127	108	67	103	128	104	24
1	105	128	111	95	104	128	110	85	102	129	108	67	99	130	105	34
2	97	128	105	100	97	128	110	99	97	129	105	97	96	130	104	70
3	97	130	105	100	97	130	105	99	96	131	105	96	95	131	104	78
4	95	130	105	100	95	130	105	100	95	130	105	98	94	131	104	82
5	94	131	105	100	94	131	105	100	94	131	106	99	93	132	104	89

Примітка: Wheat – налагодження фільтрації

Результати, отримані за умов попіксельного аналізу для розпізнавання образу об'єкта, істотно відрізнялися від тих, що були отримані шляхом апроксимації експериментальних даних для кожного каналу окремо. Так, для ділянки без удобрення розраховані величини RGB при фільтрації становили 108,127,111, а апроксимовані без фільтрації рівняннями для нормального розподілу становили 116,133,120. Фільтрація 5 % пікселів при $\text{Wheat} \geq 4$, не може обумовити таку різницю в показниках і ймовірно причиною цього є похибки апроксимації, пов'язані зі специфікою розподілу величин інтенсивності складових кольору (Рис. 4).

У запропонованому методі ідентифікації рослин вдалось скоригувати результати вимірів інтенсивності складових кольору. Із збільшенням межового значення Wheat для повітряно-сухого стану ґрунту значення інтенсивності складових кольору пшениці зменшились. Особливо це стосувалось варіантів 0 та 1 із меншими за габаритами рослинами. Зменшення впливу фіксації ґрунту покращить відтворюваність отриманих результатів, що актуально для наявної номенклатури різних типів і підтипів ґрунтів України. Становлять інтерес результати обчисленої горизонтальної проекції куполу рослин, яка змінювалася більше ніж у 3 рази. Зазначений показник може бути використаний для оцінки врожаю як додатковий.

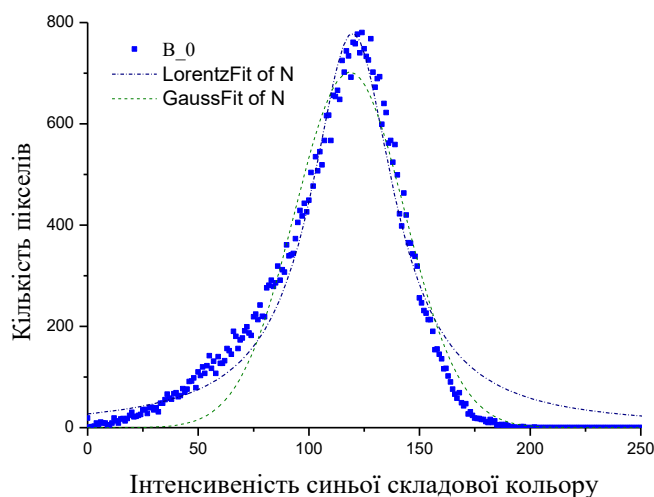


Рис. 4. Результати апроксимації залежності кількості пікселів від величини інтенсивності синьої складової кольору для варіанту без добрив

5. Напрямок подальших досліджень

Горизонтальна проекція куполу рослин є перспективним показником для створення вегетаційних індексів для сенсорного обладнання БПЛА. Проте, на відміну від спектральних показників, його значення залежить від параметрів фільтрації (Табл. 2). Для обґрунтування вибору цього параметру доцільно поєднати моніторинг в оптичному діапазоні з результатами мультиспектральної зйомки в інфрачервоному діапазоні та наземними вимірами габаритів рослин.

6. Висновки

Фільтрація ґрунту по окремому спектральному каналу за умов оптичного моніторингу рослинних насаджень виявилась недостатньо ефективною для культур суцільного висіву.

Індекси для ідентифікації рослин в оптичному діапазоні EGVI, ERVI та MNVI, створені для висот в 5-7 метрів, виявились недієздатними для висот від 40 м і вище, а тому їх використання для промислових масштабів виробництва в таких умовах є недоцільним.

Для моніторингу в оптичному діапазоні пропонується алгоритм розпізнавання рослин, що базується на оцінці різниці між значеннями інтенсивностей зеленого та синього каналів пікселю.

Для створення вегетаційних індексів з метою ідентифікації культур суцільного висіву доцільно використовувати горизонтальну проекцію куполу рослин як частку загальної площі зображення, що належить куполу рослин.

Список використаних джерел

1. Pearse G.D., Watt M.S., Morgenroth J. Comparison of optical LAI measurements under diffuse and clear skies after correcting for scattered radiation. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2016. Vol.221. P. 61-70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.02.001>.
2. Review of indirect optical measurements of leaf area index: Recent advances, challenges, and perspectives / Y. Guangjiana, H. Ronghai, L. Jinghui [et al.]. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019. Vol.265. P. 390-411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.033>.
3. Yue Pan 3D (2019) Reconstruction of Ground Crops Based on Airborne LiDAR Technology / Y. Pan, Y. Han, L. Wang [et al.]. *IFAC-PapersOnLine*. Vol.52 (24), P. 35-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.376>.
4. Detection of wheat height using optimized multi-scan mode of LiDAR during the entire growth stages / Tai Guoa, Yuan Fanga, Tao Chenga, [et al.]. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol.165. Article 104959. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104959>.
5. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling / W.A. Dorigo, R. Zurita-Milla, A.J.W. de Wit [et al.]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2007. Vol.9 P. 165-193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.05.003>.
6. Thomson B.D., Siddique K.H.M. (1997) Grain legume species in low rainfall Mediterranean-type environments II. Canopy development, radiation interception, and dry-matter production. *Field Crops Research*. 1997. Vol. 54, (2-3). P. 189-199. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00048-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00048-8).

7. GAI estimates of row crops from downward looking digital photos taken perpendicular to rows at 57.5° zenith angle: Theoretical considerations based on 3D architecture models and application to wheat crops / F. Baret, B. de Solana, R. Lopez-Lozano, [et al.]. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2010. Vol.150. P. 1393–1401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.04.011>.
8. Green area index from an unmanned aerial system over wheat and rapeseed crops / A. Verger, N. Vigneau, C. Chéron [et al.]. *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol.152. P. 654-664. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.06.006>.
9. Evaluation of pixel- and object-based approaches for mapping wildoat (*Avena sterilis*) weed patches in wheat fields using QuickBirdimagery for site-specific management / I.L. Castillejo-González, J.M. Peña-Barragán, M. Jurado-Expósito [et al.]. *European Journal of Agronomy*. 2014. Vol.59. P. 57-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.05.009>.
10. Torres-Sánchez J., López-Granados F., Peña J.M. An automatic object-based method for optimal thresholding in UAV images: Application for vegetation detection in herbaceous crops / J.Torres-Sánchez, F.López-Granados, J.M.Peña // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015. Vol.114. P. 43-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.03.019>.
11. Estimates of plant density of wheat crops at emergence from very low altitude UAV imagery / X. Jin, S. Liu, F. Baret [et al.]. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 198. P. 105-114. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.007>;
12. Information Technology for Remote Evaluation of after Effects of Residues of Herbicides on Winter Crop Rape / Dolia M., Lysenko V., Pasichnyk N. [et al.]. 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019. Proceedings. P. 469-473. DOI: <https://doi.org/10.1109/AIACT.2019.8847850>.
13. Information Support of Remote Monitoring of Grain Crops Biomass Amount as the Feedstock to Load Biogas Reactors / V.Lysenko, D.Komarchuk, N.Pasichnyk [et al.]. International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018. Proceedings. P. 35-38. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632090>.
14. Bayesian classification and unsupervised learning for isolating weeds in row crops. / F.-M.De Rainville, A. Durand, F.-A. Fortin [et al.]. *Pattern Analysis and Applications*. 2012. Vol. 17(2). P.401–414. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10044-012-0307-5>.
15. Validation of agronomic UAV and field measurements for tomato varieties / J. Enciso, C.A. Avila, J. Jung [et al.]. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol.158. P. 278-283. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.02.011>.

UDC 631.81

Methodical approaches for the identification of plants in the optical range by monitoring crops using Unmanned aerial vehicles (UAVs)

N.A. Pasichnyk, V.P. Lysenko, O.O. Opryshko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*E-mail: n.pasichnyk@nubip.edu.ua

The use of Unmanned aerial vehicles (UAVs) as a platform for sensor equipment, should extend the potential of spectral research and enable the acquisition of data suitable for crop management. The purpose of the work was to develop a method of programmatic identification on digital images of pixels crops of, which correspond exactly to the plants, as well as to evaluate the horizontal projection of the dome of plants. The identification of plantations for crops of continuous sowing was performed in 2017-2018 at an experimental site to study the system of application of fertilizers National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine on the example of wheat winter variety Colonia in the stage of vegetation tillering and the exit to a tube. Filmed with a Phantom 3+ UAV from a height of 40-100 meters using an FC200 camera. Digital processing of jpeg format data performed in MathCAD, where the graphic data viewed as a matrix whose number of columns was three times that of the pixels horizontally of the original image. The effectiveness of cascade filters and specialized EGVI, ERVI, and MNVI indices investigated. It found that cascade soil filtration under the conditions of optical monitoring of plantations proved not to be effective enough for continuous seeding crops. EGVI, ERVI and MNVI optical indices for plant identification, designed for heights of 5-7 meters, have been found to be incapable of altitudes of 40 m and above, so their use for industrial production in these conditions is impractical. Based on the obtained results, they developed a technique for identifying plants for industrial use based on spectral portraits of plants based on estimating the difference between the intensities of the green and blue pixel channels. To create vegetation indices in order to identify crops of continuous seeding, it is necessary to use a horizontal projection of the dome of plants as a fraction of the total area of the image belonging to the dome of plants.

Keywords: remote monitoring, UAVs, winter wheat, object image.

Citing: Pasichnyk N.A., Lysenko V.P., Opryshko O.O. 2020. Methodical approaches for the identification of plants in the optical range by monitoring crops using Unmanned aerial vehicles (UAVs). *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 90-97. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-10>.

ІСТОРИЯ НАУКИ HISTORY of SCIENCE

УДК 631.4(092)

Микола Михайлович Сибірцев До 160-річчя від дня народження видатного ґрунтознавця, геолога, агронома

О.Д. Кандаурова*, І.П. Жидких**

Фундаментальна бібліотека Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва,
Харків, Україна



Статтю присвячено 160-річчю від дня народження талановитого вченого, завідувача першої у світі кафедри ґрунтознавства у Ново-Олександрійському інституті сільського господарства та лісівництва (нині – Харківський національний аграрний університет (ХНАУ) ім. В.В. Докучаєва), автора першого підручника з ґрунтознавства «Почвоведение» (1900) для студентів вищої школи. У статті представлено у хронологічній послідовності основні етапи короткого, але яскравого життя вченого, якого називають одним із співзасновників наукового ґрунтознавства. М.М. Сибірцев розпочав роботу на посаді завідувача кафедри вже маючи великий досвід науковця і практика з територіальних досліджень і картографування ґрунтів. Він брав участь в експедиції В.В. Докучаєва з вивчення геологічної будови та ґрунтів Нижегородської губернії, потім організував музей природи краю у Нижньому Новгороді. Був офіційним помічником В.В. Докучаєва, як начальника Особливої експедиції Лісового департаменту, у 1892–1894 рр. брав участь у розробці програми цієї експедиції. Сибірцев організував навчальну, науково-методичну роботу на кафедрі, розробив програму з ґрунтознавства для агрономів і лісівників, яка складалася з лекційного курсу і лабораторно-практичних занять. Особливої уваги було надано методиці проведення польової практики студентів. Учений організував роботу хімічних лабораторій на кафедрі, де кожний студент мав робоче місце, хімічний посуд і реактиви для проведення аналітичних робіт. Аналіз студентами матеріалів польових і лабораторних досліджень був основою для визначення родючості ґрунтів і проведення земельно-оцінювальних робіт – бонітування ґрунтів, – методику якого розробив В.В. Докучаєв, а доповнив М.М. Сибірцев. У бібліографію статті включено перелік наукових праць ученого з фонду Фундаментальної бібліотеки ХНАУ, а також публікації про життя і творчість М.М. Сибірцева. Текст статті містить цитати зі спогадів сучасників ученого та історичних нарисів його учнів і наукових нащадків.

Отримано 12.02.2020
Отримано після доопрацювання 26.02.2020
Затверджено до друку 16.03.2020
Доступно онлайн 01.06.2020

Ключові слова:

Сибірцев М.М.;
ґрунтознавство;
кафедра ґрунтознавства;
Ново-Олександрійський інститут сільського
господарства та лісівництва;
ХНАУ ім. В.В. Докучаєва.

E-mail: *e.kandaurova@ukr.net **kerdvar76@gmail.com

Форма цитування: Кандаурова О.Д., Жидких І.П. Микола Михайлович Сибірцев. До 160-річчя від дня народження видатного ґрунтознавця, геолога, агронома. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 98-104. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-11>.

Да живет же славное имя этого идеального человека, прекрасного товарища, талантливого ученого и профессора как в сердцах его друзей, товарищей и учеников, так и в летописях русской агрономической науки!
П.Ф. Баракон [1]

13 лютого 2020 р. виповнилося 160 років від дня народження Миколи Михайловича Сибірцева – видатного ґрунтознавця, геолога, агронома, одного з учнів В.В. Докучаєва, автора першого підручника з ґрунтознавства. Упродовж 1894–1899 рр. учений очолював першу в світі кафедру ґрунтознавства і картографії ґрунтів у Ново-Олександрійському інституті сільського господарства та лісівництва (нині – Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва, ХНАУ), а також був одним із засновників Аксьоновської земської сільськогосподарської школи Республіки Башкортостан. Доля була не дуже прихильною до Миколи Михайловича – нужденство в молоді роки, тяжка хвороба, смерть у 40 років. Та попри все, його внесок у ґрунтознавство заслуговує найвищого визнання.

У житті та науковій діяльності М.М. Сибірцева визначальним є ново-олександрійський період, коли він очолив першу в світі кафедру ґрунтознавства (1894), створену В.В. Докучаєвим. Завідувачем кафедри і в.о. професора його було призначено з 23 січня 1894 р. Про коротке, але таке яскраве і наповнене змістом життя вченого краще можуть розповісти фахівці – учені-ґрунтознавці, наукові нащадки В.В. Докучаєва і М.М. Сибірцева. В історичному нарисі професора Д.Г. Тихоненка [2], який очолював кафедру ґрунтознавства ХНАУ з 2005 до 2012 р., означено всі найважливіші події того часу і найбільші напрацювання. Микола Михайлович Сибірцев був улюбленим учнем В.В. Докучаєва. У 1882–1885 рр. – він активний учасник ґрунтової Нижегородської експедиції В.В. Докучаєва, його помічник і опора. За сім років праці в Нижньому Новгороді (1885–1892) М.М. Сибірцев опублікував 20 наукових праць і організував музей природи краю. У 1892–1894 рр. він був офіційним помічником В.В. Докучаєва як начальника Особливої експедиції Лісового департаменту, також брав участь у розробці програми цієї експедиції.

М.А. Богословський [3] так описує діяльність М.М. Сибірцева у Нижегородській експедиції: «Н.М. Сибирцев начал свою деятельность в Нижегородском земстве, едва сойдя со школьной скамьи, полный сил и светлых надежд, полный веры в успех и благотворность того общественного дела, которому он себя посвятил... "Нижегородская полоса", как любил выражаться Н.М. об этом периоде, была для него вдвойне памятна, как по существу задач, над которыми он трудился, так и по той живой прогрессивной общественной среде, в которой он вращался и благодаря которой жизнь и работа в Нижнем не имели для него отпечатков одиночества и духоты. В самом Нижегородском земстве тогда установилось течение, весьма благоприятное для широких научных исследований, причем можно было рассчитывать, что плоды этих исследований проникнут в жизнь...».

1898 р. М.М. Сибірцев разом із професором К.Д. Глінкою відвідали Німеччину, Швейцарію, Італію та Австро-Угорщину, де вели побіжні спостереження ґрунтів, досліджуючи їх генетичні типи, умови залягання та територіальні зміни. Результати спостережень Сибірцев опублікував у праці «Из заграничных экскурсий 1898 года. Заметки о почвах».

Професор А.Ф. Фортунатов у 1900 р. [4] так описав багатогранну діяльність Сибірцева: «Н.М. Сибирцев оставил очень крупный след не только в естественно-научном почвоведении. Методология русской хозяйственной статистики получила от него незаменимое содействие в постановке вопросов при статистическом исследовании почв. Первая программа опросных сведений была применена Н.М. к почвам Княгининского уезда в 1887 г.; программа эта не была напечатана (у нас она сохранилась в рукописи), впоследствии автор ее переделал, и переделанная, уже в печатном виде она была применена экспедициями земских статистиков по разным уездам Нижегородской губернии. Наконец, в новой переделке профессор включил эту программу в свои лекции почвоведения».

Усі, хто працював із М.М. Сибірцевим, як пише Д.Г. Тихоненко [2], із великою повагою називали його «премудрым». Отже, М.М. Сибірцев розпочав роботу на посаді завідувача кафедри вже маючи великий досвід науковця і практика з територіальних досліджень ґрунтів Нижегородської, Володимирської та інших губерній Росії. Тому він добре розумів як ліпше організувати навчальну і науково-методичну роботу на кафедрі. Тим більше, що її проводили на фоні реформування Інституту за методикою В.В. Докучаєва. Сибірцев розробив навчальну програму з ґрунтознавства для агрономів і лісівників, яка складалася з лекційного курсу і лабораторно-практичних занять. Особливу увагу зосереджено на програмі й методиці проведення польової практики студентів. Під час дослідження ґрунтів у полі, за методикою, яку розробив В.В. Докучаєв, студенти мали оволодіти методами «читання» ґрунтів у природі (польова діагностика за Г.С. Гриньом), відбору зразків ґрунту з кожного генетичного горизонту профілю для їх подальшого хімічного (лабораторного) аналізу і вивчення «суті» ґрунтів.

У процесі польової практики, за М.М. Сибірцевим, студенти відпрацьовували питання картографії ґрунтів і складання ґрунтових карт різного масштабу, а у камеральний період в лабораторних умовах вивчали хімічні, фізичні та інші характеристики ґрунтів, зразки яких було відібрано у полі.

Учений організував роботу хімічних лабораторій на кафедрі, де кожний студент мав робоче місце, хімічний посуд і реактиви для проведення аналітичних робіт. Аналіз матеріалів польових і лабораторних досліджень, проведений кожним студентом, служив основою для визначення продуктивних можливостей ґрунтів (родючості) і проведення земельно-оцінювальних робіт – бонітування ґрунтів, методику якого розробив Докучаєв, а доповнив Сибірцев.

Сибірцев М.М. написав перший у світі підручник «Почвоведение», до якого ввійшли його лекції з ґрунтознавства для агрономів і лісівників другого курсу. Перше

видання підручника вийшло друком 1900–1901 рр., друге – 1909 р., третє – 1914 р., четверте – 1951 р.; у 1907 р. – польською мовою. Книга складається із шести розділів: Ґрунтоутворення (наноси і вивітрювання, материнські породи, динамічні явища); Учення про ґрунт як масу (мінеральна частина та її хімічний склад, органічна частина, хімічні перетворення, склад ґрунтового розчину і ґрунтового повітря, фізичні властивості); Ґрунт як геофізичне утворення (формування ґрунтових утворень, вплив зовнішніх факторів, вік ґрунтів і їх «історія», методи дослідження ґрунтів у полі); Описове ґрунтознавство (класифікація, зональні, інтразональні й азонанальні ґрунти); Географія і картографія ґрунтів (фізико-географічні області Росії); Бонітування ґрунтів [2].

За висловлюванням професора С.С. Соболева у передмові до вибраних творів Сибірцева [5]: «Капитальным трудом Сибирцева является его «Почвоведение» – курс лекций, читанный студентам Института сельского хозяйства и лесоводства в Новой Александрии. Свою работу над составлением курса Н.М. Сибирцев начал при непосредственном участии В.В. Докучаева... Над составлением курса «Почвоведение» Сибирцев работал непрерывно... Последнюю корректуру издания «Почвоведения» 1900 г. он подписал 17 июля 1900 г., за три дня до смерти...».

Підручник М.М. Сибірцева отримав високу оцінку його сучасників і не втратив значущості й сьогодні. Ґрунтознавець розвинув учення свого вчителя В.В. Докучаєва про ґрунти, їх класифікацію, зональність, картографію і бонітування.

Крім підручника (енциклопедичного за змістом), важливими є й інші розробки: «Об основаниях генетической классификации почв» (1895); «Химический состав растительно-наземных почв Нижегородской губернии» (1896); «Об естественно-историческом изучении почв в России» (1897); «Почвенная карта Европейской России», составленная по почину и плану проф. В.В. Докучаева, Н.М. Сибирцевым, Г.И. Танфильевым, А.Р. Ферхминым» (1900).

«Программа для исследования почв в поле (сборание почвенных образцов)» (1896) так охарактеризована К.Д. Глінкою [6]: «Занимаясь в течении 18 лет почвенными исследованиями в поле, Н.М., выработал и программу этих исследований, которая вошла в общую серию «Программ», изданных С.-Петербургским Обществом Естествоиспытателей, а кроме того, была напечатана и отдельно при «Записках Ново-Александрийского Института». Программа эта получила широкое распространение в России».

Сибірцев М.М. виступав проти поділу ґрунтознавства на теоретичне й агрономічне, відстоюючи думку, що ґрунтознавство – це єдина наука, у якій є практична складова. І тепер, як зауважує Д.Г. Тихоненко [2], уже добре відомими є складові єдиної науки про ґрунт, а саме: меліоративне, лісове, екологічне, агрономічне ґрунтознавство і, навіть, соціальне ґрунтознавство.. Уперше в історії ґрунтознавства Сибірцев увів такі поняття: «ґрунтова зона», «зональний тип», «генетичні ряди ґрунтів», «підтипи ґрунтів», «ступінь розвитку ґрунтоутворного процесу» (слабо-, середньо-, сильно-), «агрономічна оцінка ґрунтів». Тому закономірно М.М. Сибірцева вважають співзасновником ґрунтознавства.

Універсальність і широту поглядів Сибірцева на ґрунтознавство підкреслює С.С. Соболев [5]: «Роль Н.М. Сибирцева в создании почвоведения как науки исключительно велика... Н.М. Сибирцев обобщил и творчески развил учение В.В. Докучаева о почве как особом естественно-историческом теле и учение П.А. Костычева о почве как среде, способной удовлетворять потребностям жизни растений. На основе учений Докучаева и Костычева, своих многолетних наблюдений и исследований Сибирцев написал первый учебник генетического почвоведения, по которому учились несколько поколений агрономов, лесоводов, почвоведов и который не утратил своего значения и в наши дни».

На період хвороби професора В.В. Докучаєва (1896–1900), М.М. Сибірцев очолив наукову школу докучаєвців. Це учні В.В. Докучаєва, М.М. Сибірцева і, деякою мірою, К.Д. Глінки у Ново-Олександрії – Н.А. Дімо, І.А. Шульга, Г.М. Тумін, Н.І. Прохоров, Д.П. Гедеванішвілі, Т.П. Гордєєв, А.П. Чорний, А.Г. Набокiх, які з часом стали відомими вченими, очолювали наукові та науково-виробничі установи країни.

П.Ф. Бараков [1] у передмові до видання лекцій Сибірцева (1901) пише: «Сибирцев «не был простым, заурядным работником. Он был творцом-художником, пролагавшим новые пути в науке. Никогда не любивший говорить о себе, Н.М. лишь в дружеской беседе однажды высказался: "когда я работаю, то чувствую себя, как художник; в воображении моем создаются образы и картины прошлого и мне хочется описать их и сделать ясными и понятными для других". И неутомимому, преданному и талантливому слуге науки, каким был Н.М., действительно, многое удалось описать и сделать ясным и понятным для других в его многочисленных трудах!».

Висловлювання про Сібірцева-викладача, лектора читаємо у К.А. Мацеєвича [7]: «В особенном умении влияют на своих слушателей, делают их убежденными сторонниками своих мыслей и взглядов, заключается одна из характерных сторон профессорской деятельности Н.М. Основывалась она, главным образом, на той горячей любви к своей науке, которая ярко светилась в каждом слове Н.М. и которую он умел своим мастерским изложением вдохнуть и в своих слушателей. Зависело это также и от того, что его курс представлял образец логического изложения предмета. Слушатель мимовольно проникался идеями новейшего научного почвоведения; они сами собою занимали чуть ли не центральное место в общей сумме познаний, выносимых из разнообразных дисциплин, входящих в систему агрономического образования. Громадным подспорьем этому служили и практические занятия, которые велись Н.М. с редким умением».

Деякі риси характеру Сібірцева виразно описав П.В. Отоцький [8]: «...мое внимание привлекла одна небольшая скромная фигура, слегка сутуловатая, с характерным сократовским лицом, в близоруких очках, из-под которых довольно сумрачно смотрели страшно выпуклые глаза. Как-то странно, по провинциальному, жестикулируя, этот хмурый человек яростно нападал на ботаника К. Спор шел по поводу какой-то блестяще талантливой фантазии последнего на тему о геологической истории среднего Поволжья... Чувствовалась большая эрудиция, сильный, чисто научный анализ и страстная ненависть к "фантазиям"... При воспоминании о С., предо мною встает величавый образ доктора Фауста, умного, ученого, аскета и подвижника, отдавшего без остатка науке, "премудро" строившего свою жизнь, всеми уважаемого и ... одиноко умирающего где-то на чужбине, в глухом углу».

Цікавим є висловлювання А.Р. Ферхміна [9] про людські якості відомого вченого: «Сибирцев принадлежал к числу тех немногих, сравнительно, людей, которые много выигрывают при ближайшем знакомстве с ними. Одаренный от природы сильным умом, большою наблюдательностью и живою восприимчивостью ко всему прекрасному, возвышенному и гуманному, он, однако, далеко не всегда и не со всеми готов был делиться результатами своих размышлений и наблюдений над пережитым и прочувствованным. На первый взгляд, он производил нередко впечатление человека молчаливого, сосредоточенного, мало общительного, осторожно вставлявшего в разговор свои замечания... Но стоило попадать Н.М. в среду, где он чувствовал отзвуки душевных струн, дававших гармоническое созвучие с его собственным нравственным и душевным строем, как он становился оживленным собеседником, которого ценили тем выше, что он обладал в этом отношении драгоценными качествами: он был талантливейший юморист и почти всегда умел находить меткое, остроумное и вместе забавное словцо, определявшее сразу данную личность или явление в неожиданно новом и вместе неизменно верном, хотя иногда несколько карикатурном, свете; он обладал огромною памятью, и цитаты в прозе и стихах, всегда уместные, всегда удачные... то и дело слышались из уст его; многие его словечки и характеристики так и остались ходячею монетою в кругу лиц, знавших его ближе; наконец, он отличался необычайною нравственною чистоплотностью...».

Велику значущість та інноваційний характер робіт Сібірцева підкреслює І.А. Крупеніков [10]: «Подробное рассмотрение итогов научного творчества Сибирцева понадобилось нам не только для того, чтобы воздать ему по заслугам. В его классификационных, картографических, бонитировочных исследованиях, в курсе почвоведения сконцентрировались успехи почвоведения последней четверти XIX в. Это был интенсивный прорыв на уровень обобщений, на уровень теории».

Етапи життя і наукової діяльності М.М. Сібірцева (за І.А. Крупеніковим [10])

- 1860.13 лютого – народився у м. Архангельську;
- 1869-1873 – навчався в Архангельському чотирикласному духовному училищі;
- 1873-1878 – навчався в Архангельській духовній семінарії;
- 1878-1882 – навчався на природничому відділенні фізико-математичного факультету Петербурзького університету;
- 1882-1883 – брав участь в експедиції В.В. Докучаєва з вивчення геологічної будови та ґрунтів Нижегородської губернії; досліджував Арзамаський повіт;
- 1884 – опублікував свої перші наукові праці: про ґрунти Арзамаського та Княгинінського повітів Нижегородської губернії та пермські вапняки на її території; склав магістерські іспити;
- 1885-1892 – завідував природничо-науковим музеєм у Нижньому Новгороді; проводив дослідження ґрунтів за завданням земства; розробив теоретичні основи та практичні прийоми картографії ґрунтів;
- 1886 – опублікував працю «Химический состав растительно-наземных почв Нижегородской губернии»;
- 1888-1890 – проводив геологічні дослідження у Нижегородській, Володимирській, Рязанській та Костромській губерніях за завданням Геологічного комітету;

- 1890 – виступив із доповіддю на VIII з'їзді російських природодослідників і лікарів;
- 1891 – виступив із пропозиціями у боротьбі із засухами та організації дослідних полів у Нижегородській губернії;
- 1892-1894 – був помічником В.В. Докучаєва в «Особой экспедиции лесного департамента по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России»; досліджував Хренівську та Старобільську ділянки експедиції;
- 1893 – разом із В.В. Докучаєвим видав каталог ґрунтової колекції для міжнародної виставки у Чикаго;
1894. 23 січня – призначений завідувачем першої у світі кафедри ґрунтознавства Ново-Олександрійського інституту сільського господарства та лісівництва (нині – ХНАУ ім. В.В. Докучаєва). Перебував на посаді до 1900 р.;
- 1895 – опублікував Програму університетського курсу з ґрунтознавства;
- 1895-1898 – досліджував ґрунти різних районів Польщі (Привіслянського краю);
- 1895 – нагороджений золотою медаллю Всеросійської сільськогосподарської виставки у Москві за колекцію ґрунтів Польщі;
- 1896 – захистив у Московському університеті магістерську дисертацію «Окско-Клязьминский бассейн (с геологической картой)»; опублікував працю «Об основаниях генетической классификации почв»;
- 1897 – очолив бюро з ґрунтознавства при Вченому комітеті Міністерства землеробства та державного майна;
- 1898 – здійснив велику подорож до Німеччини, Швейцарії, Італії та Австро-Угорщини; випустив працю «Чернозем в различных странах»; опублікував першу генетичну ґрунтову карту Європейської Росії;
- 1899-1900 – підготував до друку курс лекцій з ґрунтознавства; разом із Г.І. Танфільєвим і А.Р. Ферхміним склав нову ґрунтову карту Європейської Росії;
- 1900 – завершив свою фундаментальну працю – підручник «Почвоведение» (1900–1901); нагороджений золотою медаллю на Паризькій міжнародній виставці;
1900. 20 липня – помер в результаті важкої хвороби у с. Воздвиженське Белебеєвського повіту Уфимської губернії.

Бібліографія

Опубліковані наукові праці М.М. Сибірцева (з фонду Фундаментальної бібліотеки ХНАУ):

- Сибірцев Н.М. Избранные сочинения : в 2 т. / [под ред. и с предисл. С.С. Соболева]. Москва : Сельхозгиз, 1951. Т. 1. 472 с.
- Сибірцев Н.М. Избранные сочинения : в 2 т. / [под ред. и с предисл. С.С. Соболева]. Москва : Сельхозгиз, 1953. Т. 2. 583 с.
- Сибірцев Н.М. География почв // Полная энциклопедия русского сельского хозяйства и соприкасающихся с ним наук. Санкт-Петербург : изд. А.Ф. Девриена, 1900. Т. 2. С. 523–528.
- Сибірцев Н.М. Грубые почвы // Полная энциклопедия русского сельского хозяйства и соприкасающихся с ним наук. Санкт-Петербург : изд. А.Ф. Девриена, 1900. Т. 2. С. 898.
- Сибірцев Н.М. Дерново-подзолистые почвы // Полная энциклопедия русского сельского хозяйства и соприкасающихся с ним наук. Санкт-Петербург : изд. А.Ф. Девриена, 1900. Т. 2. С. 1066–1069.
- Сибірцев Н.М. Из заграничных экскурсий 1898 года. Заметки о почвах. Варшава : в тип. Варшав. Учеб. Округа, 1899. 22 с.
- Сибірцев Н.М. Картография почв // Полная энциклопедия русского сельского хозяйства и соприкасающихся с ним наук. Санкт-Петербург : изд. А.Ф. Девриена, 1900. Т. 3. С. 1276–1279.
- Сибірцев Н.М. Классификация почв // Полная энциклопедия русского сельского хозяйства и соприкасающихся с ним наук. Санкт-Петербург : изд. А.Ф. Девриена, 1901. Т. 4. С. 174–192.
- Сибірцев Н.М. Классификация почв в применении к России // Ежегодник по геологии и минералогии России / под ред. Н. Криштафовича. Новая-Александрия, 1897–1898. Т. 2. С. 73–78.
- Сибірцев Н.М. Почвоведение: лекции, чит. студ. Ин-та Сел. Хоз-ва и Лесоводства в Ново-Александрии. Санкт-Петербург : тип. И.Н. Скороходова, 1900. Вып. 1 : Почвообразование (наносы и выветривание). 136 с.
- Сибірцев Н.М. Почвоведение: лекции, чит. студ. Ин-та Сел. Хоз-ва и Лесоводства в Ново-Александрии [биогр. очерк П. Баракова]. Санкт-Петербург : тип. И.Н. Скороходова, 1901. Вып. 2 : Учение о почве, как о массе. Почва как геофизическое образование. 196 с.
- Сибірцев Н.М. Почвоведение: лекции, чит. студ. Ин-та Сел. Хоз-ва и Лесоводства в Ново-Александрии. Санкт-Петербург : тип. И.Н. Скороходова, 1901. Вып. 3 : Описательное почвоведение. География и картография почв. Бонитировка почв. 212 с.
- Сибірцев Н.М. Почвоведение: лекции, чит. студ. Ин-та Сел. Хоз-ва и Лесоводства в Ново-Александрии / [биогр. очерк, библиогр. и предисл. П. Баракова]. 2-е изд., посмерт. Санкт-Петербург : типо-литогр. М.П. Фроловой, 1909. 504 с.
- Сибірцев Н.М. Почвоведение: лекции, чит. студ. Ин-та Сел. Хоз-ва и Лесоводства в Ново-Александрии / [биогр. очерк, библиогр. и предисл. П. Баракова]. 3-е изд., посмерт. Санкт-Петербург : типо-литогр. М.П. Фроловой, 1914. 504 с.
- Сибірцев Н.М. Программа для исследования почв в поле (собираение почвенных образцов). Б.м., [1896]. 17 с.
- Сибірцев Н.М. Сообщение о Нижегородском земском музее // Труды состоящей при I отделении Императорского Вольного Экономического Общества Почвенной Комиссии 1888–1889 гг. Санкт-Петербург : тип. В. Демакова, 1889. Вып. 1. С. 26–27.
- Глинка К.Д., Сибірцев Н.М., Отоцкий П.В. Хреновский участок // Труды Экспедиции, снаряженной Лесным Департаментом, под руководством проф. Докучаева. Отчет М-ву Земледелия и Гос. Имуществ. Научный отдел. Т. 1. Оро-гидрология, геология, почвы и ґрунтовые воды. Санкт-Петербург, 1894. Вып. 1. 122 с.
- Докучаев В.В., Сибірцев Н.М. Отчет Министерству Земледелия и Государственных Имуществ: введение // Труды экспедиции, снаряженной Лесным Департаментом, под руководством профессора Докучаева. Санкт-Петербург : изд. М-ва Земледелия и Гос. Имуществ, 1894. 42 с.

Видання про М.М. Сибірцева (з фонду Фундаментальної бібліотеки ХНАУ):

- Бараков П.Ф. Н.М. Сибирцев, его жизнь и деятельность // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 4. С. 243–245.
- Бараков П.Ф. Предисловие // Сибирцев Н.М. Почвоведение: лекции, чит. студ. Ин-та Сел. Хоз-ва и Лесоводства в Ново-Александрии. Санкт-Петербург : тип. И.Н. Скороходова, 1901. Вып. 2. С. III–XII.
- Бараков П.Ф. Список ученых трудов Н.М. Сибирцева // Записки Ново-Александрийского Института Сельского Хозяйства и Лесоводства. Варшава, 1901. Т. 14, вып. 1. С. 6–9. 53 назв.
- Богословский Н.А. Деятельность Сибирцева в Нижегородском земстве // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 4. С. 252–258.
- Глинка К.Д. Научная деятельность Сибирцева // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 4. С. 245–251.
- Ґрунтознавство в Україні: історія і сучасність : монографія / Д.Г. Тихоненко, В.А. Вергунов, М.О. Горін, Н.М. Новосад ; за ред. Д.Г. Тихоненка. Харків : Майдан, 2016. 408 с.
- Жидких І.П., Голікова О.М. Увічнення пам'яті видатного вченого-ґрунтознавця М.М. Сибірцева (1860–1900) // Знання. 2015. № 9–10. С. 7. URL: <http://dspace.knau.kharkov.ua/jspui/handle/123456789/1814>
- Крупеников И.А. История почвоведения от времени его зарождения до наших дней. Москва : Наука, 1981. С. 182–191.
- Крупеников И.А. Николай Михайлович Сибирцев (1860–1900) / отв. ред. Г.В. Добровольский. Москва : Наука, 1979. 109 с.
- Мацевич К.А. Сибирцев как профессор // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 4. С. 264–269.
- Мигунова Е.С., Гладун Г.Б. В.В. Докучаев и лесоводство. 2-е изд., доп. Сумы, 2010. С. 29–33; 123–124; 147; 399–400; 404–407.
- Мигунова Е.С. Школа В.В. Докучаева и вопросы географии // Лесная типология. Харьков : Новое слово, 2009. С. 24–60.
- Мигунова Е.С. Лесоводство и естественные науки (ботаника, география, почвоведение) : монография. 2-е изд., дораб. и доп. Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. С. 395–412.
- Отоцкий П.В. Сибирцев как человек // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 4. С. 271–276.
- Профессор Н.М. Сибирцев. Некролог // Записки Ново-Александрийского Института Сельского Хозяйства и Лесоводства. Варшава, 1901. Т. 14, вып. 1. С. 1–6.
- Сибірцев Микола Михайлович (1860–1900) // Докучаєвці. 1816–2016 / Харк. нац. аграр. ун-т ім. В.В. Докучаєва. Харків, 2016. С. 123. URL: <http://dspace.knau.kharkov.ua/jspui/handle/123456789/555>
- Н.М. Сибирцев. Некролог // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 3. С. 173.
- Сибирцев Н.М. // Энциклопедический словарь / изд. Ф.А. Брокгауз, И.А. Ефрон. Санкт-Петербург : тип. АО «Брокгауз-Ефрон», 1900. Т. 27-а, полутом 58. С. 748.
- Соболев С.С. Роль Н.М. Сибирцева в создании почвоведения // Н.М. Сибирцев. Избр. соч. : в 2 т. Москва : Сельхозгиз, 1951. Т. 1. С. 5–18.
- Соболев С.С. Роль Н.М. Сибирцева в изучении русских почв // Н.М. Сибирцев. Избр. соч. : в 2 т. Москва : Сельхозгиз, 1953. Т. 2. С. 5–16.
- Список научных работ Н.М. Сибирцева: (в хронологическом порядке) / сост.: Н.А. Богословский, К.Д. Глинка, Н.И. Криштафович, П.В. Отоцкий // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 4. С. 276–281. 81 назв.
- Тихоненко Д.Г. Историчний нарис кафедри ґрунтознавства Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва (1894–2015 рр.). Харків : Майдан, 2015. 60 с.
- Ферхмин А.Р. Сибирцев как человек // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 4. С. 269–271.
- Фортунатов А.Ф. Статистическая деятельность Сибирцева // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 4. С. 243–276.

Список цитованих джерел

1. Бараков П.Ф. Предисловие // Сибирцев Н.М. Почвоведение: лекции, чит. студ. Ин-та Сел. Хоз-ва и Лесоводства в Ново-Александрии. Санкт-Петербург : тип. И.Н. Скороходова, 1901. Вып. 2. С. III–XII.
2. Тихоненко Д.Г. Историчний нарис кафедри ґрунтознавства Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва (1894–2015 рр.). Харків : Майдан, 2015. 60 с.
3. Богословский Н.А. Деятельность Сибирцева в Нижегородском земстве // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 4. С. 252–258.
4. Фортунатов А.Ф. Статистическая деятельность Сибирцева // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 4. С. 243–276.
5. Соболев С.С. Роль Н.М. Сибирцева в изучении русских почв // Н.М. Сибирцев. Избр. соч. : в 2 т. Москва : Сельхозгиз, 1953. Т. 2. С. 5–16.
6. Глинка К.Д. Научная деятельность Сибирцева // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 4. С. 245–251.
7. Мацевич К.А. Сибирцев как профессор // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 4. С. 264–269.
8. Отоцкий П.В. Сибирцев как человек // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 4. С. 271–276.
9. Ферхмин А.Р. Сибирцев как человек // Почвоведение. Санкт-Петербург, 1900. Т. 2, № 4. С. 269–271.
10. Крупеников И.А. Николай Михайлович Сибирцев (1860–1900) / отв. ред. Г.В. Добровольский. Москва : Наука, 1979. 109 с.

UDC 631.4(092)

Nikolay Mikhailovich Sibirtsev. The 160th anniversary of the birth of a famous soil scientist, geologist and agronomist**O.D. Kandaurova*, I.P. Zhydkykh******Fundamental library of Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchaev, Kharkiv, Ukraine***E-mail:* *e.kandaurova@ukr.net; ** kerdvar76@gmail.com

The article is dedicated to the 160th anniversary of the birth of a famous soil scientist, the head of the world first department of soil science at the Novo-Alexandria Institute of Agriculture and Forestry (now Kharkiv National Agrarian University (KhNAU) named after V.V. Dokuchaev) Soil Science (1900) for high school students. The article presents in chronological order the main stages of a short but colorful life of a scientist, who is called one of the co-founders of scientific soil science. M.M. Sibirtsev began his work as a chairman of the department with extensive experience as a scientist and practice in territorial research and soil mapping. He participated in the expedition of V.V. Dokuchaev studied geological structure and soils of the Nizhny Novgorod province, then organized a museum of nature in the Nizhny Novgorod region, was an official assistant to V.V. Dokuchaev, as head of the Special Expedition of the Forest Department, participated in the development of the program of this expedition in 1892–1894. Sibirtsev organized educational, scientific and methodological work at the department, developed a program in soil science for agronomists and foresters, which consisted of a lecture course and laboratory and practical classes. Particular attention is paid to the methodology of field practice of students. The scientist organized the work of chemical laboratories at the department, where each student had a workplace, chemical utensils and reagents for analytical work. The students' analysis of field and laboratory research materials was the basis for determining soil fertility and carrying out land evaluation works - soil assessment, the method developed by V.V. Dokuchaev, and supplemented by M.M. Sibirtsev. The bibliography of the article includes a list of scientific works of a scientist from the Fund of the Fundamental Library of KhNAU, as well as publications about the life and work of N.N. Sibirtsev. The text of the article contains quotes from the memoirs of the contemporary scientist and the historical essays of his students and scientific descendants.

Keywords: Sibirtsev M.M.; Novo-Alexandria Institute of Agriculture and Forestry; soil science; Department of Soil Science; KhNAU named after V.V. Dokuchaev.

Citing: Kandaurova O.D., Zhydkykh I.P. 2020. Nikolay Mikhailovich Sibirtsev. The 160th anniversary of the birth of a famous soil scientist, geologist and agronomist. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 98-104. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-11>.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ RESEARCH of YOUNG SCIENTISTS

УДК: 631.6.02

Порівняльна характеристика властивостей чорнозему південного на вододілі та схилі у Правобережному Степу України

Н.В. Вільна*

Миколаївський національний аграрний університет, Миколаїв, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 24.05.2019 Отримано після доопрацювання 09.03.2020 Затверджено до друку 16.03.2020 Доступно онлайн 01.06.2020</p> <hr/> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>вододіл; ерозія; параметри родючості; схил; чорнозем південний.</p>	<p>В Україні схилі ґрунти займають значні площі. Більшість із них зазнають шкоди від одного з основних видів деградації ґрунтів – ерозії. Ефективна боротьба з ерозією повинна будуватися на науковій основі, з аналізом основних показників родючості ґрунту окремо для кожного агроландшафту. Тому метою досліджень було порівняти основні характеристики родючості чорнозему південного важкосуглинкового на лесі у Правобережному Степу України на вододілі та на схилі задля визначення впливу ерозії на властивості схилового ґрунту. Окремим завданням було створення набору основних критеріїв родючості з існуючого переліку фізичних, фізико-хімічних та хімічних властивостей ґрунту. На підставі опрацювання літературних даних було відібрано такі показники: вміст гумусу, рухомих сполук фосфору та калію; вміст гранулометричної фракції <0,01 мм; рН ґрунтового розчину; щільність будови ґрунту. Польовими та лабораторними дослідженнями визначено, що ґрунт на схилі має такі відмінності порівняно з ґрунтом на вододілі: зменшену (на 25 %) потужність гумусового генетичного горизонту; менший вміст гумусу; набагато менший вміст рухомого фосфору, особливо у шарі нижче 40 см; менший (в орному шарі) вміст калію, що може бути наслідком змиву верхнього найбільш гумусованого та родючого шару ґрунту. Параметри щільності будови та рН ґрунтового розчину суттєво не відрізняються у профілях обох ґрунтів. За гранулометричним складом досліджувані ґрунти важкосуглинкові у всьому профілі і не відрізняються за вмістом гранулометричної фракції <0,01 мм в окремих генетичних горизонтах. Висновки з результатів роботи можуть бути використані для подальшого планування землекористування у межах агроландшафту і враховані у розробці ґрунтозахисних технологій та протиерозійних агротехнічних заходів.</p>

* E-mail: natali.novaya1606@gmail.com

Форма цитування: Вільна Н.В. Порівняльна характеристика властивостей чорнозему південного на вододілі та схилі у Правобережному Степу України. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 105-110. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-12>.

1. Вступ

У сучасних умовах сільськогосподарського виробництва, коли у більшості випадків нехтуються елементарні правила землекористування та закони землеробства, а на першому місці є здобування максимальних прибутків при мінімальних витратах тут і зараз і без думки про майбутнє, важливе місце має належати проблемі запобігання й усунення деградації та формуванню стратегії охорони ґрунтів. Особливої уваги потребують схилі агроландшафти.

За експертними оцінками в різних фізико-географічних регіонах України до 30-60 % площі сільськогосподарських угідь розташовано на схилах [1]. Властивості цих ґрунтів обумовлені, з одного боку, орієнтацією схилів до площини горизонту, а з іншого – ступенем розвитку ерозійних процесів, які є одним із основних видів деградації ґрунту. Вважають [2], що внаслідок нерівномірного розподілу опадів і різного температурного режиму на схилах різної експозиції та крутості формуються відмінні від ґрунтів вододільних територій ґрунти з меншою потужністю гумусового горизонту. На рівнинних ділянках більша частина вологи опадів сприймається (поглинається) ґрунтом, тоді як на схилах, за високої інтенсивності опадів, значна частка вологи втрачається із поверхневим стоком. При цьому відбувається міграція твердих частинок вниз по схилу. В умовах півдня України у більшості випадків опади носять зливовий характер, що сприяє збільшенню інтенсивності потоків та розвитку ерозійних процесів [3].

В Україні ерозія ґрунтів, як один із основних видів деградації, поширена на значній площі. Так, за експертними даними, водна ерозія поширена на території близько – 13,3 млн га, із них 10,6 млн га – орні землі [4].

Негативна дія ерозійних процесів проявляється, перш за все, у зменшенні потужності гумусового горизонту внаслідок змивання верхнього шару ґрунту. При цьому

відбувається також винесення з потоками води поживних речовин за межі поля. До складу еродованих земель входять 4,5 млн га із середньо- та сильнозмитими ґрунтами, у тому числі, 68 тис. га повністю втратили гумусовий горизонт [5]. Внаслідок таких процесів із ґрунту втрачається значна частина поживних речовин, що своєю чергою, є причиною зниження урожайності сільськогосподарських культур та якості вирощеної продукції.

Для підвищення ефективності використання схилівих ґрунтів та розробки науково обґрунтованих методів захисту ґрунтів від ерозії необхідно мати конкретні дані щодо фактичного значення показників родючості на певній території. Тому метою даної роботи є порівняння якості орного чорнозему південного на вододілі та схилі з використанням такого набору основних властивостей і характеристик, яким найбільшою мірою можливо визначити рівень родючості ґрунту.

2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Для досягнення мети було проведено польові та лабораторні дослідження. У Миколаївському районі Миколаївської області було закладено два розрізи – на вирівняній частині вододілу та на схилі. Експозиція схилу – південна, довжина схилу – 1530 м, крутість – 1,9 %. Ґрунт на обох об'єктах – чорнозем південний важкосуглинковий на лесі. Ґрунт на схилі визначено як еродований. Профілі відрізняються потужністю гумусового (Н) генетичного горизонту. Координати закладених ґрунтових розрізів та потужність генетичних горизонтів наведено у таблиці.

Таблиця

Координати розрізів та потужність генетичних горизонтів чорнозему південного

Ґрунт	Географічні координати		Генетичний горизонт	Потужність і глибина залягання горизонту, см
	N	E		
Чорнозем південний важкосуглинковий нееродований на вододілі (ЧПне)	46°53'54,0"	031°40'55,9"	H	37 (0-37)
			Hp	15 (37-52)
			Ph k	25 (52-77)
			P k	– (77 і нижче)
Чорнозем південний важкосуглинковий еродований на схилі (ЧПе)	46°53'41,7"	031°40'37,0"	H	28 (0-28)
			Hp	17 (28-45)
			Ph k	23 (45-68)
			P k	– (68 і нижче)

З кожного розрізу було відібрано проби ґрунту через кожні 10 см профілю до глибини 120 см у порушеному та непорушеному станах. У лабораторних умовах, згідно зі стандартизованими методиками, визначали такі властивості ґрунтів: гранулометричний склад [6]; щільність будови ґрунту [7]; рН_{Н2О} ґрунтового розчину [8]; вміст гумусу [9]; вміст рухомих сполук фосфору і калію за Мачигінієм [10].

3. Результати досліджень та їх обговорення

3.1. Визначення переліку досліджуваних показників

Згідно з Державним стандартом України [11] під родючістю ґрунту слід розуміти здатність ґрунту задовольняти потреби рослин в елементах живлення, воді, повітрі та теплі в достатній кількості для їхнього нормального розвитку, що є основним сільськогосподарським критерієм якості ґрунту. В той же час родючість ґрунту – поняття досить широке, оскільки включає велику кількість факторів і умов.

Що стосується ґрунтів Правобережного Степу України, то згідно з роботами щодо їх бонітування [12], найбільш тісно корелюють з урожайністю сільськогосподарських культур такі показники – діапазон активної вологи, потужність кореневмісного шару ґрунту, вміст гумусу, вміст рухомого фосфору та калію, рН ґрунтового розчину, вміст гранулометричної фракції <0,01 мм, щільність будови, та питомий опір ґрунту. Враховуючи, що діапазон активної вологи та питомий опір ґрунту, перш за все, залежать від показників гранулометричного складу [13], який у досліджуваних нами об'єктах є досить одноманітним (важкосуглинкові ґрунти з вмістом фракції <0,01 мм 55-60 %), то є

можливість скоротити перелік власне ґрунтових показників. Тому можна вважати, що найбільш повну характеристику родючості ґрунту дають такі показники – вміст гумусу, вміст рухомих форм фосфору і калію, рН ґрунтового розчину, вміст гранулометричної фракції <0,01 мм і щільність будови ґрунту. При цьому необхідно відмітити, що у характеристиці впливу ерозії на ґрунт одне з перших місць належить потужності гумусового горизонту.

3.2. Порівняння деяких параметрів властивостей ґрунту на вододілі та схилі

Ерозія ґрунту, як відомо, впливає, перш за все, на потужність гумусового горизонту. Польові дослідження показали (Табл.), що за глибиною гумусованого профілю (Н+Нр+Ph) чорнозем південний обох об'єктів є середньопотужним (65-85 см). Однак потужність гумусового (Н) генетичного горизонту еродованого схилового ґрунту (ЧПне) є майже на 25 % меншою ніж ґрунту на вододілі (ЧПне).

Відомо, що в еродованих ґрунтах зменшується вміст гумусу [14]. Причиною цього є змив верхнього найбільш гумусованого шару ґрунту на схилі. На обох досліджуваних об'єктах найвищий вміст гумусу було зафіксовано у верхньому (0-10 см) шарі ґрунту – 4,1 % на вододілі та 3,6 % на схилі (Рис. (1)). В орному шарі середні значення вмісту гумусу становили 3,8 % у ЧПне та 3,4 % у ЧПе. Опрацювання літературних даних щодо впливу вмісту гумусу на урожайність сільськогосподарських культур [11, 12] показало, що в умовах Степу України вміст гумусу в орному шарі 3,5 % можна вважати «критичним» значенням для сільськогосподарських культур. А тому, зважаючи на можливі допустимі похибки в лабораторних дослідженнях, можна зробити висновок, що в обох ґрунтах вміст гумусу є оптимальним для вирощування сільськогосподарських культур.

Очікувано констатовано зниження вмісту гумусу вниз по профілю, що пояснюється зменшенням у нижніх шарах ґрунту як кількості рослинних решток, так і ґрунтових мікроорганізмів, які, як відомо [15], сприяють розкладанню перших.

У досліджуваному еродованому ґрунті різко знижується вміст рухомих форм фосфору порівняно з нееродованим [16]. Особливо це помітно у нижніх шарах досліджуваних ґрунтів (Рис. (2)). Проаналізувавши ряд літературних джерел, зокрема [11, 17], визначили, що вміст у ґрунті рухомого фосфору вище ніж 45 мг/кг є оптимальним для рослин. А тому можна зробити висновок, що сільськогосподарські рослини на обох ґрунтах, як на схилі, так і на вододілі недостатньо забезпечені рухомим P_2O_5 , що може бути причиною значних недоборів врожаїв.

Вміст рухомих сполук калію в ґрунті на досліджуваних об'єктах коливається в широких межах – від 74,4 до 430,2 мг/кг ґрунту (Рис. (3)). При цьому, як на вододілі, так і на схилі, найбільша кількість його міститься у верхніх шарах ґрунту. Однак на схилі, де мають місце процеси водної ерозії, кількість K_2O у верхньому шарі менша порівняно з вододілом. Крім того, розраховано валові запаси калію у метровому шарі ґрунту та в орному шарі (0-30 см) – на схилі валовий запас K_2O майже на 9 % менший ніж на вододілі, де він становить 1045,5 кг/га.

Дані щодо впливу калію на продуктивність ґрунтів, що приведено в роботах [12, 18] дали змогу встановити, що оптимальним значенням є вміст K_2O більше ніж 300 мг/кг ґрунту. А тому, виходячи зі здобутих результатів, можна зробити висновок, що як на нееродованому ґрунті вододілу, так і на схиловому еродованому ґрунті рослини недостатньо забезпечені калієм.

Слід відмітити, що розподіл рухомих форм фосфору та калію по профілю є нерівномірним – спочатку кількість їх зменшується до певного рівня, а потім поступово збільшується. Можливо це пов'язано з особливостями споживання цих елементів кореневою системою вирощуваних сільськогосподарських культур. При цьому у материнській породі є досить значні запаси P_2O_5 і K_2O , тому з наближенням до нижніх шарів, де, як відомо, кореневі маси зменшуються, кількість цих елементів збільшується.

Оптимальним діапазоном значень рН ґрунтового розчину вважається діапазон від 6,5 до 7,7, що є найбільш сприятливим для росту і розвитку сільськогосподарських культур [11]. Реакція ґрунтового розчину досліджуваних ґрунтів як на вододілі, так і на схилі коливається в межах значень 6,1-7,2 (Рис. (4)), які в обох випадках збільшуються вниз по профілю, хоч і незначно. У нееродованому чорноземі південному значення змінюються в середньому від 6.1 у шарі 0-30 см до 7,2 у шарі 110-120 см, та відповідно від 6,1 до 7,1 в еродованому ґрунті схилу. Зростання значень рН по профілю пов'язано зі збільшенням вмісту карбонатів у нижніх шарах ґрунту.

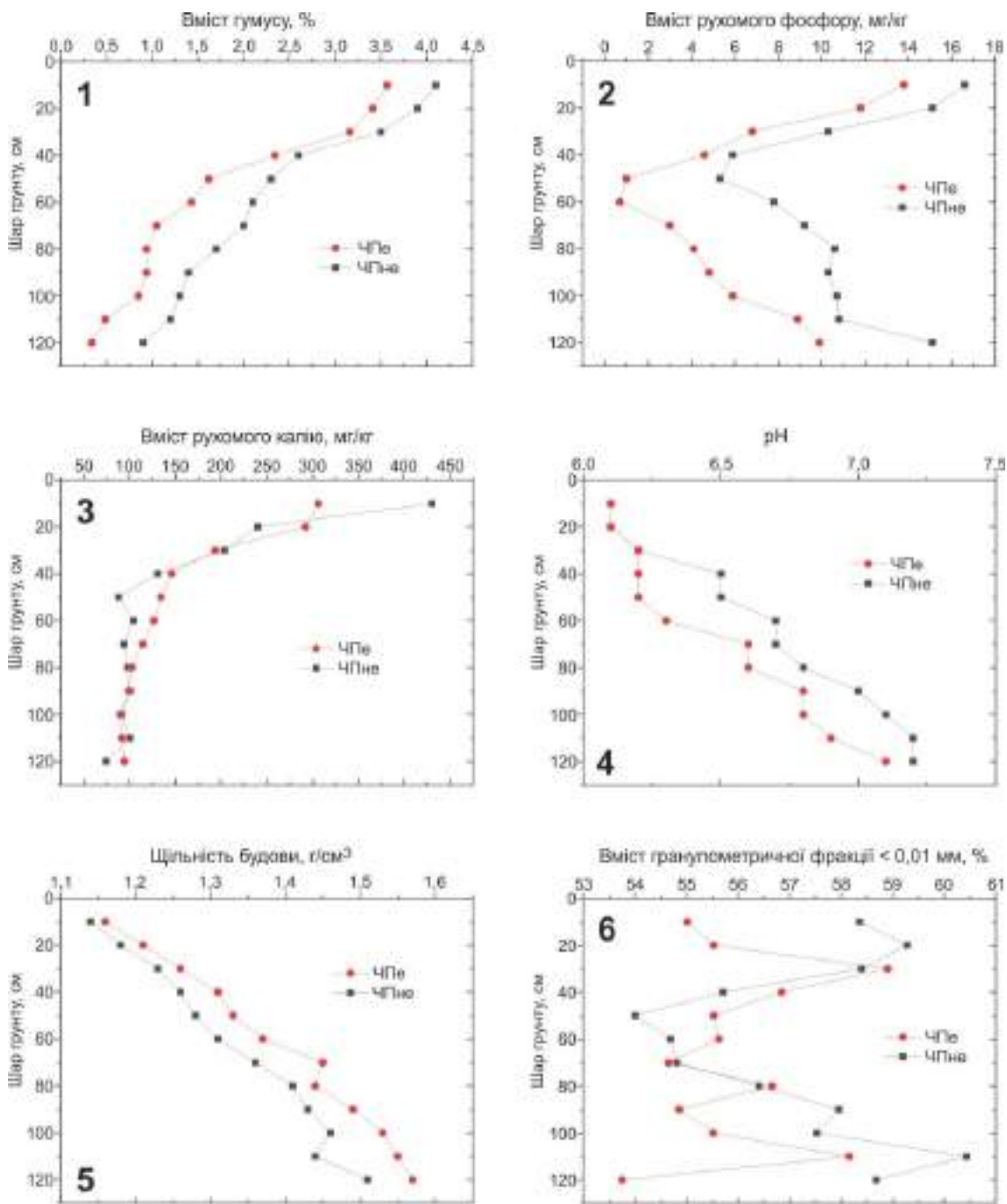


Рисунок. Розподіл у профілі чорноземів південних (нееродованого на вододілі (ЧПне) та еродованого на схилі (ЧПе)) параметрів їх властивостей: 1 – вміст гумусу (%); 2 – вміст рухомого фосфору (мг/кг); 3 – вміст рухомого калію (мг/кг); 4 – рН; 5 – щільність будови (г/см³); 6 – вміст суми гранулометричних фракцій <0,01 мм (%).

На сьогодні за інтегрований показник фізичного стану ґрунту більшість дослідників приймають показник щільності будови ґрунту, що свідчить про характер розміщення мікро- і макроагрегатів у ґрунті і, в кінцевому рахунку, визначає практично всі його фізичні властивості [19]. Як відомо, оптимальною для більшості сільськогосподарських культур є рівноважна щільність будови ґрунту у межах орного шару 1,2-1,3 г/см³, з підвищенням щільності до 1,5-1,6 г/см³ ефективність землеробства значно знижується [20]. Еродовані ґрунти схилів зазвичай більш ущільнені порівняно з ґрунтами вододілу [21]. Результати вимірювань показали, що середня щільність будови чорнозему південного в орному шарі, як на вододілі, так і на схилі, є оптимальною і становить 1,18 і 1,21 г/см³ відповідно (Рис. (5)). В обох профілях щільність з глибиною зростає. Це, очевидно, пояснюється поганою аерацією нижніх шарів ґрунту і низьким вмістом гумусу.

Щодо гранулометричного складу досліджуваних ґрунтів, то він більш одноманітний. Вміст фізичної глини (елементарних часточок розміром <0,01 мм) знаходиться в межах 53,8-60,4 %, в орному шарі в середньому становить 58,7 % у ЧПне та 56,5 % у ЧПе. Таким чином досліджувані ґрунти і вододілу і схилю відносяться до важкосуглинкових (Рис. (6)).

4. Висновки

1. На основі опрацювання літературних джерел було створено набір основних критеріїв родючості чорнозему південного Правобережного Степу України з існуючого переліку фізичних, фізико-хімічних та хімічних властивостей ґрунту: вміст гумусу, рухомих сполук фосфору та калію, рН ґрунтового розчину, щільність будови ґрунту та вміст гранулометричної фракції <0,01 мм.

2. Польовими та лабораторними дослідженнями визначено, що еродований ґрунт на схилі має такі відмінності порівняно з ґрунтом на вододілі: зменшену (на 9 см) потужність гумусового горизонту; менший (на 13 відсотків) вміст гумусу у верхньому шарі; менший вміст рухомого фосфору, особливо у шарі нижче 40 см; менший (в орному шарі) вміст калію, що може бути наслідком змиву верхнього найбільш гумусованого та родючого шару ґрунту. Параметри щільності будови та рН ґрунтового розчину суттєво не відрізняються по всьому профілю і в обох випадках незначно збільшуються вниз по профілю; щільність будови в обох ґрунтах є оптимальною для вирощування більшості сільськогосподарських культур регіону; за гранулометричним складом досліджувані ґрунти важкосуглинкові у всьому профілі і суттєво не відрізняються за вмістом гранулометричної фракції <0,01 мм в окремих генетичних горизонтах.

3. Результати досліджень можуть бути використані для планування подальшого сільськогосподарського менеджменту ґрунтів, розробки ґрунтозахисних агротехнологій та планування агрохімічних заходів.

Список використаних джерел

1. Природний механізм захисту схилових ґрунтів від водної ерозії / М.І. Полупан, С.А. Балюк, В.Б. Соловей [та ін.] за ред. М.І. Полупана. Київ: Фенікс, 2011. 144 с.
2. Особенности склонового почвообразования и развитие эрозии /Н.И. Полупан, В.Б. Соловей, М.Н. Склярёвская, В.А. Мирошниченко. *Вісник аграрної науки*. 1996. № 7. С. 15-23.
3. Наукові та прикладні основи захисту ґрунтів від ерозії в Україні / С.А. Балюк, Д.О. Тімченко, М.М. Гічка [та ін.]. Харків: Видавничий центр НТУ „ХПІ”. 2010. 459 с.
4. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня/ С.А. Балюк, В.В. Медведєв, Л.І. Воронинцева, В.В. Шимель. *Вісник аграрної науки*. № 8. 2017. С. 5–11. DOI: 10.31073/agrovisnyk201708-01
5. Концепція охорони ґрунтів від ерозії в Україні / С.А. Балюк, Д.О. Тімченко, М.М. Гічка, В.М. Куценко. Харків, 2008. 60 с.
6. Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського: ДСТУ 4730:2007 [Чинний від 2008-10-01]. Київ: Держспоживстандарт України. 2008. 18 с.
7. Якість ґрунту. Визначання щільності складення на суху масу: ДСТУ ISO 11272:2001 (ISO 11272:1998, IDT). [Чинний від 2003-07-01.]. Київ: Держспоживстандарт України. 2003. 15 с.
8. Якість ґрунту. Визначення рН: ДСТУ ISO 10390:2007 (ISO 10390:2005, IDT). [Чинний від 2007-10-01.]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 8 с.
9. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини: ДСТУ 4289:2004. [Чинний від 2004-30-04]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.
10. 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.
11. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів : ДСТУ 4362:2004. [Чинний від 2006-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 22 с.
12. Медведєв В.В., Плиско І.В. Бонитировка и качественная оценка пахотных земель Украины. Харьков: Изд-во «13 типография», 2006. 386 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/384956/>.
13. Медведєв В.В., Лактионова Т.Н., Донцова Л.В. Водные свойства почв Украины и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур. Харьков: Апостроф, 2011. 224 с.
14. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України / Балюк С.А., Медведєв В.В., Тараріко О.Г. [та ін.]. Київ: ТОВ "ВИК ПРИНТ", 2010. 112 с.
15. Самойлова Е.М. Сизов А.П., Яковченко В.П. Органическое вещество почв Черноземной зоны : научное издание / отв. ред. В.А. Ковда. Институт ботаники им. Н.Г. Холодного. Киев: Наукова думка, 1990. 120 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/1148315/>.
16. Носко Б.С. Баланс фосфора в системе почва – удобрения – растения. *Агрохімія*. 1990. №11. С. 71-82.
17. Носко Б.С. Фосфатний режим ґрунтів і ефективність добрив. Київ: Урожай, 1990. 223 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/542075/>.
18. Носко Б.С. Антропогенна еволюція чорноземів. Харків: Вид. «13 типографія», 2006. 239 с.

19. 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.

20. Медведев В.В., Лактионова Т.Н. Почвенно-технологическое районирование пахотных земель Украины. Харьков: Изд-во «13 типография», 2007. 395 с.

21. Садова Д.Ш. Основні властивості схилових чорноземних ґрунтів Правобережного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2018. № 104. С. 195-199. URL: http://tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/104_2018/32.pdf.

UDC: 631.6.02

Comparative characteristics of chernozem southern properties on the watershed and slope in the Right-bank Steppe of Ukraine

N.V. Vilna*

Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, Ukraine

*E-mail: natali.novaya1606@gmail.com

In Ukraine, slope soils cover a large area. Most of them suffer from one of the main types of soil degradation - erosion. Effective erosion control should be built on a scientific basis, with an analysis of the main soil fertility indices for each agro-landscape. The purpose of the study was to compare the basic fertility characteristics of chernozem southern heavy loam on the loess in the Right-bank Steppe of Ukraine on the watershed and on the slope to determine the effect of erosion on the slope soil properties. A separate task was to create a set of basic criteria for fertility control from the existing soil physical, physical-chemical and chemical properties. Based on the literature data, the following indicators were selected: content of humus, mobile phosphorus and potassium compounds; percentage of granulometric fraction <0.01 mm; pH of soil solution; bulk density. With field and laboratory studies we determined that the soil on the slope has the following differences compared to the soil on the watershed: reduced (by 25 %) the depth of the humus genetic horizon; less humus content; much lower content of mobile phosphorus, especially in the layer below 40 cm; lower (in the arable layer) content of potassium, which can be a consequence of the water erosion in the top, most humus and fertile, soil layer. The bulk density parameters and the pH of the soil solution do not differ significantly in the profiles of both soils. In terms of the particle size distribution, the soils are loamy throughout the profile and do not differ in the content of particle size fraction <0.01 mm in individual genetic horizons. The findings of the work can be used to further plan land use within the agricultural landscape and taken into account in the development of soil protection technologies and anti-erosion agro-technical measures.

Keywords: chernozem southern; erosion; fertility parameters; slope; watershed.

Citing: Vilna N.V. 2020. Comparative characteristics of chernozem southern properties on the watershed and slope in the Right-bank Steppe of Ukraine. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 105-110. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-12>.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**АГРОХІМІЯ і
ГРУНТОЗНАВСТВО**

Випуск 89

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;
www.agrochemsoilsci.org**

Підписано до друку .07.2020. Формат 6090/8.
Папір офсетний. Гарнітура «Таймс».
Наклад 50 пр. Зам. №

Надруковано у ТОВ «Смугаста типографія»
Україна, 61002, Харків, вул. Чернишевська, 28а.
057 754-49-42