

УДК 31.48: 631.445.4 (477.53)

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2022.01.018>

Пономаренко О. М., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5179-6091>,
 Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, Київ
Никифоров В. В., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8917-2340>,
 Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук
Яковенко В. М., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1635-5565>,
 Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Зміни хімічних і мікроморфологічних властивостей ґрунтів Полтавської області України за останні 130 років

Мета наукової публікації — порівняльний аналіз хімічного складу та мікробудови сучасних проб чорноземів типових (*Vermic Haplic Chernozem*) і лучно-типовочорноземних ґрунтів (*Gleyic Chernozem*) із зразками 130-річної давнини, відібраними В. І. Вернадським на території Кременчуцького району Полтавської області. Вікові зміни вмісту органічної речовини і оксидів виявили суттєві відмінності в генезисі природних та агрогенних едафотопів південної частини Полтавської області. В умовах природних едафотопів зафіксовано збільшення загального вмісту гумусу в середньому на 0,8 % у п'яти випадках із шести. Натомість для всіх проб ґрунту із агрогенних едафотопів зафіксовано зменшення вмісту гумусу в середньому на 1,1 %. Установлено незначне (у 1,1 раза), але більш інтенсивне зростання вмісту кремнезему (SiO_2) в агрогенних едафотопах (майже на 10 %), порівняно з едафотопами природних біогеоценозів (на 5,5 %), а також збільшення вмісту глинозему (Al_2O_3) у середньому у 2 рази (на 3,7 %). Зареєстровано зниження вмісту сполук фосфору в середньому в 1,4 рази (на 0,1 %) на тлі збільшення вмісту речовин, що містять калій у 7,5 рази (на 1,4 %). Виявлено однотипність мікрморфологічної організації органогенних і мінеральних компонентів ґрунтів сучасних зразків і зразків, відібраних 130 років тому. На основі результатів досліджень сформульовано рекомендації для наукового обґрунтування комплексного проекту природоохоронних заходів, спрямованих на збереження і збалансоване використання полтавських ґрунтів.

Ключові слова: генезис ґрунтів, чорноземи типові, лучно-типовочорноземні ґрунти, загальний вміст гумусу, мінералогічний склад ґрунту, мікрморфологія ґрунтів.

UDC 31.48: 631.445.4 (477.53)

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2022.01.018>

Ponomarenko, O. M., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5179-6091>
 M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of Ukraine NAS, Kyiv
Nykyforov, V. V., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8917-2340>
 Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk
Yakovenko, V. M., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1635-5565>
 Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

Changes of Chemical and Micromorphological Properties of Poltava Region Soils of Ukraine for the Last 130 Years

The purpose of the scientific publication is a comparative analysis of the chemical composition and microstructure of modern samples of typical chernozems (*Vermic Haplic Chernozem*) and meadow-typical chernozem soils (*Gleyic Chernozem*) with 130-year-old samples taken by V. I. Vernadsky in the Kremenchuk district of Poltava region. Age-related changes in the content of organic matter and oxides revealed significant differences in the genesis of natural and agrogenic edaphotopes of the southern of Poltava region. In the conditions

© Пономаренко О. М., Никифоров В. В., Яковенко В. М., 2022.

of natural edaphotopes, an increase in the total humus content by an average of 0.8 % in five cases out of six is recorded. On the other hand, for all soil samples from agrogenic edaphotopes, a decrease in the humus content by an average of 1.1 % is identified. A slight (1.1 times) but more intense increase in the content of silica (SiO_2) in agrogenic edaphotopes (almost 10 %), compared with edaphotopes of natural biogeocenoses (by 5.5 %), as well as an increase in the content of alumina (Al_2O_3) on average in two times (by 3.7 %) are established. A decrease in the content of Phosphorus compounds by an average of 1.4 times (by 0.1%) against the background of an increase in the content of substances containing Potassium by 7.5 times (by 1.4 %) is registered. The homogeneity of the micromorphological organization of organogenic and mineral components of soils of modern samples and samples taken 130 years ago is revealed. Based on the research results, recommendations for the scientific substantiation of a comprehensive project of environmental measures aimed at protection and balanced uses of Poltava soils are formulated.

Keywords: soil genesis, typical chernozems, meadow-typical chernozem soils, total humus content, mineralogical composition of soil, soil micromorphology.

Актуальність теми дослідження

Головною і найціннішою властивістю ґрунту є його родючість, що зумовлена вмістом гумусу. В результаті агрогенного впливу відбувається його втрата, що спричинює зниження родючості ґрунту. За таких обставин людина змушена підтримувати її шляхом внесення мінеральних і органічних добрив. Подібні заходи призводять до нових екологічних проблем. Тож збереження і підтримка природної родючості ґрунтів, і, в першу чергу, чорноземів, є актуальною сучасною проблемою, зокрема в умовах Полтавщини [1–3].

Історичний підхід в еколого-геохімічному аналізі, в тому числі ґрунтів, завжди був одним з основних. Основою такого підходу є ідеї В. І. Вернадського [4–5] про циклічність біогеохімічних процесів на Землі і про поширеність хімічних елементів й зв'язків між біосферою та літосферою. Очевидно, що вивчаючи геохімічні релікти (кори вивітрювання, поховані ґрунти, рештки вимерлих організмів, педоседименти), можна відновити етапи геохімічного розвитку екосистеми, а також визначити сучасні її характеристики, необхідні для розв'язання актуальних проблем.

Стан вивчення питання, основні праці

В. І. Вернадський підкреслював, що ґрунту належить величезна роль, оскільки він містить багато живої речовини, накопичує органічні залишки з вільною хімічною енергією. На його думку, ґрунт — це «область найвищої геохімічної енергії живої речовини, найважливіша за своїми геохімічними наслідками лабораторія, в якій відбуваються біогеохімічні процеси» [4].

1892 р. В. І. Вернадський опублікував короткий геологічний нарис, складений за результатами експедиції, під час якої протягом двох місяців 1890 р. проводилося дослідження ґрунтів Кременчуцького повіту Полтавської губернії. Робота проводилася під керівництвом В. В. Докучаєва. Було створено карту ґрунтів і опис повіту. Також у нарисі наведено дані про

будову шести розрізів на відрізку між селами Омельник і Манжелія (14 км) [6–8]. На наш погляд, 130 років — цілком достатній для моніторингу едафотопів проміжок часу.

Здійснений нами огляд літературних джерел [9–14] підтверджує суттєву динаміку хімічних, фізичних і морфологічних показників едафотопів агробіоценозів, що зумовлює пріоритетність моніторингу якісного стану (родючості) ґрунтів серед інших систем екологічного моніторингу.

Мета цього дослідження — вивчення динаміки вмісту гумусу, оксидів ґрунту, а також мікробудови чорноземних і лучних ґрунтів Полтавщини та порівняння із зразками 130-річної давнини.

Методи дослідження

Для досягнення поставленої мети в південній частині Полтавської області (Кременчуцький район¹) було відібрано усереднені ґрунтові

зразки з тих самих місць, що і 1890 р. — у часи роботи експедиції під науковим керівництвом професора В. В. Докучаєва (рис. 1). У кожно-

¹ У адміністративних межах, що існували до набуття чинності Постанови Верховної Ради України від 17 липня 2020 р. № 807-IX «Про утворення та ліквідацію районів» (прим. ред.).



Рис. 1. а) Локалітети відбору сучасних ґрунтових проб: 1, 2, 3, 4 — Чорноземи типові (*Vermic Haplic Chernozem*); 5, 6 — Лучно-типовочорноземні ґрунти (*Gleyic Chernozem*). б) Кременчуцький повіт у 1892 р. [2].

му локалітеті відбір зразків ґрунту було виконано двічі: із едафотопу агроценозів (рілля) і природних або напівприродних біогеоценозів (лісові насадження, придорожні смуги, пасовищні луки тощо). Класифікаційне положення ґрунтів було визначено за національною [4] і міжнародною [5] класифікаціями.

Для виявлення змін вмісту гумусу і оксидів результати сучасних досліджень порівнювалися з даними про склад ґрунту, отриманими В. І. Вернадським. Матеріали Полтавської експеди-

ції В. В. Докучаєва, під час якої у Кременчуцькому повіті працював В. І. Вернадський, було надано Кременчуцьким краєзнавчим музеєм, а зразки ґрунтів, відібрані видатним ученим, — колекційним фондом Полтавського краєзнавчого музею. Мікроморфологічні дослідження проведено за допомогою мікроскопа "Bresser" з відеоокуляром 051012-VGA і растрового електронного мікроскопа PEM-106 В. Загальний вміст гумусу визначали методом І. В. Тюріна у модифікації В. М. Симакова [17].

Виклад основного матеріалу з обґрунтуванням наукових результатів

Зміни вмісту гумусу у ґрунтах за 130 років

Український чорнозем визнано Міжнародним бюро мір і ваг еталоном найродючішої землі на планеті, а його зразок представлено у Павільйоні де Бретей (*Pavillon de Breteuil*), що в передмісті Парижа. В Україні зосереджено 26 % чорноземів всієї планети, що завдяки своїй родючості можуть прогодувати, приблизно, 625 млн осіб. Загальна площа сільськогосподарських земель в Україні становить 42,7 млн га (71 % території країни). На одного мешканця нашої країни припадає 0,71 га. Ґрунт як біогенна речовина виконує в біосфері унікальну функцію. Найважливішою властивістю ґрунту є гумусованість. Зниження

його вмісту призводить до втрати родючості, від якої залежать базові показники наземних екосистем: продуктивність і стійкість. Тому визначення вмісту гумусу є обов'язковим елементом системи екологічного моніторингу.

Органічна складова едафотопу представлена здебільшого гумусовими речовинами (до 90 %) і лише невелика частина — негуміфікованими залишками рослинного, грибного і тваринного походження. Гумінові і фульвокислоти утворюються в результаті ферментативної біодеструкції органічних сполук. Гумусові речовини складаються з: карбону (до 65 %), кисню (до 50 %),

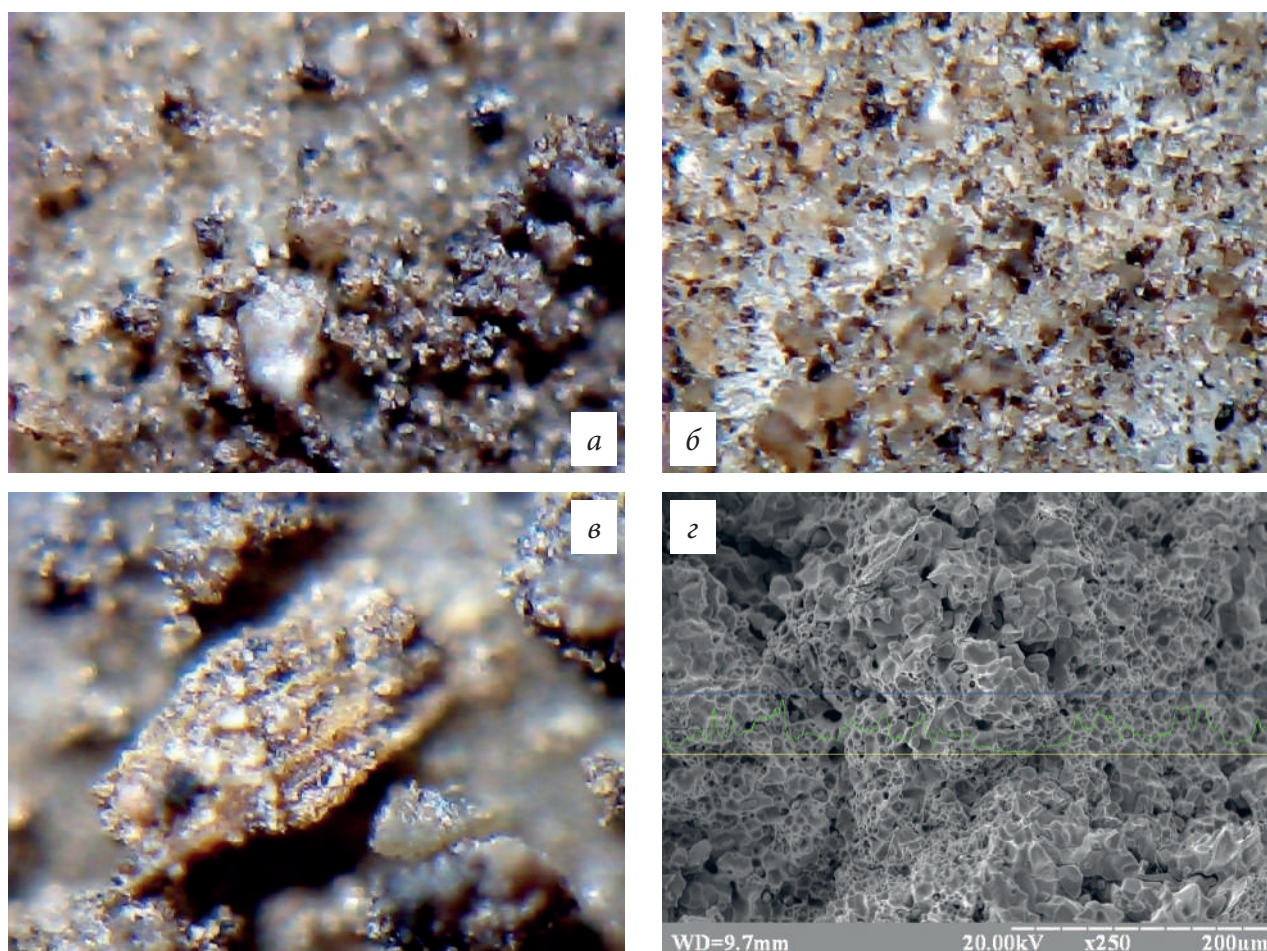


Рис. 2. Мікрофотографії зразків ґрунтів, відібраних В. І. Вернадським у 1890 р. і сучасних зразків із тих самих локалітетів.

Рослинні рештки і тонкодисперсний гумус зв'язаний з мінеральними основою в ґрунтового матеріалі поверхневого гумусового горизонту чорноземів типових і лучно-типовочорноземних ґрунтів Полтавської області ($\times 100$):

а — локалітет між хуторами Василенки і Солониці (Кременчуцький повіт);

б — локалітет біля хутора Тупалів (Кременчуцький повіт);

в — локалітет на околиці с. Василенки (Кременчуцький район), пшеничний агроценоз;

г — рельєф поверхні гумусових речовин (РЕМ $\times 250$)

нітрогену і гідрогену (до 5 %). Частка решти елементів сумарно не перевищує 1 %. Карбонова кислота розчиняє мінеральні сполуки фосфору, кальцію і магнію до доступних для рослин форм.

Гумусові речовини поряд з дрібнодисперсними мінеральними частинками ґрунту беруть участь в адсорбційних процесах, визначають поглинальну здатність ґрунту і його буферність. Ця природна властивість поліпшує родючість ґрунтів, оскільки обмін йонів збільшує утримання корисних для живлення рослин катіонів (NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). Органічна речовина служить джерелом живлення і енергетичним матеріалом для гетеротрофів мікробіоценозу та представників ґрунтової мезофауни.

Дані порівняльного аналізу експериментальних результатів визначення гумусу в чорноземних і лучно-чорноземних ґрунтах сучасних біогеоценозів із ґрунтами 130-річної давності, на

наш погляд, заслуговують на науковий інтерес. Висока гумусованість поверхневих горизонтів пов'язана з морфологічними властивостями чорноземних і лучно-чорноземних ґрунтів, зокрема значним вмістом органічних компонентів різного ступеню дисперсності та трансформації; міцним зв'язком з мінеральними компонентами; темно-сірим і чорним забарвленням ґрунтового матеріалу.

Мікроморфологічні дослідження виявили, що поверхневі горизонти містять рослинні рештки на різних стадіях руйнації (свіжі, слабо-, середньо- та сильно-розкладені) (рис. 2), органічний матеріал, що втратив анатомічну будову, аморфні згустки, колоїдні форми органічної речовини, міцно зв'язані з мінеральними компонентами (рис. 2 а, б, в). На ультрамікроскопічному рівні тонкодисперсна органічна речовина має фрактальну структуру (рис. 2 г). Фрактальна

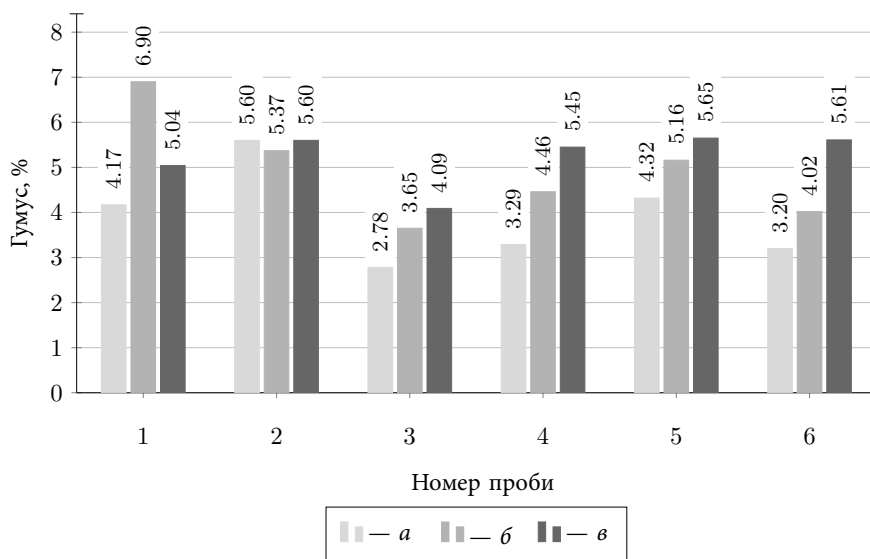


Рис. 3. Загальний вміст гумусу (%) в чорноземах типових і лучно-типовочорноземних ґрунтах Полтавської області: **а)** сучасні зразки агрогенних едафотопів; **б)** зразки, відібрані 130 років тому; **в)** сучасні зразки природних едафотопів; 1, 3 — лучно-типовочорноземні ґрунти; 2, 4, 5, 6 — чорноземи типові

організація властива також іншим компонентам морфологічної будови ґрунтів [18–20], зокрема й глинистим мінералам, що самостійно або в комплексі з тонкодисперсною органікою утворюють кутани на поверхні зерен первинних мінералів. Таким чином, морфологічні характеристики органогенних компонентів досліджених ґрунтів є однотипними, але вміст гумусу відрізняється.

Дослідження показали, що в п'яти випадках із шести спостерігається проста закономірність: в умовах природних едафотопів (рис. 3) відбувається процес гуміфікації (збільшення гумусу

на 0,8 % у середньому) і втрата органічної речовини внаслідок аграрної експлуатації ґрунтів (зменшення гумусу на 1,1 %) в усіх пробах ґрунту з агроценозів.

Максимальне зростання вмісту гумусу (на 1,59 %) зареєстровано в пробі лучно-чорноземного ґрунту, відібраного із едафотопу біогеоценоза мезофітного луку на межі зі смугою очерету звичайного в хуторі Білани між селами Бондарі і Солонича, а максимальна втрата (2,73 %) — у пробі із едафотопу пшеничного агроценозу в околицях с. Святилівка.

Динаміка вмісту оксидів у ґрунтах за 130 років

Мінеральну частину твердої фази ґрунтів становлять силікати й алюмосилікати, домінуючими компонентами яких є сполуки силіцію, алюмінію, феруму і кальцію (рис. 4). Вміст оксидів у ґрунтах зменшується в ряду: $\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{CaO} \rightarrow \text{MgO} \rightarrow \text{K}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \rightarrow \text{TiO}_2 \rightarrow \text{MnO}$. Сумарний вміст цих речовин становить до 85 %. Також до складу твердої фази едафотопів вхо-

дять сполуки фосфору (здебільшого ортофосфати), сірки (головним чином сульфати), а також неорганічного й органічного карбону. Серед органічних компонентів ґрунту домінують органічні сполуки карбону і нітрогену. Залежно від ступеня дисперсності та вмісту гумусу повітряно-сухі ґрунти містять до 10 % гігроскопічної води.

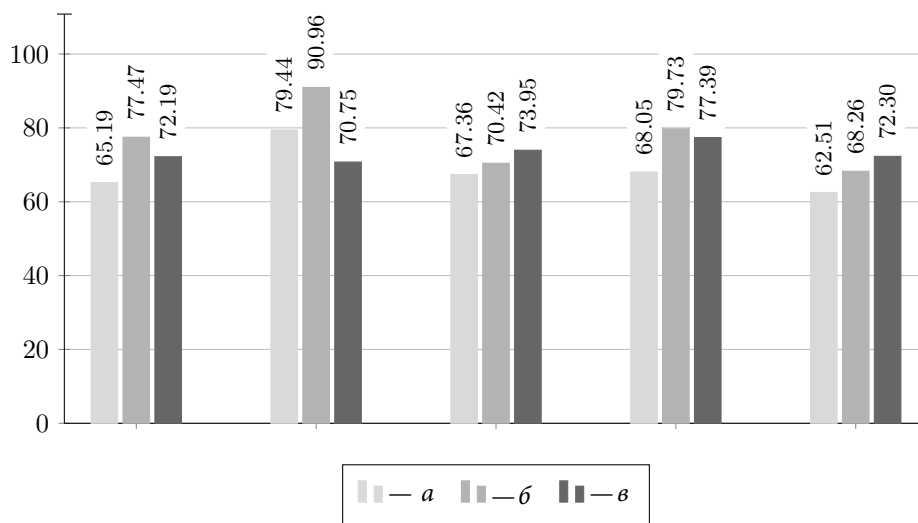


Рис. 4. Середній вміст (%) силіцію діоксиду в чорноземах типових і лучно-типовочорноземних ґрунтах Полтавської області: **а)** зразки, відібрані 130 років тому; **б)** сучасні зразки агрогенних едафотопів; **в)** сучасні зразки природних едафотопів.

У відібраних ґрунтових пробах було визначено масову частку (%) домінуючих оксидів: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , P_2O_5 , K_2O , Na_2O . Сучасні проби ґрунтів було передано до лабораторії аналітичної хімії Інституту геохімії, мінералогії

та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України задля аналізу їх хімічного складу за названими інгредієнтами, які раніше було визначено К. Д. Глинкою у зразках, відібраних В. І. Вернадським 1890 року (табл. 1).

Таблиця 1.

Хімічний склад чорноземів Кременчуцького повіту Полтавської губернії
(за даними В. І. Вернадського, 1892 р.)

| Вміст, % | | | | | | | | | | |
|--|-------|--------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-------|----------|
| Чорнозем | Гумус | Органічні речовини | SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | P_2O_5 | K_2O | Na_2O | Пісок | Пот-сть |
| Галицьке — Святилівка — Жовніне — Либихівка (№ 5) | | | | | | | | | | |
| солонець | 6,90 | 13,17 | 5,07 | 2,10 | 1,38 | 0,27 | 0,14 | 0,21 | 40,13 | 2,60 |
| Гриньки — Слюзівка — Броварки — Кинашів — Горби (№ 4) | | | | | | | | | | |
| горний | 5,37 | 11,60 | 8,99 | 4,11 | 2,77 | 0,14 | 0,23 | 0,12 | 20,45 | 3,50 |
| Устимівка — Погреби — Максимівка — х. Радущькі (№ 6) | | | | | | | | | | |
| горний | 3,65 | 6,90 | 3,93 | 3,23 | 2,03 | 0,15 | 0,18 | 0,15 | 33,43 | 2,40 |
| Пустівитове — Твердохліби — Терешківка — Демидівка (№ 2) | | | | | | | | | | |
| типовий | 4,46 | 9,60 | 9,02 | 4,43 | 2,64 | 0,14 | 0,21 | 0,13 | 39,04 | — |
| Глобине — Веселий Поділ — Миколаївка — Пустівитове (№ 3) | | | | | | | | | | |
| типовий | 5,16 | 12,02 | 8,90 | 4,15 | 2,25 | 0,28 | 0,34 | 0,28 | — | — |
| Миколаївка — х. Рибінцевий — Трубаї — Адроганівка — Лукаші — Веселий Поділ (№ 7) | | | | | | | | | | |
| типовий | 4,78 | 9,70 | 9,03 | 5,18 | 3,62 | 0,19 | 0,23 | 0,19 | 21,12 | 1,60 |
| Гусаки — Дмитрівка — Єристівка — Олександрівка — х. Гноєвий (№ 1) | | | | | | | | | | |
| солонець | 4,015 | 10,19 | 8,00 | 3,33 | 2,06 | 0,29 | 0,13 | 2,01 | — | B = 1,75 |

Під час досліджень було виявлено значне підвищення відносного вмісту кремнезему (SiO_2) як в агрогенних, так і природних едафотопіях (рис. 4). За результатами аналізу вмісту оксидів у сучасних пробах полтавських ґрунтів отримано дані, представлені нижче (рис. 5). Зареєстровано також збільшення удвічі вмісту глинозему (Al_2O_3) в агроценозах і менше в природних біогеоценозах. Такі

зміни відносного вмісту головних оксидів свідчать про інтенсивний процес вивітрювання мінеральної частини твердої фази ґрунтів, основними мінералами якої є кремнезем і глинозем (рис. 6).

Наступним етапом досліджень було визначення змін вмісту оксидів фосфору у полтавських ґрунтах. Унікальною властивістю фосфору є його здатність до фосфорилювання простих

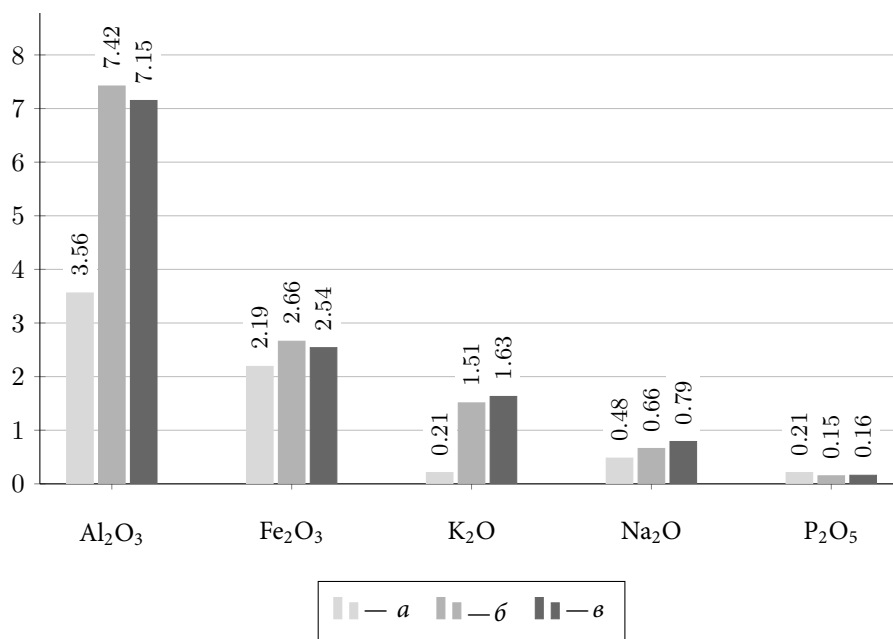


Рис. 5. Середній вміст (%) домінуючих оксидів у чорноземах типових і лучно-типовочорноземних ґрунтах Полтавської області:
а) зразки, відібрані 130 років тому;
б) сучасні зразки агрогенних едафотопів;
в) сучасні зразки природних едафотопів.

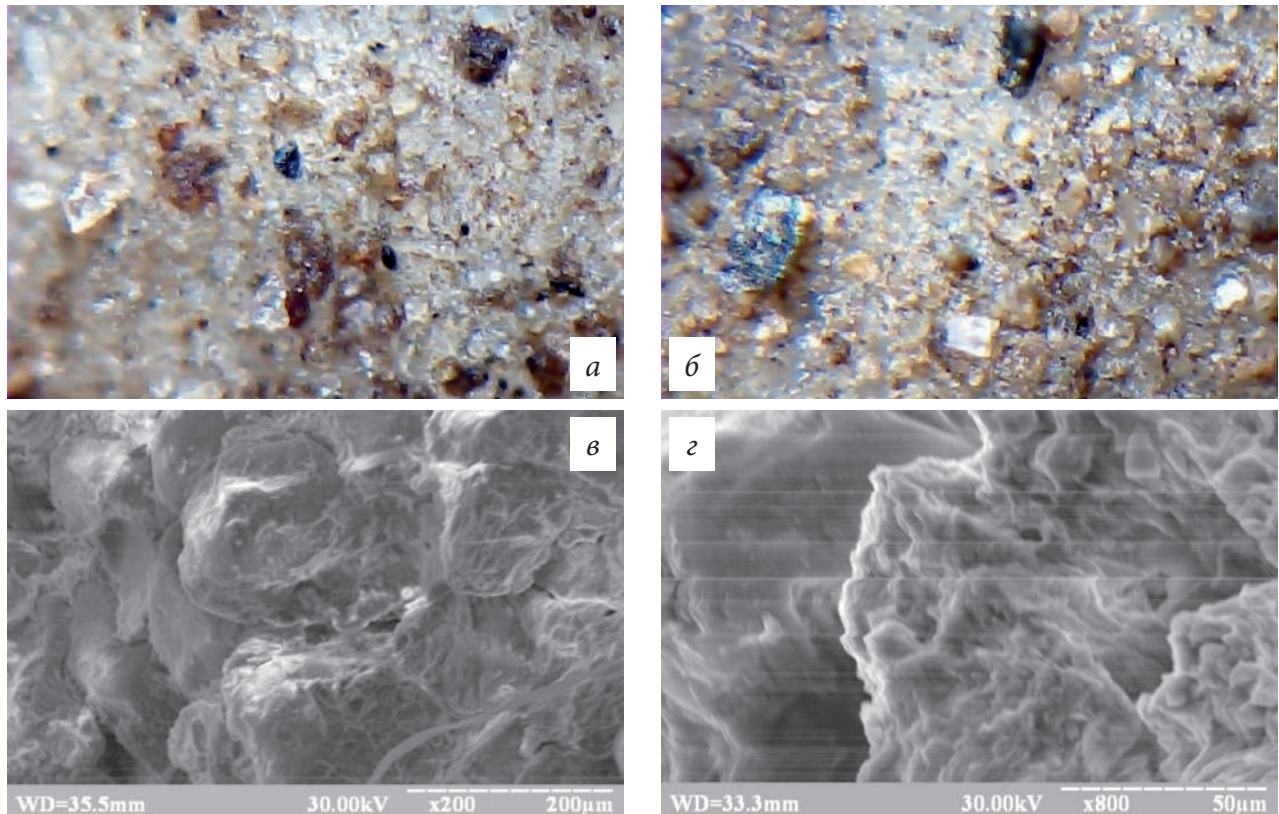


Рис. 6. Мінеральні компоненти твердої фази чорноземів типових і лучно-типовочорноземних ґрунтів Полтавської області. Зерна кварцу ($\times 100$): **а** — локалітет на пасовищі (15-річна цілина) в «економії Варшавського» (Кременчуцький повіт); **б** — локалітет на околиці с. Кордубаново (Глобинський район) біогеоценоз лісосмуги (*Acer negundo*). Архітектура поверхні мінералів (РЕМ): **в** — складний рельєф зерна кремнезему (SiO_2), зумовлений процесом вивітрювання; **г** — частинки глинозему (Al_2O_3).

і складних білків у рослинній клітині за допомогою протеїназ. Надійшовши до кореневої системи у вигляді окиснених сполук, він під час усіх перетворень зберігає ступінь окисненості. Існує обопільний зв'язок між азотним і фосфорним живленням рослин. Відповідно до закону мінімуму Лібіха нестача фосфору зумовлює зменшення поглинання нітрогену — провідного органогену рослин. Таким чином, дефіцит фосфору впливає на всі процеси життєдіяльності представників ґрунтових мікроценозів, мезофауни і макрофітів.

Під час хімічного аналізу виявлено, що вміст оксиду фосфору помітно зменшився протягом 130 років (**рис. 5**): з 0,21 до 0,15 % у складі чорноземів агроценозів, а також до 0,16 % — в едафотопях природних біогеоценозів. Наприкінці досліджень, пов'язаних із визначенням хімічного складу полтавських ґрунтів, було встановлено, що вміст монооксиду калію помітно збільшився з 0,21 % до 1,51 % в агрогенних і до 1,63 % — у природних едафотопях. Разом із кальцієм, цей елемент відносять до числа органогенів, необхідних для розвитку рослин, тому його внесення в ґрунт підвищує родючість.

Висновки

У цій науковій розвідці було розв'язано важливе практичне завдання — здійснено порівняльний аналіз мікробудови і хімічного складу сучасних проб чорноземів типових і лучно-типовочорноземних ґрунтів із зразками 130-річної давності на території Кременчуцького району Полтавської області. До основних результатів можна віднести такі:

1. Визначено середнє арифметичне збільшення гумусу на 0,8 % за 130 років у результаті гуміфікації в умовах природних едафотопів у п'яти

випадках із шести. Втрата органічної речовини за цей час (зменшення гумусу в середньому на 1,1 %) зареєстровано для всіх проб ґрунту із агрогенних едафотопів.

2. Максимальне зростання вмісту гумусу (на 1,6 %) спостерігається в ґрунті мезофітних луків між селами Бондарі і Солониці, а найбільша втрата (на 2,7 %) — в едафотопях пшеничного агроценозу в околицях с. Святилівка.

3. Виявлено, що генезис чорноземних і лучно-чорноземних ґрунтів південної частини Полтав-

ської області протягом останніх 130 років характеризується перевагою максимально можливого зменшення вмісту гумусу (0,2 % за кожні 10 років) над її збільшенням удвічі (0,1 % відповідно).

4. Виявлено незначне (в 1,1 раза), але більш інтенсивне зростання вмісту кремнезему (SiO_2) в агрогенних едафотопіях (майже на 10 %), ніж в умовах природних біогеоценозів (на 5,5 %), а також збільшення вмісту глинозему (Al_2O_3) — у середньому в два рази (на 3,7 %).

5. Зафіксовано зниження вмісту сполук фосфору в середньому в 1,4 раза (на 0,1 %) на фоні збільшення вмісту речовин, що містять калій — у 7,5 раза (на 1,4 %).

Результати досліджень становлять наукове обґрунтування комплексного проекту природоохоронних заходів, спрямованих на охорону та збалансоване використання полтавських ґрунтів, а саме:

— проведення хімічної меліорації агрогенних едафотопів шляхом використання мінеральних та/або органічних матеріалів з метою поліпшен-

ня хіміко-фізичних властивостей оброблюваного ґрунту, а в деяких випадках припинення використання калійних мінеральних добрив за умов збільшення розрахункової кількості внесених фосфорних добрив щонайменше у 1,5 раза;

— проведення лісотехнічної меліорації суміжних з аграрними територіями за допомогою заліснення схилів ярів і балок, вододілів й рухомих пісків із метою поліпшення водного режиму та мікроклімату;

— перехід на безплужну обробку ґрунту, що сприяє збільшенню біомаси педофауни (особливо дощових черв'яків), яка забезпечує гуміфікацію органічних залишків, а в умовах посушливих екотопів доцільним є застосування *No-till* агробіотехнології;

— розроблення і впровадження в умовах фермерських господарств на території Кременчуцького району науково обґрунтованої системи моніторингу агрогенних і природних едафотопів з використанням безпілотних літальних апаратів.

References [Література]

1. Nykyforov, V. V., Alekseeva, T. M., Pashchenko, T. V., Starchenko, V. I., Kigim, S. L., Khalimon, O. V., & Vil'movska, O. O. (2013). Fertility of Poltava chernozems: a 120-year retrospective. XV International scientific-practical conference *Ideas of Academician V. I. Vernadsky and problems of sustainable development of regions: Proceedings of the conference Kremenchuk*: KrNU, 4–7. [In Ukrainian].
[Никифоров В.В., Алексеева Т.М., Пашченко Т.В., Старченко В.І., Кигим С.Л., Халимон О.В., Вільмовська О.О. Родючість полтавських чорноземів: 120-річна ретроспектива // XV Міжнародна науково-практична конференція «Ідеї академіка В. І. Вернадського та проблеми сталого розвитку регіонів»: Матеріали конференції. Кременчук: КрНУ, 2013. С. 4–7.]
2. Baliuk, S. A., Kucher, A. V., & Maksymenko, N. V. (2021). Soil resources of Ukraine: problems and strategy of sustainable management. *Ukrainian geographical journal*, 2, 3–11. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02> [In Ukrainian].
[Балюк С. А., Кучер А. В., Максименко Н. В. Ґрунтові ресурси України: стан, проблеми і стратегія сталого управління // Укр. геогр. журн. 2021. № 2. С. 3–11. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02>]
3. Dent, D., & Bai, Z. (2017). The Last Steppes: New Perspectives on an Old Challenge. In: Dent D., Dmytruk Y. (eds.) *Soil Science Working for a Living*. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-45417-7_4.
4. Vernadsky, V. I. (1965). *The chemical structure of the Earth's biosphere and its environment*. Moscow: Science, 168 p. [In Russian].
[Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и её окружения. Москва: Наука, 1965. 168 с.]
5. Stetsenko, Ye. I., & Shyshchenko, P. H. (2018). Concept of geosphere and Earth's shells in academician V.I. Vernadsky's scientific heritage. *Ukrainian geographical journal*, 4, 3–9. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2018.04.03> [In Ukrainian].
[Стеценко Є. І., Шищенко П. Г. Концепція геосфер і земних оболонок у науковій спадщині академіка В. І. Вернадського // Укр. геогр. журн. 2018. № 4. С. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2018.04.03>]
6. Ponomarenko, O. M., Ignatenko, O. O., Geiko, Yu. V. etc. (2012). *In the footsteps of VI Vernadsky. Ecological trail named after V. I. Vernadsky village Omelnyk*. Guide. Kremenchuk: PE O.V. Shcherbatykh, 78 p. [In Ukrainian].
[Пономаренко О. М., Ігнатенко О. О., Геїко Ю. В. та ін. Стежками В. І. Вернадського. Екологічна стежина ім. В. І. Вернадського села Омельник. Путівник. Кременчук: ПП О. В. Щербатих, 2012. 78 с.]
7. Materials for the assessment of the lands of the Poltava province. Natural history part. Report to the Poltava Provincial Zemstvo. The work was performed under the direct supervision of prof. SPb. University V. V. Dokuchaev. Issue XV. Kremenchug district. Publication of the Poltava Provincial Zemstvo. St. Petersburg: Printing house E. Evdokimov, 1892, 22–66.

- [Материалы к оценке земель Полтавской губернии. Естественно-историческая часть. Отчет Полтавскому Губернскому Земству. Работа исполнена под непосредственным руководством проф. СПб. университета В. В. Докучаева. Выпуск XV. Кременчугский уезд. Издание Полтавского Губернского Земства. СПб.: Типография Е. Евдокимова, 1892. С. 22–66.]
8. Nykyforov, V. V. (2011). About the scientific activity of V. I. Vernadsky in the Kremenchug district: a 120-year perspective. *Soil Science*, 12 (3–4), 116–121. [In Russian].
[Никифоров В. В. О научной деятельности В. И. Вернадского в Кременчугском уезде: 120-летняя перспектива // Грунтознавство. 2011. Т. 12. № 3–4. С. 116–121.]
 9. Dmytruk, Ju. M. (1998). Current issues of soil geochemistry. *Agrochemistry and soil science*, 2, 78–79. [In Ukrainian].
[Дмитрук Ю. М. Актуальні питання геохімії ґрунтів // Агрохімія і ґрунтознавство. Міжв. наук. збірник. Частина 2. 1998. С. 78–79].
 10. Pinskiy, D. L. (1997). Ion exchange processes in soils. Pushchino, 166 p. [In Russian].
[Пинский Д. Л. Ионнообменные процессы в почвах. Пушино, 1997. 166 с.]
 11. Glazovskaja M.A. (2002). *Geochemical foundations of typology and methods of research of natural landscapes*. Smolensk: Oikumena, 287 p. [In Russian].
[Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. Смоленск: Ойкумена, 2002. 287 с.]
 12. Frid, A. S. (1999). Methodology for assessing soil resistance to degradation. *Soil science*, 3, 399–404. [In Russian].
[Фрид А. С. Методология оценки устойчивости почв к деградации // Почвоведение. 1999. № 3. С. 399–404.]
 13. Gorban, V., Huslysty, A., Kotovych, O., & Yakovenko, V. (2020). Changes in physical and chemical properties of Calcic chernozem affected by Robinia pseudoacacia and Quercus robur plantings. *Ekológia* (Bratislava), 39 (1), 27–44. DOI: <https://doi.org/10.2478/eko-2020-0003>.
 14. Yakovenko, V., & Zhukov, O. (2021). Zoogenic Structure Aggregation in Steppe and Forest Soils. In: Dmytruk, Y., Dent, D. (eds.) *Soils Under Stress*. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68394-8_12.
 15. Polupan, M. I., Solovej, V. B., & Velichko, V. A. (2005). *Classification of soils of Ukraine*. Kyiv. Agrarian science, 300 p. [In Ukrainian].
[Полупан М. І., Соловей В. Б., Величко В. А. Класифікація ґрунтів України. К.: Аграрна наука, 2005. 300 с.]
 16. IUSS Working Group WRB. (2015). World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. URL: <http://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf>
 17. Soil quality. Methods for determination of organic matter: DSTU ISO 4289: 2004. [From 2004.04.30]. (2005). *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*. 9 p. (National Standard of Ukraine). [In Ukrainian].
[Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини: ДСТУ ISO 4289:2004. [Чинний від 2004.04.30]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 9 с. (Національний стандарт України).]
 18. Young, Iain, & Crawford, J. W. (2006). The fractal structure of soil aggregates: Its measurement and interpretation. *European Journal of Soil Science*, 42(2):187, 192. DOI: 10.1111/j.1365-2389.1991.tb00400.x
 19. Sokolowska, Z., & Sokolowski, S. (1999). Influence of humic acid on surface fractal dimension of kaolin: analysis of mercury porosimetry and water vapour adsorption data. *Geoderma*, 88 (3–4), 233–249. DOI: [doi.org/10.1016/S0016-7061\(98\)00107-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(98)00107-4)
 20. Yakovenko, V. (2017). Fractal properties of coarse/fine—Related distribution in forest soils on colluvium. In *Soil science working for a living*, ed. D. Dent and Y. Dmytruk, 2–44. Cham: Springer Nature. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-45417-7_3.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2021.

For citation [Для цитування]

Пономаренко О. М., Никифоров В. В., Яковенко В. М. Зміни хімічних і мікоморфологічних властивостей ґрунтів Полтавської області України за останні 130 років // Укр. геогр. журн. 2022. № 1. С. 18–26. [Українською мовою] DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2022.01.018>

Ponomarenko, O. M., Nykyforov, V. V., & Yakovenko, V. M. (2022). Changes of Chemical and Micromorphological Properties of Poltava Region Soils of Ukraine for the Last 130 Years. *Ukr. Geogr. Zh.*, 1, 18–26. [In Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2022.01.018>