

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Кравченко Юрій Станіславович

УДК 504.1:631.445.4(477):631.45(510)

ДИСЕРТАЦІЯ

АГРОГЕНЕЗ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО УКРАЇНИ ТА ІЗОГУМУСОЛЮ КИТАЮ

06.01.03 «Агрогрунтознавство і агрофізика»
(сільськогосподарські науки)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Ю. С. Кравченко

Київ–2024

АНОТАЦІЯ

Кравченко Ю. С. Агрогенез чорнозему типового України та ізогумусолію Китаю. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.01.03 «Агрогрунтознавство і агрофізика». – Національний університет біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України, Київ, 2024.

Дисертаційна робота представляє наукове обґрунтування управління властивостями і режимами чорнозему типового України та ізогумусолію Китаю на основі багаторічних експериментальних досліджень проведених у Правобережному Лісостепу України і Північно-східному регіоні Китаю. У роботі пропонуються науково-обґрунтовані заходи щодо вирішення проблеми відновлення родючості чорноземів за умов застосування: ґрунтозахисного обробітку ґрунту, короткоротаційних сівозмін, соломи, сидератів і інтегрованої системи удобрення в умовах континентального типу клімату західної теплої (Україна) і східної холодної (Китай) окраїн Євразії.

Представлена робота є закінченим науковим дослідженням із встановлення трансформаційних змін чорноземів за різного їх використання в умовах помірного кліматичного поясу із: спорадичною мусонністю, холодною сухою зимою і спекотним літом Північно-східного регіону Китаю та теплого літа і м'якої зими Правобережного Лісостепу України. Актуальність роботи виникла у зв'язку із необхідністю вивчення властивостей, процесів і режимів генетично споріднених ґрунтів з метою координації ґрунтозахисних заходів за різних кліматичних сценаріїв.

Досліджувані ґрунти мають типодіагностичні морфологічні ознаки, які характерні для генетичного типу чорноземів. Однак в результаті фаціальних особливостей педогенезу китайський ізогумусоль одержав високий уміст водотривких макроагрегатів, вилугованість, глибоке скипання від карбонатів,

оглеєність ґрунтотворної породи. Ущільнений шар в ізогумусолі розташовується глибше порівняно із чорноземом типовим. Український чорнозем характеризується добре вираженою мікроагрегованістю, високим умістом агрономічно цінних зернистих агрегатів, пухкістю, карбонатними новоутвореннями у перехідних горизонтах, кротовинним лесом. Гумусовий шар чорнозему типового глибше на 27,3–53,1 см порівняно з ізогумусолем за рахунок наявного додаткового 38,4–42,3 см кротовинового нерівномірно прогумусованого леса. З глибиною, у чорноземі типовому поступово зменшується уміст фракцій піску та збільшується – крупного пилу та мулу, у китайському ізогумусолі – зменшується уміст піску і крупного пилу та збільшується – фізичної глини та мулу. За класифікацією гранулометричного складу М. М. Годліна, досліджувані ґрунти відповідають групі – пилувато-суглинковий, підгрупі – пилувато-важкосуглинковий (ізогумусоль) і пилувато-легкосуглинковий (чорнозем типовий).

Тривале застосування різних технологій обробітку ґрунту вплинуло на зміни морфолого-генетичних ознак досліджуваних ґрунтів. За оранки збільшується глибина гумусового горизонту та уміст пилуватих структурних агрегатів, зменшується уміст новоутворених прогумусових сполук (детриту), підвищується процентний вміст дрібних внутрішньо-агрегатних пор, зменшується кількість біологічних новоутворень. За впровадження ґрунтозахисних технологій формується гумусовий горизонт із найбільшою концентрацією поживних елементів у верхній частині профілю, зменшується пилуватість, підвищується вміст водостійких структурних агрегатів із зернистою морфологією, утворюються вертикально орієнтовані крупні і середні міжагрегатні пори. У чорноземі типовому, скипання від карбонатів спостерігається у верхньому перехідному гумусовому горизонті. У нижньому перехідному горизонті карбонати мають вигляд прожилок та трубочек – за глибокого безполицевого обробітку ґрунту, прожилок та борошнистих вкраплень – за мілкового безполицевого обробітку ґрунту,

вицвітів та міцелію – за оранки. В ізогумусолі, карбонати скипають у нижньому перехідному до породи горизонті, і зустрічаються у вигляді хімічних новоутворень тільки у породі. Біологічні новоутворення виявляються у вигляді органо-мінеральних (глино-гумусових) кутан та стріан, черворийн, а також детритових прикореневих речовин. За no-till у верхньому 0–3 см шарі ізогумусоля під шаром рослинних решток наявні багаточисельні грибні гіфи та відмерлі продукти мікоризної діяльності.

Досліджено і описано пошарово параметри змін мінералогічного складу, гранулометричних фракцій, pH_{H_2O} , pH_{KCl} , N, P_2O_5 , K_2O , Ca^{2+} і Mg^{2+} по профілю залежно від технології обробітку, с.-г. культур і удобрення.

Досліджено стратиграфічний розподіл та педогенез трансформаційних змін біофільних елементів чорноземів та їх співвідношень: $C_{неорг} : C_{заг}$, $C_{орг} : C_{заг}$, $C_{орг} : N_{заг}$, $C_{орг} : S_{орг}$, $C_{орг} : H_{заг}$. Визначено параметри трансформації масової і мольної часток органогенних (C, H, O) і макроелементів (N, S) по профілям ґрунтів залежно від способів обробітку ґрунту та удобрення. Встановлено, що вміст досліджуваних елементів, виражений в масових частках знижується за напрямом: $C_{заг} > C_{орг} > C_{неорг} > H_{заг} > N_{заг} > S_{орг}$. З глибиною зменшується уміст атомів загального вуглецю ґрунту, загального водню, вуглецю органічних сполук, азоту та сірки, збільшується – уміст атомів вуглецю у складі мінералів. Показано, що мольна частка атомів водню значно переважає концентрацію вуглецю, азоту і сірки. За безполицевих технологій, порівняно з оранкою та роторним обробітком ґрунту, нагромаджується більше органічних сполук вуглецю, азоту та сірки в орному шарі чорнозему типового і ізогумусолів. У перехідних горизонтах найбільший уміст біофільних макроелементів нагромаджується за оранки, глибокого безполицевого і комбінованого обробітках ґрунту.

Встановлено, що в результаті різного технологічного використання чорноземів змінюється профільний розподіл кількісного і якісного складу гумусу. Визначено, що стабілізація умісту і запасів гумусу забезпечується

застосуванням ґрунтозахисного обробітку ґрунту, внесенням соломи 1,2 т/га + сидерати + $N_{12} + N_{78}P_{68}K_{68}$, залуженням перелогу багаторічними травами. Винайдені фаціальні ознаки гумусоутворення чорноземів. Уміст органічної речовини у профілі чорнозему типового перевищує відповідний показник в ізогумусолі, що пояснюється особливостями протікання гумусово-аккумулятивного процесу в Україні: помірно-теплий тип клімату із м'якою зимою, жарким літом та нестійким типом зволоження ($ГТК - 1,41; \sum t > 10^\circ C - 3227^\circ C$), глибоке промивання ґрунтової товщі у осінньо-зимовий період, триваліший вегетаційний період, значне щорічне надходження поверхневих і корневих рослинних решток, закріплення гумусових речовин карбонатним лесом і легший гранулометричний склад чорнозему типового. Ізогумусоль сформувався на важкосуглинкових лесах на фоні помірно-мусонного клімату ($ГТК - 1,72; \sum t > 10^\circ C - 3234^\circ C$), за більш короткого періоду активних температур (157–175 днів), з меншою середньобагаторічною температурою повітря ($4,6^\circ C$), за достатнього теплозабезпечення і зволоженням. Біля 90–95 % усіх опадів у регіоні випадає протягом вегетації. Різкоконтинентальні умови утворення китайського ізогумусоля сприяють закріпленню $C_{орг}$ у верхній частині профілю та стрімкому зменшенню його вмісту з глибиною. Органічна речовина ізогумусолів збагачена на лабільні гумусові речовини, високомолекулярні азотовмісні компоненти із розвиненими функціональними групами. Чорнозем типовий, порівняно із ізогумусолем, має більшу частку фракцій $ГК_{2-3}$ і $ФК_{2-3}$, меншу – фракцій $ГК_1$, $ФК_{1a+1}$ та гумінів. За ґрунтозахисних технологій, перелогу і молодого лісу збільшується частка гумусових речовин з розвинутою аліфатичною системою збагаченою на біофільні елементи та функціональні групи, відбувається інтенсивне утворення найбільш рухомих фракцій гумусових речовин ($C_{ГК1} + C_{ФК(1a+1)} / C_{(ГК+ФК)2+3}$), посилюється інтенсивність першої ($C_{ГК1} / C_{ФК1}$) та другої ($C_{ГК2} / C_{ФК2}$) стадій гуміфікації. У верхньому у 0–20 см шарі чорноземів найбільший уміст лабільних фракцій гумусових речовин утворюється за ґрунтозахисного обробітку та природних ценозів ґрунту, у нижньому 20–100 см

шарі – за оранки, глибокого безполицевого обробітку ґрунту та перелогу. Частка ароматичних полімеризованих і поліконденсованих речовин гуматного типу ($C_{ГК2}+C_{ГК3}+C_{НЗ}$; $C_{ГК} : C_{орг}$) найбільше зосереджується у шарі 10–100 см.

Методами дериватної термографії і диференційно скануючої калориметрії досліджено і визначено динаміку змін фракційного складу мінералів і вуглецю органічних сполук чорнозему типового за ендо- і екзо- термічних ефектів у області температур 110–710 °С. Уперше був визначений індекс гуміфікації за співвідношенням зміни маси ґрунтової проби (ΔM) в інтервалі 200–396 °С до ΔM в інтервалі 396–610 °С. Більші значення індексу гуміфікації у ґрунтових пробах за ґрунтозахисного обробітку і природних ценозів вказують на більшу частку лабільних компонентів у складі гумусу за даного використання ґрунтів.

Встановлені сезонні ознаки відтворення умісту органічного вуглецю і загального азоту ґрунту, умісту вуглецю та азоту біомаси мікроорганізмів, умісту органічного вуглецю і загального азоту у складі водотривких агрегатів ґрунту, дисперсних >250 , $250-53$ і <53 мкм фракцій органічної речовини ґрунту. Кількісно описані: сезонна динаміка щільності складення, інфільтраційна здатність ґрунтів, уміст вологи, емісія CO_2-C ґрунтів. Сезонні коливання властивостей чорнозему типового та ізогумусолу обумовлюються абіотичними властивостями ґрунту, кліматичними особливостями атмосфери, сільськогосподарською культурою, способом обробітку ґрунту та удобренням. Напрямо сезонних змін органічного вуглецю ґрунту і $C_{орг} : N_{заг}$ відношення відрізняється від тренду загального азоту ґрунту. За результатами наших спостережень, доведено, що положення медіани $X_{n0,50}$ міжквартильного розмаху IQR_{25-75} показників $C_{орг}$ і $N_{заг}$ за безполицевих технологій є вищим за оранку і поступово знижується від верхніх шарів до нижніх. Показано, що крива сезонних змін умісту $C_{орг}$ у складі дисперсних агрегатів органічної речовини ґрунту відрізняється від трендів змін мас відповідних фракцій. Уміст органічного вуглецю у складі >250 і $250-53$ мкм фракцій знижується з травня по липень і

підвищується у серпні-жовтні, у складі <53 мкм фракції – поступово зменшується або істотно не змінюється протягом досліджуваного сезону. Встановлено, що найбільший уміст органічного вуглецю у структурі дисперсних фракцій органічної речовини ґрунту мають крупні агрегати: 6,85–2,12 %, найменший – тонкі глино-гумусові агрегати – 3,66–1,32 %. Уміст мінеральних частинок у фракціях дисперсних агрегатів за довжиною та об'ємним середнім діаметром зменшується з глибиною, а також від макро- до мікро- і тонкої фракції.

Доведено, що збільшення умісту лабільних сполук вуглецю та азоту біомаси мікроорганізмів за ґрунтозахисного обробітку ґрунту сприяє нагромадженню вуглецю органічних сполук ґрунту у складі дисперсних фракцій органічної речовини ґрунту. Більші значення мікробного індексу ґрунтів за ґрунтозахисного обробітку ґрунту вказують на активну конверсію органічної речовини ґрунту ґрунтовими мікроорганізмами. Сезонні флуктаційні коливання $\text{CO}_2\text{-C}$ ґрунтів визначаються екологічною стійкістю органічної речовини ґрунтів до природного впливу і антропогенного навантаження.

Встановлений вплив тривалого сезонно-промерзлого теплового режиму різко-континентального клімату Північно-східного регіону Китаю та сезонно-промерзлого теплового режиму помірно-континентального клімату Правобережного Лісостепу України на структуроутворення досліджуваних ґрунтів. Показано, що в ізогумусолях утворюються крупні, тверді водостійкі агрегати, які за спорадичної мусонності формують оптимальний водно-повітряний режим ґрунтів, перешкоджають втратам верхнього шару ґрунту від пилових бурь та поверхневого ерозійного стоку. Чорноземи типові характеризуються «хорошим» структурним станом із більшою ніж в ізогумусолях часткою пиловатих окремоостей, які погіршують протиерозійні властивості ґрунтів і збільшують втрати ґрунтової вологи від випаровування. Встановлено, що за ґрунтозахисного обробітку утворюється більша кількість крупних 10–0,5 мм, за оранки – дрібних $<0,5$ мм фракцій водостійких агрегатів. Виявлені різні напрями сезонних змін умісту 10–5, 5–2, 2–0,5 і $<0,5$ мм

водостійких агрегатів виділених шляхом повільного замочування ґрунтової проби у дистильованій воді у вакуумі. За застосування оранки була виявлена найбільша амплітуда змін умісту водостійких агрегатів ґрунту протягом сезону, за no-till – найменша.

Визначено, що просторові і часові коливання температур у 0–300 см шарі ізогумусолів описуються законом Фур'є з врахуванням рівнянь потоків вологи, солей, тепла та радіаційного балансу. У теплий період року потоки тепла переміщуються від верхніх шарів ґрунту до нижніх, у зимовий період – у зворотному напрямі. Показано, що орний шар чорноземів сформований за оранки прогрівається і охолоджується істотно швидше порівняно із безполицевим обробітком ґрунту та no-till. Найнижча температура у літній період і найвища – у холодний період року відмічаються за no-till в усіх шарах ізогумусоллю. Цілорічні позитивні температури спостерігаються на глибині 200–300 см.

Досліджено і встановлено, що тренд динаміки умісту вологи в ґрунтах протягом вегетаційного періоду більше залежав від надходження атмосферних опадів, втрат від випаровування та водоспоживання рослиною і менше – від способів обробітку ґрунту та удобрення. Показано, що за ґрунтозахисних технологій обробітку ґрунту формується більший уміст вологи у кінці червня у 0–20 і 30–60 см шарах, за оранки – у 20–30 і 60–100 см шарах. Динаміка змін умісту вологи у 60–100 см шарі має меншу амплітуду порівняно із 0–60 см шаром. Найбільший об'ємний уміст вологи у 0–150 см шарі ізогумусоллю встановлюється у грудні і квітні, найменший – у серпні. Краща водопроникність чорноземів за безполицевого розпушення сприяє більш інтенсивному нагромадженню умісту вологи в осінньо-зимовий період.

Викладені в дисертації результати досліджень є науково обґрунтованою основою для розроблення емпірико-статистичних моделей та системи прийняття рішення з управління родючістю чорноземів типових та ізогумусолів.

Ключові слова: педогенез, антропогенез, ізогумусоль, чорнозем типовий, обробіток ґрунту, сівозміна, гумус, вуглець, азот, дисперсна органічна речовина ґрунту, гранулометричний і мінералогічний склад ґрунту, фізичні властивості ґрунтів.

SUMMARY

Kravchenko Y. S. Agrogenesis of Typical chernozem of Ukraine and Izohumusol of China. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation thesis submitted for a Doctor of Agricultural Sciences degree in specialty 06.01.03 «Agricultural Soil Science and Agrophysics». – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2024.

The dissertation presents a scientific approach to the fertility management of a Typical chernozem (Ukraine) and an Izohumusol (China) based on long-term experimental research conducted in the Right-Bank Forest-Steppe region of Ukraine and the North-East province of China. The work offers a solution of recovering the chernozems fertility by applying: soil conservation tillage, short-term crop rotations, straw, green manure and integrated fertilization system under temperate climatic conditions in the Western warm (Ukraine) and Eastern cold (China) Eurasian margins.

The presented work is a completed scientific study on establishing the features of the chernozems pedogenesis at their different use in a temperate climatic zone with sporadic monsoon, cold dry winter and hot summer – in the Northeast region of China and warm summer, mild winter in the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine. The relevance of this work arose from the need to study the properties, processes and regimes of genetically similar soils in order to coordinate soil conservation measures under different climate scenarios.

The soils studied are characterized by typical diagnostic morphological features common to the genetic type of chernozems. However, the facies pedogenesis of the Chinese isohumusol resulted in a high content of water-stable macroaggregates, leaching, deep effervescence of carbonates and formation of gley parent material. “Plow pan” in an Isohumusol was deeper compared to the Typical chernozem.

Ukrainian chernozem possesses with higher amount of micro- and agronomically valuable aggregates, friability, calcareous new formations in transitional horizons, mole loess. The humus solum in the Typical chernozem extends 27.3–53.1 cm deeper than in the Isogumusol due to the presence of additional leached mole loess with a thickness of 38.4–42.3 cm. In the Typical chernozem the content of sand and physical sand decreased with depth, while coarse silt and clay – increased. Based on the classification approaches of M. Godlym, a textural group was defined for both soils studied as silty-loamy, while a subgroup was silty heavy loamy in the Isohumusol and silty light loam in the Typical chernozem.

Ploughing increased the depth of the humus horizon and the amount of silt aggregates, decreased the content of newly formed pro-humus substances (detritus), increased the proportion of small sized pores and biological new formations. Soil conservation technologies raised the humus horizon enriched with high concentration of nutrients, decreased the dustiness, increased the amount of water stable granular aggregates, up and down oriented coarse and medium interaggregate pores were formed. In the upper transitional humus horizon of the Typical chernozem, effervescence of carbonates was observed. In the lower transitional humus horizon, carbonates had the appearance of streaks and tubules - under deep minimum tillage, streaks and mealy inclusions - under shallow minimum tillage, fades and mycelium - under ploughing. In the Isohumusol, carbonates boiled in the lower transition horizon and appeared in the visible new formations only in the parent material. Biological neoplasms occurred in the form of organo-mineral (clay-humus) cutans and strians, wormholes, and detrital root substances. Numerous fungal hyphae and dead products of mycorrhizal activity were found in the upper 0-3 cm layer under the no-till layer.

The changes of the mineralogical composition, textured fractions, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, pH_{KCl} , N, P_2O_5 , K_2O , Ca^{2+} i Mg^{2+} through the profile depending on tillage, crops and fertilizers were studied and analysed.

The pedogenesis of the elemental composition in chernozems according to the ratio was considered: $C_{\text{inorg}} : C_{\text{total}}$, $C_{\text{org}} : C_{\text{total}}$, $C_{\text{org}} : N_{\text{total}}$, $C_{\text{org}} : S_{\text{org}}$, $C_{\text{org}} : H_{\text{total}}$. The

transformation parameters of the mass and mole fractions of organic and macro elements in soil profiles were determined as function of tillage and fertilization. The content of the mass fractions of the studied elements decreased in the direction – $C_{total} > C_{org} > C_{inorg} > H_{total} > N_{total} > S_{org}$. Downward the soil profile the content of organic nitrogen, sulfur and total hydrogen decreased, but the content of mineral carbon increased. The molar fraction of hydrogen significantly exceeded the concentrations of carbon, nitrogen and sulphur. Minimum tillage had an advantage over ploughing and rotary tillage in the accumulation of organic carbon, nitrogen and sulphur in the soil layers of Typical chernozems and Isohumusols. The highest content of biophilic macroelements was formed by ploughing, minimum and combined tillage in the transitional horizons. It was found that the quantitative and qualitative composition of the profile distribution humus changed due to the technological use of chernozems. It was established that profile distribution humus quantitative and qualitative composition changes due to technological use of chernozems. It was found that the stabilization of humus content and stocks is ensured by the use of soil conservation tillage, application of 1.2 t/ha straw + green manure + $N_{12} + N_{78}P_{68}K_{68}$, seedling of abandoned land with perennial grasses. Facial signs of humus formation by chernozems were detected. Soil organic matter content in a profile of Typical chernozem is significantly higher compared to the Isohumusol due to the peculiarities of the sod process in Ukraine: a moderately warm type of climate with mild winters, hot summers and an unstable type of humidification ($HTK - 1.41$; $\sum t > 10\text{ }^{\circ}\text{C} - 3227\text{ }^{\circ}\text{C}$), deep leaching of the soil profile in the autumn-winter period, an extended growing season, a significant annual inflow of above- and below- ground plant biomass, fixation of humic substances by a carbonate loess and a light texture of Typical chernozem. The Isohumusol was formed on heavy loamy loess against the background of a moderate monsoon climate ($HTK - 1.72$; $\sum t > 10\text{ }^{\circ}\text{C} - 3234\text{ }^{\circ}\text{C}$), with a shorter period of active temperatures (157–175 days), under a lower average long-term average air temperature (4.6 $^{\circ}\text{C}$), with sufficient heat and moisture supply. In this region about 90–95 % of all precipitation falls during the growing season. The extremely continental conditions of

the Isohumusol formation provokes the accumulation of C_{org} in upper horizon followed by its rapid decrease in the soil profile downwards. The organic matter of the Isohumusol is enriched in labile humic substances, high-molecular nitrogen-containing components with developed functional groups. The Typical chernozem, compared to Izohumusol, contains a higher amount of HA_{2-3} and FA_{2-3} , lower – HA_1 , FA_{1a+1} fractions and humins.

Under soil conservation technologies, abandoned lands and forests, the portion of humic fractions having developed aliphatic system, enriched on biophilic elements and functional groups is increased, the formation of mobile humic fractions ($C_{HA1}+C_{FA(1a+1)}/C_{(HA+FA)2+3}$), the intensity of the first (C_{HA1}/C_{FA1}) and the second (C_{HA2}/C_{FA2}) stages of humification. In the upper 0–20 cm layer of chernozems, the highest content of labile fractions of humic substances is formed under minimum tillage and natural coenoses, in the lower 20–100 cm layer – under ploughing, deep minimum tillage and fallow. Aromatic polymerized and polycondensed substances of humate-type ($C_{HA2}+C_{HA3}+C_{humins}$; C_{HA}/C_{org}) are intensively formed in the 10–100 cm layer.

The dynamics of changes in the fractional composition of minerals and organic carbon compounds of typical chernozem under endo- and exothermic effects in the temperature range of 110–710 °C were investigated and determined using the methods of derivative thermography and differential scanning calorimetry. For the first time, the humification index was determined on the basis of the ratio between the changes in the mass of the soil sample (ΔM) in the range 200–396 °C to ΔM in the range 396–610 °C. The higher values of the humification index in the soil samples under soil conservation tillage and natural coenoses indicate a higher proportion of labile components in the humus under this soil use. It was found the seasonal recovering features of: soil organic carbon, total nitrogen, carbon and nitrogen in biomasses of microorganisms, organic carbon and total nitrogen in the water stable aggregates, particle organic matter, bulk density, infiltration rates, soil moisture and CO_2 -C emissions from soils. Quantitatively described: seasonal dynamics of bulk density,

infiltration capacity of soils, moisture content, CO₂-C emission of soils. The trend of seasonal changes of C_{org} and C_{org} : N_{total} ratio differed from N_{total} trend. Our studies demonstrate a higher position of the X_{n0.50} median of the interquartile range IQR₂₅₋₇₅ for C_{org} and N_{total} under minimum tillage, compared to plowing, which was gradually reduced from upper to lower layers.

The curve of C_{org} seasonal changes in the disperse fractions differed from the trends in POM_{>250}, POM₂₅₀₋₅₃ and POM_{<53 mm}. The C_{org} content in >250, 250–53 μm fractions decreased from May to July and increased in August-October, while the content of the <53 μm fraction decreased gradually or didn't change significantly during the studied season. The highest content of C_{org} (6.85–2.12 %) was defined in large dispersed aggregates, while the lowest – in the fine clay-humus aggregates (3.66–1.32 %). The content of mineral particles, determined by laser diffraction, in the fractions of dispersed aggregates in terms of average length and volume diameter decreased with depth and from macro- to micro- and fine fractions.

It has been shown that the increase in labile carbon and nitrogen content in microbial biomass under conservation tillage contributes to the accumulation of carbon in particulate organic matter. Higher values of soil microbial index under conservation tillage indicate active transformation of soil organic matter by soil microorganisms. Seasonal fluctuations of soil CO₂-C are determined by the ecological resistance of soil organic matter to natural and anthropogenic influences. The influence of the long-frozen seasonal thermal regime of the extreme continental climate in the North-East China and the seasonal frozen thermal regime of the moderate continental climate in the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine on the structure formation of the studied soils has been established. In Isohumusols are formed large and hard water-stable aggregates, which during sporadic monsoons create the optimal water-air regime, prevent the losses of the upper soil layer from dust storms and runoff.

Typical chernozems are characterized by a “good” structural state with a greater amount of silty particles than in Isohumusols, which worsen the anti-erosion properties of soils and increase soil moisture losses by evaporation. Soil conservation tillage

effect the formation of the large 10–0.5 mm fractions, while plowing – small <0.5 mm fractions of water-stable aggregates. The changes in the content of 10–5, 5–2, 2–0.5 and <0.5 mm water-stable aggregates, isolated by slowly soaking the soil sample in distilled water in a vacuum, had different trends during season. The largest amplitude of these changes was found under plowing, the smallest – under no-till.

Spatial and temporal fluctuations of temperatures in the 0–300 cm layer of Isohumusols are described by the Fourier law, taking into account the equations of moisture, salt, heat and radiation balance fluxes. In the warm period of the year, heat flows move from the upper layers of the soil to the lower ones, in the winter period - in the opposite direction. The arable layer of chernozems formed under plowing warms up and cools down significantly faster compared to tillage and no-till. The lowest temperature in the summer and the highest temperature in the cold period of the year were under no-till in all layers of Isohumusol. Positive temperatures were observed at a depth of 200–300 cm during a whole year.

It was found that the trend of soil moisture dynamics during the growing season was more dependent on atmospheric precipitation, evaporation losses and plant water consumption, and much less on soil tillage. At the end of June, the soil moisture content was higher in the 0–20 and 30–60 cm layers under conservation tillage, and in the 20–30 and 60–100 cm layers under ploughing. A soil moisture content changes in the 60–100 cm layer had a smaller amplitude compared to the 0–60 cm layer. The highest volumetric soil moisture content in the 0–150 cm layer of Isohumusol was found under no-till in December and April, while the lowest – in August. The better infiltration rates of Chernozems under minimum till triggered an intensive soil moisture accumulation in the autumn-winter period.

The research outcomes presented in the dissertation form the basis for the development of empirical-statistical models as well as a decision-making system for chernozems and isohumusols productive management.

Key words: pedogenesis, anthropogenesis, Izohumusol, Typical chernozem, tillage, crop rotation, humus, carbon, nitrogen, particle organic matter, soil texture and mineralogy, soil physics.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації

Монографії:

1. **Kravchenko Y.** Ukrainian Chernozem: monograph. Kyiv : NUBiP of Ukraine Press, 2017. 182 p.
2. Ковальчук І., Ковальчук А., Тихенко Р., Шевченко О., Опенько І., Андрейчук Ю., **Кравченко Ю.**, Палеха Ю., Патиченко О., Тихенко О. Атласне картографування вартості земель : монографія. Частина 3. Том 3, Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2019. 620 с. (*Здобувачем висвітлено картографічні основи тематичних карт і картограм для створення картографічних моделей грошової оцінки земель*).
3. Ковальчук І., Ковальчук А., Тихенко Р., Шевченко О., Опенько І., Андрейчук Ю., **Кравченко Ю.**, Палеха Ю., Патиченко О., Тихенко О. Атласне картографування вартості земель : монографія. Частина 3. Том 2, Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2019. 556 с. (*Здобувачем вивчено методологію проведення великомасштабного картографування ґрунтового покриття*).
4. Ковальчук І., Ковальчук А., Тихенко Р., Шевченко О., Опенько І., Андрейчук Ю., **Кравченко Ю.**, Палеха Ю., Патиченко О., Тихенко О. Атласне картографування вартості земель : монографія. Частина 3. Том 1, Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2019. 614 с. (*Здобувачем встановлено основні засади створення картографічної основи для проведення грошової оцінки земель*).
5. Tonkha O., Nurek T., **Kravchenko Y.**, Sychevs'kyu S., Bykova O., Menshov O., Kruglov O., Kovalenko V., Sonko R., Hutsol T., Glowacki S. Spatial Heterogeneity of Soil Parameters in Different Forest-Steppe Landscapes of Ukraine: monograph. Warszawa: Warsaw University of Life Sciences Press, 2021. 118 p.

(Здобувачем проведено аналіз просторового поширення чорноземів в Лісостепу України, описана роль силіцію у родючості ґрунтів, досліджені фізичні та хімічні властивості ґрунтів Хмельницької області).

Статті у періодичних наукових закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus

6. **Kravchenko Y.**, Zhang X., Liu X., Song C., Cruse R. Mollisols properties and changes in Ukraine and China. *Chinese Geographical Science*. 2011. Vol. 21. № 3. P. 257–266 (Здобувачем вивчено генезис і проаналізовано властивості чорноземів України і Китаю).

7. Liu X., Lee Burras C., **Kravchenko Y.**, Duran A., Huffman T., Morras H., Studdert G., Zhang X., Cruse R., Yuan X. Overview of Mollisols in the World: Distribution, Land Use and Management *Canadian Journal of Soil Science*. 2011. Vol. 92, № 3. P. 383–402 (Здобувачем вивчено і проаналізовано фаціальні особливості чорноземів України, Росії і Китаю).

8. Sun T., Chen Q., Chen Y., Cruse R., Li X., Song C., **Kravchenko Y.**, Zhang X. A novel soil wetting technique for measuring wet stable aggregates. *Soil & Tillage Research*. 2014. № 141. P. 19–24 (Здобувачем запропоновано і впроваджено нові методологічні підходи щодо визначення водостійких агрегатів ґрунту за їх повільного замочування у дистильованій воді у вакуумі).

9. Liu S., Zhang X., **Kravchenko Y.**, Iqbal A. Maize (*Zea mays* L.) yield and soil properties as affected by no tillage in the black soils of China *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2015. Vol. 65. № 6. P. 554–565 (Здобувачем вивчено вплив властивостей Ізогумусолю та обробітку ґрунту на урожай кукурудзи на зерно).

10. Chen Q., **Kravchenko Y.**, Li H., Chen S., Zhang X. Seasonal Variation of Physical and Chemical Properties in a Black Soil under No-Till and Conventional Tillage in Northeast China. *The Philippine Agricultural Scientist*. 2016. Vol. 99, № 3.

P. 277–282 (Здобувачем вивчено сезонну динаміку змін фізичних і фізико-хімічних властивостей Ізогумусолю за різного обробітку ґрунту та утримання).

11. **Kravchenko Y.**, Chen Q., Liu X., Herbert S., Zhang X. Conservation Practices and Management in Ukrainian Mollisols. *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST)*. 2016. Vol. 18. P. 845–854 (Здобувачем висвітлено проблему застосування ґрунтозахисних технологій в Україні та їх вплив на родючість чорноземів).

12. Tonkha O., Butenko A., Bykova O., **Kravchenko Y.**, Pikovska O., Kovalenko V., Evpak I., Masyk I., Zakharchenko E. Spatial Heterogeneity of Soil Silicon in Ukrainian Phozems and Chernozems. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 22. № 2. P. 111–119 (Здобувачем встановлено просторову неоднорідність умісту силіцію і властивостей чорноземів Лісостепу України залежно від природних і антропогенних факторів).

13. **Kravchenko Y.**, Zhang X., Song C., Hu W., Yarosh A., Voitsekhivska O. Seasonal Dynamics of Organic Carbon and Nitrogen in Biomasses of Microorganisms in Arable Mollisols Affected by Different Tillage Systems. *Land*. 2022. Vol. 11. № 4. 486 (Здобувачем вивчено сезонну динаміку змін умісту вуглецю та азоту біомаси мікроорганізмів за різного довготривалого обробітку Ізогумусолю).

14. **Kravchenko Y.**, Yarosh A., Chen Y. Profile Soil Carbon and Nitrogen Dynamics in Typical Chernozem under Long-Term Tillage Use. *Land*. 2022. № 11. 1165 (Здобувачем вивчено сезонну динаміку змін умісту органічного вуглецю та азоту у метровому шарі чорнозему типового за різного обробітку ґрунту).

Статті у наукових фахових виданнях України:

15. **Kravchenko Y.**, Petrenko L., Pikovska O., Kozak V., Siyu G. Soil organic matter properties and management on Typical Ukrainian Chernozems. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове ґрунтознавство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2011. № 1. С. 122–127 (Здобувачем

вивчено ґрунтозахисні підходи щодо відновлення родючості і умісту органічної речовини чорнозему типового).

16. Лі Х., **Кравченко Ю. С.**, Джан С. Оцінка водно-ерозійних процесів і втрат чорноземних ґрунтів Північно-східного Китаю. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове ґрунтознавство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2011. № 1. С. 56–60 (Здобувачем досліджено водно-ерозійні процеси і втрати ґрунту у межах великого і малого вододілів селища Гуангронг – місця проведення дисертаційного дослідження).

17. **Кравченко Ю. С.** Зміни агрофізичних властивостей китайського чорнозему в залежності від технологій обробітку ґрунту. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове ґрунтознавство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2013. № 1. С. 35–38.

18. **Kravchenko Y.**, Matviiv G. Soil Aggregates Distribution in Typical chernozem Effected by Different Tillage Systems. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове ґрунтознавство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2014. № 1. С. 36–42 (Здобувачем досліджено фракційний розподіл водостійких агрегатів в орному і підорному шарах чорнозему типового за різного обробітку ґрунту).

19. **Кравченко Ю. С.**, Матвіїв А. М. Сезонна динаміка запасів вологи чорнозему типового за різних систем обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно. *Наукові доповіді НУБіП України : електрон. наук. фахове вид.* 2015. № 52. URL: http://nd.nubip.edu.ua/2015_3/10.pdf (дата звернення: 14.09.2022) (Здобувачем проаналізовано сезонну динаміку умісту і запасів вологи верхніх шарів чорнозему типового за різного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно).

20. **Кравченко Ю.**, Бережняк Є., Матвіїв Г., Джан С., Чен Ю., Сунь Т. Агрофізичні властивості чорнозему типового та ізогумусолію за різних технологій їх обробітку *Вісник аграрної науки.* 2015. № 9 (751). С. 17–23

(Здобувачем вивчено вплив різного обробітку ґрунту на агрофізичні властивості чорнозему типового та ізогумусолу).

21. **Кравченко Ю. С.** Сучасний стан родючості китайських чорноземів. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове ґрунтознавство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2019. № 2. С. 14–27.

22. **Кравченко Ю. С.** Відтворення родючості чорноземів України за ґрунтозахисного землеробства. *Агробіологія*. 2020. № 1. С. 67–79.

23. **Кравченко Ю. С.** Впровадження наукових основ ґрунтозахисного землеробства та аграрної політики у відтворенні родючості чорноземів Північно-східного Китаю. 2020. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. № 1. С. 58–70.

Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних:

24. Лью Шуа, Джан С., **Кравченко Ю. С.** Динаміка та запаси вологи чорнозему Північно-східного Китаю та урожайність кукурудзи на зерно при використанні різних технологій обробітку ґрунту. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2011. Вип 162 (2). С. 126–131 (Здобувачем досліджено динаміку сезонних змін умісту вологи та її профільні запаси в Ізогумусолі залежно від технології обробітку ґрунту та кліматичних умов).

25. Лі Х., Джан С., **Кравченко Ю. С.** Водно-ерозійні процеси на лесовидних вододілах Північно-східного Китаю. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2011. Вип 162 (2). С. 131–137 (Здобувачем розраховано середньорічні втрати ізогумусолу залежно від кліматичних і ландшафтних умов та характеру використання ґрунтів у межах лесових вододілів).

26. **Кравченко Ю. С.** Вміст водостійких агрегатів у Моллісолі Північно–Східного Китаю в залежності від обробітку ґрунту та типу сільськогосподарських угідь. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2012. Вип. 176. С. 173–177.

27. **Kravchenko Y.**, Zhang X., Li X., Li H., Chen Q. Ukrainian and Chinese Mollisols: Distribution, Formation and Properties. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2013. Вип. 183 (2). С. 216–222 (Здобувачем вивчено географічні аспекти утворення чорноземів України та Китаю та просторову неоднорідність їх властивостей).

28. **Kravchenko Y.** Aggregate Stability and Size Distribution in Ukrainian and Chinese Mollisols under Different Tillage. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2018. № 294. С. 136–144.

29. **Кравченко Ю. С.** Сучасний стан родючості українських чорноземів. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2019. Том 10. № 4. С. 16–28 (Здобувачем проаналізовано зміни родючості чорноземів і шляхи її відтворення за довготривалого сільськогосподарського використання).

30. **Кравченко Ю. С.**, Тонха О. Л. Морфогенез чорнозему типового та ізогумусолу за довготривалого використання різних систем обробітку ґрунту. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. Том 11. № 2. С. 39–49 (Здобувачем вивчено морфолого-генетичні зміни чорнозему типового та ізогумусолу за різного їх використання).

31. **Kravchenko Yu.**, Vykova O. Physico-chemical and agrochemical indicators of typical chernozem and isohumisol under various tillage and fertiliser systems. *Plant and Soil Science*. 2023. Vol. 14 (1). P. 22–38 (Здобувачем досліджено профільну динаміку фізико-хімічних і агрохімічних властивостей чорнозему типового та ізогумусолу за різного обробітку ґрунту і удобрення).

Статті у науковому виданні іншої держави:

32. Li H., Zhang X., Liu S., **Kravchenko Y.**, Ivanova K., Li X., Chen Q. Evolvement of gully erosion in village scale in the typical black soil area. *Science of Soil and Water Conservation*. 2012. Vol. 10 (2). P. 21–28 (Здобувачем досліджено процес розвитку яроутворення у межах водно-ерозійного ландшафту Гуангронгу).

33. Chen Q., **Kravchenko Y.**, Yuan C., Hao Li. Seasonal Variations of Soil Structures under Different Tillage Systems. *Chinese Journal of Soil Science*. 2014. Vol. 46, № 1. P. 184–191 (*Здобувачем вивчено сезонну динаміку різних фракцій водотривких агрегатів ізогумусолю Хайлуня та їх фрактальну розмірність за різного обробітку ґрунту*).

34. Chen Q., **Kravchenko Y.**, Yuan C., Li X., Li H., Song C., Zhang X. Seasonal variations of soil structures and hydraulic conductivities and their effects on soil and water conservation under no-tillage and reduced tillage *Acta Pedologica Sinica*. 2014. Vol. 51 (1). P. 11–21 (*Здобувачем визначено вплив обробітку ґрунту на щільність складення, водопроникність, втрати ізогумусолю Гуангронгу від поверхневого стоку та атмосферних опадів*).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

35. **Kravchenko Y.** Russian Chernozems: Distribution and Management. *New Advances in Research and Management of World Mollisols: Proceedings of International Symposium on Soil Quality and Management of World Mollisols, Harbin, July 13–16, 2010*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 2010. P. 51–59 (*Здобувачем вивчено генезис утворення чорноземів Росії та шляхи відновлення їх родючості*).

36. **Kravchenko Y.**, Petrenko L., Zhang Xingyi. Ukrainian Chernozems: genesis, properties and amendment. *New Advances in Research and Management of World Mollisols: Proceedings of International Symposium on Soil Quality and Management of World Mollisols, Harbin, July 13–16, 2010*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 2010. P. 3–24 (*Здобувачем вивчено генезис утворення чорноземів України та шляхи відновлення їх родючості*).

37. **Kravchenko Y.** Structural changes of soil organic matter in typical Chernozem under different soil tillage systems. *New Advances in Research and Management of World Mollisols: Proceedings of International Symposium on Soil*

Quality and Management of World Mollisols, Harbin, July 13–16, 2010. Harbin: Northeast Forestry University Press, 2010. P. 106–108.

38. **Liu S., Zhang X., Kravchenko Y.** Effects of soil tillage systems on soil dynamics, water use efficiency and corn yield in arable black soil in northeast China. *Соціально-економічна політика держави в умовах трансформаційних змін: макро- та мікроекономічні аспекти* : матеріали міжнар. науково практичної конф., Полтава, 12 квітня 2011 р. Полтава: РВВ ПДВА, 2011. 250 с. (Здобувачем вивчено зміни водних властивостей ізогумусолю за вирощування кукурудзи на зерно при застосуванні різних технологій обробітку ґрунту).

39. **Кравченко Ю.,** Джан С., Лі Х., Лі Ш., Чжен Д. Динаміка водно – ерозійних процесів на чорноземах Північно-східного Китаю при застосуванні різних технологій обробітку ґрунту. *Генеza, географія та екологія ґрунтів*: збірник наукових праць міжнародної наукової конференції, Львів, 19–21 вересня 2013 р. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2013. Вип.4. С. 77–84 (Здобувачем досліджено водно-ерозійні процеси на чорноземах Північно-східного Китаю при застосуванні різних технологій обробітку ґрунту).

40. **Кравченко Ю.** Геолого-географічні та кліматичні особливості формування чорноземів Північно-східного Китаю. *Охорона ґрунтів - основа сталого розвитку*: спеціальний випуск до ІХ з'їзду Українського товариства ґрунтознавців та агрохіміків, Миколаїв, 30 червня – 4 липня 2014 року. Харків: ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського, 2014. С. 46–47.

41. **Кравченко Ю. С.,** Бережняк Є. М., Матвіїв Г. М. Агрофізичні показники чорноземів України і Китаю за різних технологій їх обробітку. *Сучасні проблеми збалансованого природокористування*: збірник наукових праць ПДАТУ, спеціальний випуск до ІХ науково-практичної конференції, Кам'янець-Подільський, листопад 2014. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2014. С. 201–203 (Здобувачем висвітлено зміни агрофізичних властивостей чорнозему типового та ізогумусолю за різних технологій обробітку ґрунту).

42. **Кравченко Ю. С.** Картування ґрунтового покриву України. *Ґрунти України: трансформація і відновлення родючості: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої всесвітньому дню ґрунту, Київ, 7 грудня 2021.* Київ: НУБіП України, 2021. С. 25–28.

43. **Kravchenko Y.** World Mollisols Diversity and their Conservation Use: Global and Local Aspects. *Modern Theories and Best Practices: Materials of the Monthly International Scientific and Practical Conference Sustainable Development, Tallinn, February 24-26, 2021.* Tallinn: Teadmus OÜ, 2021. P. 38–41.

Наукові праці, які додатково відображають результати дисертації

44. Petrenko L. R., **Kravchenko Y. S.**, Starodubtsev V. M. Elements of Geology : instruction book. К.: НУБіП України, 2005. 96 с. (*Здобувачем вивчено ендогенні і екзогенні геологічні процеси та властивості мінералів*).

45. Gnatenko O. F., Petrenko L. R., **Kravchenko Yu. S.**, Baydyuk M. I. Soil Genesis, Classification, Nomenclature and Diagnostics: instruction book. К.: НУБіП України, 2006. 50 с. (*Здобувачем досліджено генезис і таксономію ґрунтів*).

46. Манько Ю. П., Цюк О. А., Кротінов О. П., Вдовиченко В. К., Тарасенко О. О., Барановський В. Д., **Кравченко Ю. С.**, Рожко В. М., Карпенко О. Ю., Шерстобаєва О. В., Коваленко Т. М. Модель системи екологічного землеробства в Лісостепу України: *методичні рекомендації для впровадження у виробництво.* Київ: Аграрна освіта, 2008. 36 с. (*Здобувачем вивчено складові системи екологічного землеробства в Україні*).

47. **Kravchenko Y.** Geology with the Principles of Geomorfology: textbook. *Part 1. Dynamic Geology.* Kyiv: IT Centre, 2009. 142 p.

48. **Кравченко Ю. С.** Оцінка ерозійних процесів на чорноземних ґрунтах лесових водозборів Північно-східного Китаю. *Фізична географія та геоморфологія.* Міжвідомчий науковий збірник. Київ. ВГЛ «Обрії», 2012. Вип. 2, № 66. С. 182–187.

49. **Кравченко Ю. С.** Ландшафтно-географічні та геологічні умови утворення чорноземів Північно-східного Китаю. *Фізична географія та геоморфологія*. Міжвідомчий науковий збірник. Київ. ВГЛ «Обрії», 2013. Вип. 3, № 71. С. 204–210.

50. Petrenko L., Berezhnyak V., **Kravchenko Y.**, Tonkha O., Berezhnyak Ye., Bykova O. Soil Science : practical methods manual. K.: Publishing ООО “NPP Interservice”, 2014. 428 p. (*Здобувачем представлено лабораторні методи досліджень ґрунтів*).

51. **Kravchenko Y.**, Lopatko K., Aftodilants Y., Trach V. The effect of colloidal nanoparticles on Plant Grows, Phytotoxicity and Crop Yields. *Fertiliser Technology I: Syntesis*. NY: Studium Press LLC., 2015. P. 408–443 (*Здобувачем здійснено аналіз впливу наночастинок на наростання біомаси та врожай сільськогосподарських рослин*).

52. Bilyera N., Loginova I., **Kravchenko Y.** Micro-nutrients Efficiency on Crop Growing and Soil Quality. *Fertiliser Technology II: Biofertilizers*. NY: Studium Press LLC., 2015. Vol. 2. P. 519–543 (*Здобувачем проаналізовано ефект мікроелементів на родючість ґрунтів*).

53. Матвіїв А. М., **Кравченко Ю. С.** Сезонна динаміка запасів вологи чорнозему опідзоленого західного лісостепу України за різного використання в агроценозах. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2016. Вип. 235. С. 189–196 (*Здобувачем проаналізовано водні властивості чорнозему опідзоленого за його різного використання*).

54. Матвіїв Г. М., **Кравченко Ю. С.**, Матвіїв В. М. Сезонна динаміка щільності складення чорнозему опідзоленого Західного лісостепу України за різного використання в агроценозах. *Наукові доповіді НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2016. Вип. № 7 (64). URL : <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/download/dopovidi2016.07.010/7421> (дата звернення: 16.09.2022) (*Здобувачем проведено дослідження фізичних властивостей чорнозему опідзоленого за його різного використання*).

55. Petrenko L., Berezhniak M., **Kravchenko Yu.**, Kozak V., Berezhniak E. Soil Science with Elements of Geology: textbook K.: ЦП “Komprint”, 2020. 702 p. *(Здобувачем досліджено і описано мінералогічний і гранулометричний склад ґрунтів).*

56. Тонха О. Л., **Кравченко Ю. С.**, Меньшов О. І. Комплексна оцінка ґрунтових ресурсів, прогноз їх розвитку та управління родючістю на основі неруйнівних та геофізичних методів. К.: НУБіП України, 2022. 58 с. *(Здобувачем описано різні види дистанційних зйомок та польові знімання ґрунтового покриву проксимальною апаратурою).*

57. Тонха О., **Кравченко Ю.**, Меньшов О., Круглов О., Вижва С. Алгоритм обстеження сільськогосподарських полів за технологій точного землеробства. К.: НУБіП України, 2022. 55 с. *(Здобувачем описано алгоритм впровадження технологій точного землеробства для різномасштабних досліджень з технологією складання карт і картограм).*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	31
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНТРОПОГЕННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО ТА ІЗОГУМУСОЛЮ ЗА ЇХ РІЗНОГО ВИКОРИСТАННЯ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ).....	41
1.1. Наукові засади формування властивостей чорнозему типового та ізогумусолю за фаціального ґрунтоутворення.....	41
1.2. Деградація чорноземів України за їх інтенсивного сільськогосподарського використання.....	57
1.3. Ґрунтово-екологічні наслідки трансформації ізогумусолів Північно- східного регіону Китаю.....	61
1.4. Формування оптимальних параметрів чорноземів України за ґрунтозахисного землеробства.....	64
1.5. Сучасні тенденції управління властивостями ізогумусолів Китаю.....	71
Висновки до розділу 1.....	76
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	78
2.1. Програма, місця, об'єкти та методика проведення досліджень.....	78
2.2. Властивості ґрунтів дослідних полів.....	86
2.2.1. Чорнозем типовий (дослід № 1).....	86
2.2.2. Ізогумусоль (дослід № 2).....	88
2.2.3. Ізогумусоль (дослід № 3).....	90
2.3. Методи проведення досліджень.....	92
РОЗДІЛ 3. ЧОРНОЗЕМОУТВОРЕННЯ В АГРОЦЕНОЗАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ І ПІВНІЧНО-СХІДНОГО РЕГІОНУ КИТАЮ.....	100
3.1. Кліматичні умови утворення чорнозему типового та ізогумусолів.....	100
3.1.1. Загальна характеристика метеорологічних і кліматичних умов територій проведення досліджень.....	100
3.1.2. Аналіз агрометеорологічних умов за вегетаційний період спостережень.....	103
3.2. Формування профільних ознак і властивостей чорнозему типового та ізогумусолів.....	107
3.2.1. Ландшафтно-географічні та геологічні умови утворення досліджуваних ґрунтів.....	107
3.2.2. Морфогенез ізогумусолю за його різного використання.....	110
3.2.3. Морфогенез чорнозему типового за його різного використання....	114

3.2.4. Зміна будови профілів ґрунтів під впливом обробітку ґрунту.....	120
3.3. Рентгеноструктурний аналіз мінералогічного складу чорнозему типового.....	122
3.4. Профільний розподіл гранулометричних фракцій чорнозему типового та ізогумусолію.....	126
3.5. Фізико-хімічні й агрохімічні показники чорнозему типового та ізогумусолію за різних систем обробітку й удобрення.....	130
Висновки до розділу 3.....	137
РОЗДІЛ 4. ТРАНСФОРМАЦІЯ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО ТА ІЗОГУМУСОЛІВ ЗА ЇХ РІЗНОГО ВИКОРИСТАННЯ.....	139
4.1. Профільний розподіл біофільних елементів у чорноземі типовому та ізогумусолях.....	139
4.2. Запаси гумусу у метровому шарі чорнозему типового та ізогумусолях...	155
4.3. Груповий та фракційний склад гумусу чорнозему типового та ізогумусолію.....	165
4.4. Термогравіметрія органічної речовини чорнозему типового.....	177
4.5. Диференційна скануюча калориметрія органічної речовини чорнозему типового.....	188
4.6. Сезонна динаміка умісту $C_{\text{орг}}$, $N_{\text{заг}}$ і відношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ у чорноземі типовому та ізогумусолях.....	194
4.7. Сезонна динаміка умісту органічного вуглецю та азоту біомаси мікроорганізмів.....	218
4.8. Базальне дихання ізогумусолів в аграрних та природних ценозах.....	227
4.9. Базальне мікробне дихання у 0–100 см шарі чорнозему типового.....	231
Висновки до розділу 4.....	233
РОЗДІЛ 5. СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНИЙ СТАН ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО ТА ІЗОГУМУСОЛІВ У АГРОЦЕНОЗАХ І ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ.	236
5.1. Формування агрегатного складу чорнозему типового і ізогумусолів.....	236
5.2. Стабільність та динаміка водостійких агрегатів досліджуваних ґрунтів	249
5.3. Сезонна динаміка $POM_{>250\text{мкм}}$, $POM_{250-53\text{мкм}}$ і $iPOM_{<53\text{мкм}}$ агрегатів та фракційний розподіл гранул за лазерною дифрактометрією.....	261
Висновки до розділу 5.....	272
РОЗДІЛ 6. ВПЛИВ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ, УДОБРЕННЯ ТА УТРИМАННЯ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО ТА ІЗОГУМУСОЛІВ НА ЇХ ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.....	275
6.1. Щільність складення чорнозему типового та ізогумусолів за їх різного використання.....	275

6.2. Сезонна динаміка водопроникності ґрунтів агроландшафтів України та Китаю.....	279
6.3. Оцінка динаміки умісту вологи досліджуваних ґрунтів методами розсіювання нейтронів, комплексної електропровідності та гравіметрії.....	286
6.4. Річна динаміка температури 0-300 см шару ізогумусоля за використання по-till, безполицевого обробітку ґрунту і оранки.....	292
Висновки до розділу 6.....	295
РОЗДІЛ 7. УПРАВЛІННЯ РОДЮЧІСТЮ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО УКРАЇНИ І ІЗОГУМУСОЛЮ КИТАЮ.....	297
7.1. Продуктивність сільськогосподарських культур як індикатор зміни родючості чорнозему типового та ізогумусолю.....	298
7.2. Урожайність сої і кукурудзи на зерно за водно-ерозійних процесів в ізогумусолі Північно-східного регіону Китаю.....	304
Висновки до підрозділів 7.1–7.2.....	309
7.3. Наукове обґрунтування управління родючістю чорнозему типового України та ізогумусолю Китаю.....	310
ВИСНОВКИ.....	322
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	330
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	332
ДОДАТКИ.....	393

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ ТЕРМІНІВ

APA	– асоціація американських психологів
$\Sigma t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	– сума активних температур повітря вище $10\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ab	– переліг
CNERN	– національна наукова моніторингова сітка досліджень екосистем
Comb	– комбінований обробіток ґрунту
CTu	– полицевий різноглибинний обробіток ґрунту
$C_{\text{мікро}}$	– вуглець біомаси мікроорганізмів
$C_{\text{мікро}} : C_{\text{орг}}$	– мікробний індекс
D	– фрактальна розмірність
DRTu	– глибокий різноглибинний плоскорізний обробіток ґрунту
FLF	– вільні лабільні гумусові речовини
F	– чорний пар
Fst	– лісовий масив тополі білої
GMD	– середньгеометричний діаметр
HF	– важкі специфічні гумусові речовини
$N_{\text{заг}}$	– загальний водень ґрунту
$i\text{POM}_{<53\text{ мкм}}$	– «тонка» фракція POM розміром менше 53 мкм
LF	– легкі (лабільні) гумусові речовини
MWD	– середньозважений діаметр
nHVSW	– водостійкі агрегати ґрунту за повільного замочування проби у вакуумі у дистильованій воді
NT	– no-till
NVFW	– водостійкі агрегати ґрунту за швидкого замочування проби без вакууму у водопровідній воді
NVFW-dw	– водостійкі агрегати ґрунту за швидкого замочування проби без вакууму у дистильованій воді
NVSW	– водостійкі агрегати ґрунту за повільного замочування проби без вакууму у водопровідній воді
$N_{\text{заг}}$	– загальний азот ґрунту
$N_{\text{мікро}}$	– азот біомаси мікроорганізмів
$C_{\text{орг}}\text{POM}$	– вуглець дисперсної органічної речовини ґрунту
POM	– дисперсна органічна речовина ґрунту
$\text{POM}_{>250\text{ мкм}}$	– «макро» фракція POM розміром $>250\text{ мкм}$
$\text{POM}_{250-53\text{ мкм}}$	– «мікро» фракція POM розміром 250–53 мкм
$q\text{CO}_2$	– коефіцієнт мікробного дихання
r	– коефіцієнт лінійної кореляції К. Пірсона
Rot	– роторний обробіток ґрунту
RT	– безполицевий обробіток ґрунту
RTu	– мілкий плоскорізний обробіток ґрунту

USLE	– універсальне рівняння втрат ґрунту
SDR	– коефіцієнт подачі осаду
$S_{\text{орг}}$	– сірка органічних сполук ґрунту
W	– уміст вологи ґрунту
BAI, WSA	– водостійкі агрегати ґрунту
ВП НУБіП України	– відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
ГК	– гумінові кислоти
ГОСТ	– державний стандарт СРСР
ГР	– гумусові речовини
ГТА	– газотермічний аналіз
ГТК	– гідротермічний коефіцієнт Селянінова
ДСК	– диференціальна скануюча калориметрія
ДСТУ	– державний стандарт України
ДТА	– диференційно-термічний аналіз
$K_{\text{водост}}$	– коефіцієнт водостійкості
$K_{\text{стр}}$	– коефіцієнт структурності
ММЗПВ	– максимально можливі запаси продуктивної вологи
ОВП	– окислювально-відновлювальний потенціал
ОРГ	– органічна речовина ґрунту
с.-г.	– сільськогосподарський
CS	– ґрунтозахисний обробіток поперек схилу
СТ	– полицевий обробіток ґрунту
$C_{\text{баз}}$	– базальне дихання
$C_{\text{ГК}}$	– вуглець гумінових кислот
$C_{\text{ГК1}}$	– вуглець фракції 1 гумінових кислот
$C_{\text{ГК2}}$	– вуглець фракції 2 гумінових кислот
$C_{\text{ГК3}}$	– вуглець фракції 3 гумінових кислот
СТА	– стабільність ґрунтових агрегатів
$C_{\text{заг}}$	– загальний вуглець ґрунту
$C_{\text{неорг}}$	– вуглець неорганічних сполук ґрунту
$C_{\text{орг}}$	– вуглець органічних сполук ґрунту
$C_{\text{ФК}}$	– вуглець фульвокислот
$C_{\text{фк1}}$	– вуглець фракції 1 фульвокислот
$C_{\text{фк1a}}$	– вуглець фракції 1a фульвокислот
$C_{\text{фк2}}$	– вуглець фракції 2 фульвокислот
$C_{\text{фк3}}$	– вуглець фракції 3 фульвокислот
ТА	– термічний аналіз
ТГА	– термогравіметричний аналіз
ФК	– фульвокислоти
ЩС	– щільність складення

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Використання ґрунтових ресурсів України і Китаю має багатовікову історію. В Україні найтриваліше використовуються чорноземи Правобережного Лісостепу України, які обробляються з часів епохи неоліту до сьогодення. У Північно-східному Китаї (зона поширення ізогумусолей, провінція Ляонін), землеробські практики зародились біля одного тисячоліття до нашої ери. Перебуваючи тривалий час під сільськогосподарським використанням відбулись зміни властивостей орних чорноземів на фоні змін природних факторів і процесів ґрунтоутворення. Дані процеси інтенсивно прискорюються у зв'язку із кліматичними змінами, що потребує їх детального вивчення для розробки і впровадження адаптованих до нових умов сільськогосподарських практик. Традиційні та сучасні агротехнологічні заходи майже вичерпали свій ресурсний потенціал і на даному етапі стали малоефективними щодо збереження родючості ґрунтів і виробництва сільськогосподарської продукції у нових ґрунтово-кліматичних умовах. Протягом останніх десятиліть в Україні збільшується тривалість температурного та водного стресу у рослинах, зменшується кількість атмосферних дощових опадів, посилюється ерозійні процеси і урагани, послаблюється ефективна дія хімічних меліорантів, добрив та засобів захисту рослин. З іншого боку, стали частіше випадати короточасні інтенсивні зливові дощі, які, наприклад у Фастівському районі, у період проведення наших досліджень, спостерігались найбільші показники ГТК за весь період досліджень: 1,57; 1,79 і 1,83 у 2012, 2013 і 2014 роках відповідно. У той же час у відносно посушливі 2010 і 2013 роки, у районі м. Хайлунь провінції Хейлунцзян, показники ГТК знизились із 1,72 і 1,73 (2012 і 2014 роки) до 1,0–1,11 відповідно. Одночасно із кліматичними змінами у ґрунтах відбуваються зміни процесів, що безпосередньо впливає на їх родючість та рівень врожаю сільськогосподарських культур. Вплив агротехнологій на властивості ґрунтів визначається також ґрунтово-кліматичною зоною їх впровадження. Пошарове вивчення по всьому

профілю ґрунту сезонних та річних змін структурно-агрегатного, гранулометричного, мінералогічного складу та речовинних потоків розкриває фізичну суть фундаментальних змін властивостей ґрунтів за їх різного с.-г. використання, що є науковою основою управління їх родючістю. Таким чином виникає нагальна необхідність дослідження дії традиційних технологій вирощування сільськогосподарських культур на морфогенез та профільні зміни показників родючості чорноземів за різних кліматичних умов, а також – удосконалення існуючих і розробка нових інноваційних технологій для різних ґрунтово-кліматичних сценаріїв у адаптивному ґрунтозахисному землеробстві. Дана проблема є однією із найактуальніших у сучасному землеробстві, вирішення якої покладено в основу досліджень за темою дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась в рамках виконання наступних науководослідних робіт: – проекти МОН України: 0122U001641 «Азотно-вуглецевий баланс як основа секвестрації вуглецю у чорноземах Лісостепу України», 0120U102108 «Комплексна оцінка ґрунтових ресурсів Лісостепу України, прогноз їх розвитку та управління родючістю на основі неруйнівних та геофізичних методів», 0116U001598 «Трансформація ґрунтів Лісостепу України та розробка новітньої концепції сталого землекористування», 0117U004399 «Лабільні органічні речовини як основа родючості чорноземів і продуктивності агроценозів», 0100U002905 «Обґрунтувати і розробити ресурсозберігаючі технології управління продуктивністю чорноземів Правобережного Лісостепу України, відтворення родючості та забезпечення в них позитивного балансу органічної речовини»; – проекти Китайської національної академії наук при Північно-східному інституті географії та агроекології (м. Харбін, Китай): «Договір про співробітництво та організацію взаємовідносин» між НУБіП України і ІГА (Китай); 41171230 «The Development of Soil Erosion Prevention and Protection Technique Systems in the Black Farmlands of the Northeast of China», 41071201 «Experimental Extension Project of the Protection of Water and Fertility in

Eroded Black Farmland in Songnen Plain»; – грант Міжнародної наукової сільськогосподарської програми Воскобійників (WIRA) при Університеті штату Пенсильванія, США.

Мета і завдання дослідження. *Мета дисертаційного дослідження* – наукове обґрунтування та розроблення заходів щодо управління властивостями чорноземів України та ізогумусолів Китаю за різних кліматичних умов на основі застосування ґрунтозахисного обробітку ґрунту, удобрення, сидератів, соломи на фоні короткоротаційних сівозмін.

Основні завдання досліджень:

- дослідити трансформацію морфолого-генетичних ознак чорнозему типового та ізогумусолів за їх різного тривалого використання;
- встановити фаціальні ознаки гумусоутворення і структуроутворення чорноземів Євразії;
- визначити пошарово профільні сезонні зміни властивостей чорнозему типового і ізогумусолів за довготривалого застосування різних технологій вирощування сільськогосподарських культур;
- вивчити вплив агротехнічних заходів на: стабілізацію умісту і запасів гумусу, колообіг лабільних сполук вуглецю та азоту біомаси мікроорганізмів, флуктаційні коливання CO₂-C ґрунтів, стабільність агрегатного стану ґрунтів, протиерозійну стійкість досліджуваних ґрунтів;
- провести комплексне оцінювання кількісних і якісних змін фізичних властивостей чорноземів протягом календарного та вегетаційного року;
- розробити наукове обґрунтування заходів із управління родючістю чорнозему типового та ізогумусолію за різних способів обробітку ґрунту та удобрення.

Об'єкт дослідження агрогенез чорнозему типового України та ізогумусолію Китаю.

Предмет дослідження – морфолого-генетичні ознаки, показники, властивості і продуктивність чорнозему типового малогумусного пилувато-

легкосуглинкового на лесі та чорного удік гаплік ізогумусолу. У даній роботі при розгляді китайського ізогумусолу, слова: чорнозем і ізогумусоль використовуються як синоніми.

Методи дослідження. Методологічною основою даного дослідження є: емпіричні (польові і лабораторні експерименти та спостереження; вимірювання показників об'єкту дослідження; порівняння впливу агротехнологій та характеру використання ґрунтів на їх властивості та режими), теоретичні (висунення гіпотези та формування висновків за результатами досліджень; вертикальне, горизонтальне і часове відображення властивостей, процесів і режимів ґрунтів), комплексні (структурно-генетичний аналіз і синтез при виділенні ієрархічних таксономічних одиниць та морфологічних ознак досліджуваних чорноземів; синергетичний підхід при дослідженні процесів відкритої неврівноваженої системи ґрунт-навколишнє середовище; статистичний; математичний; інформаційно-бібліографічний; інші) методи дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі *вперше* в Україні та Китаї:

- розроблено наукове обґрунтування з управління властивостями чорноземів за різних сценаріїв їх господарського використання за помірного кліматичного поясу з урахуванням фаціальних ґрунтово-генетичних особливостей ґрунтів;

- показано фаціальні особливості морфолого-генетичних ознак, сезонних змін гумусових речовин, дисперсної органічної речовини, структурно-агрегатного складу ґрунтів, які мають різнонаправлену динаміку і стабілізуються за застосування ґрунтозахисного обробітку ґрунту, внесення соломи 1,2 т/га + сидерати + $N_{12} + N_{78}P_{68}K_{68}$, залуження перелогу багаторічними травами;

- встановлено стратиграфічний розподіл умісту біофільних макроелементів на рівні педону, гетерогенність органічної речовини ґрунту за показниками термогравіметрії і диференційної скануючої калориметрії, яка

може бути оцінена індексом гуміфікації ($I_{гк_{\Delta M}}$) на основі співвідношення падіння мас в температурних інтервалах екзотермічних ефектів: 200–310 °С (E_{x0_1}) і 310–396 °С (E_{x0_2}) до 396–451 °С (E_{x0_3}), 451–568 °С (E_{x0_4}) і 578–610 (E_{x0_5}) °С;

- виявлена просторова і часова неоднорідність профілів чорнозему типового та ізогумусолів за показниками вологи, щільності складення, водопроникності і температури.

Удосконалені:

- ґрунтозахисні технології вирощування культур у короткоротаційних сівозмінах Правобережного Лісостепу України і Північно-східного регіону Китаю;

- методичні підходи щодо визначення водостійких агрегатів ґрунту шляхом повільного замочування ґрунтової проби у дистильованій воді у вакуумі.

Набули подальшого розвитку:

- методологічні підходи щодо дослідження: водостійких агрегатів ґрунтів, гранулометричного складу ґрунтів, органічних сполук гумусових речовин, водопроникності, умісту ґрунтової вологи.

Наукові положення які виносяться на захист:

- локальні особливості клімату (атмосферні термодинамічні процеси) на фоні подібності факторів ґрунтоутворення формують у межах географічного поясу однотипні зональні ґрунти із фаціальними ознаками будови профілю і властивостей;

- уміст і динаміка сезонних змін гумусових речовин, дисперсної органічної речовини, азоту та вуглецю біомаси мікроорганізмів, структурно-агрегатного складу ґрунтів визначається їх стратиграфічним положенням у ґрунтовому профілі, природним та антропогенним впливом, характеризується різнонаправленістю і багаторівневістю;

- за застосування безполицевого обробітку ґрунту зростає частка 0–20 см запасів гумусу і біофільних елементів у метровому шарі ґрунту, збільшується уміст лабільних фракцій гумусових речовин, підвищується індекс гуміфікації,

зростають флуктаційні сезонні коливання $C_{\text{орг}}$, $N_{\text{заг}}$ і $\text{CO}_2\text{-C}$ ґрунтів, зростає діаметр фракцій дисперсних і водотривких агрегатів ґрунту, збільшується кількість змішаношаруватих силікатів і кальцієвмісних мінералів, посилюється гідролізація, утворюються багаточисельні гетерогенні органічні речовини, що продукують більшу площу екзотермічних ефектів, збільшується частка дрібних гранулометричних фракцій, збільшується середній діаметр мінеральних фракцій за довжиною і площею поверхні у складі дисперсних агрегатів;

- за застосування полицевого обробітку ґрунту зростає частка фізичного піску збагаченого на кварц, формуються глибокі $H + H_p$ гумусові горизонти, карбонати кальцію скипають у нижніх перехідних до породи горизонтах, які характеризуються меншою кількістю рефлексів за рентгеноструктурного аналізу, запаси гумусу мономодально розподіляються вниз по профілю за низпадаючою кривою, гумус характеризується невеликим умістом вільних і рухомих фракцій $C_{\text{ГК1}} + C_{\text{ФК(1a+1)}}$, високим співвідношенням $C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$ і більшою часткою термодинамічно стійких компонентів, структурно-агрегатний склад набуває ознак пилуватості, утворюється більше $<1,0$ мм та $\text{РОМ}_{<53\text{мкм}}$ водостійких і дисперсних агрегатів, профіль чорнозему характеризується найнижчими показниками щільності складення і об'ємного умісту вологи, температура орного шару ґрунту зазнає інтенсивних періодичних добових і річних коливань;

- відтворення умісту і запасів гумусу, стабілізація структурно-агрегатного складу чорнозему типового забезпечується застосуванням ґрунтозахисного обробітку ґрунту, а також внесенням соломи $1,2$ т/га + сидерати + $N_{12} + N_{78}P_{68}K_{68}$, що відповідно позначається на кращій продуктивності чорноземів.

Практичне значення одержаних результатів. Автором розроблені заходи щодо управління родючістю чорнозему типового та ізогумусолів шляхом застосування ґрунтозахисного обробітку ґрунту, інтегрованої системи удобрення, сидератів і соломи на фоні короткоротаційних сівозмін, які рекомендовані до застосування в умовах помірному кліматичного поясу із

спорадичною мусонністю, холодною сухою зимою і спекотним літом у Північно-східному регіоні Китаю та теплою літа і м'якої зими у Правобережному Лісостепу України. Під час діагностики властивостей ґрунтів можуть бути застосовані удосконалені автором методики із: визначення водостійких агрегатів ґрунту шляхом повільного замочування ґрунтової проби у дистильованій воді у вакуумі; визначення гетерогенності органічної речовини ґрунту за результатами термогравіметрії і диференційної скануючої калориметрії; розрахунку індексу гуміфікації на основі екзотермічних ефектів; визначення умісту вуглецю та азоту у біомасі мікроорганізмів методом фумігації-екстракції.

Основні положення дисертаційної роботи використано у навчальних курсах: «Ґрунтознавство з основами геології», «Геологія з основами геоморфології», «Ґрунтознавство з основами агрохімії», «Охорона ґрунтів з основами ґрунтознавства», «Картографія ґрунтів», «ГІС в агрохімії і ґрунтознавстві».

Практичні результати досліджень узагальнені у: монографіях («Spatial Heterogeneity of Soil Parameters in Different Forest-Steppe Landscapes of Ukraine», «Атласне картографування вартості земель», «Ukrainian Chernozem»), підручниках («Soil Science with Elements of Geology», «Geology with the Principles of Geomorfology»), наукових методичних рекомендаціях для впровадження у виробництво («Модель системи екологічного землеробства в Лісостепу України»), інших науково методичних працях, поданих заявках на проекти Horizon-2020 («SEP-210492733 New solutions for bio-wastes recycling in resilient farming», «SEP-210649167 SElecting Crops and Trees for Agroforestry and Resilient Agrobiodiversity», «SEP-210522333 Climate-SmArt Farms and Landscapes in Europe - An Observatory for Microclimate Management in European Farming») та МОН («ID:58761 Розробка технологій каталізу і синтезу органічного вуглецю у чорноземах за ґрунтозахисного землеробства»).

Особистий внесок здобувача. Дисертація є оригінальним науковим дослідженням, виконаним особисто здобувачем протягом 2000–2022 років. Автор безпосередню обґрунтував проблему, тему і наукові положення роботи, визначив мету, завдання і методологію проведення досліджень, проаналізував і систематизував літературні експериментальні дані інших дослідників, розробив і виконав програму польових і лабораторних досліджень, провів порівняльну кількісну і якісну оцінку чорнозему типового і ізогумусоллю, виконав математичну обробку даних, всебічно проаналізував отримані багаточисельні дані, зробив науково-обґрунтовані висновки і рекомендації виробництву, організував впровадження результатів дослідження у виробництво. У наукових працях написаних за темою дисертаційного дослідження і опублікованих у співавторстві, використано власні ідеї, наукові положення та результати особистої праці здобувача. Права співавторів даних публікацій не порушено у дисертаційній роботі. Польові експериментальні дослідження на стаціонарних науково-дослідних полях кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів ім. М. К. Шикули (НУБіП України) самостійно виконувались протягом 2000–2016 років, у відділі деградації та відновлення родючості чорноземів Північно-східного інституту географії та агроєкології Національної академії наук Китаю (IGA, Китай) – протягом 2010–2016 років із залученням технічного персоналу відділу. Наукові дослідження у лабораторіях України, Китаю та США виконувались самостійно.

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення і результати дисертаційного дослідження було представлено, опубліковано і обговорено на: Міжнародному симпозіумі «International Symposium on Soil Quality and Management of World Mollisols» (м. Харбін, Китай, 2010); Міжнародному семінарі «Workshop on Regional Environmental Systems Interactions» (м. Чанчунь, Китай, 2010); Міжнародній конференції “Mollisols of Ukraine and China: Genesis, Properties and Fertility Management” (м. Київ, 2011); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасне ґрунтознавство: наукові проблеми та

методологія викладання» (м. Київ, 2012); Міжнародному семінарі «International Workshop of Mollisols Conservation» (м. Харбін, Китай, 2012); Міжнародній конференції «Актуальні проблеми досліджень впливу ерозійних і руслових процесів на стан і функціонування басейнових систем» (м. Київ, 2012); Міжнародній науковій конференції «Actual Problems of Genetic, Geographical, Historical, Environmental Soil Science» (м. Львів, 2013); Міжнародній науковій конференції «Міждисциплінарні виміри дослідження ландшафтів» (м. Київ, 2013); ІХ з'їзді Українського товариства ґрунтознавців і агрохіміків «Охорона ґрунтів – запорука сталого розвитку України» (м. Миколаїв, 2014); ІХ науково-практичній конференції «Сучасні проблеми збалансованого землекористування» (м. Кам'янець-Подільський, 2014); Міжнародному симпозиумі «Symposium of Mollisols Utilization and Conservation» (м. Харбін, Китай, 2015); Міжнародному симпозиумі «Uluslararası Diyarbakir Sempozyumu' Bildiri Özet Kitarçığı Yayınlandı» (м. Діярбакир, 2016); Міжнародній конференції «The 2016 International Conference of the European Society for Soil Conservation (ESSC)» (м. Клуж-Напока, Румунія, 2016); Міжнародному семінарі «The International Training Workshop on Drip Irrigation and Fertigation» (м. Діярбакир, 2017); Міжнародному семінарі «Water Treatment's Activity in Huzhou» (м. Хучжоу, Китай, 2017); Міжнародній конференції «4th International Conference on Environmental Science and Technology» (м. Київ, 2018); Всеукраїнській конференції «Родючість ґрунтів як основа ефективного землекористування» (м. Київ, 2019); Міжнародному семінарі: «Відновлення техногенно-порушених і деградованих ґрунтів у сучасному землекористуванні» (м. Київ, 2019); Міжнародній конференції «Ґрунти України: трансформація і відновлення родючості» (м. Київ, 2021); Міжнародній конференції «Sustainable Development: Modern Theories and Best Practices» (м. Таллінн, Естонія, 2021); Міжнародному семінарі «Оцінка запасів вуглецю в чорноземних ґрунтах як похідної землекористування та зміни клімату» (м. Харків, 2021); Міжнародному семінарі «Carbon stocks of Ukrainian Chernozems as a function of Land Use and Climate

change » (м. Харків, 2021); Міжнародному конгресі «International Congress and Workshop on Agricultural Structures and Irrigation» (м. Діярбакир, 2022); Міжнародному симпозиумі «IV International Symposium for Agriculture and Food» (м. Охрид, Північна Македонія, 2022); Міжнародному форумі «International Forum on Black Soil Conservation and Utilization» (м. Харбін, Китай, 2022).

Наукові розробки автора впроваджено у ТОВ «Лотівка Еліт» Шепетівського району Хмельницької області. Використання на основних типах ґрунтів господарства адаптованих до місцевих умов ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур суттєво зменшило енергетичне, фінансове і антропогенне навантаження на орні ґрунти, знизило витрати на моніторинг властивостей ґрунтів, покращило властивості і родючість ґрунтів.

Публікації. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 57 наукових праць, у тому числі: 5 монографій, 9 статей у періодичних виданнях, включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України, та/або наукових періодичних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, 17 статей у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, 3 статті у наукових виданнях інших держав, 6 статей в інших наукових виданнях, 9 матеріалів конференцій і тез наукових доповідей, 8 підручників, посібників, методичних рекомендацій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, семи розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел (604 найменування, у тому числі 419 – латиницею), додатків (96 найменувань). Загальний обсяг дисертації складає 500 сторінок. Робота містить 25 таблиць, 81 рисуноків.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНТРОПОГЕННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО ТА ІЗОГУМУСОЛЮ ЗА ЇХ РІЗНОГО ВИКОРИСТАННЯ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

1.1. Наукові засади формування властивостей чорнозему типового та ізогумусолю за фаціального ґрунтоутворення

Наукова концепція дослідження. Відповідно до академічного тлумачення української мови, значення слова «генезис» перекладається як походження, виникнення, становлення явища, що розвивається [1]. Слово «генезис» походить від давньогрецьких слів «γίγνεσθαι», «γίγνομαι», «γέννω» та латинського слова «genesis», що означає: бути народженим, початок, породження, походження, створення, виникнення і утворення [2]. Це слово має історіографічний зв'язок із ідеями створення, появи та початку буття людства, всесвіту. Ця категорія почала широко застосовуватись у біблійському контексті. Генезисом («The Book of Genesis») назвали першу англomовну книгу Мойсея - «Книга Буття» (בראשית - івр.). Пізніше, у наукових дослідженнях, слово «генезис» стали застосовувати при розгляді процесів зародження, розвитку і утворення певних речовин, явищ. Власне процес ґрунтоутворення (педогенез) розглядається сьогодні як чергування стадій початкового ґрунтоутворення, розвитку, рівноваги і еволюції на фоні певних природно-кліматичних умов. Сьогодні, на етапі еволюції ґрунтів, виділяють окремий процес – антропогенез, зумовлений інтенсивним впливом людини на навколишнє середовище і ґрунтовий покрив зокрема. Антропогенез в агроґрунтознавстві визначається як основний фактор змін властивостей ґрунтів. Зважаючи на значне залучення ґрунтів у землеробство, природний педогенез змінюється на агрогенез, теоретичне обґрунтування якого глибоко висвітлено у науковій монографії С. Ю. Булигіна та ін. – «Агрогенез чорнозему» [3]. На думку С. Ю. Булигіна та колективу авторів вищезгаданої монографії, в сучасних умовах еволюцію і спрямованість ґрунтоутворення не можна розглядати окремо від антропогенного впливу та географічних умов формування ґрунтів. Розуміючи

важливість наукового обґрунтування процесу агрогенної трансформації чорноземів за різних природно-кліматичних умов для розробки заходів із управління властивостями та збереження/підвищення родючості чорнозему типового та ізогумусолю, нами було прийняте рішення про проведення стаціонарних польових і лабораторних досліджень умовах помірного кліматичного поясу Північно-східного регіону Китаю та Правобережного Лісостепу України.

Природними регіонами чорноземів і чорноземоподібних ґрунтів є семігумідні степи та прерії середніх широт, подекуди – сухі та холодні субтропічні пояси. Загальносвітова площа чорноземів складає 916 млн гектарів (7 % суходолу), у т. ч.: 27,8 млн га – в Україні, 145,4 млн га – у Росії, 55,1 млн га – у США і 38 млн га – у Китаї [4, 5, 7, 8, 9, 10]. Більшість чорноземів Китаю знаходиться у провінції Хейлунцзян, які простягаються на 1600 км із заходу на схід та 1400 км із півдня на північ. В Україні чорноземи вкривають регіон близько 24°18'–40°12'Е східної довготи і 51°18'–44°41'N північної широти [11]. Частка українських чорноземів у структурі європейських ґрунтів становить біля 13–14 %, світових чорноземів – 6–8 % [12].

На території Євразії, чорноземи утворюють широку смугу від Угорських пушт на заході до західних схилів малого Хінгану [5]. Зважаючи на значну протяжність чорноземів, Л. І. Прасолов у своїй праці «Ґрунтові області Європейської Росії» [6] вперше висунув ідею про розділення чорноземної зони на підзони та області. Пізніше, І. П. Герасимів [13], вивчаючи провінціальні особливості процесів ґрунтоутворення та властивостей рівнинних ґрунтів колишнього СРСР та прилеглих країн, сформував концепцію (пізніше відомий як закон фаціальності ґрунтів) про існування крупних ґрунтово кліматичних фацій. Відповідно до закону фаціальності ґрунтів [14], локальні (фаціальні) особливості клімату (континентальність, сезонний розподіл опадів) та рельєфу зумовлюють утворення специфічних ознак та властивостей ґрунтів у межах типу. Виявлення взаємозв'язків між поширенням чорноземів та кліматичними

параметрами займались також В. Р. Волобуєв [15], М. А. Глазовська [16] та ін. Відповідно до розподілу рівнинних ґрунтів Євразії на ґрунтово-кліматичні фації запропонованого І. П. Герасимовим [17], досліджуваний чорнозем типовий відноситься до Західно-Європейської, а ізогумусоль – Далеко-Східної фації. У сучасному ґрунтознавстві, під фацією розуміють частину ґрунтово-біокліматичного поясу, яка має специфічні особливості умов ґрунтоутворення і ґрунтів у зв'язку з відмінностями у зволоженні або тепловому режимі [18]. Однак функціонування природно-сформованих чорноземів протягом останніх десятиліть нині підпадає під вплив кліматичних змін (зростання середньорічної температури повітря, нерівномірність випадання атмосферних опадів, короточасні зливові дощі, посилення посух, погодні екстремуми та аномальні явища, опускання рівня залягання ґрунтових вод, відсутність снігового покриву, інтенсивне випаровування, тощо), які істотно змінюють властивості ґрунтів і обмежують рівень продуктивності аграрного виробництва. Для розуміння потенційного впливу змін клімату на різні аспекти життя, включаючи природні ресурси і сільське господарство, Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату (ІРСС) було розроблено RCP сценарії (Representative Concentration Pathway), відповідно до яких, у XXII столітті, порівняно із 1986–2005 роками, можливе підвищення середньорічної температури повітря на: 1–1,8 °С – за RCP2.6 сценарієм; 1,4–2,6 °С – за RCP4.5 сценарієм; 1,8–3,7 °С – за RCP6.0 сценарієм і 2,6–4,8 °С – за RCP8.5 сценарієм [18]. В. Балабух [20], обчислюючи проєкції змін кліматичних характеристик та екстремальних погодних умов у 2021–2050 роках, відзначила високу ймовірність: зростання максимальних і мінімальних приземних температур повітря, температурних аномалій, збільшення кількості спекотних днів, збільшення тривалості теплого періоду року на два тижні, зменшення кількості морозних днів, збільшення тривалості вегетаційного періоду на 12 днів, зменшення кількості атмосферних опадів у серпні-жовтні, збільшення числа днів із грозами, зливами, градом, шквалами, зменшення числа днів із туманами, посилення швидкості вітру у теплий період і його послаблення

– у холодний період року. Я. Г. Цицюра [21] аналізуючи зміни кліматичних параметрів Правобережного Лісостепу України, представив дані щодо зменшення параметрів гідротермічного коефіцієнту із 1,0–1,3 (зона забезпеченого зволоження) – у 2010 році до 0,3–0,7 (зона сухого землеробства) – у 2015 році. З іншого боку, відповідно до результатів даного дослідження, у зв'язку із короткочасними зливовими дощами під час вегетаційного періоду ГТК району с. Велика Снітинка збільшувалось із 1,0 – у 2010 році до 1,76 – у 2014 році. Натомість, ГТК території проведення досліджень у м. Хайлуцької провінції Хейлуцзян, знизилось із середньобаторічного 1,73 – у 2014 році до 1,0 – у 2010 році. Було також відзначено істотне зменшення атмосферних опадів протягом осінньо-зимового періоду порівняно із багаторічними даними. Отже, відзначається різнонаправленість змін кліматичних параметрів у різні роки, що відповідно впливає на зміни властивостей, процесів і режимів ґрунтів. Власне актуальність дослідження агрогенезу чорноземів виникла у зв'язку із розумінням необхідності обстеження трансформації ґрунтів за змінених кліматичних умов з метою розробки адаптивних до кліматичних сценаріїв технологій вирощування сільськогосподарських культур. У даній роботі досліджуються трансформаційні зміни чорнозему типового за сезонно-промерзлого теплового режиму помірно-континентального клімату Правобережного Лісостепу України і ізогумусолі за тривалого сезонно-промерзлого теплового режиму різко-континентального клімату Північно-східного регіону Китаю.

Особливості процесів ґрунтоутворення та морфолого-генетичних ознак. У зв'язку з тим, що досліджуваний чорнозем типовий відноситься до Західно-Європейської, а ізогумусоль – Далеко-Східної ґрунтово-кліматичних фацій суббореального ґрунтово-біокліматичного поясу, їх генезис та трансформаційні зміни мають подібні загальні і специфічні локальні особливості. Висока продуктивність рослинних угруповань, сприятливі гідротермічні умови, тимчасове мусонне перезволоження ізогумусолі протягом вегетації, сприяють глибокому гумусоутворенню і промиванню від карбонатів, лесивуванню

фракцій фізичної глини, нагромадженню важких гранулометричних фракцій у нижній частині профілю, оглеєнню, пов'язаного також із пізнім відтаюванням промерзлого шару. Перенесення мулуватих фракцій униз по профілю пов'язане також із динамікою фульватано-гуматних речовин адсорбованих вермікулітом, смектитами та іллітом. Уміст каолініту з глибиною майже не змінюється. За даних умов формуються крупні агрегати вкриті тонкодисперсним гумусо-глинистим ізотропним матеріалом, які забезпечують надлишково-високу водопроникність та повітроємність.

На придолинній лесовій рівнині, за теплого літа і м'якої зими Правобережного Лісостепу України, формується глибокий добре розвинений гумусово-акумулятивний тип профілю досліджуваного чорнозему типового пилувато-легкосуглинкового гранулометричного складу з добре вираженою ізометричною мікроагрегованістю, грудкувато-зернистими структурними окремостями насиченими внутрішньоагрегатними порами, пухкими перехідними горизонтами, видимими карбонатними новоутвореннями, кротовинним лесом. У зв'язку із високою біогенністю чорнозему типового, у профілі зустрічаються багаточисельні червориїни, згустки та інкрустації копролітів на стінках біопор. У профілі не спостерігаються ознаки елювіально-ілювіальної диференціації горизонтів, зон виносу та акумуляції. Розташовуючись на відрогам північно-східної частини Придніпровської височини за гіпсометричних висот 200–210 м, профіль чорнозему типового несе ознаки верхньочетвертинного алювію, каолінових полтавських пісків та відкладів дніпровського комплексу.

Стрімке зростання середньорічної температури повітря із найбільш вираженим потеплінням у холодний період року, тенденція до збільшення кількості зливових опадів протягом вегетаційного сезону, нерівномірність випадання опадів, посушливість зимового періоду – основні зміни кліматичних параметрів, які інтенсивно відбуваються протягом останніх десятиліть і суттєво впливають на динаміку морфологічних ознак і властивостей

чорноземів. У зв'язку з цим дія технологічних операцій на властивості ґрунтів і врожайність сільськогосподарських культур за нових кліматичних умов буде мати інші наслідки, порівняно з багаторічними. Однак, дотепер залишається невивченим питання змін морфолого-генетичних ознак чорноземів та ефективність дій агротехнічних заходів на родючість ґрунтів і врожайність сільськогосподарських культур за інших кліматичних сценаріїв.

Трансформація кількісного і якісного складу гумусу. Наявність гумусу, який утворюється у результаті педогенезу, є основною діагностичною ознакою ґрунту, яка відрізняє його від гірських порід. Гумус є одним із найскладніших компонентів наземних екосистем [22], визначає якість ґрунту і навколишнього середовища [23, 24], знаходиться у взаємозв'язку із хімічними, фізичними і біологічними процесами в ґрунтах [25]. Вивчення гумусу було і лишається актуальним у зв'язку із виконанням ним глобальних екологічних функцій у педосфері та агрономічним значенням. У роботах вітчизняних і закордонних учених основна увага приділяється вивченню глобальної функції гумусу у контексті: – змін клімату та продовольчої безпеки [26]; – проблем ерозії, відновлення та збереження родючості ґрунтів [27]; – ефективного використання мінеральних і органічних добрив [28]; – формування оптимальних умов для вирощування сільськогосподарських культур за різних технологій обробітку ґрунту [29]; – важливого резервуару доступних поживних елементів для росту і розвитку культурних рослин [30]. Щорічна кількість наукових публікацій, які досліджують органічний вуглець гумусу у світі збільшилась із майже десятка у 1960 році до 1200 – Scopus і 650 – Web of Science статей у 2012 році [31].

У Китаї та Україні значна увага приділяється дослідженням із регулювання умісту і запасів гумусу шляхом впровадження адаптованих до системи ґрунт-рослина елементів землеробства (удобрення, обробіток, сівозміни). Огляд наукових робіт, виконаних китайськими вченими на ізогумусолях науково-дослідної станції дослідження агроєкосистем «Хайлунь» вказують на ефективність застосування мінеральних добрив ($N_{64}P_{70}K_{20}$ – під сою і $N_{138}P_{70}K_{20}$

– під кукурудзу на зерно) із залишенням соломи на полі (NPKS) щодо нагромадження запасів гумусу [32, 33]. На 13 рік використання NPKS запаси гумусу у шарі 0–20 см збільшилися на 7,19 %, за чорного пару – зменшилися на 3,47 % і достовірно не змінилися за застосування мінеральних добрив без внесення соломи. Дослідження проводились на фоні застосування ротаційного обробітку ґрунту. Р. Nan et al. [28] проводячи мета-аналіз даних одержаних із 1741 польових дослідів, відзначив найбільше збільшення вмісту гумусу у 0–10 см шарі ізогумусолів за тривалого застосування NPK + гній – 36,2 %, проти 19,5 % – за застосування NPK + солома і 15,4 % – за застосування бездефіцитної норми мінеральних добрив. Ефективність застосування органічних добрив (12 тонн гною + 6 т побічної продукції і сидератів післяжнивних культур) + $N_{46}P_{49}K_{55}$ на чорноземі типовому щодо збільшення запасів гумусу на 1 т/га було засвідчено у дослідях кафедри землеробства та гербології НУБіП України [34]. Щорічне зростання запасів гумусу на 1,1 т/га на чорноземі типовому за внесення органо-мінерального удобрення (16 т/га гною + $N_{112}P_{100}K_{86}$) визначили І. Д. Примаєв та ін. [35].

Водночас із системою удобрення на гумусонагромадження впливають фаціальні особливості ґрунтоутворення. У Північно-східному Китаї, за м'якої зими, жаркого літа, нестійкого типу зволоження у літній період і глибокого промивання ґрунтової товщі у осінньо-зимовий період, значного надходження поверхневих і корневих рослинних решток протягом вегетаційного періоду рослин на фоні карбонатного легко- і середньо-суглинкового ґрунту, утворюється надглибокий гумусовий горизонт чорнозему типового із високими запасами гумусу. Різкоконтинентальний помірно-мусонний тип клімату, достатнє теплозабезпечення і зволоження (ГТК – 1,7–1,8), короткий період активних температур, глибоке і тривале промерзання ґрунтової товщі сприяють нагромадженню та консервації органічної речовини ґрунту у верхньому шарі ізогумусолію і поступове зменшення її вмісту вниз по профілю. Зростання континентальності клімату впливає на формування вмісту і запасів гумусу у

приповерхневому шарі чорноземоподібних ґрунтів, які стрімко знижуються з глибиною. Проте у сучасній вітчизняній і світовій літературі досить слабо висвітлена тематика щодо глобального і регіонального впливу змін клімату на: вміст, запаси, груповий та фракційний склад гумусу, процеси синтезу і мінералізації гумусових речовин, дію технологій обробітку ґрунту та удобрення.

Динаміка умісту і запасів гумусу залежить від виду утримання ґрунтів. Дослідження N. Li та ін. [32] демонструють, що інтенсивність нагромадження умісту і запасів гумусу в ізогумусолях зменшується від залужених до орних ґрунтів і чорного пару. Причому показники умісту вуглецю у складі фульвокислот, гумінових кислот та гуміну і тип гумусу за 31 рік використання ізогумусолю зменшуються за вищезгаданим напрямом. Натомість у чорноземі типовому співвідношення $C_{гк}/C_{фк}$ збільшується від мінімального обробітку ґрунту до оранки і чорного пару [36], що пояснюється тривалим використанням українських ґрунтів, яке призвело до зменшення пулу органічних сполук ґрунту, який використовується при першій стадії гуміфікації [37] та утворенні азотовмісних високомолекулярних фракцій у складі гумусових речовин [38]. На збільшення умісту амінокислот та високомолекулярних фракцій у складі гумусових речовин і фракції гуміну за мінімального обробітку ґрунту та no-till вказують роботи P. MacHado та M. Gerzabek [38], L. Szajdak et al. [39], P. J. Rosset et al. [40].

Гумусові речовини мають визначальний вплив на родючість ґрунтів. Фізичний ефект дії гумусових речовин виявляється у покращенні структури ґрунту, зменшенні переущільнення і твердості, збільшенні пористості аерації і водовбирної здатності, перешкоджанні кіркоутворення і поверхневого змиву, формуванні розсипчастості і меншого опору до обробітку ґрунту. З хімічної точки зору гумусові речовини регулюють рН середовище, формують буферність ґрунту, покращують вбирання макро-, мезо- і мікро- елементів рослинами, виступають природним хелатором іонів металів, утримують мінеральні сполуки добрив у поверхневому шарі ґрунту і перешкоджають їх вимиванню, збільшують

емність поглинання, консервують елементи живлення рослин, знижують активність утворення Ca-, Fe-, Mg- та Al- фосфатів і вивільняють доступний для рослин фосфор, прискорюють вивільнення CO₂ із карбонатів кальцію і відповідно інтенсивність фотосинтезу, зменшують токсичний вплив елементів і солей. Біологічна роль гумусових речовин передусім пов'язана із стимуляцією ферментативної і каталітичної активності, зростанням індексу проліферативності «бажаних» мікроорганізмів у ґрунтах, посиленням стійкості рослин проти шкідників і хвороб, стимуляцією росту, дихання і формування кореневої системи рослин, сприянням утворення хлорофілу, цукрів і амінокислот в рослинах, збільшенням умісту хлорофілу та зольних елементів у рослинах, потовщенням цитодерми плодів, покращенням якості врожаю [41, 42, 43, 44, 45, 46, 47].

Результати досліджень ряду вчених вказують на якісні зміни гумінових [48, 49] і фульво- [50, 51] кислот за різних агротехнічних практик. За даними I. Liaudanskienė et al. [52] застосування ґрунтозахисного обробітку на камбісолях істотно збільшило уміст фракцій ГК і ФК зв'язаних із глинистими мінералами (3-тя фракція), ГК зв'язаних із кальцієм (2-а фракція) в орному 0–15 см шарі та зменшило уміст ФК зв'язаних із кальцієм (2-а фракція) у шарі 15–25 см. Роботи C. Bayer et al. [53], G. Ding et al. [54], E. Murage та P. Voroney [55] вказують на вищу ступінь гуміфікації органічної речовини орного шару ґрунту за застосування оранки. Розширення співвідношення $C_{гк}:C_{фк}$, збільшення масової частки умісту ГК і зменшення відповідних параметрів ФК на сірих лісових ґрунтах України, за даними Л. В. Смішної-Старинської [56], спостерігалось за внесення 12- та 24 т/га гною. Внесення соломи + N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ та 50 т/га гною + N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ у орний шар чорнозему типового на фоні плодозмінної, просапної і зернопросапної сівозмін Білоцерківської дослідно-селекційної станції також суттєво збільшувало уміст ГК і негідролізуючого залишку і майже не впливало на уміст ФК [57]. В той же час, у роботі В. Н. Недбаєва та ін. [58] було наведено звуження C:N відношення до 9,0–9,6 – за окультуреної оранки проти 12,3–12,5 –

за перелогу. Даний ефект на думку вищезгаданих авторів пояснюється внесенням високих норм гною та вапна у орний шар темно-сірого ґрунту. Відношення $C_{ГК}:C_{ФК}$ при цьому збільшувалось від 1,1 – у лісі до 1,21, 1,43, 1,91 і 2,24 – за перелогу, оранки, окультуреної і висококультурної оранки відповідно. Збільшення вмісту гумусу, гумінових і фульвокислот, розширення співвідношення C:N відмічали M. Zhou et al. [59] в ізогумусолі за 6-річного внесення органо-мінерального удобрення. Водночас застосування соломи від кукурудзи на зерно і сої збільшувало уміст лабільних фракцій гумусових речовин у 10–20 см шарі, гною – у 0–10 і 20–30 см шарах. В цілому відмічається значно більший уміст лабільних азотовмісних компонентів із розвиненими функціональними групами, фракцій 1a та 1 ГК і ФК в ізогумусолях порівняно із чорноземом типовим, що свідчить про «виораність» чорнозему типового, однорідність його органічної речовини ґрунту, втрату аліфатичних угруповань в структурі гумусових речовин, швидке окиснення та деструкцію високомолекулярних азотовмісних компонентів і мікробної біомаси в ґрунті, повільне надходження продуктів мінералізації органічних решток і дискретної органічної речовини до крупних гранулометричних фракцій, невисокий уміст вільних неагрегованих органічних сполук, тощо. Однак, незважаючи на проведені українськими і закордонними авторами дослідження гумусових речовин ґрунту, залишається нез'ясованою їх профільна динаміка та напрям змін за довготривалого антропогенного впливу у різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Сезонна динаміка органічного вуглецю ґрунту. У природних і антропогенних екосистемах геобіохімічна динаміка вуглецю та азоту тісно пов'язані між собою [60]. $C_{орг}$ і $N_{заг}$, перебуваючи у складі гумусу, є частиною урівноваженої циклічної екологічної системи, функціонування якої визначається природними добовими, сезонними, річними і багаторічними циклами. Цикл функціонування сполук органічного карбону ґрунту може тривати від декількох хвилин до тисячоліть [61]. Природні сезонні коливання змін вмісту органічного

карбону та азоту розриваються за антропогенного впливу і стають нерегульованими в умовах агроценозів. На думку S. Srivastava [62], H–R. Schulten та R. Hempfling [63], A. Franzluebbers et al. [64], сезонні зміни вмісту $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ визначаються кліматичними абіотичними факторами, такими як: температура ґрунту і повітря, водний потенціал ґрунту і кількість атмосферних опадів. Ряд досліджень вказують на залежність сезонних змін органічного вуглецю і азоту від: мікробіологічної активності (чисельність, активність, склад) [65], стратиграфії аеробних і анаеробних мікроорганізмів [66], якісного складу гумусу (специфічні гумусові речовини, протеїни, амінокислоти, лігнін, ароматичні сполуки, функціональні групи) [67], матриці ґрунту (гранулометричний склад, реакція середовища, вміст обмінних катіонів, O_2 , ОВП та ін.) [68], біорізноманіття вегетуючих рослин [69], кількісного і якісного складу органічного опаду [70], ферментативної активності [71], сільськогосподарського використання ґрунтів [72].

В. М. Бондаренко та ін. [73] вивчаючи динаміку гумусових речовин чорнозему вилугуваного середньосуглинкового протягом вегетаційного періоду цукрових буряків, виявили підвищення вмісту органічного вуглецю, гумінових кислот та негідролізованого залишку, розширене співвідношення гумінових і фульвокислот в орному шарі ґрунту за внесення 40 т/га традиційного підстилкового гною, 5 т/га соломи пшениці озимої, пожнивних сидератів, мінеральних добрив ($N_{90}P_{110}K_{130}$). Повільне підвищення вмісту гумусу чорнозему звичайного у серпні за вирощування кукурудзи на силос та пшениці озимої спостерігала О. В. Піковська [74] за застосування мінімального обробітку ґрунту та no-till. Натомість, С. П. Танчик та О. С. Павлов [75] показали прискорення мінералізаційних втрат гумусу протягом вегетаційного періоду вирощування цукрових буряків на тлі оранки за промислової системи землеробства. На підзолистих супіщаних ґрунтах бореальних лісів Південно-тайгової зони Кіровської області Л. Н. Шихова та ін. [76] відмічали максимальні запаси гумусу 23 травня, 13 червня, 24 липня – 4 серпня і 18 вересня. За

середземноморського типу клімату Північно-східної частини Піренейського півострову, за багаторічного вирощування винограду, оливок, пробкового дубу, білого вереску і лучних трав (тонконіг), уміст органічних вуглецю і азоту ґрунту, загального фосфору і загального гломаліну істотно зростає із зими до ранньої весни, набуваючи максимальних показників у серпні [77]. На думку S. Wuest [78] амплітуда змін сезонної динаміки органічного вуглецю ґрунту може складати 12–29 % від загального умісту $C_{\text{орг}}$. За даними Б. В. Борисюк та ін. [79] амплітуда сезонної динаміки $N_{\text{заг}}$ знижувалась із зменшенням норм мінеральних добрив і становила: 0,074–0,090 % – за $N_{60}P_{60}K_{60}$, 0,066–0,076 % – за $N_{90}P_{90}K_{90}$ і 0,058–0,069 % – за $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Н. Janzen et al. [80] дійшли висновку, що при оцінюванні динаміки $C_{\text{орг}}$ у орних ґрунтах доцільно розділяти сполуки органічного карбону на фракції відповідно до швидкостей їх мінералізації. За цим принципом, виділяють легку (лабільну) фракцію (LF) неспецифічних гумусових речовин і органо-мінеральні сполуки (рекальцитрант) або важку фракцію (HF) специфічних гумусових речовин. Легка фракція складається переважно із рослинних і тваринних легкокорозчинних решток та високомолекулярних органічних біомолекул (від простих цукрів і білків та крохмалю до протеїнів, геміцелюлози, целюлози, лігніну та жирів) [81]. Гумусові речовини HF фракції, відповідно до результатів сучасних молекулярних досліджень [82, 83, 84, 85], являють собою динамічну супермолекулярну асоціацію окиснених низькомолекулярних неспецифічних і неспецифічних біомолекул, які стабілізовані різними механізмами між собою і гранулометричними фракціями, мають гідрофобні функціональні групи зв'язані водневими типами зв'язків, об'єднані у вигляді багатоконпонентного рекальцитранту стійким до ферментативної і мікробіологічної деградації [86, 87, 88]. Група авторів [89] вважають, що супермолекулярна асоціація гумусових речовин має міцелярну будову із внутрішньою гідрофобною структурою, яка захищає гумусові молекули від контакту із віцинальними шарами молекул води ґрунтового розчину і гідрофільну зовнішню частину, для взаємодії із водними

розчинами оточуючого середовища. Більшість учених схиляється до думки, що динаміка органічних сполук вуглецю та азоту у ґрунтах визначається передусім умістом вільної і оклюдованих в агрегатах легкої фракції [90, 91, 92]. Саме ця фракція визначає ефективну родючість чорноземів і динамічно змінюються за використання агротехніки та під впливом абіотичних кліматичних параметрів [93].

Одержані нами результати попередніх досліджень [94] на чорноземі типовому показують, що за безполицевих технологій обробітку ґрунту відбувається прискорений катаболічний метаболізм органічної речовини ґрунту збагаченої на активні субстрати, необхідні для деполіміризації, інтенсивної мікробіологічної та ферментативної активності. Роботи китайських вчених підтверджують дану закономірність. J. Lee et al. [95] відзначив істотний вплив шестимісячного застосування оранки на зменшення умісту дисперсної органічної речовини $POM_{250-1000 \text{ мкм}}$ і $POM_{250-53 \text{ мкм}}$ фракцій (25 і 36 % відповідно) у 0–15 см шарі типового коричневого ґрунту. Водночас, 15-річне застосування ґрунтозахисного обробітку ґрунту збільшувало середньозважений і геометричний діаметр агрегатів дисперсної органічної речовини 0–10 см шару ізогумусоллю, підвищувало уміст ароматичних сполук на 12,6–27,2 % у $POM_{<53 \text{ мкм}}$ і зменшувало на 15,6–32,9 % у $POM_{>250 \text{ мкм}}$ агрегатах за безполицевого обробітку ґрунту і no-till порівняно із оранкою [96]. Заміна традиційного обробітку ґрунту на ґрунтозахисний сприяє нагромадженню легкої фракції органічної речовини ґрунту. I. Aziz et al. [97] відзначили 15 % збільшення LF фракції на п'ятий рік застосування no-till після оранки. Більшу концентрацію вільних і оклюдованих в агрегатах легких фракцій дисперсної органічної речовини у 0–10 см шарі одержали X. Yang та B. Kay [98] за 19 річного застосування no-till на буроземах Канади. Дослідження V. Jin та ін. [99] відмічають позитивну дію сівозмін на фоні ґрунтозахисного обробітку ґрунту щодо нагромадження дисперсної органічної речовини ґрунту. Збільшення частки легкої фракції у складі $C_{\text{орг}}$ макроагрегатів із 5,0 до 12,2 % за 25 річного перелогу

було відмічено Y. Shi et al. [100]. Позитивний ефект органо-мінерального удобрення ($N_{50}P_{82,5}K_{82,5} + 23$ т/га гною) на підвищення умісту органічного вуглецю у >2000 , $2000-250$, $250-53$ і <53 мкм дисперсних агрегатах спостерігали X. Dou et al. [101], в той же час як застосування $N_{50}P_{82,5}K_{82,5} + 7,5$ т/га соломи збільшувало концентрацію $C_{орг}$ у >250 мкм і зменшувало – у <250 мкм агрегатах.

В цілому можна відмітити, що динаміка органічного вуглецю ґрунту визначається впливом кліматичних параметрів і агротехніки на сезонний уміст легких (лабільних) фракцій, найбільша кількість яких утворюється за органо-мінерального удобрення, ґрунтозахисного обробітку ґрунту і багатопільних сівозмін. У наукових виданнях надзвичайно мало публікується праць присвячених сезонним змінам органічного вуглецю ґрунту у зв'язку із трудомісткістю, польовою і аналітичною складністю виконання даного дослідження. Окремі роботи X. Shao et al. [102], Y. Feng et al. [103] та Y. Kravchenko et al. [104] виконані на ізогумусолях Північно-східного Китаю і чорноземі типовому Правобережного Лісостепу України підтверджують приведені вище закономірності сезонних змін органічної речовини ґрунту, але також і вказують на її загальні та специфічні особливості: – уміст загального $C_{орг}$, груп і фракцій гумусу підвищується або знижується залежно від наявності доступного для трансформації органічного пулу відмерлих організмів і сприятливих гідротермічних умов; – фаціальні умови ґрунтоутворення формують найбільші максимуми умісту органічного вуглецю у кінці червня – на початку липня у Правобережному Лісостепу України, у кінці серпні – у провінції Хейлунцзян; – надмірне окиснення органічної речовини ґрунту за оранки і ротаційного обробітку ґрунту за вирощування просапних сільськогосподарських культур на фоні екстенсивної системи землеробства або чорного пару – призводить до зменшення умісту і запасів гумусу протягом сезону та їх часткове відновлення у осінньо-зимовий період. В той же час у практичному землеробстві залишається невизначеним процес управління сезонними циклами органічного вуглецю у метровому шарі ґрунтів з урахуванням різних кліматичних сценаріїв.

Трансформація агрофізичних властивостей. За сільськогосподарського використання ґрунтів, агрофізичні властивості регулюються різними агротехнологічними заходами, які направлені передусім на формування оптимальних умов забезпечення біологічного потенціалу культурних рослин. Вміст водостійких агрегатів, щільність складення ґрунту та його інфільтраційна здатність є предметом багатьох наукових досліджень [105, 106]. Більше того A. Grandy and G. Robertson [107] у своїх дослідженнях вказують на роль різних технологій обробітку ґрунту у формуванні структурних агрегатів та органічної речовини ґрунту, створення умов росту і розвитку сільськогосподарських культур. Фізичний стан ґрунту у зоні розміщення основної маси кореневої системи рослин, водний, повітряний і тепловий режими [108], мікробіологічна діяльність [109], інтенсивність засвоєння поживних речовин рослинами залежать від способів обробітку ґрунту. За результатами досліджень вітчизняних і закордонних вчених встановлено, що зменшення глибини оброблюваного шару ґрунту за безполицевого обробітку послаблює дію водної і вітрової ерозії на ґрунти [110], забезпечує їх краще зволоження [111], поліпшує транспорт поживних елементів [112] і кальцію та мікроелементів через кореневу систему рослин, підтримує співвідношення між щільністю і пористістю подібно до цілинних ґрунтів [113]. За мінімального обробітку ґрунту збільшується вміст водотривких агрегатів [114] та їх оклюдованість гумусовими речовинами [115]. F. Pelgrin із співавторами [116] та Yu and Zhang [117] відзначають оптимальну для сільськогосподарських рослин щільність складення і кращу водопроникність за добре оструктурених ґрунтів. Натомість, традиційні способи обробітку ґрунту можуть бути причиною зменшення розмірів макроагрегатів [118], прискореного руйнування структурних окремоостей [119], виникнення деградаційних явищ в ґрунтах [120].

Ґрунтозахисне управління структурно-агрегатним станом ґрунтів неможливе без розуміння генезису, динаміки та формування агрегатів ґрунту у природних та аграрних ценозах. Дана проблема є однією із найважчих у

сучасному агрогрунтознавстві. При розробці заходів збереження стабільних агрономічно цінних агрегатів в орних шарах ґрунтів, поряд із дослідженням механізму їх формування і руйнування, визначають характер дії ґрунтообробних знарядь та машин на ґрунт, оцінюють вплив доз та видів мінеральних і органічних добрив, виявляють роль сівозмін, сільськогосподарської культури та параметрів її кореневої системи, визначають роль мікроорганізмів у процесах агрегації та руйнування структурних агрегатів ґрунтів. Водночас з цим, процеси агрегатоутворення за різних кліматичних умов є також недостатньо вивченими, потребують теоретичного обґрунтування та практичної перевірки.

Щільність складення ґрунтів є важливим агрофізичним параметром ґрунтів, вона реалізує екологічні функції ґрунтів, від неї залежить потенційна та ефективна родючість ґрунтів, вона впливає на водний, повітряний, тепловий і поживний режими, протиерозійні властивості ґрунтів. Генезис щільності складення пов'язаний із ґрунтоутворною породою, кліматом і вивітрюванням, мінералогічним і гранулометричним складом, органічною речовиною ґрунту, рослинністю, біологічною активністю, формуванням агрегатного складу ґрунтів, процесами ґрунтоутворення, переміщенням, трансформацією і акумуляцією органо-мінеральних компонентів ґрунту, ерозією, тощо. Зростання щільності складення ґрунтів є однією із нагальних проблем у землеробстві, яка на думку В. В. Медведєва та ін. [121] і С. П. Танчика та ін. [34] викликана передусім надмірним агротехнічним впливом і інтенсивним використанням ґрунтів. Низка науковців обґрунтовує можливість зменшення щільності складення ґрунту шляхом застосування: ґрунтозахисного обробітку ґрунту [122], диференційованої системи основного обробітку ґрунту із внесенням побічної продукції культур сівозміни [123], полицевого і безполицевого основного обробітку ґрунту на глибину 20–22 см [124], чизелів і глибокорозпушувачів [125], меншої кількості важкої сільськогосподарської техніки [126], проміжних і післяукісних культур [127Помилка! Джерело посилання не знайдено.], оптимального співвідношення культур у сівозмінах [128], гною [129], тощо. В

агроекосистемах щільність ґрунту доцільно оцінювати в зональному аспекті і динамічному взаємозв'язку із іншими властивостями ґрунту, зокрема із структурно-агрегатним складом ґрунту, вмістом гумусу, вологістю, тощо. З іншого боку, технології обробітку ґрунту, системи удобрення і сівозмін по-різному працюють у відмінних ґрунтово-кліматичних умовах і не можуть бути рекомендовані для цілого регіону. Нажаль існуючі рекомендації щодо застосування агротехнічних заходів для оптимізації агрофізичних властивостей ґрунтів не беруть до уваги взаємозв'язану систему: ґрунт – рослина – машина – навколишнє середовище. У сучасному землеробстві існує нагальна необхідність в обґрунтуванні комплексного підходу із управління агрофізичним станом ґрунтів з урахуванням зональних факторів і процесів ґрунтоутворення, з адаптацією до локальних умов і кліматичних змін агротехнічних засобів, які покращують ґрунтозахисну і техніко-економічну доцільність прийнятих рішень, що є надзвичайно актуальним для України і має велике народногосподарське значення.

1.2. Деградація чорноземів України за їх інтенсивного сільськогосподарського використання

Україна була і залишається «Житницею Європи» завдяки її унікальному багатству – родючим чорноземам, які забезпечують високі темпи приросту сільськогосподарської продукції і її експорт. Виробництво продукції зернових і зернобобових культур за період 1990–2018 років збільшилось із 51,01 млн тонн у 1990 році до 106 млн тонн у 2021 році, а обсяги експорту української сільськогосподарської та харчової продукції у 2018 році в ЄС перевищили 5 млрд доларів [130]. В той же час, зростаючі врожаї сільськогосподарських культур призводять до збільшення вносу поживних речовин ґрунту і посилення деградаційних явищ. Негативний вплив аграрного виробництва в Україні на деградацію ґрунтів становить 35–40 % від усіх інших її видів [131], а площа деградованих ґрунтів в Україні становить від 6,5 до 10 млн га [9]. Деградація

чорноземів значно зменшує прибуток у землеробстві, який на 79 % залежить від природної родючості і на 21 % від застосування агротехнологій [132]. Втрати дохідності на еродованих ґрунтах щорічно перевищують 10 млрд. доларів США, у т.ч. через зменшення урожайності сільськогосподарських рослин на 20–60 % [133].

Розвиток ерозійних процесів. За даними Інституту охорони ґрунтів України, 57,5 % сільськогосподарських угідь України зазнають ерозійного впливу [134], з яких 13,4 млн га (у т.ч. 10,6 млн га ріллі) піддаються водній, 6 млн га – вітровій ерозії [133], площа останніх збільшується до 20 млн га у роки з катастрофічними пиловими бурями [9]. Щорічно 400–600 млн тонн ґрунтової маси втрачається внаслідок ерозії, з якою виноситься 10–24 млн тонн гумусу, 0,3–0,96 млн тонн азоту, 0,7–0,9 млн тонн фосфору, 6–12 млн тонн калію [135, 136]. За період з 1960 по 2015 роки площа еродованих ґрунтів, зайнятих сільськогосподарськими угіддями, збільшилася на 30–35 %, в тому числі сильнозмитих ґрунтів – на 20 %, слабо- і середньозмитих – на 2 і 12 % [137]. Еродовані орні землі займають 30 % ріллі і щорічно збільшується на 90–100 тис. га. Площі еродованих і деградованих чорноземів України складають 25 і 60 % відповідно [7], серед яких 18 % – слабо-, 5 % – середньо- і 2 % – сильно-еродованих ґрунтів. Ерозійні процеси безпосередньо впливають на втрати вмісту гумусу, які у 0–50 см шарі чорноземів за слабо-, середньо- і сильно- змитості складають: 16, 38 і 64 % - у чорноземі вилугуваному; 17, 39 і 60 % – у чорноземі типовому; 21, 44 і 62 % - у чорноземі звичайному і 28, 48 і 69 % відповідно – у чорноземі карбонатному. Таким чином, ерозійні втрати запасів гумусу у 0–50 см шарі повнопрофільних чорноземів можуть становити 114 т/га [7, 138].

Фізична деградація ґрунтів. За даними Держгеокадастру України, станом на 01.01.2016, розораність ґрунтів в Україні в середньому складала – 78,4 % від загальної площі сільськогосподарських угідь – 41,5 млн га [134]. В результаті інтенсивного і надмірного довготривалого механічного впливу знарядь і техніки на ґрунт погіршуються його фізичні і фізико – механічні властивості. В цілому

по Україні, площа переущільнених ґрунтів становить 17 млн га, дезагредованих (з погіршеними структурними агрегатами) – 14 млн га (33,7–39 % від загальної площі с.-г. угідь), розпилених – 14 млн га, ґрунтів з брилоутворенням – 4 млн га, ґрунтів з кіркоутворенням і запливанням – 15,8 млн га [139, 140]. Загальна площа деградованих і малопродуктивних орних ґрунтів в Україні досягає 10–12 млн га, продуктивність яких на 10–60 % нижча порівняно з модальними ґрунтами [141]. С. А. Балюк та ін. [9], відмічають високу уразливість до переущільнення глинисті чорноземи південного степу України із низькою щільністю складення та низькими запасами доступної для рослин вологи.

Дегуміфікація чорноземів. Співставлення рівня гумусованості ґрунтів за часів В. В. Докучаєва (1882 р.) із сучасним станом (2010 р.) свідчить, що відносні втрати вмісту гумусу за 120-річний період досягли: 22 % – у Лісостепу; 19,5 % – Степу і 19 % – Поліссі України [142]. За результатами агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення протягом 1986–2010 років уміст гумусу в ґрунтах лісостепової і степової ґрунтово-кліматичних зон зменшився на 0,19 та 0,32 % відповідно [12]. За результатами X туру агрохімічного обстеження земель (2011–2015 рр.), уміст гумусу у порівнянні із IX туром обстеження (2006–2010 рр.) у цілому по Україні збільшився, крім Запорізької, Хмельницької, Дніпропетровської, Полтавської і Чернігівської областей, падіння гумусу в яких складало 2,5–4 відносних відсотків [134].

Дегуміфікація еродованих чорноземів супроводжується збільшенням умісту CaCO_3 у ґрунтовому профілі і відповідно – підвищенням глибини скипання карбонатів від 10 % НСІ, порівняно з модальними чорноземами. Так, наприклад, у чорноземах типових вміст CaCO_3 у шарі 40–50 см збільшується у слабо-, середньо- і сильно- змитих ґрунтах відповідно на 3,6; 4,9; 7,6 %; у чорноземі звичайному – на 2,0; 3,1 і 8,5 % – у тому ж самому шарі. Систематичне застосування безполицевого обробітку ґрунту протягом 10–36 років, підвищує запаси карбонатів кальцію в 1,36–1,41 рази порівняно з оранкою у чорноземах типових [138, 3].

Динаміка вмісту елементів живлення. Дані X туру (2011–2015 рр.) агрохімічної паспортизації земель свідчать, що 94,3 % ґрунтів Лісостепу та 93,3 % ґрунтів Степу мають дуже низький та низький вміст азоту сполук, що легкогідролізуються, середньозважений вміст яких складає відповідно 106,3 та 105,7 мг/кг відповідно, що відповідає низькому рівню забезпечення ґрунтів [134].

Недостатній рівень забезпеченості чорноземів Лісостепу і Степу України рухомими сполуками фосфору (81 і 67 мг/кг) спостерігався у 60-х роках минулого століття, який протягом наступних трьох десятиліть збільшувався до 81 і 74 мг/кг (1971–1975 рр.), 88 і 81 мг/кг (1976–1980 рр.), 99 і 93 мг/кг (1981–1985 рр.), 104 і 105 мг/кг (1986–1990 рр.) і 113 і 108 мг/кг (1991–1995 рр.). На початку 90^х років минулого століття, рівень застосування фосфорних добрив постійно зменшувався, що відбилось на показниках вмісту рухомого фосфору у VIII турі обстеження – 106 і 100 мг/кг (2001–2005 рр.). За результатами X туру було виявлено тенденцію до поступового збільшення вмісту рухомого фосфору в Лісостепу і Степу – 108,5 і 110,7 мг/кг (2011–2015 рр.) [12, 134, 142, 143].

Формування довготривалого позитивного балансу обмінного калію в роки інтенсивної хімізації зумовив збільшення вмісту цього елемента в ґрунтах України із 101 мг/кг у 1971–1975 рр. до 102 мг/кг у 1976–1980 рр., 108 мг/кг – у 1981–1985 рр., 116 мг/кг – у 1986–1995 рр. Протягом 1996–2005 рр. середньозважений вміст обмінного калію в Україні зменшився до 112 мг/кг, в той же час, як результати X туру обстеження (2011–2015 рр.) показали збільшення його вмісту до 121 мг/кг (100 мг/кг – в Лісостепу та 159 мг/кг – Степу України) [12, 134, 142].

Геоекологічний стан досліджуваних ґрунтів. В Україні, процеси підтоплення ґрунтів, зсуви, карстоутворення та техногенне порушення земель займають: 12–14,7; 0,3; 37,6 та 0,3 % від усієї території відповідно [144, 145]. Активні яри, загальною кількістю 600 тис., виповнюють територію у 157 тис. га та спричиняють негативний вплив на 1 млн га оточуючої території. За даними Держгеонадри України, на території держави зафіксовано 22948 зсувів, процес

підтоплення ґрунтів поширюється на 89,062 тис. км² і виявляється у 4747 населених пунктах. 74,2 % території України вкрито гірськими породами здатними до відкритого (11,281 тис. км²), покритого (87,68 тис. км²) та перекритого (349,2 тис. км²) карстування. Загальна площа осідання ґрунтів над підземними гірськими виробками перевищує 5,5 тис. км². Розвиток абразії ґрунтів зафіксований на ділянках в 973,7 км на узбережжях Азовського та Чорного морів, а також на внутрішніх водоймах – озерах та лиманах. Леси та лесовидні суглинки поширені на 60,3 % території України (363,77 тис. км²), з яких 44,25 % (267,13 тис. км²) мають здатність до просідання: за I типом – 204,73 тис. км² або 33,9 % території України, II типом – 62,4 тис. км² або 10,3 % території України, в той же час як непросідаючі лесові породи III типу займають площу 96,64 тис. км² або 33,9 % території України [146].

1.3. Ґрунтово-екологічні наслідки трансформації ізогумусолів Північно-східного регіону Китаю

Регіон Північно-східного Китаю вкриває 1 096 609 км² або 11,54 % усієї території країни і поширюється у провінціях: Хейлунцзян, Гірин, Ляонін та східна частина Внутрішньої Монголії. Найбільша частка (70 %) китайських орних ізогумусолів зосереджена у провінції Хейлунцзян, площа яких за 53 роки майже не змінилась (102,6 млн га – у 1961 та 105,7 млн га – у 2014 роках), що обумовило зростання площ зрошувальних земель: з 15,9 млн га – у 1950 до 72,6 млн га – у 2016 роках [147, 148, 149, 150], а також інтенсивне щорічне осушення перезволожених угідь [151].

Деградаційні процеси. Загальнодержавні втрати від деградаційних процесів у ґрунтах Північно-східного регіону Китаю у 2001 році досягнули – 3,4; 6,4; 0,05; 0,18 і 6,4 млрд доларів від опустелювання, ерозії, засолення, забруднення та зменшення поживних речовин відповідно. При цьому непрямі збитки від деградаційних процесів у вищезгаданому році склали 11,99 млрд доларів [152]. Введення китайських цілинних ізогумусолів у інтенсивне

сільськогосподарське використання почалось приблизно 50–100 років тому назад, що, подібно до України, вплинуло на погіршення їх родючості. Незважаючи на збільшення норм внесення добрив із 8–10 кг/га у 1960 році до 150, 180, 200 і 438 кг/га у 1970, 1980, 1990 і 2013 роках відповідно, протягом 1960–2013 років відбулось зменшення вмісту загального азоту – з 0,35–0,40 до 0,18–0,20 % і фосфору – з 0,15–0,20 до 0,1–0,12 % [147, 153]. Як зазначає W. He [154], вміст органічного вуглецю у китайських ізогумусолях зменшився на 50 % протягом перших 20–30 років їх використання і стабілізувався на рівні 2–4 % через 100 років. В цілому по провінції, з 1950 по 2013 роки відбулось зменшення вмісту гумусу з 8–10 до 0,15–5,0 %. Даний процес супроводжується зменшенням кількості внесених органічних добрив на 30 % за вищезгаданий період [155]. У цілому по Китаю, внаслідок зменшення вмісту поживних елементів в ґрунтах протягом 1976–1989 років, відбувалось щорічне падіння врожайності зернових на 5 %, яке еквівалентне 6 млн тон зернових або 700 млн доларів [156].

У зв'язку із впливом періодичних мусонних дощів у літній період, ізогумусолі Північно-східного регіону Китаю добре промиті від легкорозчинних солей, мають близьку до нейтральної реакцію середовища, скипають від карбонатів глибше 1 метра та інколи мають ознаки внутрішньо-ґрунтового оглеєння. Однак, довготривале використання ізогумусолів зменшує ємність катіонного обміну із 45,8 смоль/кг у цілинних ґрунтах до: 42,6; 38,1 і 31,5 смоль/кг за їх 5, 14 і 50 річного використання. Одночасно із зменшенням вмісту гумусу та поживних елементів, протягом останніх 40 років, відбувалось збільшення щільності складення на 0,2 г/см³ та зменшення пористості ізогумусолів на 10 %. Фізичні властивості верхнього 0–20 см шару ізогумусолу значно погіршуються у його еродованих видах. Щільність складення (1), найменша вологоємність (2) та коефіцієнт інфільтрації (3) змінюються від нееродованого до слабо, середньо, сильно і дуже еродованого ізогумусолу у наступній послідовності: 1) 0,79; 0,93; 1,04; 1,09 і 1,35 г/см³; 2) 57,7; 52,6; 49,6; 46,2 і 28,0 %; 3) 10,55; 8,74; 5,34; 4,45 і 1,63 мм/хв [157].

Процеси ерозії. Площа водно-еродованих ізогумусолів Північно-східного регіону Китаю з 1950 по 1980 і 2000 роки збільшилась з 24292 до 36649 і 45107 км² відповідно. В цілому, станом на 2008 рік, загальна площа еродованих ґрунтів Північно-східного Китаю займає 257,9х10³ км², з яких, 177,0х10³, 41,3х10³ та 57,6х10³ км² припадають на регіони із проявами водної, вітрової ерозії та ерозії спричиненої талими водами відповідно [158]. Слабка, середня, сильна і дуже сильна ступінь водної ерозії у Північно-східному Китаї виявляється на: 9,36; 3,93; 0,74 і 0,024 % сільськогосподарських угідь. У зоні поширення ізогумусолів провінції Хейлунцзян процеси водної ерозії протікають інтенсивніше, ніж в інших округах регіону. Протягом 1950–2000 років, у цій провінції у 5,7 разів збільшилась площа і 1,4 рази – кількість ярів [159, 160, 161]. Середньорічний змив верхнього шару орних ізогумусолів у ландшафтах із 1, 3, 5 і 15° схилами становить 3, 35, 78 і 220 т/га/рік. З розчленованого ярами і балками ландшафту змивається 40,0–50,0 т/га ґрунту. Дослідження 81 профілю орних ізогумусолів провінції Хейлунцзян у 2002 році виявили зменшення товщі верхнього горизонту, порівняно із 1982 роком, на 13,7 % в середньому у 40,9 % вищезгаданих ізогумусолів. Середня глибина верхнього горизонту чорноземів провінції Хейлунцзян за крутизни схилів у 3–5° та 5–8° складала 17,6–23,5 та 12,4–15,1 см відповідно [162].

Території із слабкою, середньою і сильною вітровою ерозією вкривають: 1,21, 0,80 і 0,32 % Північно-східного регіону Китаю відповідно [163]. Площі повітряно-еродованих ґрунтів у регіоні збільшувались з 1,560 тис. км² у 1950–1975 роках до 2,100; 3,600 і 1,375 тис. км² у 1975–1988, 1988–2000 і 2000–2010 роках відповідно. Станом на 2010 рік, частка процесів вітрової ерозії становила 44,1 % від усіх інших деградаційних явищ у Китаї [164]. Відповідно до Національної програми вирощування зернових за «Зеленими технологіями» планується вивести із сільськогосподарського використання 3,6 млн га орних ґрунтів сухого Степу, в той же час як 5,13 млн га ґрунтів будуть залужені лісостеповою рослинністю [165]. Польові та дистанційні дослідження Z. Zhu

[166] показали, що основними чинниками вітрової ерозії у Північно-східному Китаї є: надмірна оранка (25,4 %), випас худоби (28,3%), вирубка лісів на паливо (31,8 %), інженерні конструкції (9 %), природні еолові процеси (5,5 %).

1.4. Формування оптимальних параметрів чорноземів України за ґрунтозахисного землеробства

Напрямок змін властивостей ґрунтів у аграрному виробництві визначається рівнем застосування землеробського ресурсу. Примітивні, екстенсивні, перехідні та інтенсивні системи землеробства [167] наразі стають більш спеціалізованими, комерційно-орієнтованими, ресурсо-інтенсивними із значними зовнішніми капіталовкладеннями. Втім, минулі й сучасні землеробські практики впливають на сучасний стан родючості ґрунтів, збереження і відтворення якої визнається державним пріоритетом як в Україні, так і у Китаї [168, 169].

Обробіток ґрунту. Традиційний обробіток ґрунту в Україні включає два основних заходи: 1. Основний обробіток ґрунту виконується плугами, плоскорізами, важкими дисковими боронами, чизелями-культиваторами – для заробляння добрив, рослинних решток, хімічних меліорантів і засобів захисту рослин; 2. Поверхневий обробіток ґрунту виконується культиваторами, боронами, луцильниками, шлейфами, котками, підгортачами – переважно для підготовки ґрунту до сівби і для догляду за посівами [170,171]. Характер і ступінь дії робочих органів ґрунто-оброблювальної техніки на ґрунт визначає полицевий (оранка ґрунту з використанням плуга) та безполицевий (розпушення і підрізання ґрунту з використанням плоскорізів-культиваторів) спосіб обробітку ґрунту. Прихильники полицевого способу (А. Т. Болотов, І. М. Комов, К. А. Тімірязєв, В. Р. Вільямс, М. С. Соколов, П. У. Бахтін, Л. І. Нікіфоренко та ін.), вважають за доцільне формування поглибленого гомогенізованого за родючістю орного шару ґрунту і створення культурного фізичного стану ґрунтового середовища в зоні розміщення основної маси кореневої системи рослин [171, 172, 173, 174]. Дана операція забезпечується оборотом скиби на 180°

або її зметом на 135° . Зміна кута обороту скиби із $160\text{--}180^\circ$ до $120\text{--}140^\circ$ на чорноземі вилугованому зменшує гребенюватість із 17,0 до 5,3 % та брилуватість – із 46,2 до 17,3 %, покращує з 53,8 до 82,7 % подрібнення агрегатів і з 56 до 98 % – заробляння стерні і рослинних решток [175, 176]. При цьому, збільшення глибини заробляння бур'янів на дно борозни із 16 до 20, 24 і 32 см зменшує загальну кількість бур'янів із 346 до 115, 97 і 34 шт./м² відповідно [177]. Заміна оранки, як основного обробітку ґрунту на чорноземі звичайному на мілкий (10–12 см) і глибокий (20–22 см) безполицевий обробіток ґрунту збільшує на 41 та 3% – кількість бур'янів та 47 і 6 % – їх біомасу відповідно [177, 178]. Однак, довготривале застосування оранки без застосування науково-обґрунтованої системи землеробства, часто сприяє розвитку деградаційних процесів у чорноземах: – зменшення: вмісту і запасів гумусу, вмісту власне гумусових речовин, вмісту детриту, вмісту пасивного гумусу, вмісту рухомих органічних речовин, вмісту фенолгідроксильних груп гумусу на 3,26 %; 17,5 т/га; 0,61; 2,56; 3,41; 0,77 і 0,21 % відповідно; – збільшенню: вмісту активного гумусу, вмісту карбоксильних груп гумусу, коефіцієнту кольоровості активного гумусу E_4/E_6 , вмісту гумінових і фульвокислот гумусу, вмісту негідролізуючого залишку гумусу на 0,14 %; 0,56 %; 0,24 E_4/E_6 ; 0,31 %; 0,415 % і 1,23 % – у 0–20 см шарі чорнозему типовому за 65 років застосування оранки [179]. Довготривале (50-річне) застосування оранки на чорноземі типовому малогумусному збільшує вміст повітряно-сухих >10 , 10–5 і $<0,25$ мм фракцій на 22,5; 1,1 та 1 % відповідно. Вміст агрономічно цінних: 5–2; 2–1 і 1–0,25 мм агрегатів за оранки зменшується на 18,5; 6,7 і 0,6 % порівняно з перелогом [3]. За оранки відбувається пригнічення біологічної активності ґрунту, вилуговуються карбонати кальцію, зменшуються вміст і запаси елементів живлення у верхніх шарах ґрунтів, а також збільшуються ризики проявів ерозійних процесів [120, 180].

Багаточисельні дослідження вказують на перевагу ґрунтозахисного обробітку щодо покращення родючості і протиерозійної стійкості ґрунтів. Дані одержані рядом вчених вказують на збільшення порівняно з оранкою: вмісту

гумусу, біогенності, умісту рухомих сполук фосфору, обмінної кислотності, вмісту амонійного і нітратного азоту у 0–20 см шарі чорнозему типового за застосування глибокого плоскорізного обробітку на 22–25 см [181]. Довготривале застосування глибокого плоскорізного обробітку на чорноземі типовому, збільшує, порівняно з оранкою, уміст гумусу, уміст 10–0,25 мм повітряно-сухих і водотривких агрегатів, щільність складення, запаси вологи, водопроникність, уміст рухомого фосфору та обмінного калію, pH_{H_2O} , запаси $CaCO_3$, уміст гумінових і фульвокислот, молекулярних мас гумінових кислот – на 0,11 %, 5,5 та 3,06 %; 0,05 г/см³; 25,5 мм; 22,6 мм/год; 0,1 та 3 мг/100 г ґрунту; 0,03 pH_{H_2O} ; 18 т/га, 0,02 і 0,04 %, 91195 kDa [181, 94]. Отримані результати Г. А. Давиденком [182] щодо застосування на чорноземі типовому стрип-тілл обробітку на глибину 12 см під кукурудзу на зерно, показали його переваги, порівняно із по-till, у: зменшенні щільності складення на 0,12 г/см³, збільшенню вмісту амонійного азоту, рухомого фосфору і обмінного калію на 4,1; 4,1 і 3,7 % відповідно. Врожайність зерна кукурудзи за даного обробітку ґрунту зросла на 115,2 %. За ґрунтозахисного землеробства основний обробіток ґрунту (плоскорізний, чизельний, дисковий обробіток, vertical- і no-tillage) супроводжується використанням протиерозійних культиваторів, лункоутворювачів, щілинорізів-кротувачів, глибокорозпушувачів, котків, стерньових сівалок, валкоутворювачів, тощо. Дослідження О. Д. Коваленка та ін. [183] на чорноземі типовому сильно-еродованому показали, що чотирьохрічне застосування оранки сприяло збільшенню змиву 37,8 т/га ґрунту, в той же час як за глибокого і мілкого плоскорізного обробітку цей показник становив 20,9 і 21,0 т/га відповідно. І. М. Нетробчук і М. В. Боярин [184] аналізуючи дані Поліської філії ІГА ім. Соколовського також виявили залежність між 8-річним обробітком ґрунту і змивом ґрунту. Авторами було встановлено, що за весь період спостережень за оранки, чизельного, поверхневого і комбінованого обробітків було змито: 42,2; 20,6; 33,0 і 38,9 т/га ґрунту відповідно. Причому змив під

цукровими буряками був на 0,1–2,2 т/га меншим за змив під зерновими культурами.

Удобрення. Чорноземи, незважаючи на високий рівень природної родючості, перебуваючи у сільськогосподарському використанні, потребують достатньої кількості мінеральних і органічних добрив для підтримання їх оптимальних властивостей, забезпечення високих і якісних врожаїв сільськогосподарських культур. X тур обстеження показав, що порівняно з попередніми турами агрохімічних досліджень, переважна більшість чорноземів на сьогодні мають від'ємний баланс рухомого фосфору і обмінного калію, що пов'язано із недостатнім застосуванням органічних та мінеральних добрив у землеробстві. Так, наприклад, на 1 га посівної площі, у 1990, 2000, 2005, 2010, 2015 і 2017 роках було внесено: 141, 13, 32, 58, 79 і 110 кг/га NPK відповідно [134]. Дослідження Г. М. Господаренка та ін. [185] показали, що п'ятдесятирічне внесення органічних і мінеральних добрив на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому в умовах 10-пільної польової сівозміни сприяло збільшенню вмісту гумусу на 0,03; 0,07; 0,15; 0,30 і 0,51 % за застосування: $N_{45}P_{45}K_{45}$, $N_{90}P_{90}K_{90}$, гній 9 т/га, гній 13,5 т/га і гній 18 т/га відповідно. За внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ без гною pH_{KCl} зменшувався на 0,1–0,3, збільшувався: Нг, N (лужногідролізованих сполук), P_2O_5 і K_2O на 0,5–1,7 смоль/кг, 1–14 мг/кг, 45–75 мг/кг і 1–30 мг/кг відповідно до вищезгаданих варіантів. Насиченість орних ґрунтів гноєм у нормі 18 т/га найбільше знижувала величину гідролітичної кислотності ґрунту і мала подібний до $N_{90}P_{90}K_{90}$ норми вплив на забезпеченість доступними для рослин N і K_2O . Збільшення вмісту гумусу і поживних елементів за використання гною у зазначеній вище нормі супроводжувалось покращенням агрофізичних властивостей чорнозему. Згідно даних Nazeer and Malik [129] найбільша пористість (58 %) та водопроникність (23,9 мм/год) ґрунту відмічалась за внесення 40 т/га гною. У варіантах із 20 т/га гною та без добрив ці параметри зменшувались до 36–41 % та 12,0–15,0 мм/год відповідно.

З огляду на сучасний стан чорноземів і рівень забезпечення поживними елементами, С. А. Балюком та ін. [141, 186], М. В. Зубцем та ін. [187], С. М. Рижучком і В. В. Медведєвим [188], запропоновано стратегічні заходи з відновлення їх родючості: – внесення на 1 га сівозмінної площі: 8–9 тон гною (насиченість) + 130–150 кг NPK, що в цілому по країні потребує внесення 250 млн тон гною і 3,5 млн тон NPK мінеральних добрив; – розв’язання проблеми підвищеної кислотності, засолення, осолонцювання, ерозії, забруднення, тощо. За даними Ю. С. Кравченка [189] і Б. С. Носка та ін. [190], приріст урожаю від внесення добрив може досягати 60 % – у Поліссі; 40 % – у Лісостепу; 15 % – у зволоженому Степу; 10 % – у Сухому Степу і 40 % – у зрошуваному Степу. До найбільш поширених видів мінеральних добрив, які використовують в агропромисловому комплексі України (2014 рік, Київська область) відносять: аміачну селітру – 28,0 %, аміачну воду – 15,7 %, нітроамофоску – 12,4 %, карбамідно-аміачну суміш – 11,5 %, карбамід (сечовина) – 8,5 %, сульфат амонію – 4,2 %, тукосуміш – 2,3 %, амофосфат – 2,3 %, амофос – 1,6 %, аміак синтетичний – 1,1 %, суперфосфат – 0,7 %, інші – 1,9 % [191].

Сівозміни. Сівозміни є індикатором поточного стану біорізноманіття в агроценозах. У ґрунтозахисних сівозмінах розміщення і чергування сільськогосподарських культур поєднують із: смуговим/кулісним розміщенням посівів із врахуванням елементів рельєфу, застосуванням протиерозійних конструкцій, залуженням багаторічними й однорічними травами, бобовими, висіванням проміжних, сумісних, післяжнивних та покривних культур [192, 193]. Однак, з метою одержання максимального тимчасового прибутку сільськогосподарські виробники в Україні і Китаї використовують короткочастотні сівозміни з невеликою кількістю полів. Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 164 від 11.02.2010, допустимі нормативи періодичності вирощування рослини на одному і тому самому полі становлять: для озимих жита і ячменю, ячменю ярого, вівса, гречки – не менше ніж через один рік; пшениці озимої, картоплі, проса – не менше ніж через два роки;

кукурудзи в сівозміні або на тимчасово виведеному із сівозміни полі – протягом двох – трьох років поспіль; для багаторічних бобових трав, зернобобових культур (крім люпину), буряку цукрового і кормового, ріпаку озимого і ярого – не менше ніж через три роки; для льону – не менше ніж через п'ять років; для люпину, капусти – не менше ніж через шість років; для соняшника – не менше ніж через сім років [128]. **Помилка! Джерело посилання не знайдено.** Незважаючи на суттєві переваги сівозмін щодо забезпечення продуктивності рослин та покращення якості ґрунтів, у 2013 році в Україні 932 тис га орних земель знаходилось під монокультурами [194]. Дослідження В. Патики та О. Захарової [195] на чорноземі типовому показали зменшення: біомаси бактерій у 1,8 рази, чисельності олігонітрофільних бактерій, стрептоміцетів та бактерій, здатних утворювати колонії – у 2,3, 1,4 і 2,1 рази за вирощування ріпаку озимого в монокультурі порівняно із сівозміною. Натомість, уміст грибів, збудників альтернаріозу, фомозу, фузаріозу, пероноспорозу і сірої гнилі збільшився у 1,8 рази. Алелопатична активність ризосфери кукурудзи на зерно у монокультурі, згідно даних О. Карпенко та В. Рожко [196], була на 34,3; 26,5 і 14 % більшою, а врожайність – на 1,6; 1,5 і 1,8 ц/га меншою за варіанти із вирощуванням попередників: пшениці ярої, гречки та пшениці озимої відповідно. Довготривале (131 рік) вирощування жита озимого без добрив на темно-сірому опідзоленому ґрунті (Полтавська державна сільськогосподарська дослідна станція імені М. І. Вавилова) призвело до падіння врожаю культури із 1,05 т/га у 1885–1907 рр. до 0,93 т/га у 1961–1967 рр. [197]. Результати, отримані І. Поляковою та М. Топчієм [198] показали, що беззмінне вирощування соняшнику протягом п'яти років на чорноземі звичайному, порівняно з вирощуванням культури у рекомендованій зональній сівозміні, зменшувало вміст: агрономічно цінних агрегатів, гумусу, рухомого фосфору – на 37,8; 0,32 і 2,7 % відповідно, але збільшувало на 4,5 % уміст обмінного калію. Результатами досліджень О. Цилюрника [199] на чорноземі звичайному було визначено, що порівняно із люцерною уміст 7–0,25 мм фракцій водостійких агрегатів зменшувався із 92,6 %

до 88,1; 87,7; 85,8; 76,2; 77,4 і 74,2 % за вирощування гороху, пшениці озимої, ячменю, кукурудзи, цукрових буряків і соняшника відповідно. Зміна монокультури на науково обґрунтоване її місце у сівозміні на чорноземі типовому, збільшує врожайність пшениці озимої та ярої, ячменю ярого, кукурудзи на зерно, гороху, гречки, сої, соняшнику і цукрових буряків на: 33, 14, 10, 35, 8, 42, 22 і 55 % відповідно. Довготривалі дослідження на Ротамстедтській дослідній станції показують, що за рахунок сівозміни, врожайність пшениці озимої, жита і вівса збільшується у 1,5–2 рази – без застосування добрив і у 3,5 рази на удобрених варіантах [192]. Зменшення частоти повернення цукрових буряків у сівозміні з одного до п'яти років на одне й те ж саме поле збільшує урожай культури на 7,3–14,3 т/га [200]. Збільшення кількості полів у сівозміні призводить до розуцільнення і гомогенізації профілю чорноземів, зменшення інтенсивності балансу кальцію [201].

Проміжні та змішані посіви. Застосування зеленого добрива (сидератів) у системі рослинництва є ефективною практикою щодо збереження родючості і якості ґрунтів [202, 203]. Правильно підібрані проміжні культури знищують або пригнічують ріст бур'янів, перешкоджають їх обсіменінню, сприяють нагромадженню органічної речовини, поліпшують структуру ґрунтів, а також відіграють важливу протиерозійну роль. В Україні, щорічно заорюється біля 2230 тис. тонн зеленої маси проміжних культур на площі 208 тис. га, що еквівалентно внесенню 557,5 тис. тонн гною [204]. Найбільший вміст азоту у рослинних рештках мають багаторічні бобові трави (С : N у люцерни – 10–14, конюшини – 12–16), найменший – зернові (С : N у жита озимого – 38–42, ячменю – 42–45) [205]. Згідно даних Л. Дацько і О. Щербатенко [206] заорювання післяжнивних рослин підвищує врожайність пшениці озимої, картоплі, цукрових буряків, кукурудзи на силос, кукурудзи на зерно і гречки – на 0,17–0,43; 5–9; 5–14; 7–13; 0,9–1,3 і 0,6–1,0 т/га відповідно. Використання редьки олійної у якості післяжнивного сидерату зменшує щільність складення чорнозему типового на 0,5 г/см³, збільшує запаси продуктивної вологи у 0–30 см шарі ґрунту на 2,5 мм,

підвищує врожайність картоплі на 5,2 та 7,0 т/га за оранки і глибокого безполицевого обробітку ґрунту відповідно [207].

Заробляння рослинних решток у ґрунт збільшує передусім уміст органічного вуглецю і відповідно розширює співвідношення С : N в ґрунтах. При мульчуванні соломою (С : N соломи 45–80 : 1) і сидерації (С : N трав 16–35 : 1), співвідношення С : N у ґрунтах може перевищувати 25. Цей захід активізує швидке зростання чисельності мікроорганізмів, грибів, пришвидшує іммобілізацію органічного азоту мікроорганізмами і, відповідно, зменшується вміст його легко- розчинних/гідролізованих форм у ґрунтах. Зважаючи на вищезгаданий ефект, рекомендується додаткове внесення азотних добрив із розрахунку 10–15 кг д. р. на 1 тону соломи та/або мікробні препарати, безпідстилковий гній, гноївку. Мульчування, порівняно з мінеральною системою удобрення, збільшує в 1,34 рази емісію CO₂ та 1,94–2,24 рази – целюлозолітичну активність ґрунту, підвищує на 56–109 % – чисельність і на 262–422 % - біомасу дощових черв'яків порівняно з традиційними системами удобрення [208]. Застосування мульчування на еродованому чорноземі типовому у нормі 2,5 т/га, є ефективним протиерозійним заходом, який у комбінації із мінімальним безполицевим способом обробітку ґрунту, зменшує на 3,8 м³/га поверхневий стік, збільшує вміст доступної для рослин вологи, підвищує врожай ячменю ярого на 1,6 т/га [209].

1.5. Сучасні тенденції управління властивостями ізогумусолів Китаю

Китай є величезною за розмірами країною з різноманітними агроecosystemами і системами управління аграрним виробництвом, які впроваджуються на землях більш ніж 200 млн господарств і забезпечують продуктами харчування 1/5 частину населення Землі. Традиційне сільське господарство Китаю, яке направлене на використання власних ресурсів і мінімальне споживання енергії, води і поживних речовин із зовні, наразі

заміщується стратегією «Інтегрованого управління системою ґрунт-рослина», яка передбачає застосування ґрунтозахисних підходів при обробітку ґрунту, плануванні сівозмін та системи удобрення, використанні зеленого добрива, покривних, проміжних і внутрішньо-рядкових культур, мульчуванні, тощо [210, 211].

Ґрунтозахисний обробіток ґрунту. Китайськими науковцями було розроблено два основних підходи щодо застосування ґрунтозахисного обробітку на ізогумусолях з метою зменшення ерозійних втрат і збільшення врожайності с.-г. культур: 1. Застосування роторного обробітку і культиваторів при формуванні широких гребнів і міжгребневого розпушення. Минулорічна стерня забирається з полів весною перед сівбою. 2. Застосування по-till поперек схилу із залишенням рослинних решток на поверхні ґрунту [212]. При застосуванні по-till, у верхньому 0–20 см шарі ізогумусолю на початку вегетації зберігається більше вологи, що відповідно впливає на зменшення температури ґрунту і сповільнює розвиток біомаси у початковий період росту і розвитку рослин. Наведені вище фактори сприяють продовженню тривалості вегетаційного періоду рослин, і відповідно, збільшенню на 15,1 % врожаю сої і 10,2 % врожаю кукурудзи на зерно порівняно із оранкою та роторним обробітком ґрунту [213]. Заміна оранки на ґрунтозахисний обробіток за вирощування кукурудзи на зерно (найбільш поширена с.-г. культура у провінції Хейлунцзян) призводить до щорічного зниження втрат ґрунту і гумусу із 8,28 млн тонн та 200 тис тонн до 0,6 млн тонн та 15 тис тонн відповідно у області Гірін [214]. За даними S. Zhang [213], щорічний поверхневий стік і втрати ґрунту від ерозії за по-till є меншими на 92,4 та 98,3 % за оранку та роторний обробіток ґрунту.

На схилах із крутизною менше 10° застосовують контурний обробіток ґрунту. За даними Zhang et al. [212], п'ятирічне застосування контурного обробітку на схилі із крутизною 4,8° зменшило поверхневий стік та втрати ґрунту на 71 % та 0,26–0,01 см відповідно, покращило родючість ізогумусолю і збільшило середню врожайність с.-г. культур на 25 %. Застосування контурного

обробітку на схилах із крутизною 7° , порівняно із обробітком вздовж схилу, зменшило втрати елементів живлення (NPK) і органічної речовини ґрунту на: 4,65; 6,75; 114 і 119,7 кг/га відповідно.

Смугові, змішані і проміжні посіви. У Китаї, 20–25 % орних земель щорічно засіваються змішаними, післяжнивними та смуговими посівами [215]. Включення покривних культур у сівозміну, поряд із безполицевими способами обробітку ґрунту, інтегрованим живленням рослин, мульчуванням – є одним із основних компонентів ґрунтозахисного землеробства. Смугове розміщення культур застосовують, як правило, за контурного обробітку ґрунту, який застосовують за крутизни схилів менших за 10° . Популярним є розміщення смуг шириною 2–3 м із багаторічних трав (наприклад люцерна), які чергуються із смуговими зерновими і зерно-бобові культурами шириною 5 м. Застосування сівозміни за смугового/контурного землеробства збільшує врожайність сої, проса і картоплі на 100, 17 і 45 % відповідно [216]. У степових і сухостепових регіонах Північного Китаю застосовують змішані посіви на основі бобових: просо лозовидне/астргал, люцерна/сибірський дикий рис [217]. На початку 90^х років минулого століття, у Північно-східному регіоні Китаї, на площі у 0,3 млн га, застосували міжрядкове висівання конюшини на полях із вирощування кукурудзи на зерно. За змішаних посівів, врожайність кукурудзи на зерно не перевищувала монокультурні посіви, але, в той же час, на цих посівах додатково збирали 15 т/га конюшини щорічно [218]. За даними наукових досліджень на полях Байченської академії аграрних наук провінції Гірін, на легкосуглинковому ізогумусолі, кількість зерен, врожай і середня маса тисячі зернин на 1 рослину соняшнику за змішаного посіву із вівсом була більшою на 148–290 шт, 19–25 грам і 12–18 грам відповідно ніж за традиційного монокультурного вирощування культури [219]. Однак дослідження Т. Feike et al. [220], показали, що фермери відмовляються від проміжних і міжрядкових посівів у Північно-східному Китаї у зв'язку із збільшенням технічних, людських

і грошових капіталовкладень, а також – відсутністю достатньої наукової підтримки щодо впровадження даних технологій.

Сівозміни. Північно-східний Китай є основним регіоном із вирощування кукурудзи (34 %), японського рису (30–50 %) і сої (41 %), загальна посівна площа яких у регіоні збільшилась із 14,44 млн га (84,8 %) у 2003 році до 20,06 млн га (95,74 %) у 2016 році. Натомість, площа під пшеницею, сорго, вівсом, картоплею та іншими культурами – зменшилась [221]. Зважаючи на домінування трьох вищезгаданих культур у структурі посівних площ, короткий вегетаційний період і тривалу холодну зиму, фермери провінції Хейлунцзян практикують переважно двопільну сівозміну: соя-кукурудза на зерно, рис-картопля або рис-бобові. Збільшення середньорічної температури на 0,38 °С, виникнення посушливих періодів і зменшення на 3,3 мм опадів за останнє десятиліття, призвело не тільки до збільшення посівних площ під рисом у провінції Хейлунцзян, але і поступовим просуванням пшениці на північ регіону. У результаті цих змін, збільшились площі під посівами пшениці у південних областях – Гірін і Ляонін. Структура сівозміни на півдні регіону змінилась на рис-пшениця, пшениця – соя, кукурудза – соя – пшениця, соя – пшениця/рис/овес [222].

Застосування сівозмін на ізогумусолях не тільки збільшує врожайність пшениці ярої, кукурудзи на зерно і сої, але й і покращує ефективне використання ґрунтової вологи [223]. Дев'ятирічне застосування двопільної сівозміни: пшениця яра – буркун лікарський, збільшили на відносних 7,5 % запаси органічного вуглецю та секвестрували на 43 тонн CO₂/га з атмосфери більше за сівозміну, яка складалась із пшениці ярої та сої [224]. Н. Fang et al. [225] у своїх дослідженнях визначили, що щорічно, у результаті обробітку ґрунту, в атмосферу виділяється 2240–5000 тонн вуглецю із китайського ізогумусолю, 1550 тонн з яких може бути депоновано у ґрунті за впровадження ґрунтозахисного обробітку і застосування адаптованих до нього сівозмін. Застосування сівозміни та адаптованих технологій щодо довготривалого вирощування сої, пом'якшує негативний ефект від монокультури. Дослідження

Z. Liu et al. [226], показали, що короткотермінове (3–5 років) використання сої як монокультури знизило загальну біомасу мікроорганізмів і збільшило присутність грибів-патогенів. В той же час, тринадцятирічне беззмінне вирощування сої та п'ятирічне вирощування сої у сівозміні із кукурудзою – підвищило рівень рН, поживних елементів, зменшило щільність складення, збільшило кількість *Bradyrhizobium* sp. та *Gemmatimonas* sp. мікроорганізмів і *Mortierella* sp. та *Paecilomyces* sp. грибів та зменшило кількість патогенних *Fusarium* sp. грибів.

Удобрення. Інтегрована система управління живленням рослин є обов'язковим компонентом ґрунтозахисного землеробства. Дана система, розроблена Китайським сільськогосподарським університетом на початку 2000 років, враховує: – синхронізацію процесу внесення елементів добрив в ґрунт з потребами рослин у цих елементах на даний момент часу; – бездефіцитне забезпечення рослин елементами живлення та інтегроване використання поживних елементів, які надходять з добривами, відходами та забруднювачами, органічними рештками, з атмосфери та геологічного середовища; – інтеграцію системи удобрення з обробітком ґрунту, сівозміною, новими сортами, агротехнікою, меліорацією. Результати, одержані Z. Cui et al. [227] засвідчують, що за інтегрованої системи управління живленням рослин зростає урожайність зернових на 1,7 т/га, зменшується використання азотних добрив на 50 кг/га, підвищується ефективність використання азоту добрив із 35 до 42 кг/кг. На думку X. Chen et al. [228], більш ефективного використання азоту досягається за рахунок багаторазового внесення азотних добрив відповідно до потреб рослин протягом вегетації. Наукові дослідження виконані на 1517 ділянках академії наук Китаю, показали, що за інтегрованого живлення рослин внесення азотних і фосфорних добрив зменшується на 26 та 20 % відповідно, врожай зернових збільшується на 8 %, а втрати азоту зменшується на 47 % порівняно з традиційною системою удобрення [227]. Інтегрований індивідуальний підхід щодо використання фосфору і калію рослинами із врахуванням вмісту їх

доступних форм у ґрунтах, зумовило збільшення внесення фосфорних і калійних добрив у Китаї із 0,9 млн т (1970 рік) та 0,4 млн т (1980 рік) до 12,8 млн т (2009 рік) та 7,5 млн т (2007 рік) відповідно [229]. За даними W. Zhang et al. [230], застосування інтегрованого живлення рослин, порівняно з традиційними технологіями, збільшує врожайність с.-г. культур на 2–12 %, зберігає, повертає та зменшує втрати азоту ґрунту на 20–40, 10–15 та 10–50 % відповідно. Однак, протягом останніх десятиліть, у Китаї, значно збільшились норми добрив, кількість яких значно перевищує винос елементів живлення із урожаєм. У наслідок цього, зменшилась ефективність використання азоту, фосфору і калію у рослинництві Китаю в середньому із 32 % у 1980 році до 26 % у 2005 році [231].

Висновки до розділу 1

Чорноземи України та ізогумусолі Китаю разом займають 17–18 % території світових чорноземів та поширюються у межах 38–54° північної та 30–55° південної широти. Більшість китайських чорноземоподібних ґрунтів знаходиться у провінції Хейлунцзян, українських – у Лісостеповій та Степовій ґрунтово-кліматичних зонах. Чорнозем, будучи відкритою багатофазною частиною педосфери, чутливо реагує на зміни природного середовища, які інтенсивно прискорюються за антропогенного впливу. В результаті глобальних змін клімату, у чорноземах відбуваються стрімкі трансформаційні зміни властивостей, процесів і режимів, які безпосередньо впливають на їх родючість і врожаї сільськогосподарських культур. Протягом останнього століття інтенсивне використання орних чорноземів значно погіршило їх властивості, ґрунти у нових кліматичних реаліях не забезпечують стабільні врожаї сільськогосподарських культур незважаючи на застосування виробниками сучасної агротехніки. Таким чином виникає нагальна потреба у науковому дослідженні й обґрунтуванні впливу різних агротехнічних заходів на педогенез ґрунтів за їх різного використання на фоні глобальних кліматичних змін, що

дасть можливість значно підвищити ефективність виробництва продукції рослинництва та відновити родючість ґрунтів.

Результати досліджень за даним розділом опубліковані у наступних працях:

1. Kravchenko Y., Chen Q., Liu X., Herbert S., Zhang X. Conservation Practices and Management in Ukrainian Mollisols. *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST)*. 2016. Vol. 18. P. 845–854.

2. Кравченко Ю. С. Відтворення родючості чорноземів України за ґрунтозахисного землеробства. *Агробіологія*. 2020. № 1. С. 67–79.

3. Кравченко Ю. С. Впровадження наукових основ ґрунтозахисного землеробства та аграрної політики у відтворенні родючості чорноземів Північно-східного Китаю. 2020. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. № 1. С. 58–70.

4. Кравченко Ю. С. Сучасний стан родючості китайських чорноземів. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове ґрунтознавство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2019. № 2. С. 14–27.

5. Кравченко Ю. С. Сучасний стан родючості українських чорноземів. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2019. Том 10. № 4. С. 16–28.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження за темою дисертації проводились протягом 2000–2022 років у лабораторіях та на стаціонарних науково-дослідних полях кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів ім. М. К. Шикули Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП України), відділу деградації та відновлення родючості чорноземів Північно-східного інституту географії та агроекології Національної академії наук Китаю (IGA, Китай), відділу Наук про екосистеми та їх управління університету штату Пенсильванія (PSU, США).

2.1. Програма, місця, об'єкти та методика проведення досліджень

Програмою досліджень передбачалось вивчити просторові і часові зміни властивостей та режимів у профілях чорнозему типового України та ізогумусолів провінції Хейлунцзян за впливу різних агротехнічних заходів, розробити на основі одержаних даних рекомендації із наукового управління досліджуваними ґрунтами для різних кліматичних умов.

Ізогумусоль (чорнозем) провінції Хейлунцзян (Китай), відповідно до сучасної таксономічної (ST) класифікації ґрунтів Китаю відповідає порядку – ізогумусоль (Isohumosol), підпорядку – удік ізогумусоль (Udic Isohumosol), групі – гаплік удік ізогумусоль (Hapli-Udic Isohumosol), підгрупі – чорні ґрунти [232]. За генетичною класифікацією ґрунтів Китаю (GSCC), даний ґрунт відносять до великої групи – «чорні ґрунти» [233]. Міжнародними аналогами китайського чорнозему є: феозем (Haplic-Luvic Phaeozems), гаплік чорнозем (Haplic Chernozems) – WRB, FAO [234, 235], моллісоль (Udoll Mollisols; США) [236], бруносоль (Brunosols, Аргентина) [237], черносоль (Chernossolos Argilúvicos, Бразилія) [238], чорнозем вилугуваний вологий (Україна, Росія). Досліджуваний китайський ґрунт характеризується перехідним “ustic” – “udic” режимом зволоження. У подальшому, у даній роботі при розгляді китайського ізогумусолю, слова: чорнозем і ізогумусоль використовуються як синоніми.

У роботі номенклатурні терміни географічних об'єктів Північно-східного регіону Китаю подані відповідно до топоніміки карт: 1. «Китай», 1:6,000,000; 2. «Северный и Северо-Восточный Китай», 1:15,000,000; 3. «Северо-Восточный Китай», 1:15,000,000; 4. «Маньчжурия», 1:15,000,000; 5. «China Topography Map», 1: 23,000,000; 6. «Tibet, Mongolia & Mandchouria», 1: 19,008,000; 7. «Heilongjiang», 1:5 600 000, а також місцевих монгольських, тунгусо-маньчжурських, корейських, загальноприйнятих китайських назв.

Дослід № 1

Польові експериментальні дослідження чорнозему типового проводили на полях стаціонарного наукового досліду кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів ім. М. К. Шикучи у ВП НУБіП України «Великоснітинське навчально-дослідне господарство ім. О. Музиченка» (СНД Вел.), с. Велика Снітинка, Фастівського району Київської області (50°5'N, 30°2'E) (додаток Б 1.). Польовий стаціонарний дослід було закладено у 1998 році за методом розщеплених ділянок із розміром елементарної ділянки $6 \times 30 = 180 \text{ м}^2$, облікової ділянки – 100 м^2 . Повторність досліду триразова (додатки: Б 2 і Б 3).

Система основного обробітку ґрунту була представлена наступними ґрунтообробними машинами:

1. Мілкий плоскорізний обробіток (RTu) (КШН-3,0) на глибину 10–12 см під усі культури;
2. Полицевий різноглибинний обробіток (СТu) (ПЛН-6-35) на глибину 25–27 см – під просапні, 20–22 см – під зернові культури;
3. Глибокий різноглибинний плоскорізний обробіток (DRTu) (КНК-4) на глибину 25–27 см – під просапні, 10–12 см – під зернові культури.

Дослідження виконувались на фоні двох сівозмін:

Сівозміна I (1999–2009 роки): багаторічні трави – пшениця озима – буряки цукрові – горох – пшениця озима – кукурудза на зерно – кукурудза на силос – пшениця озима – ячмінь ярий + багаторічні трави.

Сівозміна II (2010–2016 роки): соя, пшениця озима, кукурудза на зерно, ячмінь ярий, кукурудза на зерно, соя, ячмінь ярий.

Під час досліджень застосовували наступні сорти сільськогосподарських культур: горох – Інтенсивний; пшениця озима – Поліська 90; буряки цукрові – Український ЧС-70, соя – Київська 89, кукурудза на зерно – гібриди ПР39Н79 та ДКС 3511, кукурудза на силос – Одеська 10, ячмінь ярий – Столкер. Сидеральні культури: гірчиця (сівозміна I) та редька олійна (сівозміна II) – висівались після збирання пшениці озимої. Середня урожайність гірчиці та редьки олійної становила 1,8–2,0 т/га.

Система удобрення для сівозмін I і II складалась із п'яти варіантів. Середня кількість добрив на 1 га сівозмінної площі для сівозміни I відповідає наступним нормам (додаток В 1):

1. Без добрив (контроль);
2. Гній 12 т/га + N₅₅P₄₅K₄₅;
3. Гній 6 т/га + солома 1,2 т/га + N₅₅P₄₅K₄₅;
4. Солома 2,4 т/га + N₂₄ + N₅₅P₄₅K₄₅;
5. Солома 1,2 т/га + сидерати + N₅₅P₄₅K₄₅.

Середня кількість добрив на 1 га сівозмінної площі для сівозміни II відповідає наступним нормам (додаток В 1):

1. Контроль (без добрив);
2. Солома 1,2 т/га + N₁₂ + N₅₅P₄₅K₄₅;
3. Солома 1,2 т/га + N₁₂ + N₇₈P₆₈K₆₈;
4. Солома 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₅₅P₄₅K₄₅;
5. Солома 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈.

У якості мінеральних добрив використовували: аміачну селітру (вміст N – 34,5 %), суперфосфат простий гранульований (вміст P₂O₅ – 19,5 %) і калій хлористий (вміст K₂O – 60 %). Пшеницю озиму підживлювали аміачною селітрою, горох та ячмінь – суперфосфатом простим гранульованим, багаторічні трави – суперфосфатом простим гранульованим та калійною сіллю. Під усі

сілськогосподарські культури, крім багаторічних трав, гороху та ячменю – мінеральні добрива вносили під основний обробіток ґрунту.

Дослід № 2

Дослідження ізогумусолу на полях «Національної наукової станції дослідження агроєкосистем Хайлунь» (ННС ДАХ) проводили на дослідній станції, яка розташована на околицях міста Хайлунь у провінції Хейлунцзян (47°126'N, 126°38'E). Станція є структурним підрозділом Північно-східного інституту географії і агроєкології Національної академії наук Китаю (додатки: Б 4 і Б 5). Вона була введена в експлуатацію у 1978 році, у 1991 році – приєдналась до Наукової (моніторингової) сітки з досліджень екосистем (CERN), у 2005 році – до Національної наукової (моніторингової) сітки з досліджень екосистем (CNERN) Національної академії наук Китаю. Основною метою створення даної станції є вивчення агроєкологічних аспектів та стійкого землеробства у зоні чорноземів Північно-східного регіону Китаю. Польовий стаціонарний однофакторний дослід було закладено у 2004 році за методом рендомізованих ділянок із розміром елементарної ділянки $8,4 \times 40 = 336 \text{ м}^2$, облікової ділянки – 100 м^2 . Повторність дослідів триразова (рис. 2.1).

Варіанти дослідів	11 RT	12 CT	13 Rot	14 NT	15 Comb
Ab	6 Rot	7 NT	8 Comb	9 CT	10 RT
F	1 CT	2 RT	3 NT	4 Comb	5 Rot

Рис. 2.1. Схема розміщення дослідних ділянок Національної наукової станції досліджень агроєкосистем Хайлунь

Система основного обробітку ґрунту була представлена наступними варіантами:

1. Полицевий обробіток ґрунту (СТ) (контроль). Застосовували плуг – гребнеутворювач на глибину 27–30 см під усі культури весною, перед посівом і на 15^й день після збирання врожаю. Відвальний окучник застосовували при оновленні гребнів і міжгребневого обробітку двічі: на 15^й день після сівби і на початку червня перед сезоном дощів. Рослинні рештки повністю вилучали з поля після збирання врожаю.

2. Безполицевий обробіток ґрунту (RT). Застосовували чизельний гребнеутворювач на глибину 25 см під усі культури навесні перед посівом. Чизельний міжгребневий обробіток на глибину 25 см застосовували на 15^й день після сівби, на початку червня перед сезоном дощів та восени – на 15^й день після збирання врожаю. Стернові рештки залишали у рядку і заробляли весною під час передпосівного обробітку.

3. No-till (NT). Застосовували стернову сівалку, 100% рослинних решток (біля 3 т/га – сої та 10 т/га кукурудзи) залишалось на полі.

4. Комбінований обробіток (Comb). Застосовували ротаційний гребнеутворювач на глибину 30 см під усі культури весною, перед посівом та восени – на 15^й день після збирання врожаю. Чизельний міжгребневий обробіток на глибину 25 см проводили на 15^й день після сівби і на початку червня перед сезоном дощів. Рослинні рештки повністю вилучали з поля після збирання врожаю.

5. Роторний обробіток (Rot). Роторний гребнеутворювач застосовували на глибину 20 см під усі культури весною перед посівом та восени – на 15^й день після збирання врожаю. Фрезерний культиватор на глибину 25 см застосовували при оновленні гребнів і міжгребневого обробітку на 15^й день після сівби і на початку червня перед сезоном дощів. Рослинні рештки повністю забирали з поля після збирання врожаю.

Інші варіанти дослідів № 2 які досліджувались:

– переліг (Ab). Протягом 1987–1989 років, ділянка була засіяна багаторічними травами типових екосистемних угруповань, а з 1989 року – була відведена під переліг;

– чорний пар (F). Беззмінний чорний пар з 1989 року.

Схема чергування культур у короткоротаційній сівозміні складалась із двох культур: соя (2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014 роки) та кукурудза на зерно (2005, 2007, 2009, 2011 і 2013 роки). При вирощуванні сої використовували: HN0035, HN5001 і DS0002 гібриди, кукурудзи – HY0006 і HY0007 гібриди. Насіння обробляли фунгіцидами та інсектицидами: Sanmate (15%), Thiram (10%) та Carbofuran (10%) (40 кг насіння на 1 кг речовини). Для контролю над бур'янами застосовували гербіциди: Acetochlor (1500 мл/га) та Thifensulfuron-methyl (120 г/га). Густота продуктивного стеблостою для кукурудзи на зерно складала – 50 000, для сої – 300 000 шт/га. Ширина міжрядь для кукурудзи та сої була 60–70 см. Відстань між рослинами у рядку складала: 25–30 см – для кукурудзи на зерно і 5 см – для сої. Сівба сої та кукурудзи на зерно (на глибину 5 см) проводилась з 29 квітня по 6 травня, збирання врожаю – із 28 вересня по 5 жовтня залежно від року. Із мінеральних добрив використовували наступні форми: сечовину, суперфосфат потрійний та сульфат калію. Норми мінеральних добрив у 2004–2009 роках становили: $N_{69,5}P_{51,75}K_{15} + N_{69,5}(CO(NH_2)_2)$ – під кукурудзу на зерно і $N_{20,25}P_{51,75}K_{15}$ – під сою, у 2010–2016 роках: $N_{69,5}P_{51,75}K_{15} + N_{100}(CO(NH_2)_2)$ – під кукурудзу на зерно і $N_{20,25}P_{51,75}K_{15}$ – під сою.

Дослід № 3

Польові дослідження ізогумусолу «Національної наукової станції з управління та охорони ґрунтів та вод» (ННС УОГВ) проводили на полях селища Гуангронг, яке розташоване на відстані 10 км від міста Хайлунь у провінції Хейлунцзян (47°36'N, 126°83'E). Дана дослідна станція є структурним підрозділом Північно-східного інституту географії і агроєкології Національної академії наук Китаю, яка була введена в експлуатацію у 2006 році, а з 2016 року

– стала підрозділом Наукової (моніторингової) сітки з досліджень екосистем (CERN) (додатки: Б 6 і Б 7). Основною метою створення даної станції є вивчення водно-ерозійних процесів та їх контроль у зоні чорноземів Північно-східного регіону Китаю. Польовий стаціонарний однофакторний дослід було закладено у 2004 році за методом розщеплених ділянок із розмірами елементарної ділянки $4,5 \times 20 = 90 \text{ м}^2$, облікової ділянки – 50 м^2 (рис. 2.2). Ділянки розташовувались вздовж схилу.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
NT	RT	CT	NT	RT	CT	Ab	F	CS	NT	RT	CT	Fst	Fst

Рис. 2.2. Схема розміщення дослідних ділянок Національної наукової станції дослідження «Управління та охорона ґрунтів та вод» Гуангронг

Кожна ділянка була оконтурена керамічною плоскою черепицею зануреною у ґрунт на 20 см та виступом над поверхнею ґрунту у 25 см. Повторність дослідів триразова. Система основного обробітку ґрунту виконувалась мінітехнікою і була представлена наступними варіантами:

1. Полицевий обробіток ґрунту (CT) (контроль). Застосовували широкозахватний плуг – гребнеутворювач на глибину 27–30 см під усі культури весною, перед посівом і на 15^й день після збирання врожаю. Відвальний окучник застосовували при оновленні гребнів і міжгребневого обробітку двічі: на 15^й день після сівби і на початку червня перед сезоном дощів. Рослинні рештки повністю забирали з поля після збирання врожаю.

2. Безполицевий обробіток ґрунту (RT). Застосовували ротаційний гребнеутворювач на глибину 25 см під усі культури весною перед посівом. Чизельний міжгребневий обробіток застосовували на глибину 25 см на 15^й день після сівби, на початку червня перед сезоном дощів та восени – на 15^й день після збирання врожаю. Стернові рештки залишали у рядку і заробляли весною під час передпосівного обробітку.

3. No-till (NT). Сівба здійснювалась поперек схилу стерновою сівалкою, 100 % рослинних решток (біля 3 т/га – сої та 10 т/га кукурудзи) залишалось на полі.

4. Обробіток поперек схилу (CS). Застосовували ротаційний гребнеутворювач на глибину 25 см під усі культури весною перед посівом. Чизельний міжгребневий обробіток застосовували на глибину 25 см на 15^й день після сівби, на початку червня перед сезоном дощів та восени – на 15^й день після збирання врожаю. Рослинні рештки повністю забирали з поля весною, перед посівними роботами.

Інші варіанти досліду, які виконувались:

- переліг (Ab). З 2006 року ділянка була відведена під переліг з природною сукцесією різнотрав'я;
- чорний пар (F). Беззмінний чорний пар з 2006 року;
- лісовий масив (Fst). Тополя біла (*Populus alba*) із загальним віком деревостою – 15–18 років.

Схема чергування культур у короткоротаційній сівозміні складалась із двох культур: соя (2006, 2008, 2010, 2012, 2014 роки) та кукурудза на зерно (2007, 2009, 2011, 2013 і 2015 роки). При вирощуванні сої використовували: HN0035, HN5001 і DS0002 гібриди, кукурудзи – HY0006 і HY0007 гібриди. Насіння обробляли фунгіцидами/інсектицидами/пестицидами: Sanmate (15%), Thiram (10%) та Carbofuran (10%) (1 кг речовини на 40 кг насіння). Для контролю над бур'янами застосовували гербіциди: Acetochlor (1500 мл/га) та Thifensulfuron-methyl (120 г/га). Густота продуктивного стеблостою для кукурудзи на зерно складала – 50 000, для сої – 300 000 шт/га. Ширина міжрядь для кукурудзи та сої була 68–70 см. Відстань між рослинами у рядку складала: 25–30 см – для кукурудзи на зерно і 5 см – для сої. Сівба сої та кукурудзи на зерно (на глибину 5 см) проводилась з 29 квітня по 6 травня, збирання врожаю – із 28 вересня по 5 жовтня залежно від року. Під основне удобрення (припосівне, на глибину 10 см) застосовували: сечовину, суперфосфат потрійний та сульфат калію. Норма

удобрення у 2006–2009 роках становила: $N_{69,5}P_{51,75}K_{15} + N_{69,5}(CO(NH_2)_2)$ – під кукурудзу на зерно і $N_{20,25}P_{51,75}K_{15}$ – під сою, у 2010–2016 роках: $N_{69,5}P_{51,75}K_{15} + N_{100}(CO(NH_2)_2)$ – під кукурудзу на зерно і $N_{20,25}P_{51,75}K_{15}$ – під сою.

2.2. Властивості ґрунтів дослідних полів

2.2.1. Чорнозем типовий (дослід № 1)

Ґрунт дослідної ділянки – *чорнозем типовий глибокий малогумусний пілувато-легкосуглинковий на лесі* (додаток Б 8).

Морфологічний опис чорнозему типового:

$H \frac{0 - 62}{62} \text{ см}$	– гумусово-акумулятивний, свіжий, темно-сірий, пілувато-легкосуглинковий, пухкий, зернисто-пілувато-грудкуватий, наявність черворіїн і копролітів, багаточисельні трав'яні корені, перехід хвилястий, поступовий;
$H_{pk} \frac{62 - 105}{43} \text{ см}$	– верхній перехідний, свіжий, бурувато-темно-сірий, пілувато-легкосуглинковий, слабоущільнений, зернисто-грудкуватий, карбонати присутні у вигляді псевдоміцелію (у середній частині горизонту), прожилки та трубочки – у черворіїнах, карбонати скипають від 10 % HCl з глибини 62–65 см, багаточисельні трав'яні корені, перехід хвилястий, помітний;
$Ph_k \frac{105 - 175}{70} \text{ см}$	– нижній перехідний, свіжий, жовтувато-палевий з темними плямами, пілувато-легкосуглинковий, слабоущільнений, грудкувато-пілуватий, наявність кротовин, черворіїн та копролітів, карбонати у вигляді псевдоміцелію та прожилок, нерівномірно гумусований, поодинокі тонкі трав'яні корені, перехід хвилястий, помітний;
$P_k \frac{175 - 220}{45} \text{ см}$	– жовтувато-палевий тонкопористий карбонатний (трубочки і прожилки), пілувато-легкосуглинковий лес.

На період закладання наукового дослідження даний ґрунт характеризувався показниками, наведеними у таблиці 2.1 [239, 240, 241]. Гранулометричний склад чорнозему типового характеризувався однорідним розподілом умісту фракцій механічних елементів униз по профілю з найбільшою масовою часткою у 0–30 та 30–50 см шарах: дрібного піску (16,0 та 13,4 %), крупного пилу (51,2 та 55,4 %) і мулу (16,8 та 16,7 %). Гранулометричний склад за класифікацією

Таблиця 2.1

Гранулометричний склад, агрохімічні, фізико-хімічні та водно-фізичні властивості чорнозему типового при закладанні наукового досліджу № 1, 1998–1999 роки

Властивості	Показники	Значення показників у шарі (см) ґрунту	
		0–30	30–50
Гранулометричний склад, %	1-0,25	0,6	0,5
	0,25-0,05	16,0	13,4
	0,05-0,01	51,2	55,4
	0,01-0,005	7,4	7,7
	0,005-0,001	8,0	6,4
	<0,001	16,8	16,7
	<0,01	32,2	30,8
Агрохімічні	Вміст загального гумусу, %	3,3±0,1	3,5±0,1
	Азот легко гідролізованих сполук за Тюрнімом і Кононовою, мг/100 г ґрунту	8,0±0,9	7,8±0,8
	P ₂ O ₅ за Чиріковим, мг/100 г ґрунту	7,0±0,7	6,8±0,7
	K ₂ O за Чиріковим, мг/100 г ґрунту	5,3±0,8	4,9±0,6
Фізико-хімічні	Сума увібраних основ, мг-екв/100 г ґрунту	28,9±2,8	24,5±2,4
	Гідролітична кислотність, мг-екв/100 г ґрунту	0,9±0,1	0,5±0,1
	Ступінь насиченості основами, %	95,8	98,8
	pH _{H₂O}	6,7±0,2	6,9±0,2
	pH _{KCl}	6,3±0,2	6,7±0,2
Водно-фізичні	Щільність складення, г/см ³	1,1	1,2
	Щільність твердої фази, г/см ³	2,6	2,6
	Загальна пористість, %	55,8	54,2
	Найменша вологоємність, %	23,4	21,2
	Максимальна гігроскоп., %	5,2	6,4
	ММЗПВ, т/га	41,2	32,4

В. В. Медведєва [242] є допустимим – для кукурудзи на зерно та оптимальним – для усіх сільськогосподарських культур, що вивчалися. Показники гумусового стану, за Л. О. Гришиною та Д. С. Орловим [243], є низькими для орного та підорного шарів: 3,6 та 3,5 % у 0–30 та 30–50 см шарах ґрунту відповідно але оптимальними за агроекологічними умовами [242]. Даний ґрунт відповідає високому класу стосовно забезпеченості азотом легкогідролізних сполук за Тюрінім і Кононою (8,0 та 7,8 мг/100 г ґрунту), середньому – за вмістом рухомого фосфору (за методом Чирікова – 7,0 і 6,8 мг/100 г ґрунту) і обмінним калієм (5,3 і 4,9 мг/100 г ґрунту). Відповідно до агроекологічних умов, вміст поживних елементів є «допустимим» для пшениці озимої та кукурудзи на зерно і «критичним» (недостатнім) – для соняшника, ячменю ярого, цукрових буряків.

Дані фізико-хімічних властивостей чорнозему типового вказують на високий ступінь насиченості основами (95,8 і 98,8 %), нейтральну реакцію середовища за ступенем кислотності. Щільність складення є оптимальною (1,1 та 1,2 г/см³) для вирощування сільськогосподарських культур, ступінь ущільнення відповідає «пухкому» значенню цього показника, сумарний об'єм усіх пор є відмінним для орного шару – 59,2 %, кількість найменшої вологості (23,4 і 21,2 %) – є незадовільною для важких і задовільною – для легких за гранулометричним складом ґрунтів [244].

2.2.2. Ізогумусоль (дослід № 2)

Ґрунт дослідної ділянки – *Ізогумісоль (Isohumisols)* – *порядок, Удік Ізогумісоль (Udic Isohumisols)* – *під порядок, Ганлі-Удік Ізогумісоль (Hapli-Udic Isohumisols)* – *група, чорні ґрунти (Black Soils)* – *підгрупа* (додаток В 9). Даний ґрунт відповідає українському аналогу – чорнозем вилугований вологий, середньогумусний, важкосуглинковий на лесі. Морфологічний опис даного ґрунту наводиться нижче:

$$H \frac{0-62}{62} \text{ см}$$
 – гумусово-аккумулятивний, свіжий, бурувато-темно-сірий, важкосуглинковий, пухкий, зернисто-грудкуватий,

$H_p \frac{62 - 94}{32} \text{ см}$	наявність черворийн і копролітів, середньочисельні трав'яні корені у верхній частині горизонту, перехід хвилястий, поступовий; – верхній перехідний, вологий, жовтувато–бурувато–сірий, важкосуглинковий, ущільнений з глибини 60–70 см, слабоущільнений у нижній частині горизонту, горіхувато–пилувато–грудкуватий, поодинокі трав'яні корені, перехід хвилястий, помітний;
$P_h \frac{94 - 120}{124} \text{ см}$	– нижній перехідний, вологий, жовтувато-палевий з темними плямами, важкосуглинковий, ущільнений, дрібно–брилувато–пилувато–грудкуватий, нерівномірно гумусований, поодинокі тонкі трав'яні корені, перехід затьочний, помітний;
$P_{(k,gl)} \frac{120 - 178}{58} \text{ см}$	– жовтувато–палевий важкосуглинковий лес з оглеєнням та скипанням від карбонатів – у нижній частині горизонту;
$P_{kgl} \frac{178 - 210}{32} \text{ см}$	– сизувато–палевий, карбонатний (псевдоміцелій), оглеєний, важкосуглинковий лес.

На період закладання наукового дослідження ізогумісоль характеризувався показниками, наведеними у таблиці 2.2 [245].

Ізогумусоль має важкосуглинковий гранулометричний склад з тенденцією до збільшення фракції мулу та дрібного піску на 2,5–3,6 % у шарі 70–110 см. Уміст вищезгаданої фракції у 1,3–1,6 рази перевищує уміст фракції пилу (0,02–0,002 мм). Уміст гумусу за класифікацією Л. Гришиної та Д. Орлова [243] є середнім – 4,4–4,6 % у шарі 0–20 см і оптимальним для вирощування сільськогосподарських рослин [242]. Униз по профілю, уміст органічного вуглецю знижується із 1,4 і 0,5 % у 30–50 і 90–100 см шарах до 0,2 % – у 150–170 см шарі ґрунту. Ґрунт має нейтральну реакцію середовища. Щільність складення є: – оптимальною для вирощування сільськогосподарських культур у верхньому 0–10 см шарі (1,1–1,3 г/см³); – допустима для вирощування кукурудзи на зерно і цукрових буряків у шарі 10–20 см, оптимальна для усіх досліджуваних культур на глибині 20–90 см. Ступінь ущільнення відповідає «пухкому» значенню цього показника у 0–5 см шарі і середньо-пухкому – у шарі 5–90 см.

Найменша вологоємкість оцінюється як найкраща для 5–50 см шару ґрунту (42,9–46,4 %) і добра – для 0–5, 50–70 і 110–190 см шарів [244].

Таблиця 2.2

Окремі показники фізичних, фізико-хімічних та водно-фізичних властивостей Ізогумісолу при закладанні наукового дослідю № 2, 2004 рік

Шар ґрунту, см	Уміст органічного вуглецю, (%)	рН _{H₂O}	Щільність складення, г/см ³	Вологість в'янення, %	Найменша вологоємність, %	Повна вологоємність, %	Гранулометричні частки, %	
							0,02-0,002 мм	≤0,002 мм
0–5	2,7	6,6	1,1	11,7	38,8	56,5	29,3	40,7
5–10	2,7	6,6	1,3	14,4	46,4	52,0	29,3	40,7
10–20	2,6	6,6	1,4	14,8	44,6	51,5	29,3	40,7
20–30	2,1	6,2	1,3	14,8	42,9	62,3	29,6	39,9
30–50	1,4	6,4	1,3	15,3	42,9	58,1	29,1	40,8
50–70	1,0	6,4	1,3	13,6	37,6	46,1	29,1	40,8
70–90	0,9	6,4	1,4	13,0	41,8	59,1	27,9	43,3
90–110	0,5	6,4	1,5	16,5	41,8	49,4	27,9	43,3
110–130	0,4	6,4	1,4	16,8	38,1	47,9	29,9	39,7
130–150	0,3	6,4	1,5	17,6	38,1	45,0	29,9	39,7
150–170	0,2	6,6	1,5	17,6	38,1	39,7	29,9	39,7
170–190	0,1	6,7	1,6	18,7	38,1	39,7	29,9	39,7

2.2.3. Ізогумусоль (дослід № 3)

Ґрунт дослідної ділянки – *Ізогумісоль (Isohumisols)* – *порядок, Удік Ізогумісоль (Udic Isohumisols)* – *під порядок, Галлі-Удік Ізогумісоль (Hapli-Udic Isohumisols)* – *група, чорні ґрунти (Black Soils)* – *підгрупа* (додаток Б 10). Даний ґрунт відповідає українському аналогу – чорнозем вилугований вологий, слабкоеродований, поверхнево-оглеєний, середньогумусний, важкосуглинковий на лесі.

Морфологічний опис даного ґрунту наводиться нижче:

$\text{H} \frac{0-42}{42} \text{см}$

– гумусово-аккумулятивний, свіжий, бурувато-темно-сірий, важкосуглинковий, пухкий, зернисто-грудкуватий, наявність черворієн і копролітів, середньочисельні трав'яні корені у верхній частині горизонту, перехід хвилястий, поступовий;

$$H_p \frac{42 - 85}{43} \text{ см}$$

$$P_h \frac{85 - 115}{30} \text{ см}$$

$$P_{kgl} \frac{115 - 180}{65} \text{ см}$$

– верхній перехідний, вологий, жовтувато–бурувато–сірий, важкосуглинковий, ущільнений з глибини 55–70 см, слабкоущільнений у нижній частині горизонту, горіхувато–пилувато–грудкуватий, поодинокі трав’яні корені, перехід хвилястий, помітний;

– нижній перехідний, вологий, жовтувато-палевий з темними плямами, важкосуглинковий, ущільнений, дрібно–брилувато–горіхувато–грудкуватий, нерівномірно гумусований, поодинокі тонкі трав’яні корені, перехід затьочний, помітний;

– жовтувато–палевий, карбонатний, оглесний, важкосуглинковий лес.

На період закладання наукового дослідження Ізогумісоль характеризувався показниками, наведеними у таблиці 2.3 [246].

Таблиця 2.3

Окремі показники фізичних, фізико-хімічних і водно-фізичних властивостей Ізогумісолу при закладанні наукового дослідження № 3, 2006 рік

Шар ґрунту, см	Уміст гумусу, (%)	pH _{H₂O}	Щільність складення, г/см ³	Вологість в’янення, %	Найменша вологостемність, %	Повна вологостемність, %	≤0,002 мм, (%)
0–20	4,21	6,6	1,3	17,0	37,4	48,3	37,0
20–40	2,84	6,7	1,2	17,1	34,4	44,2	46,0
40–60	1,86	6,6	1,2	16,9	32,3	43,6	44,7
60–80	1,22	6,6	1,3	15,4	31,5	42,7	44,3
80–100	1,09	6,7	1,4	16,0	32,0	43,0	46,2

Ізогумісоль (чорний ґрунт) Національної наукової станції у с. Гуангронг, має важкосуглинковий гранулометричний склад, з тенденцією до збільшення фракції мулу у шарі 70–110 см. Найменший уміст мулу мав верхній 0–20 см орний шар – 37,0 %. За агроекологічними умовами [242], гранулометричний склад має оптимальні значення показників для вирощування сільськогосподарських культур. Уміст гумусу за класифікацією Л. Гришиної та Д. Орлова [243] є середнім – 4,2 % – у шарі 0–20 см та оптимальним для сільськогосподарських рослин [242]. Униз по профілю, уміст гумусу стрімко

знижується і досягає 0,9 % у шарі 80–100 см. Ґрунт має нейтральну реакцію середовища по всьому профілю. Щільність складення ϵ : – оптимальною для вирощування сільськогосподарських культур у 0–60 см шарі ґрунту ($1,2\text{--}1,3 \text{ г/см}^3$) і допустима у нижніх досліджуваних шарах. Ступінь ущільнення відповідає «середньо-пухкому» значенню цього показника у 0–20 см шарі і «пухкому» – у шарі 20–100 см. Найменша вологемкість оцінюється як добра для усіх шарів ґрунту (31,5–37,4 %) [244].

2.3. Методи проведення досліджень

Основні кліматичні показники знімали із метеодатчиків метеостанції Фастів (№ 33339) Фастівського району Київської області, а також із метеорологічних станцій встановлених на відстані 5–100 м від досліджуваних ділянок у м. Хайлунь та с. Гуангронг (додаток Б 11).

Відбір ґрунтових проб здійснювались за: ДСТУ ISO 10381–1:2004 [247], ДСТУ ISO 10381–2:2004 [248], ДСТУ ISO 10381–3:2004 [249], ДСТУ ISO 10381–4:2005 [250] та ДСТУ 7030:2009 [251]. Для визначення загальної якості ґрунту, його хімічних і фізичних властивостей здійснювався відбір змішаних проб (загальною масою 1000 г) з кожної ділянки з глибин: 0–5, 5–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–60, 60–80 і 80–100 см ручним пробовідбірником-буром, висотою – 1200 мм, діаметром 50 мм та наконечником – 200 мм. Змішані проби ґрунту для аналізування структурно-агрегатного складу, вивчення біологічних і сезонних властивостей ґрунту відбиралися пропаленою полірованою плоскою лопатою з прямокутнім лезом із 0–5, 5–10, 10–20, 20–30 і 30–40 см шарів без руйнування агрегатів при зіткненні лопати з ґрунтом. Загальна маса однієї проби перевищувала 1,5 кг – за ДСТУ 4744:2007 [252] (додатки: Б 12 – Б 14). Ґрунтові проби, які у подальшому використовували для біологічних досліджень ґрунту, протягом 2–3 годин, після відбору доставлялись до лабораторії, з подальшим їх короткотерміновим зберіганням при температурі 5 °С – за ДСТУ ISO

10381–6–2001 [253]. Під час транспортування, відібрані проби ґрунту обкладались з усіх сторін сухим льодом і транспортували за ДСТУ ISO 18512:2014 [254].

Польові дослідження. Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин, визначення їх біометричних показників, облік приросту вегетативної маси та густоти стояння рослин – здійснювався у динаміці, відповідно до запланованої схеми досліджень, з урахуванням фаз онтогенезу сільськогосподарських культур та згідно методики держкомісії із сортовипробування [255]. Облік врожаю здійснювали шляхом прямого комбайнування. Концентрація CO₂ на поверхні ґрунту визначалась на газовому аналізаторі CI–301 CO₂ Gas Analyzer (CID, Inc) (додаток Б 15 а). Об’ємні запаси ґрунтової вологи визначали через кожні 15 днів з глибин: 0–30, 0–40, 0–50, 0–70, 0–90, 0–110, 0–130, 0–150 і 0–170 см – нейтронною пробєю приладом «CNC503B», Китай (додаток Б 15 б). Уміст вологи у 0–150 см шарі ізогумусоля досліджували методом комплексної електропровідності з використанням Campbell Scientific «CR23X Micrologger®», США (додаток Б 15 с). Ґрунтову вологу визначали також гравіметричним методом за ДСТУ ISO 11465:2001 [256] у зразках, відібраних буром та лопатою з прямокутнім лезом (додаток Б 16). Загальні запаси вологи ґрунту визначали розрахунково із врахуванням даних по умісту вологи певного шару ґрунту та його щільності складення. Щільність складення (будови) на суху речовину ґрунту визначали у кернових пробах відомого об’єму за ДСТУ ISO 11272:2001 [257] (додаток Б 14). Щільність твердої фази визначали пікнометричним методом за ДСТУ 4745:2007 [258]. Водопроникність ґрунту визначали інфільтрометром за ДСТУ 7456:2013 [259] за методом заливних циліндрів у трьох-годинній експозиції (додаток Б 17). Водопроникність обчислювали для кожного проміжку часу спостережень за формулою:

$$K = \frac{Q \cdot 10}{S \cdot T} \quad (2,1);$$

де – K – водопроникність ґрунту, мм/хв;
 Q – кількість води, що проникла в ґрунт, см³;
 S – площа мірного посуду Маріотта – 47 см²;
 T – тривалість спостереження, хв;
 10 – коефіцієнт перерахунку см³ у мм вод. ст.

Визначення змиву ґрунту у результаті водної ерозії визначали за ДСТУ 7403:2013 [260]. Спостереження за поверхневим та внутрішніми стоками виконувались на стокових майданчиках, виконаних у формі прямокутників зі сторонами 4,5 x 20 м, бортики яких огорожені керамічною плоскою черепицею. Внизу майданчиків розташоване збірне стоко- та змиво- облікове устаткування (додаток Б 18 а–с). Моніторинг поверхневого стоку та втрат ґрунту з сільськогосподарських угідь с. Гуангронг досліджували на двох масштабних рівнях: водозбірний басейн (в подальшому водозбір 2) із загальною площею 1,81 км², та менший за розміром водозбір (в подальшому водозбір 1), площею у 0,13 км² (додаток Б 19).

Прогнозування середньорічних втрат ґрунту (A) обчислювали за модифікованим універсальним рівнянням втрат ґрунту від ерозії Вішмеєра-Сміта (США) – USLE моделлю (Universal Soil Loss Equation) на основі параметрів детермінації:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (2,2);$$

де – A – прогнозовані середньо-багаторічні втрати ґрунту від змиву дощовими поверхневими водами (т/га за 1 рік). R – середньо-багаторічний ерозійний дощовий, поверхнево-стоковий фактор, умовні одиниці. У даній роботі показник R розраховувався шляхом множення максимальної 60-хвилинної штормової енергії (E_{60} , МДж/м²) на максимальну 30 хвилинну дощову інтенсивність (I_{30} , см/год): $R = E_{60} \times I_{30}$. E_{60} розраховувався відповідно до рівняння: $E_{60} = (210.3 + 89 \times \lg I_{60}) \times p$ (p – максимальна кількість опадів за 60 хвилин). K – коефіцієнт втрат ґрунту від опадів у стандартних умовах. Ми застосовували коефіцієнт 0,26, який відповідає місцевим умовам втрат. LS – безрозмірний

фактор, який описує довжину (L) та крутизну (S) ерозійного схилу. С – фактор землекористування, що враховує проектне покриття рослинності, яке складало, відповідно до результатів наших багаторічних досліджень: 10–50 % – на початку вегетації, 50–75 % – в середині вегетації, >75 % – перед збиранням врожаю і <10 % у післязбиральний період. Фактор сівозміни (C) обчислювався із врахуванням співвідношення втрат ґрунту від поверхневого стоку досліджуваного поля до відповідних втрат ґрунту на полі багаторічного чорного пару:

$$C = C_n \times R_i / R \quad (2,3);$$

де – C_n – стадія онтогенезу рослин; R_i – втрати ґрунту на певній стадії онтогенезу і R – загальні втрати ґрунту за рік. P – фактор протиерозійного контролю, який був встановлений на рівні: 0,145 – для ґрунтозахисних технологій; 0,372 – для природних об'єктів і 1 – для традиційного обробітку ґрунту.

Для уточнення і практичної перевірки втрат ґрунту між стоковими майданчиками і вододілом, з травня по жовтень проводились забори винесеного матеріалу у колекторах, які розташовані в кінці кожної стокової ділянки, у кінці облікових борозен на полях, у стаціонарних лотках та магістральному каналі з дамбою на моніторинговій станції (додаток Б 20). Динаміку надходження наносів з водозборів 1 та 2 (SDR) розраховували за співвідношенням кількості стокового ґрунтового матеріалу (SY, т/га), що вийшов за межі вододілу за рік до загально-річних ерозійних втрат ґрунту (A, т/га) за даними моделі USLE, на певну дату за формулою: $SDR (\%) = (SY/A) \times 100$ (2,4) [261].

Програмою досліджень передбачалось вивчення генезису ґрунтоутворення та змін морфологічних ознак чорнозему типового за різного його використання. Відповідно до вищезгаданої програми були закладені основні розрізи по варіантам дослідження, проведений їх морфологічний опис за ДСТУ 7535:2014 [262], визначений напрям змін процесів ґрунтоутворення, а також були відібрані і пізніше проаналізовані ґрунтові проби із середини кожного генетичного горизонту (додаток Б 21). Забарвлення ґрунтів визначали за шкалою

Мансела, з урахуванням десяти кольорових тонів та п'яти-колірної схеми: червоний (R), жовтий (Y), зелений (G), блакитний (B) та пурпурний (P).

Лабораторні дослідження. Змішані ґрунтові проби, відібрані у польових умовах, досліджувались у лабораторії у триразовій повторності. До набуття чинності державних стандартів України, у роботі застосовували відповідні стандартизовані (ГОСТ) та гармонізовані з міжнародними стандартами (ISO) методи.

Груповий та фракційний склад гумусу визначався за методом І. В. Тюріна у модифікації В. В. Пономарьової та Т. А. Плотнікової – за ДСТУ 7828:2015 [263], рН_{KCl} – за ДСТУ ISO 10390:2007 [264], гранулометричний склад – методом піпетки у модифікації Н. А. Качинського за ДСТУ 4730:2007 [265], обмінні кальцій і магній – за ДСТУ 7861:2015 [266], вміст органічної речовини ґрунту (гумус) визначався за ДСТУ 4289:2004 [267]. Уміст органічного і загального вуглецю ґрунту визначали методом сухого спалювання за температури 600 та 1200 °С на приладах Vario EL III analyzer (додаток Б 22) та CE Instruments EA 1110 CHNS-O elemental Analyzer (додаток Б 23) [268, 269, 270]. Уміст органічного вуглецю ґрунту у об'ємних витяжках досліджували на приладі Elementar Liqui TOC II, Analysensysteme GmbH, Німеччина (додаток Б 24 а). Загальна біомаса мікроорганізмів визначалась біоцидним методом фумігації-екстракції [271, 272] (додаток Б 24 b–f). Уміст вуглецю ($C_{\text{мікро}}$) і азоту ($N_{\text{мікро}}$) мікробної біомаси розраховували за різницею між елементами у фумігованих і контрольних зразках застосовуючи коефіцієнт 0,45 – для вуглецю і 0,54 – для азоту [273, 274, 275, 276]. Вуглець дисперсних агрегатів органічної речовини ґрунту (РОМ) досліджувався відповідно методики Cambardella and Elliott [277] (додаток Б 25). Структурно-агрегатний склад ґрунту визначали ситовим методом у модифікації Н. Саввінова за ДСТУ 4744:2007 [252], коефіцієнт структурності ґрунту $K_{\text{стр.}}$ визначали за формулою:

$$K_{\text{стр.}} = \frac{A}{B} \quad (2,5);$$

де – A – вміст макроагрегатів розміром від 0,25 до 10,00 мм, %; B – сума вмісту макроагрегатів ґрунту діаметром більшого за 10,0 мм і меншого за 0,25 мм (%).

Розділення середньої проби у воді на фракції водостійких макроагрегатів виконували на ситах у воді з їх механічним коливанням за допомогою електродвигуна на приладі І. М. Бакшеєва [278]. При визначенні водостійких агрегатів ґрунту (ВАГ) використовували підготовку проби до аналізу за ДСТУ 4744:2007 [251] та чотири типи замочування: швидке замочування проби без вакууму у водопровідній воді (NVFW), повільне замочування проби без вакууму у водопровідній воді (NVSW), швидке замочування зразка без вакууму у дистильованій воді (NVFW-dw) і повільне замочування проби у вакуумі у дистильованій воді (nHVSW) [279, 280] (додатки: Б 26 – Б 27). Процентний вміст кожної фракції водостійких агрегатів (WSA, %) розраховували за формулою:

$$WSA = \frac{\text{маса фракції агрегатів на ситі}}{50 \text{ г}} \cdot 100 \% \quad (2,6).$$

За результатами мокрого просіювання ґрунту розраховували коефіцієнт водостійкості макроагрегатів ґрунту ($K_{водост.}$) за формулою:

$$K_{водост.} = C/D \quad (2,7);$$

де – C – вміст водостійких макроагрегатів діаметром більше за 0,25 мм, %;

D – вміст макроагрегатів ґрунту діаметром більше за 0,25 мм (визначений із просіювання у сухому стані), %.

Для POM та WSA агрегатів визначали: середньозважений діаметр (MWD; mm) [281, 282], середньгеометричний діаметр (GMD; mm) [283, 284] та фрактальні розміри (D) [285, 286]:

$$MWD = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i W_i \quad (2,8);$$

$$GMD = \exp\left[\sum_{i=1}^n W_i \log_e \bar{X}_i\right] \quad (2,9);$$

$$\lg \left[\frac{W < \bar{X}_i}{W_0} \right] = (3 - D) \lg \left(\frac{\bar{X}_i}{X_{max}} \right) \quad (2,10);$$

де \bar{X}_i – середній діаметр фракції агрегатів i ; W_i – пропорційна маса фракції агрегатів i ; n – кількість фракцій (при $n=6$ мають досліджуватись агрегати розмірами $<0,25$ мм у діаметрі); W – кумулятивна маса частинок менше за \bar{X}_i ; W_0

– загальна маса будь-якої фракції агрегатів; X_{max} – найбільша за діаметром фракція агрегатів.

У чорноземі типовому ВП НУБіП України «Великоснітинське» рухомі сполуки фосфору і калію визначали за модифікованим методом Мачигіна – за ДСТУ 4114-2002 [287], амонійний азот – за ДСТУ 4729:2007 [288], легкогідролізний азот – за методом Корнфілда, за ДСТУ 7863:2015 [289]. Уміст валового фосфору, амонійного та нітратного азоту у пробах китайського чорнозему визначали на автоматичному проточному аналізаторі Skalar San Plus analyzer (Breda, Netherlands) (додаток Б 28) з урахування підготовки проб ґрунту до аналізу за ДСТУ 4290:2004 [290] та ДСТУ 4729:2007 [288].

Визначення розмірів мінеральних частинок фракцій агрегатів досліджували на аналізаторі EyeTech™ COMBI High-Tech (AmbiValue B.V., Нідерланди) (додаток Б 29). При визначенні розмірів мінерального матеріалу ґрунту застосовували диспергувальний чинник відповідно до ДСТУ ISO 11277:2005 [291]. Мікробне дихання ґрунту без додавання живильних речовин визначали на інфрачервоному газовому аналізаторі LI – 7000 CO₂/H₂O Analyzer, Li-COR Biosciences, USA з урахуванням ДСТУ ISO 16072:2005 [292] (додаток Б 30). Термогравіметричний аналіз (ТГА) та диференціальну скануючу калориметрію (ДСК), виконували на приладі SDTQ 600 (Mettler Co, Shanghai, China) (додаток Б 31). Мінералогічний склад ґрунту визначали рентгенодифрактометричним методом на рентгеновському дифрактометрі PANalytical XPERT-PRO MPD (PANalytical, Нідерланды) (додаток Б 32) з урахуванням методики за MBV 31-497058-004-2001 [293] та термінології за ДСТУ Б А.1.1-8-94 [294].

Мольні відношення С, N, S, H елементів визначали шляхом ділення масового умісту елементів (%) на їх відносну атомну масу:

$$C:N = \frac{C (\%) \cdot 14,01}{12,01 \cdot N (\%)} = \frac{C (\%)}{N (\%)} \cdot 1,17 \quad (2,11);$$

$$C:S = \frac{C (\%) \cdot 32,06}{12,01 \cdot S (\%)} = \frac{C (\%)}{S (\%)} \cdot 2,67 \quad (2,12);$$

$$C:H = \frac{C(\%) \cdot 1,01}{12,01 \cdot H(\%)} = \frac{C(\%)}{H(\%)} \cdot 0,084 \quad (2,13);$$

$$N:S = \frac{N(\%) \cdot 32,06}{14,01 \cdot S(\%)} = \frac{N(\%)}{S(\%)} \cdot 2,29 \quad (2,14).$$

Для визначення рівня зволоженості досліджуваної території застосовувався гідротермічний коефіцієнт Селянінова (ГТК):

$$\text{ГТК} = \frac{r}{0,1 \sum t > 10^\circ \text{C}} \quad (2,15), \text{ де}$$

r – сума опадів, що випали за період з температурою повітря вище 10°C ;

$0,1 \sum t > 10^\circ \text{C}$ – сума активних температур повітря вище 10°C зменшена у 10 разів.

Статистичний аналіз. Середнє арифметичне результатів, оцінка дисперсії, надійна ймовірність ($p=0,95$), істотна різниця та рівень достовірності результатів визначали з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel 2021, IBM SPSS Statistics for Windows v. 20.0 (© SPSS, Chicago, Illinois), SigmaPlot for Windows Version 14.0 (2017 Systat Software, Inc.). Середні значення та стандартні відхилення визначали для кожного визначеного показника. Представлені на рисунках або у таблицях середні значення із різними малими латиськими літерами вказують на істотну різницю між варіантами обробітку ґрунту, великими літерами – істотну різницю між шарами ґрунту або строками відбору залежно від змісту рисунка. При порівнянні середніх величин застосовували t -критерій Стьюдента на рівні значущості $\alpha = 0,05$. Довірчий інтервал $\alpha_{0,01}$ розраховували при порівнянні множин значень, які характеризували профіль та сезонну динаміку ґрунтів.

Результати досліджень за даним розділом представлені у 28 статтях опублікованих за темою дисертації (див. № 6–34 списку публікацій здобувача).

РОЗДІЛ 3

ЧОРНОЗЕМОУТВОРЕННЯ В АГРОЦЕНОЗАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ І ПІВНІЧНО-СХІДНОГО РЕГІОНУ КИТАЮ

3.1. Кліматичні умови утворення чорнозему типового та ізогумусолів

3.1.1. Загальна характеристика метеорологічних і кліматичних умов територій проведення досліджень

Село Велика Снітинка, Фастівського району Київської області територіально відноситься до континентального помірного кліматичного поясу із середньодобовою багаторічною температурою повітря 8,7 °С (за роки проведення досліджень), яка досягає мінімальних показників у січні (мінус 5,1 °С) і максимальних – у липні (21,5 °С). Кількість безморозних днів з температурою повітря вище 0 та 5 °С складає 271 та 219 днів відповідно (табл. 3.1). За даними метеодатчиків метеостанції Фастів (№ 33339), з 2006 по 2016 роки, у середньому, сума активних температур ≥ 10 °С складала 3227 °С, сумарна сонячна радіація – 99 ккал/см²·рік, відносна вологість – 76 %, щорічна кількість опадів – 585,3 мм [295]. Клімат характеризується чотирьома порами року, з переважаючими північно-західними і південно-західними вітрами.

Найбільша кількість опадів надходить із літніми зливовим дощами під час вегетаційного періоду. Взимку опади випадають із снігопадами, які чергуються з дощами, що пов'язане із рухом циклонів і антициклонів. За останнє десятиліття, вологий помірно-континентальний мезоклімат лісостепової зони Київської області, попадає під вплив семіаридного клімату помірних широт: збільшується середньорічна температура повітря, липень стає більш жарким (рис. 3.1 а), зменшується тривалість морозного періоду, зимовий період стає сухим (рис. 3.1 б), кількість опадів зменшується на 10–15 мм за рік, річки і озера зневоднюються від маловоддя. У 2020 році метеорологічна зима у с. Велика Снітинка так і не наступила.

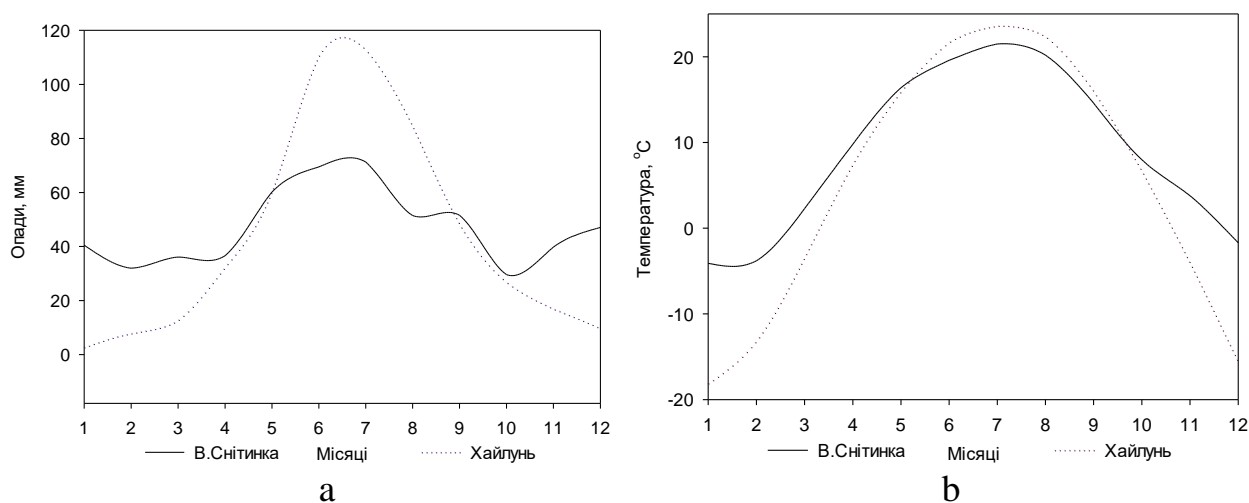


Рис. 3.1. Порівняльна характеристика кліматичних показників територій с. Велика Снітинка (Україна) та м. Хайлунь (Китай), в середньому за 2006–2016 рр. проведення наукових досліджень: а – середньомісячна кількість атмосферних опадів; б – середньомісячна температура атмосферного повітря

Район м. Хайлунь (Китай) перебуває в області континентального типу клімату східної окраїни Євразії. Тут формується область мусонного клімату із значною амплітудою температур: мінус 14–18,5 °С – у зимовий і 21,8–23,7 °С – у літній період (табл. 3.1). За даними метеостанції м. Хайлунь, середньобогаторічна температура повітря за 2009–2016 роки склала 4,6 °С, сума активних температур ≥ 10 °С – 3234 °С, сумарна сонячна радіація – 108 ккал/см²·рік, відносна вологість – 69 %, щорічна кількість опадів – 552,6 мм [296]. Холодна, сонячна, суха і вітряна погода у зимовий період зумовлена формуванням області високого тиску над північною Монголією, Забайкаллям і переміщенням східносибірського антициклону через низькі гори Великого і Малого Хінгану до Північно-східного регіону Китаю. Влітку, південно-східні вітри Тихого океану, приносять літні мусонні дощові цикли Тихоокеанського полярного фронту. Таким чином, клімат Північно-східного регіону Китаю характеризується виразністю річних сезонів: спекотне мусонне літо (рис. 3.1 а) і холодна суха зима з невеликою кількістю твердих опадів (рис. 3.1 б). Південно-західні вітри у літній період переносять пилюватий лесовий матеріал з Лесового

Таблиця 3.1

Порівняльна характеристика кліматичних показників територій у роки проведення польових досліджень

Показники	м. Фастів 01.01.2006- 31.12.2016	м. Хайлуць 01.01.2009- 31.12.2016
Середньобагаторічна температура повітря на висоті 2 метри над поверхнею землі, °С	8,7	4,6
Мінімальне значення температури повітря і дата, °С	-28,3 (12.02.2012)	-33,3 (01.01.2013)
Максимальне значення температури повітря і дата, °С	37,6 (08.08.2010)	37,8 (27.06.2010)
Середньомісячна температура повітря на висоті 2 метри над поверхнею землі у січні, °С	-5,1	-18,3
Середньомісячна температура повітря на висоті 2 метри над поверхнею землі у липні, °С	21,5	23,7
Кількість днів з температурою повітря > 0 °С, днів	271	251
Кількість днів з температурою повітря > 5 °С, днів	219	203
Сума активних температур ≥ 10 °С, °С	3227	3234
Сумарна сонячна радіація, ккал/см ² ·рік	99	108
Атмосферний тиск на рівні станції, мм рт. ст.	743,8	748,7
Атмосферний тиск, приведений до середнього рівня моря, мм рт. ст.	762,6	761,2
Відносна вологість на висоті 2 метри над поверхнею землі, %	76	69
Переважаючий напрямок вітру на висоті 10-12 метрів над земною поверхнею, румби	ЗПнЗ – 8,2 %, ПдС – 7,4 %, З – 7,3 %, ПдЗ – 6,8 %	З – 24,1 %, Пд – 24,1 %, Пн – 13,0 %, ПнЗ – 12,2 %
Швидкість вітру на висоті 10-12 метрів над земною поверхнею, м/с	2,1	2,4
Горизонтальна дальність видимості, км	13,5	16,6
Кількість опадів, що випали у середньому за рік, мм	585,3	552,6
Максимальна глибина промерзання ґрунту, см	40	195
Висота основи найнижчих хмар, м	1000–1500	2000–2500

плато і пустелі Гобі. Холодна зима, глибоке до 2,5 м промерзання ґрунту, пізні відлиги – з одного боку, короткий і теплий вегетаційний період з мусонними дощами – з іншого – сприяють процесам вилуговування, швидкому наростанню біомаси рослин, нагромадженню та консервації органічної речовини ґрунту у верхньому шарі і різке зменшення її вмісту вниз по профілю.

3.1.2. Аналіз агрометеорологічних умов за вегетаційний період спостережень

Температура атмосферного повітря та опади протягом вегетаційного періоду аналізувались згідно даних кліматичної Національної наукової станції дослідження агроєкосистем Хайлунь та метеодатчиків метеостанції Фастів (№ 33339). Порівняльна оцінка агрокліматичних ресурсів проводилась з урахуванням початку сівби сої та кукурудзи на зерно у м. Хайлунь/с. Велика Снітинка та початком збирання врожаю вищезгаданих культур. За вищезгадані роки, перехід температур вище 0, 5 і 10 °С припадав на: 26 березня, 7 квітня і 28 квітня – у м. Хайлунь, 11 березня, 30 березня і 17 квітня – у с. Велика Снітинка. Із 1 січня по 31 квітня 2009–2014 років середня сума опадів та середня температура повітря складала: 55 мм та мінус 7,3 °С – у м. Хайлунь і 163,9 мм та 0,7 °С – у с. Велика Снітинка. Таким чином, на кінець квітня, чорнозем типовий мав кращу тепло- і волого- забезпеченість порівняно з ізогумусолем. З 22 по 26 квітня, ізогумусоль інтенсивно прогрівався на фоні меншої ніж в Україні кількості опадів, що призвело до швидкого наростання середньодобових температур вище 10 °С у поверхневому шарі ґрунту. Однак, у першій декаді травня 2009–2014 років, у м. Хайлунь, спостерігалось короткотермінове похолодання, яке призвело до зменшення, порівняно із с. Велика Снітинка, середньомісячної температури на 0,3–2,2 °С (рис. 3.2–3.3).

Починаючи з останньої декади травня по другу декаду вересня, температура повітря у м. Хайлунь інтенсивно збільшувалась без суттєвих періодів похолодання, в той же час як у с. Велика Снітинка, у середині червня 2009 року, на початку липня 2011–2012 років та у кінці червня 2014 року

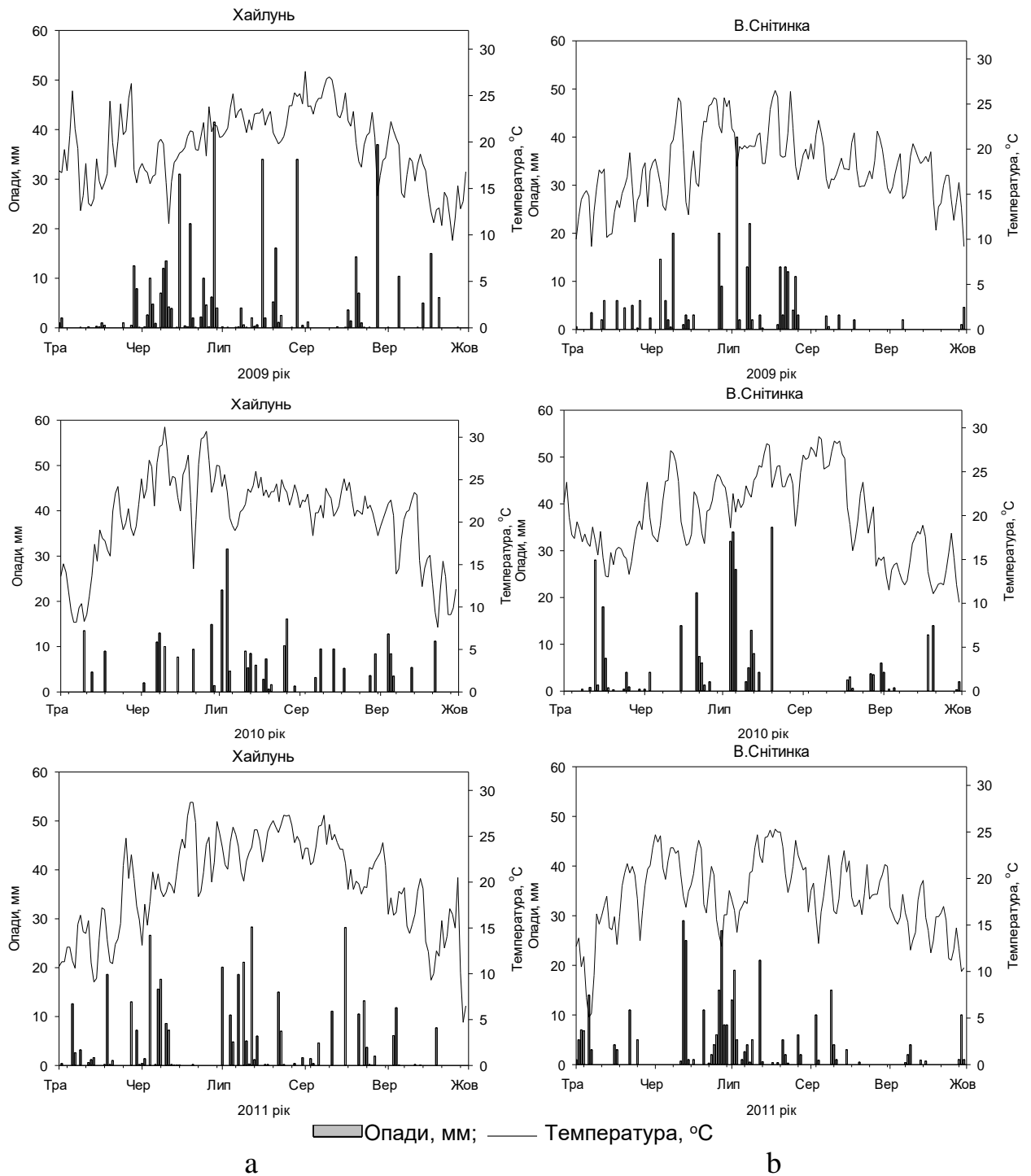


Рис. 3.2. Динаміка змін температури повітря і атмосферних опадів з 1 травня по 31 вересня 2009–2011 років: ліва колонка (а) – значення кліматичних показників м. Хайлунь, права колонка (б) – значення кліматичних показників с. Велика Снітинка

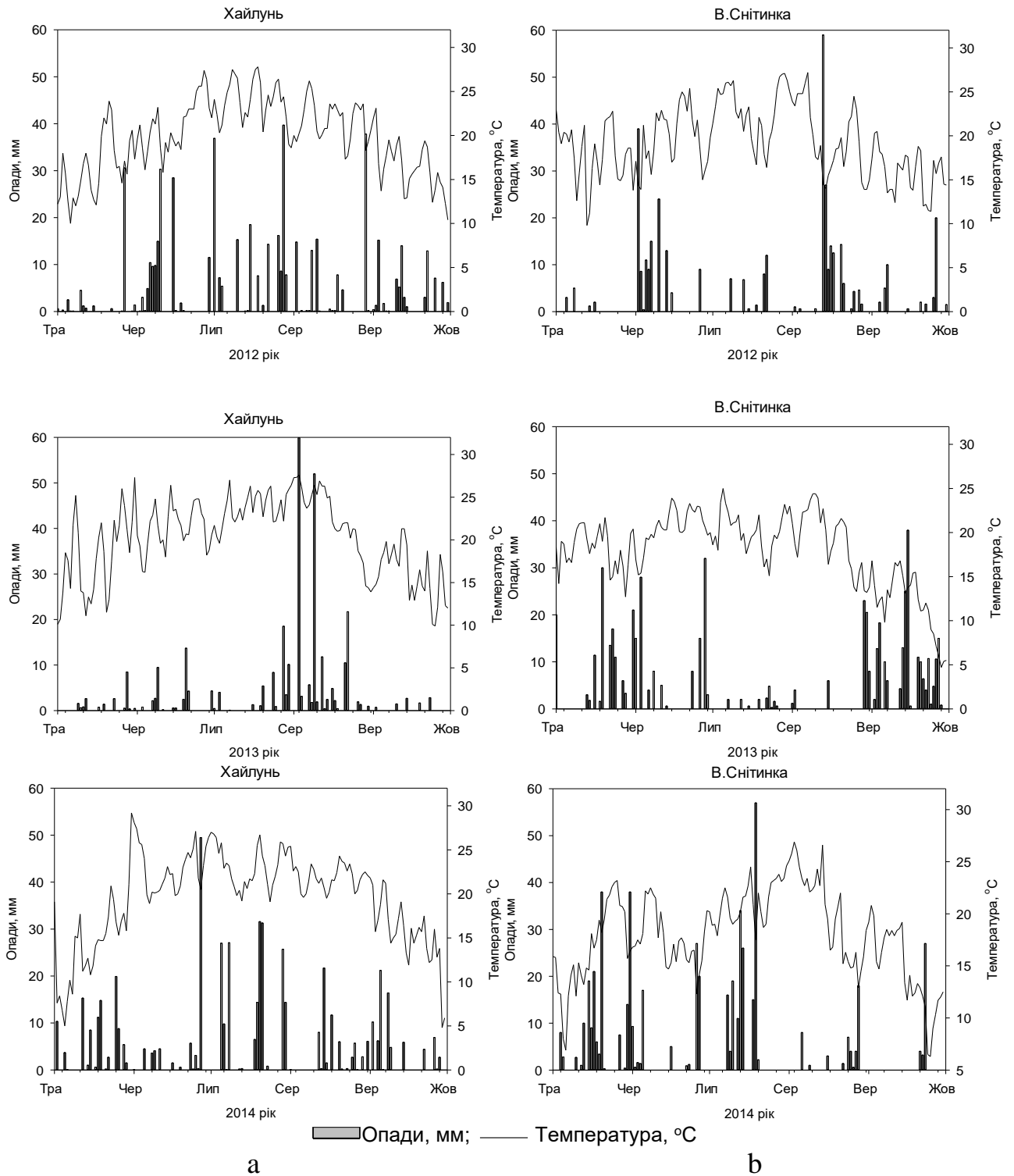


Рис. 3.3. Динаміка змін температури повітря і атмосферних опадів з 1 травня по 31 вересня 2012–2014 років: ліва колонка (а) – значення кліматичних показників м. Хайлунь, права колонка (б) – значення кліматичних показників с. Велика Снітинка

відбулось короткотермінове похолодання, яке знизило середньобагаторічну температуру повітря за травень-вересень 2009–2014 років (додаток Б 33). Загальна кількість опадів з травня по жовтень 2009–2014 років змінювалась із 304,3–523,9 мм у м. Хайлуень до 224,3–541,4 мм – у с. Велика Снітинка. В той же час, перерозподіл опадів у районі м. Хайлуень визначався рівномірністю із найбільшим їх наростанням кількості у липні. У с. Велика Снітинка загальна кількість опадів також збільшувалась із травня по липень, проте у кінці червня і на початку липня 2009, 2010 і 2012 років відмічалась їх тимчасова відсутність. У серпні 2009–2011 і 2014 років випадало 8,4; 19,2; 34,4 і 47,0 мм опадів. Загальна кількість опадів у липні була більшою стосовно травня і серпня в: 1,8–4,7 і 2,3–5,7 рази – у м. Хайлуні та 0,1–3,9 і 0,2–16,9 рази – у с. Велика Снітинка. У цілому, середньобагаторічна температура повітря та кількість опадів у м. Хайлуень в середньому за період з 1 травня по 31 вересня 2009–2014 років переважали відповідні значення кліматичних показників с. Велика Снітинка.

Аналіз метеоданих за 2009–2014 роки показав, що кількість днів та сума середньодобових температур повітря вище 10 °С становила: 163–176 і 3074,4–3257,7 °С – для м. Хайлуень, 185–195 і 3061,4–3469,4 °С – для с. Велика Снітинка (додаток Б 34 а, с) відповідно. Китайський район мав переваги за сумою опадів у період із $\sum t > 10$ °С на 114,5; 54,30 і 17,45 мм у 2009, 2011 і 2012 роках, Фастівський район – на 50,9; 198,9 і 46,8 мм у 2010, 2013 і 2014 роках (додаток Б 34 а, с). Найбільш посушливі 2009–2011 роки у Київській області та 2010 і 2013 роки у провінції Хейлуенцзян знизили показники ГТК за даний період до: 0,9–1,15 – у Фастівському районі і 1,0–1,11 – у районі м. Хайлуеня (додаток Б 34 б, с). Надмірна кількість опадів у с. Велика Снітинка протягом 2012, 2013 і 2014 років сформували найбільші показники ГТК за весь період досліджень: 1,57; 1,79 і 1,83 відповідно. Кліматичні умови 2012 і 2014 років у м. Хайлуень сформували високі показники ГТК – 1,72 і 1,73 (додаток Б 34 d). Висока середньомісячна температура (22,4 °С) і достатня кількість атмосферних опадів (84,5 мм) у серпні

2009–2016 років створювали оптимальні умови для формування біомаси і наливу зерна у кукурудзи на зерно та сої дослідного поля у м. Хайлунь (додаток Б 35 а,b). Краще прогрівання температури ґрунту і зволоження у травні протягом 2009–2016 років сприяли інтенсивній вегетації озимих зернових на дослідному полі с. Велика Снітинка (додаток Б 36 а,b). Водночас, короткотерміновий посушливий період на початку червня та у серпні 2009, 2010, 2011 і 2014 років створювали дефіцит запасів доступної вологи в ґрунті для: озимих культур, кукурудзи на зерно, сої і цукрових буряків.

3.2. Формування профільних ознак і властивостей чорнозему типового та ізогумусолів

3.2.1. Ландшафтно-географічні та геологічні умови утворення досліджуваних ґрунтів

Північно-східний регіон Китаю (793 300 км²) включає в себе три провінції: Хейлунцзян (454 000 км²), Гірін (*кит. Джілін*) (187 400 км²) і Ляонін (145 900 км²) [297]. Територія відома також за назвами Дунбей і Маньчжурія. Північно-східний Китай регіон на сході, півночі і північному заході має 3465 км спільного кордону з Росією, на південному сході – 810 км з КНДР, на заході – межує з Монгольською народною республікою. Велика широтна і меридіональна протяжність поряд із гіпсометричною амплітудою у 2744 м (гора/вулкан Байтоушань) мали визначальний вплив на формування різноманітних природних умов Північно-східного регіону Китаю: тайга вкриває райони Ільхурі-Алінь на півночі, лісостепова зона займає центр, сухо-степові території зосередженні на південному-заході і близькі до субтропічних ландшафтів – узбережжя Західно-Корейського заливу Жовтого моря. Орографія Північно-східного регіону Китаю нагадує підкову [298], ріжки якої сформовані складчасто-глибовими гірськими структурами докембрію і мезозою між якими знаходиться алювіальна рівнина Сунляо, яка на півдні виходить до Ляодунського заливу Жовтого моря. Більшу частину Північно-східного регіону Китаю займають герциніди Урало-

Монгольського поясу і Сінокорейська платформи, яка включає Ордоську і Північно-Китайську синеклізи, Північно-Китайську плиту, а також Сіно-Корейський щит і Східнокитайське перикратонне опускання [299]. Платформа складена гранітами, гнейсами і кристалічними сланцями архейської і протерозойської доби, виступає на поверхню в межах Корейського і Ляодунського півостровів [300]. Перехідне положення Північно-східного Китаю від зони континентальних пустель Центральної Азії до вологих периферійних мусонних областей призвели до створення Лісостепової зони, де власне і відбувались наші дослідження (додаток Б 37).

Ізогумусолі Північно-східного Китаю (додаток Б 38) сформувались на терасах басейну річок маньчжурської рівнини («чорні ґрунти»), а також у лісостепових передгір'ях: Великого та Малого Хінгану, Маньчжуро-корейських гір і степових районах провінції «Внутрішня Монголія» («чорноземи»). Дані ґрунти вкривають вододіли, які довгими пасмами спускаються із передгірської частини до рівнин і закінчуються у долинах річок Сунгарі, Ненцзян, Ляохе, Їна, Лалін та Ксіло [156, 301, 302]. Маньчжурська рівнина (Сунляо, Північно-східна рівнина) має найбільшу серед інших рівнин Китаю площу – 350 тис. км² з висотами у 200–300 м, які спускаються на південному заході до рівня 100 м. В основі рівнини лежить Китайська платформа, яка протягом тривалого часу покривалась алювіальними та озерними відкладами, що призвело до нівелювання поверхні і утворення вирівняного рельєфу [303]. Ізогумусолі вкривають вододіли, які довгими пасмами спускаються із передгірської частини до рівнин і закінчуються у долинах річок Сунгарі, Ненцзян, Ляохе, Їна, Лалін та Ксіло [156, 300, 301]. Польові дослідження у Північно-східному Китаї (м. Хайлунь) проводили на північному сході рівнини Сунляо, на вододілі межиріччя річок Туньхеньхе та Хуланьхе (притоки р. Сунгарі), на відстані 30–50 км від передгір'я Малого Хінгану.

Переважаючою ґрунтоутворюючою породою ізогумусолів є лес, який переноситься південно-західними вітрами у літній період з Лесового плато і

пустелі Гобі, створюючи таким чином тимчасові «пилові бурі». У південно-західному та центрально-західному районах Північно-східного регіону Китаю еоловий лес змішується з піщаними алювіальними відкладами долин річок формуючи легкі за гранулометричним складом чорноземи із високим вмістом фізичної глини. Пилуваті леси плоских терас, височин і передгір'їв з абсолютними висотами до 400 м, сформовані у ранню плейстоценову і пізніші епохи внаслідок льодовикової ерозії, еолового перенесення, схилового тертя, посилення сухості і похолодання клімату [304] сформували «важкі» ізогумусолі із вмістом фізичної глини до 70 %.

Територія проведення дослідження у с. Велика Снітинка являє собою пластово-денудаційну слабохвилясту придолинну рівнину з абсолютними висотами 200–210 м, зі сплющеними межиріччями і яружно-балковою сіткою (додаток Б 39). Науково-дослідне поле розташоване на відроггах північно-східної частини Придніпровської височини, на висоті 205 м, у межиріччі Унави, Снітинки і Стугни з відповідними урізами води на рівні 150, 165 і 155 м. Найвища вершина місцевості висотою у 225 м, розташована на північних околицях с. Бортники, яке знаходиться на відстані 12,49 км на ЗхПдЗх від дослідного поля. За 17–20 км на ПнСхПн від с. Велика Снітинка, Придніпровська височина опускається до Київського плато з переважаючими висотами 175–150 м, яке поступово знижується до долини р. Дніпро із висотою берегової лінії у 90 м (додаток Б 40).

Будова рельєфу території обумовлена розташуванням правобережного виступу докембрійських порід фундаменту Українського кристалічного щита вкритого потужними осадовими породами з характерним ерозійним розчленуванням. Виступи фундаменту щита пов'язані із підняттям окремих блоків, які являють собою багатоярусні складки (антиклінальні структури і купола архейських і протерозойських порід) та розломи (ступінчасті диз'юнктивні деформації докембрію). Гіпсометрична висота Васильківсько-Фастівського блоку складає 160–280 м. У східному напрямку поверхня

фундаменту занурюється у товщу осадових порід моноклінального залягання біля р. Дніпро до висот, менших за 100–120 м. Докембрійський фундамент складений магматично-метаморфічними породами: граніти, гнейси, кварцити, мігматити, тощо. Четвертинні відклади беруть безпосередню участь у формуванні сучасного рельєфу території і представлені озерними суглинками, моренними комплексами, лесами і лесовидними суглинками загальною товщею 15–25 м, потужність яких на схилах збільшується до 30–35 м. У долинах річок Стугна та Унава розвинена перша надзаплавна тераса, яка складена 15–18 м піщано-суглинковим верхньочетвертинним алювієм, який лежить на докембрійському та палеогеновому осадовому чохлі. Долина річки Унава у межах Українського кристалічного щита прорізає складчасті структури архейських і протерозойських порід (кристалічні породи, каолінові полтавські піски, строкаті і бурі глини), а на його терасованих схилах – відклади дніпровського комплексу [305].

Чорноземи займають 50,01 % орних земель Київщини [306], вкривають широкі, плоскі і слабохвилясті вододільні плато у південній і південно-східній частині області. Дані ґрунти залягають на лесах пилювато-легкосуглинкового гранулометричного складу, який опіщанюється на початку надзаплавних терас під впливом давньоалювіальних відкладів. Чорноземи типові поширені на вирівняних ділянках пластової рівнини із розвиненою трав'яною рослинністю, чорноземи опідзолені – на слабкодренованих вододілах і крайових прогінах пластової денудаційної рівнини, чорноземи вилугувані – у паркових лісах із багаточисельними галявинами на добре дренованих високих лесових терасах.

3.2.2. Морфогенез ізогумусолу за його різного використання

Досліджуваний ізогумусоль (додаток Б 41) сформувався на горизонтальній акумулятивній терасі річки Хайлуць на абсолютній висоті 235 м умовного рівня моря, за впливу лісостепової рослинності, на пилювато-суглинковому лесі

потужністю 7–10 м, за глибокого залягання ґрунтових вод (20–22 м). Ґрунт характеризується гарною оструктуреністю верхнього горизонту, високим вмістом $>0,25$ мм макроагрегатів, вилугованістю, оглеєністю у нижній частині профілю, глибоким гумусовим горизонтом, глибоким скипанням від карбонатів, зменшенням пористості і збільшенням ущільненості з глибиною. Морфолого-генетичні особливості ізогумусолю на фоні довготривалого використання різних способів обробітку ґрунту за внесення $N_{69,5}P_{51,75}K_{15} + N_{100}(CO(NH_2)_2)$ – під кукурудзу на зерно і $N_{20,25}P_{51,75}K_{15}$ – під сою представлені у табл. 3.2.

Будова профілю китайського ізогумусоля має характерні риси генетичного типу чорноземів. Типодіагностичні морфологічні ознаки ґрунту дозволяють виділити таксономічні одиниці нижчого порядку (таксони). За номенклатурою даний ґрунт найкраще відповідає: чорнозему вилугованому вологому, глибокоскипаючому, середньогумусному, пилювато-важкосуглинкованому на оглеєному лесі. У профілі ізогумусоля можна виділити наступні генетичні горизонти характерні для чорноземів: Н, Н_p, Ph, P_(k,gl), P_{kgl}. У зв'язку із впливом спорадичного надмірного зволоження, у профілі ізогумусоля добре виражені процеси лесиважу та оглеєння. Профіль характеризується коричневим (буруватим) відтінком, на фоні основного забарвлення: 10YR 3/1 – 10YR 3/2 – у верхньому шарі і 10YR 5/2 – 10YR 5/3 – у Н_p і Ph горизонтах (табл. 3.2). Верхній перехідний горизонт – ущільнений, складений грудкувато-горіхуватими агрегатами ґрунту. У нижньому перехідному горизонті зустрічаються призматичні агрегати. Ґрунт добре вимитий від карбонатів, скипання яких спостерігається ближче до оглеєної породи. Ізогумусоль має закономірний для чорноземного типу ґрунтоутворення розподіл гумусу і поживних елементів по профілю: найбільший їх вміст акумулюється у верхньому шарі і поступово знижується до ґрунтоутвірної породи. В той же час, даний ґрунт має фаціальні ознаки та властивості, які були сформовані за континентального мусонного типу клімату східної окраїни Євразії: – глибокий верхній гумусовий горизонт; – високий індекс вилуговування (leaching index, LI); – наявність зон виснаження і

Таблиця 3.2

**Вплив різних способів обробітку ґрунту на морфологічні властивості
ізогумусолу, дослід № 2**

Горизонт	Глибина, см	Колір	Гранулометри- чний склад	Структура
Оранка (СТ)				
H	0-55	10YR 3/2 - дуже темно-сірий коричневий	пилювато- середньо- суглинковий	пилювато – зернисто - грубогрудкувата
H _p	55-98	10YR5/2 - сіро - коричневий	пилювато-важко- суглинковий	брилувато - грубогрудкувата -горіхувата
H _h	98-133	10YR 5/2 - сіро - коричневий	глинистий	призматично-грудкувата – горіхувата
P _(k,gl)	133-173	10YR 5/3 - коричневий	-	брилувато - грудкувата - горіхувата
P _{kgl}	173-220	5Y 5/3 - оливковий	-	-
No-till (NT)				
H	0-51	10YR 3/1 - дуже темно-сірий	пилювато-важко- суглинковий	грудкувата – зерниста
H _p	51-92	10YR5/2 - сіро - коричневий	пилювато-важко- суглинковий	брилувата, зернисто- грубогрудкувата – горіхувата
H _h	92-125	10YR 5/3 - коричневий	глинистий	призматично – горіхувато – грудкувата
P _(k,gl)	125-178	10YR 5/4 - жовто-коричневий	-	брилувато - грудкувата - горіхувата
P _{kgl}	178-220	5Y 5/3 - оливковий	-	-
Безполицевий обробіток (RT)				
H	0-53	10YR 3/2 - дуже темно-сірий коричневий	пилювато- середньо- суглинковий	грудкувата–зерниста
H _p	53-95	10YR5/2 - сіро - коричневий	пилювато- середньо- суглинковий	брилувата, зернисто- грубогрудкувата – горіхувата
H _h	95-129	10YR 5/3 - коричневий	пилювато-важко- суглинковий	призматично-грудкувата - горіхувата
P _(k,gl)	129-174	10YR 5/4 - жовто-коричневий	-	брилувато - грудкувата - горіхувата
P _{kgl}	174-220	5Y 5/3 - оливковий	-	-

аккумуляції; – швидка інфільтраційна здатність; – поверхнєве і ґрунтове оглеєння; – буруватий відтінок на фоні темно-сірого забарвлення; – грубогрудкуватість і брилистість структурних агрегатів; – дещо підвищений вміст гідролітичного водню, тощо.

Довготривале застосування різних способів обробітку ґрунту вплинуло на зміни морфолого-генетичних ознак ізогумусоля (табл. 3.2). Верхній гумусово-аккумулятивний горизонт (Н) має рівномірне темно – сіре забарвлення за no-till і темно – коричневе – за оранки та безполицевого обробітку. Глибина верхнього горизонту змінюється від 55 см – за оранки до 51 см – за no-till. У межах даного горизонту виділяються гребні висотою 20–25 см та підгребневий шар глибиною 30 см, нижче якого утворюється ущільнений шар. Структурні агрегати представлені переважно зернисто – грубогрудкуватими окремостями діаметром більше 5 мм, загальний уміст яких коливається від 70 до 82 %. Неагрегованого матеріалу у горизонті немає. Органічна речовина верхнього горизонту представлена тонкодисперсним гумусо-глинистим ізотропним матеріалом чорного кольору з буруватим відтінком. Зустрічаються рештки рослин різного ступеня мінералізації-гуміфікації, продукти розкладу яких розташовані переважно біля пор. Під шаром органічних решток рослин, за no-till, поширені багаточисельні гіфи грибів. Верхній перехідний гумусовий горизонт (Нр), так само як і верхній гумусовий горизонт (Н), є найглибшим за оранки (43 см) і найкоротшим – за no-till (41 см). Цей горизонт починається із ущільненого шару, який за no-till складається із грубогрудкуватих та горіхуватих агрегатів, а за СТ і RT – із нерівномірних брилуватих окремостей та грубо-горіхуватих агрегатів. У період дощів, на ущільненому прошарку під оранкою, можна спостерігати ознаки спорадичного оглеєння. Нр горизонт майже не має пилуватих і дрібногрудкуватих агрегатів ґрунту. У цьому горизонті більший, порівняно з верхнім горизонтом, уміст мулу і відповідно – тонкодисперсного глино-гумусового матеріалу, який візуально створює крапчастий накіп на поверхні ґрунтових пор. Це явище вказує на ознаки процесу лесиважу. Зміна

гранулометричного складу униз по профілю пов'язана також із динамікою фульватано-гуматних гумонів адсорбованих вермікулітом, смектитами та іллітом [307]. Нр горизонт є світлішим за попередній Н горизонт і характеризується 10YR5/2 – сіро – коричневим забарвленням. Колір нижнього перехідного горизонту стає жовто-бурим і змінюється на коричневий 10YR 5/3 за шкалою Альберта Г. Мансела. Даний горизонт є більш ущільненим за попередній (1,35–1,45 г/см³), має значно менший уміст органічного вуглецю (0,4–0,5 %) і відповідно – концентрованих смектит-вермікулітових органічно-мінеральних згустків. Ph горизонт є перехідним (транзитним) до ґрунотворної породи, з тенденцією до збільшення умісту мулистий фракції на 1–2 % порівняно з попереднім горизонтом, реакція середовища (рН_{Н₂О}) у даному горизонті майже не відрізняється від попереднього, біомаса кореневої системи рослин не потрапляє сюди у великій кількості, тому значних змін у стратиграфії глинистих мінералів тут не відбувається. У Р_(k,gl) горизонті забарвлення втрачає сірих відтінків, натомість суттєво зростає частка бурого кольору, зрідка трапляються мікроортштейни, ооїди із рухомого заліза та буруваті плівки на поверхні пор, а інколи і в структурних агрегатах, що свідчить про розвиток процесів вилуговування та ознаки спорадичного оглеєння. Уміст тонкодисперсних фракцій мінералів має тенденцію до нагромадження із збільшенням процентної частки ілліту і вермікуліту та зменшенням – смектитів. Вміст каолініту майже не змінюється із глибиною [4]. Р_{kgI} горизонт скипає від 10 % НСІ, має вкраплення перекристалізованого кальциту, ознаки оглеєння та найбільший у профілі вміст мулистий фракції.

3.2.3. Морфогенез чорнозему типового за його різного використання

Морфолого-генетичний аналіз чорнозему типового виконувався у основних розрізах на удобреному варіанті (солома 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈) за впливу різних способів обробітку ґрунту на стаціонарному

науково-дослідному полі кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів НУБіП України у с. Велика Снітинка. Досліджуваний чорнозем типовий сформувався на вирівняній слабохвилястій придолинній лесовій рівнині на висоті 207 м умовного рівня моря. Місце закладання розрізів є крайовою областю північно-східної частини Придніпровської височини, схили якої, спускаючись до долини Дніпра, створили водно-еродований яружно-балковий розчленований мезорельєф.

Будова профілю українського чорнозему відповідає типодіагностичним ознакам характерним для типового підтипу: – глибокий добре розвинений гумусово-акумулятивний тип профілю – Н, Н_{рк}, Ph_к, P(h)_к, P_к; – відсутність явно виражених ознак елювіально–ілювіальної диференціації ґрунтового профілю; – наявність глибокого (105 см) гумусового горизонту (Н + Н_{рк}); – округло-кубовидний тип структури; – добре виражена мікроагрегованість по всьому профілю; – високий уміст 0,25–10 мм агрономічно цінних зернистих агрегатів; – пухке складення верхнього горизонту і слабо-ущільнене – нижніх горизонтів; – нерівний хвилястий/натічний гумусовий перехід до породи; – наявність карбонатних новоутворень у нижній частині профілю; – багаточисельні сліди діяльності землеріїв (дощових черв'яків, кротів) у вигляді біологічних новоутворень.

Проведений нами детальний аналіз змін морфолого-генетичних властивостей чорнозему типового за 16 річного застосування різних систем обробітку ґрунту показав, що ґрунт дослідної ділянки відповідає типу чорнозем і підтипу – чорнозем типовий. В той же час відбулись істотні морфологічні зміни його профільних характеристик (рис. 3.4; табл. 3.3). Найбільш глибоким гумусовий горизонт Н сформувався за оранки – 54,3 см, найкоротшим – за мілкою безполицевого обробітку – 48,2 см, за глибокого безполицевого обробітку його потужність займала проміжне положення – 50,9 см. Верхній гумусово-акумулятивний горизонт характеризувався чорним кольором (за свіжого стану) за всіх досліджуваних варіантах: 2,5У

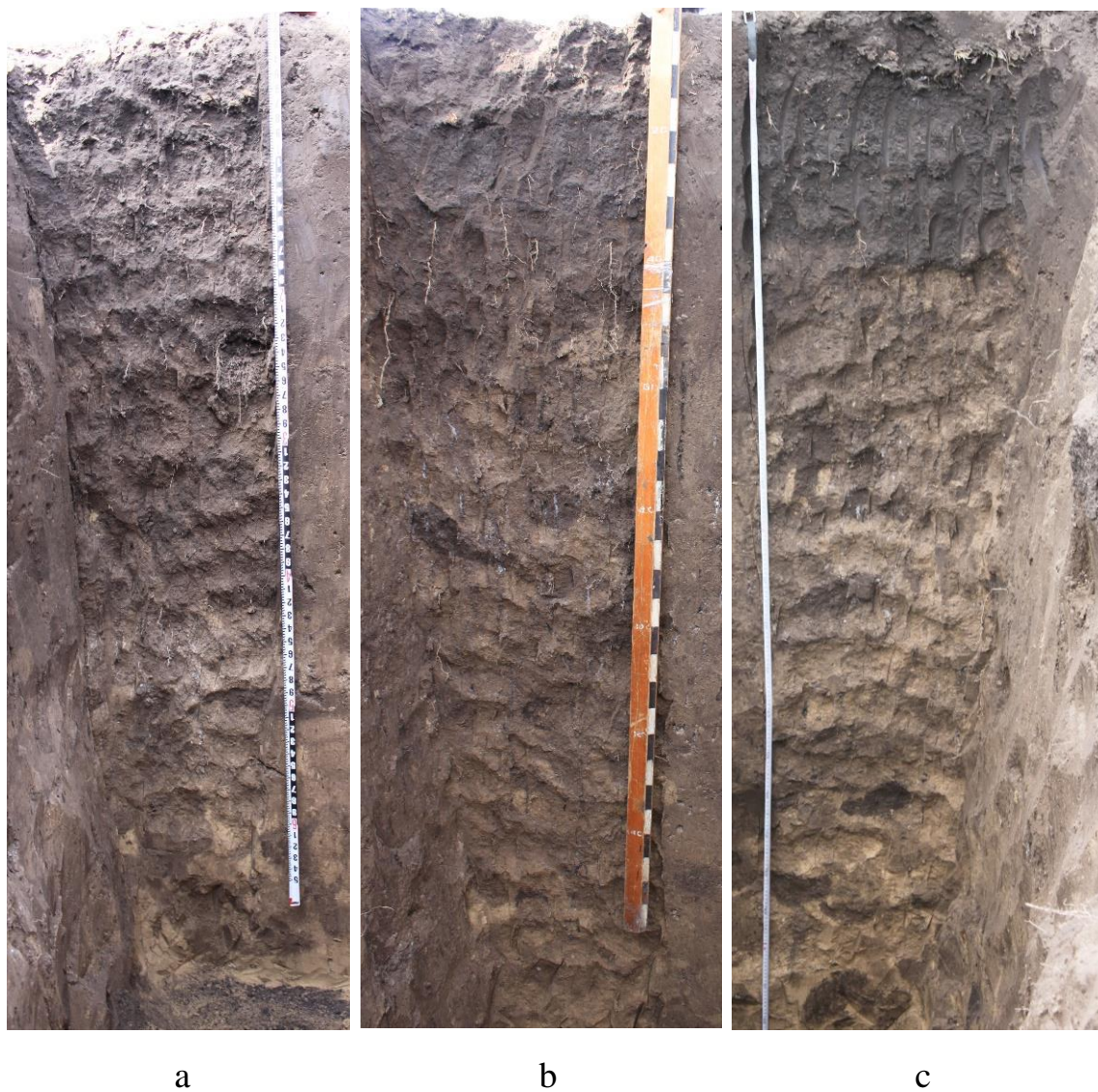


Рис. 3.4. Морфолого-генетичні зміни чорнозему типового за 16 річного застосування: оранки (а), глибокого безполицевого обробітку (b) та мілкового безполицевого обробітку (c) ґрунту, дослід № 1

**Вплив різних способів обробки ґрунту на морфологічні властивості
чорнозему типового, дослід № 1**

Горизонт	Глибина, см	Колір	Гранулометричний склад	Структура
Оранка (СТu)				
Н	0-54	2,5Y 2,5/1 – чорний	пилувато – легко- суглинковий	пилувато – зернисто- грудкувата
Н _p	54-85	5Y 3/1 – дуже чорно-сірий	пилувато – легко- суглинковий	зернисто – грубогрудкувата
Ph _(k)	85-131	10YR 4/2 – темно-сіро - коричневий	пилувато – легко- суглинковий	пилувато – грудкувата
P ^(h) _k	131-173	2,5Y 5/2 – світло-коричневий	пилувато – легко- суглинковий	грудкувата - пилувата
P _k	173-220	2,5Y 5/4 – світло-оливково- коричневий	пилувато – легко- суглинковий	-
Мілкий безполицевий (RTu)				
Н	0-48	5Y 2,5/1 – чорний	пилувато – легко- суглинковий	грудкувата – зерниста
Н _p	48-76	2,5Y 3/1 – дуже темно-сірий	пилувато – легко- суглинковий	горіхувато – зернисто – грудкувата
Ph _k	76-119	10YR 5/2 – сіро - коричневий	пилувато – легко- суглинковий	дрібнозернисто – грудкувата
P ^(h) _k	120-159	2,5Y 5/3 – світло-оливково- коричневий	пилувато – легко- суглинковий	грудкувата - пилувата
P _k	159-215	2,5Y 6/4 – світло-жовто- коричневий	пилувато – легко- суглинковий	-
Глибокий безполицевий (DRTu)				
Н	0-51	2,5Y 2,5/1 – чорний	пилувато – легко- суглинковий	грудкувата – зерниста
Н _p	51-82	2,5Y 4/2 – темно-сіро - коричневий	пилувато – легко- суглинковий	пилувато-зернисто – грудкувата
Ph _k	82-128	2,5Y 4/3 – оливково - коричневий	пилувато – легко- суглинковий	зернисто – пилувато – грудкувата
P ^(h) _k	128-166	2,5Y 5/2 – світло-коричневий	пилувато – легко- суглинковий	грудкувата - пилувата
P _k	166-207	2,5Y 5/4 – світло-оливково- коричневий	пилувато – легко- суглинковий	-

2,5/1 – за СТ_u та DRТ_u і 5Y 2,5/1 – за RТ_u. В той же час, параметр тону 5Y – за RТ_u вказує на більш чорний відтінок, який має інтенсивний – чорно-сіро-оливковий тон, утворений сумішшю нейтрального сірого з темно-фіолетовим і темно-зеленим кольорами. Наявність параметру 5Y 2,5/1 за RТ_u відповідає більшому вмісту органічного вуглецю і гумінових кислот на цьому варіанті порівняно з СТ_u та DRТ_u. Гранулометричний склад – пилювато-легкосуглинковий. Орний шар збагачений на агрономічно цінні зернисті агрегати, відносний уміст яких зменшується від дрібнозернистих – за DRТ_u і RТ_u до крупнозернистих – за СТ_u. За оранки спостерігається збільшення пилюватих (<0,25 мм) і брилуватих повітряно сухих агрегатів (>10 см) порівняно з іншими варіантами. Грудкуваті агрегати (1–3 мм) займають другу позицію після зернистих за кількістю в орному шарі. У межах даного горизонту, з глибини 35–45 см спостерігається наявність переущільненої «плужної підосви» складеної крупними (>5 см) плитчасто-брилуватими злитими агрегатами. При руйнуванні плужної підосви, утворюються плитчасто-грудкувато-пилюваті агрегати – за СТ_u, плитчасто-горіхувато-грудкуваті – за DRТ_u і RТ_u. За безполицевого обробітку ґрунту, агрегати плужної підосви відібрані у кінці липня, мають багаточисельні видимі ознаки карбонатних новоутворень. За RТ_u «плужна підосва» знаходиться вище, але морфологічно виділяється не так чітко як за СТ_u і DRТ_u. Верхній горизонт є найбільш пухким порівняно з іншими горизонтами та насичений багаточисельними середніми (3–5 мм) порами і коренями рослин. У цьому горизонті зосереджена найбільша кількість міжагрегатних і найменша – внутрішньо-агрегатних пор. Горизонт насичений черворіїнами і згустками копролітів, які виділяються у вигляді поодиноких конкрецій або мікросферичних новоутворень. З глибиною, забарвлення залишається чорним за СТ_u – 5Y 3/1 (дуже чорно-сіре), але світлішає за RТ_u (2,5Y 3/1, темно-сіре) і DRТ_u (2,5Y 4/2, темно-сіро-коричневе). Верхній перехідний Н_p горизонт має майже однакову глибину за СТ_u (30,3 см) і DRТ_u (31,3 см) і меншу – за

R_{Tu} (27,4 см). Гранулометричний склад – пилувато-леггосуглинковий. Даний горизонт є слабкоущільненим за C_{Tu} і DRT_u та середньоущільненим за R_{Tu}, що відзначається у наявності горіхуватих агрегатів з добре вираженими гранями, гострими кутами та акомодациєю їх поверхонь. Переважаючими видами агрегатів у цьому шарі є зернисто-грудкуваті окремоті. Зустрічаються багаточисельні черворієни і продукти життєдіяльності дощових черв'яків – копроліти у вигляді згустків та інкрустацій на стінках біопор. Горизонт пронизаний середньочисельними трав'яними коренями, частина яких зазнала впливу трансформаційних процесів, що призвело до утворення вертикально орієнтованих пор та їх заповнення грубими детритовими прогумусовими речовинами. Нижня частина горизонту за DRT_u та R_{Tu} скипає від 10 % HCl.

Довготривале застосування різних способів обробітку ґрунту істотно не вплинуло на глибину нижнього перехідного горизонту – Ph_k (табл. 3.3). Однак, за оранки, цей горизонт був найглибшим – 46,1 см, проти 45,3 та 44,3 см за DRT_u та R_{Tu} відповідно. Гранулометричний склад – пилувато-леггосуглинковий. Уміст мулистої фракції з глибиною дещо зменшується. Основний кольоровий тон горизонту залишається червоно-оранжевим за DRT_u (2,5Y 4/3) і змінюється на жовтий за C_{Tu} (10YR 4/2) та R_{Tu} (10YR 5/2). Візуально, найбільш темним колір виглядав за C_{Tu}. Значною мірою, темне забарвлення горизонту забезпечувалось натічними та язиковатими гумусовими новоутвореннями. Зустрічаються середньочисельні черворієни і копроліти. Копрогенні і детритові прогумусові агрегати заповнюють переважно біогенні канали. Переважаючим типом пор даного горизонту є пори пакетування агрегатів, внутрішньо-агрегатні пори та пори тріщин. Агрегати даного горизонту є слабкоущільненими з видимими карбонатними новоутвореннями. Пилуватість сфероїдних агрегатів найбільш виражена у варіантах із застосуванням C_{Tu} та DRT_u. За R_{Tu} – зернисто – грудкуваті агрегати сильніше зцементовані кальцієм, власне гумусовими речовинами і

детритом, що вплинуло на відносно невелику кількість пилюватих окремоостей за даного варіанту. Карбонати представлені трубочками та міцелярними вкрапленнями – за DR_{Tu}, прожилками та борошністими вкрапленнями за R_{Tu}, вицвітами та міцелієм – за C_{Tu}. Горизонт насичений зоогенними кротовинами. Перехідний до породи P(h)_k горизонт являє собою грудкувато-пилюватий карбонатний кротовиний лес, з гумусовими патьоками, світло-коричневого кольору (2,5Y 5/2) за C_{Tu} та DR_{Tu} і світло-оливково-коричневого кольору (2,5Y 5/3) – за R_{Tu}. Даний горизонт виявився найглибшим за C_{Tu} – 42,3 см і істотно не відрізнявся за глибиною між безполицевими обробітками: 38,4 см – за R_{Tu} і 39,2 см – за DR_{Tu}. У горизонті зустрічається багато темнозбарвлених чорних гумусових плям діаметром більше 3 см. Гранулометричний склад – пилювато-легкосуглинковий з найменшим умістом мулистої фракції порівняно з іншими горизонтами. Видимі карбонатні новоутворення розсіяні не так рясно, як у попередньому горизонті. Наявні поодинокі корені та малочисельні пори. P_k – пилювато-легкосуглинковий карбонатний світло-жовто/оливково-коричневий кротовиний лес.

3.2.4. Зміна будови профілів ґрунтів під впливом обробітку ґрунту

Ізогумусоль і чорнозем типовий мають нормальні повнорозвинені профілі, які за будовою відповідають ґрунтам чорноземного типу ґрунтоутворення. Ґрунти характеризуються наявністю верхнього гумусово-аккумулятивного горизонту, нижче якого розташовуються верхній і нижній перехідні горизонти. В той же час, потужність гумусових горизонтів визначалась глибиною обробітку ґрунту та становила: 55, 51 і 53 см – для Н горизонту, 98, 92 і 95 см – для Н+Н_p горизонтів і 133, 125 і 129 см – для Н+Н_p+P_{h_k} горизонтів за СТ, NT і RT – в ізогумусолі та 54,3, 50,9 і 48,2 см;

84,6, 82,2 і 75,6 см; 130,7, 127,5 і 119,9 см – за СТ_u, DRT_u і RT_u у вищезгаданих горизонтах за чорнозему типового (додаток Б 42, рис. 3.5).

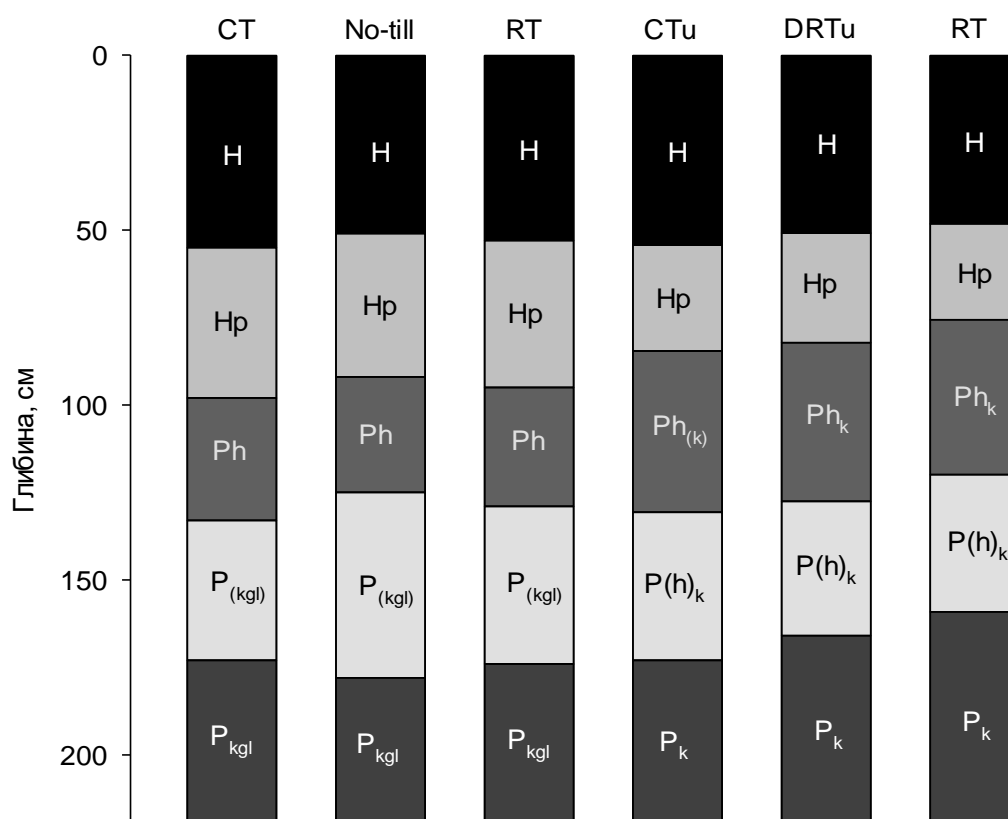


Рис. 3.5. Глибина генетичних горизонтів за довготривалого використання оранки (СТ), по-till (NT) та безполицевого обробітку (RT) – в ізогумусолі (2014 рік, дослід № 2) та оранки (СТ_u), глибокого безполицевого обробітку (DRT_u) та мілкового безполицевого обробітку (RT_u) – у чорноземі типовому (2015 рік, дослід № 1)

У верхньому гумусовому горизонті, за довготривалого впливу обробітку ґрунту, був створений ущільнений шар, який залягав на глибині 45–55 см – в ізогумусолі і 35–45 см – у чорноземі типовому. Чорнозем типовий, на відміну від ізогумусолю, має на 9,7–13,1 см глибший нижній перехідний до породи горизонт, за яким йде прогумушений кротовинний горизонт глибиною 38,4–42,3 см, який відсутній в ізогумусолі. Обидва ґрунти утворились на лесах. В той же час ґрунтотворна порода ізогумусоля має ознаки оглеєння, яке викликане спорадичними мусонними дощами, що виникають у період із травня по вересень. Лесова товща чорнозему типового

не має ознак оглеєння, натомість вона насичена внутрішньо-агрегатними порами та тріщинуватістю, яка виникає при висиханні, має видимі карбонатні новоутворення і пронизана багаточисельними ходами землерийв.

3.3. Рентгеноструктурний аналіз мінералогічного складу чорнозему типового

Рентгенівське випромінювання являє собою короткохвильове електромагнітне випромінювання з частотами від $3 \cdot 10^{16}$ до $3 \cdot 10^{20}$ Гц, яке утворюється за різкого гальмування електронів при взаємодії з атомами речовини. Спектр рентгенівського випромінювання складається із суцільного гальмівного спектру та спектрів збуджених атомів речовини [308]. Рентгеноструктурний аналіз (РСА) широко застосовується при дослідженні кристалічних мінералів, у яких відбувається процес перебудови атомів у елементарній комірці за дифракційною картиною. Внутрішня будова мінералів, при застосуванні рентгеноструктурного аналізу, формує індивідуальні дифрактограми інтенсивності розсіяного тривимірною кристалічною ґраткою рентгенівського випромінювання за різних кутів відбивання. Індокси інтерференції визначаються різними методами для різних сингоній, в основі яких лежить рівняння Вульфа-Брега [309].

Рентгеноструктурний аналіз ґрунтових проб показав, що мінеральна фаза чорнозему типового складається із: кварцу, польових шпатів, карбонатів кальцію і магнію, гідрослюд, монтморилоніту, каолініту, хлориту і змішаношаруватих силікатів (рис. 3.6–3.7) [310, 311]. Дифракційний пік домінуючих мінералів з'являвся за наступних 2θ кутів: 8,84 (10,00 Å), 20,35 (4,36 Å), 26,59 (3,35 Å) – галуазит (глинистий силікат моноклінної сингонії, складається із каолінітових двошарових пакетів зміщених за осями a і b) та ілліт (змішаношарувата гідрослюда моноклінної сингонії); 8,85 (9,98 Å), 17,75 (4,99 Å) – лепідоліт; 10,42 (8,48 Å), 32,98 (2,71 Å), 27,13 (3,28 Å) – амфіболи, ланцюговий калій магнієвий гастингсит моноклінної або призматичної сингонії;

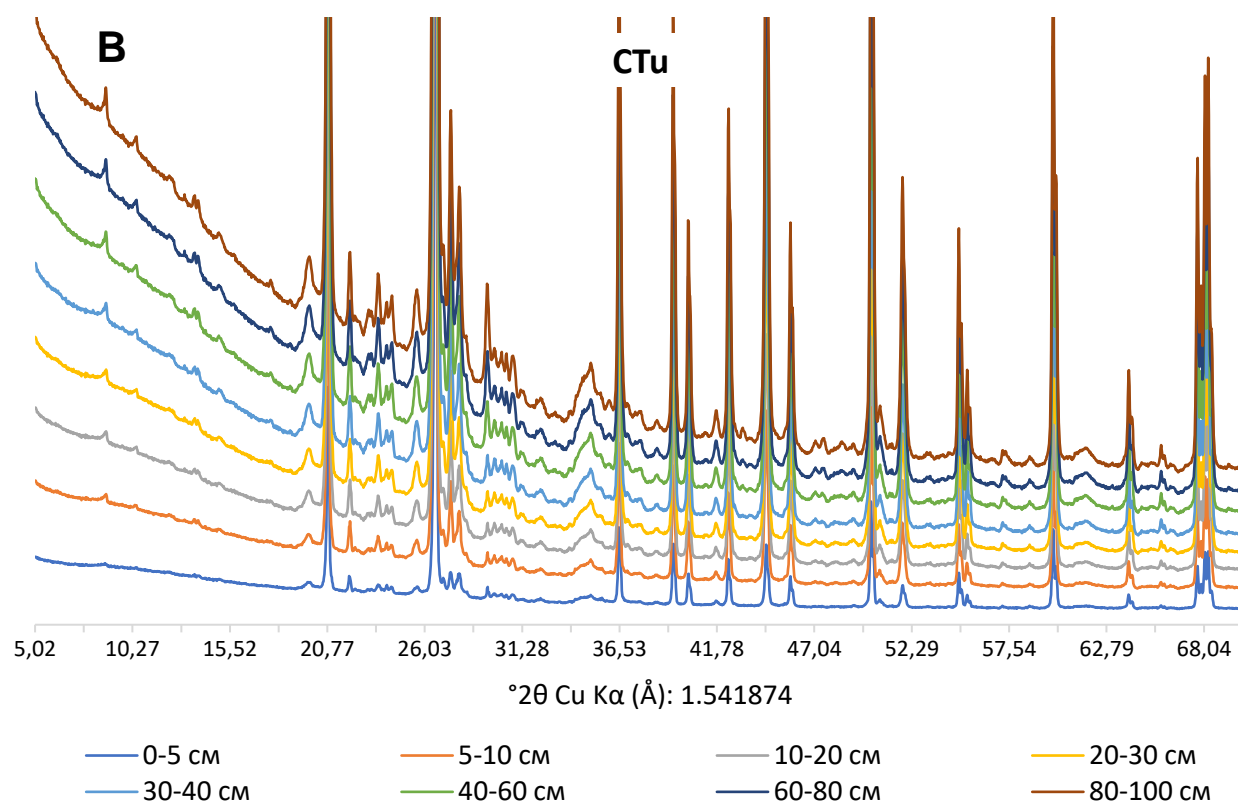
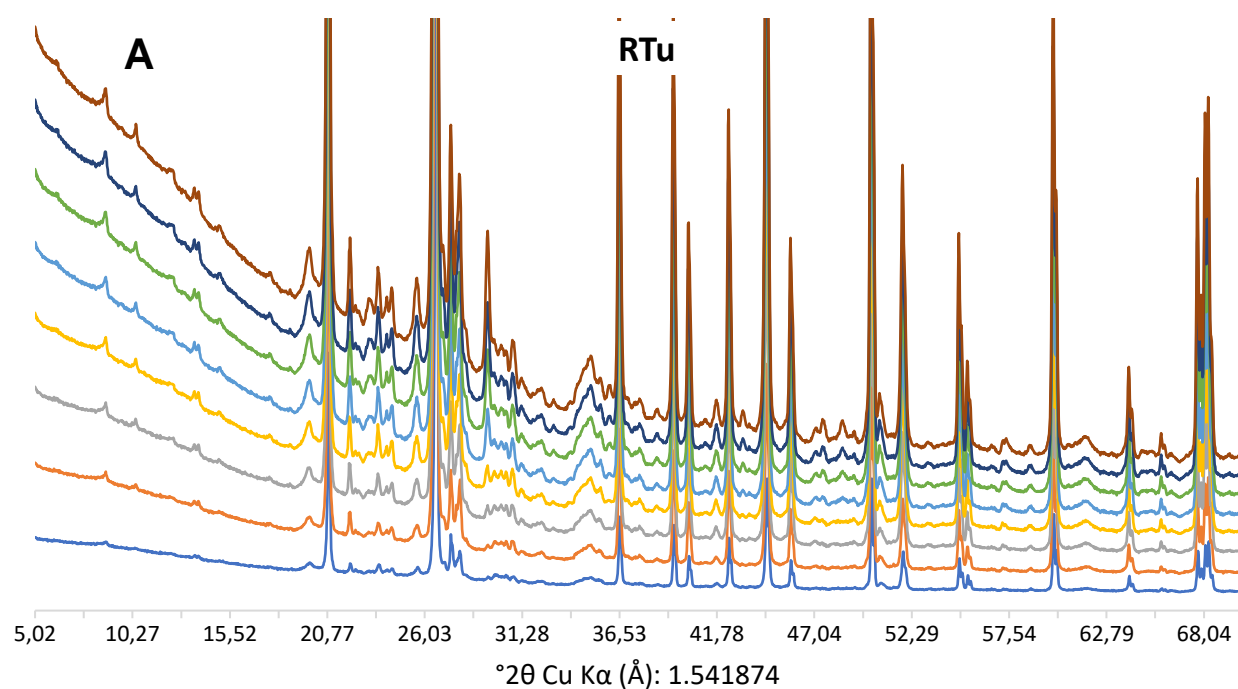


Рис. 3.6. Рентген-дифрактограми повітряно-сухих проб чорнозему типового за 16 річного використання мілко безполицевого обробітку (RTu) і оранки (СТu), дослід № 1

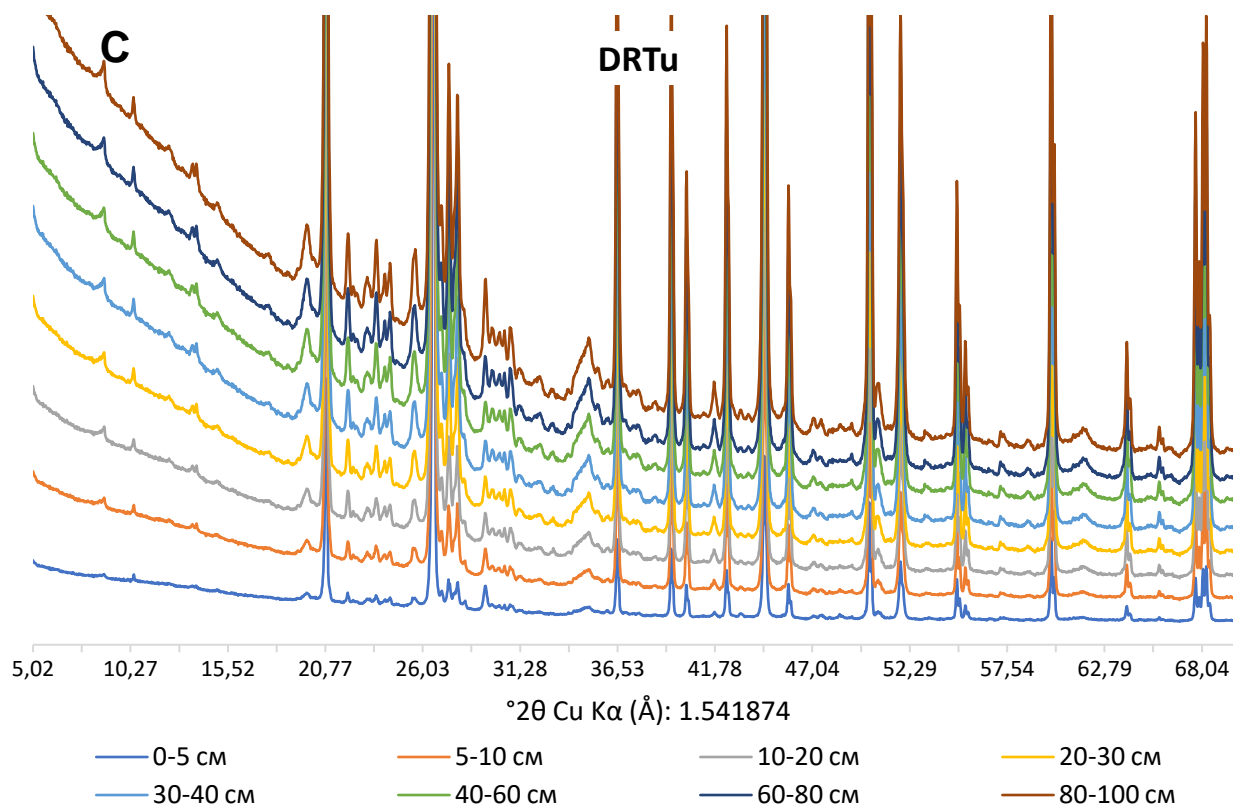


Рис. 3.7. Рентген-дифрактограми повітряно-сухих проб чорнозему типового за 16 річного використання глибокого безпліцевого обробітку (DRTu), дослід № 1

12,33 (7,17 Å), 62,26 (1,49 Å), 24,85 (3,58 Å) – каолініт (глинистий шаруватий силікат триклінної сингонії) та клінохлор (шаруватий алюмосилікат заліза та магнію моноклінної сингонії); 13,53 (6,54 Å) - хлорит/каолініт; 13,57 (6,52 Å), 32,36 (2,76 Å), 27,08 (3,29 Å) – натрієвий польовий шпат (кайнозит); 15,02 (5,90 Å) – альбіт; 17,67 (5,02 Å) – мікроклін/ортоклаз; 20,84 (4,26 Å), 26,60 (3,34 Å), 50,11 (1,81 Å), 59,91 (1,54 Å)^o – кварц; 22,0 (4,04 Å) – плагіоклази та Na польові шпати; 29,42 (3,03 Å), 39,42 (2,28 Å), 43,16 (2,09 Å) – кальцит.

Відповідно до положення максимумів кута дифракції (2θ) за $K\alpha$ (Å) 1,54 були також виявлені наступні мінерали:

- 8,87; 19,74; 20,84; 23,05; 23,96; 25,64; 26,62; 27,90; 29,79; 30,11; 31,37; 32,31; 43,57; 45,75; 54,36 – мусковіт;
- 8,87; 19,79; 22,0; 23,52; 24,31; 27,43; 29,40; 30,89; 37,01; 37,69; 42,42; 47,54; 54,83; 55,31; 57,43; 60,11 – флогопіт;

- 20,84; 26,62; 36,51; 39,43; 40,27; 42,42; 50,58; 54,83; 55,28; 64,00; 64,18; 68,27 – берлініт;
- 26,62; 42,42; 44,47; 50,58; 54,83; 59,90 – графіт.

Домінуючим мінералом досліджуваного чорнозему типового виявився кварц. Дифрактограми кварцу мали найбільшу інтенсивність, ширину і профільну кількість дифракційних піків. Основними ідентифікованими мінералами були: 1. Група польових шпатів: мікроклін, ортоклаз, альбіт і плагіоклази; 2. Група первинних слюд: мусковіт, флогопіт, лепідоліт; 3. Група вторинних слюд і змішаношаруватих силікатів: ілліт, хлорит-вермикуліт, клінохлор; 4. Група амфіболів: амфіболи, калій магнієвий гастингсит; 5. Група глинистих мінералів: галуазит-каолініт, монтморилоніт (за наявності піднятих фонів); 6. Мінерали інших класів (не силікати): кальцит, берлініт, графіт та ін.

За мінімального безполицевого обробітку ґрунту були виявлені кальцієвмісні мінерали: хлорокальцит (KCaCl_3) – 34,33 (2,61 Å), 28,40 (3,14 Å), 42,82 (2,11 Å) і гідроксилапатит ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) – 32,94 (2,72 Å), 31,81 (2,81 Å), 39,84 (2,26 Å). У профілі із застосуванням RTu , з глибини 20 см з'являються дифракційні ефекти змішаношаруватих 1:1 структур, таких як коренсит (залізо-магнієвий алюмосилікат), який складається із триоктаедричних хлоритових та/або вермикулітових і смектитових (монтморилоніт та нонтроніт) шарів – 6,31 (14,00 Å), 12,49 (7,08 Å), 25,21 (3,53 Å). Тобто за даного варіанту відбувається більш інтенсивна, ніж за інших варіантів, гідрослюдизація (ілітизація) монтморилоніту та утворення змішаношаруватих мінералів [312]. У 0–5 см шарі варіанту з RTu виявились рефлекси баєриту ($\alpha\text{-Al}(\text{OH})_3$): 40,57 (2,22 Å), 18,83 (4,71 Å), 20,40 (4,35 Å). Даний мінерал є поліморфною модифікацією гібситу. За даними J. Arps [313] баєрит випадає в осад з високовмісного на алюміній гелю при $\text{pH} > 5,8$ і є продуктом інтенсивного вивітрювання амфіболів і піроксенів за нонтронітової кори вивітрювання. За глибокого плоскорізного обробітку ґрунту відмічалась присутність фторапатиту кальцію ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{O})$) – 33,25 (2,69

Å), 32,05 (2,79 Å), 40,23 (2,24 Å). Дифрактограми ґрунтових проб відібраних за оранки мають меншу кількість і інтенсивність піків порівняно з DRТу та RTу.

3.4. Профільний розподіл гранулометричних фракцій чорнозему типового та ізогумусолю

Тверда фаза мінеральних ґрунтів на 92–98 % складається із некогерентних мінеральних і неорганічних частинок різного розміру, які виповнюють 45–55 % її об'єму. Уламкова фракція чорноземів формувалась в результаті процесів вивітрювання, ерозії та педогенезу і забезпечується вихідною материнською породою. Леси, основна материнська порода чорноземів, мають наступний розподіл мінералів: – фізичний пісок: кварц (50–70 %), польові шпати і плагіоклази (10–20 %), кальцій-магнієві карбонати (5–20 %), циркон, ільменіт; – фізична глина: гідрослюди (50–60 %), смектити (30–40 %), хлорит і каолінит (10 %), гіпс (1 %), легкорозчинні солі (1 %) [314, 315]. Мінералогічний склад гранулометричних фракцій лесів чорноземної зони, за даними І. Папіш [316], має наступне фракціонування: $\geq 0,25$ мм – кварц; 0,25–0,005 мм – кварц, польові шпати, кальцит, важкі метали; 0,005–0,001 мм – польові шпати, кварц, кальцит, каолінит, гідрослюди; 0,001–0,0001 мм – гідрослюди, каолінит, кальцит, монтморилоніт, опал; $\leq 0,0001$ мм – гідрослюди, монтморилоніт, органічна речовина, опал. Розмір, градування, форма, мінеральний склад та твердість частинок впливає на водно-повітряний і тепловий режими, уміст органічної речовини та елементів живлення ґрунтів, оструктурування та ін. [317]. У зв'язку з неізометричною формою механічних елементів, вони розподіляються на групи (класи) за розміром у діаметрі (крупні фракції) і щільністю (дрібні фракції) [318]. Основними групами механічних елементів є пісок, пил і мул [319].

Уміст піщаної фракції (1–0,05 мм) у чорноземі типовому в середньому на 3,43–7,91 % був більше порівняно із ізогумусолем (рис.: 3.8–3.9, додаток В 2). З глибиною, уміст піску зменшувався на 2,28 і 2,84 % за RTу і СТу – у чорноземі типовому та на 0,90; 1,62; 1,70; 1,84 і 2,91 % – за NT, RT, CT, Ab і F відповідно.

За використання оранки та чорного пару спостерігався найбільший уміст піску у профілях чорнозему типового і ізогумусоля.

Чорнозем типовий характеризується максимальним умістом фракції крупного піску (51,38–57,01 %), частка якого значно перевищує уміст піску дрібного (14,48–17,94 %) і мулу (13,76–17,43 %). Натомість, у китайському ізогумусолі переважаючими фракціями є крупний піл (32,47–37,29 %) і мул (29,23–38,38 %). Уміст крупного піску збільшувався на 5,52 % (RTu) та 3,98 % (STu) у низ по профілю – у чорноземі типовому та зменшувався на 3,41; 4,49; 5,10; 3,54 і 3,15 % за NT, RT, ST, Ab і F відповідно – в ізогумусолі (рис.: 3.8 В і 3.9 В). Уміст фракцій фізичного піску і мулу в ізогумусолі інтенсивно нагромаджувався у 15–20 см шарі і поступово зменшувався з глибиною (рис. 3.9 С–D). У чорноземі типовому, уміст фізичного піску поступово зменшувався, а мулу – збільшувався у низ по профілю (рис. 3.8 С–D). Розподіл гранулометричних частинок по профілю відповідає моноmodalьному типу у чорноземі типовому і біmodalьному – в ізогумусолі. Більший уміст «важких» фракцій в ізогумусолі є одним із факторів утворення крупних повітряно-сухих, водостійких і дисперсних агрегатів органічної речовини ґрунту, які формують сприятливий водно-повітряний режим в умовах сезонної мусонності. За крупнопилюватого опіщаненого гранулометричного складу чорнозему типового утворюється більше пилюватих структурних агрегатів, які за надмірного антропогенного втручання деформуються, руйнуються, викликаючи таким чином процеси кіркоутворення, замулення, просадки, переущільнення, утворення плужної підшви.

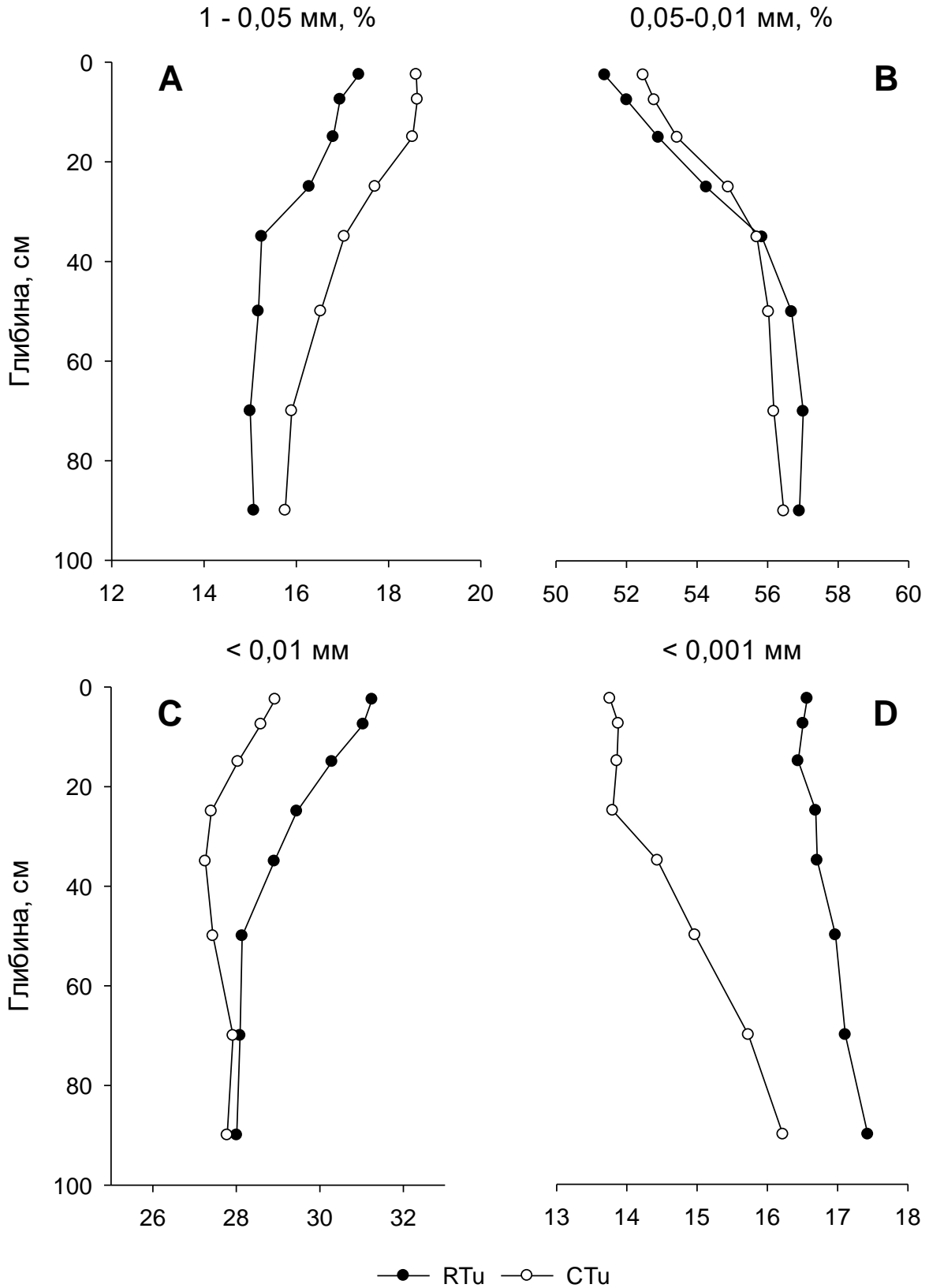


Рис. 3.8. Профільний розподіл гранулометричних фракцій чорнозему типового за 16 річного використання мілкою безпліцевою обробіткою (RTu) і оранки (CTu), дослід № 1

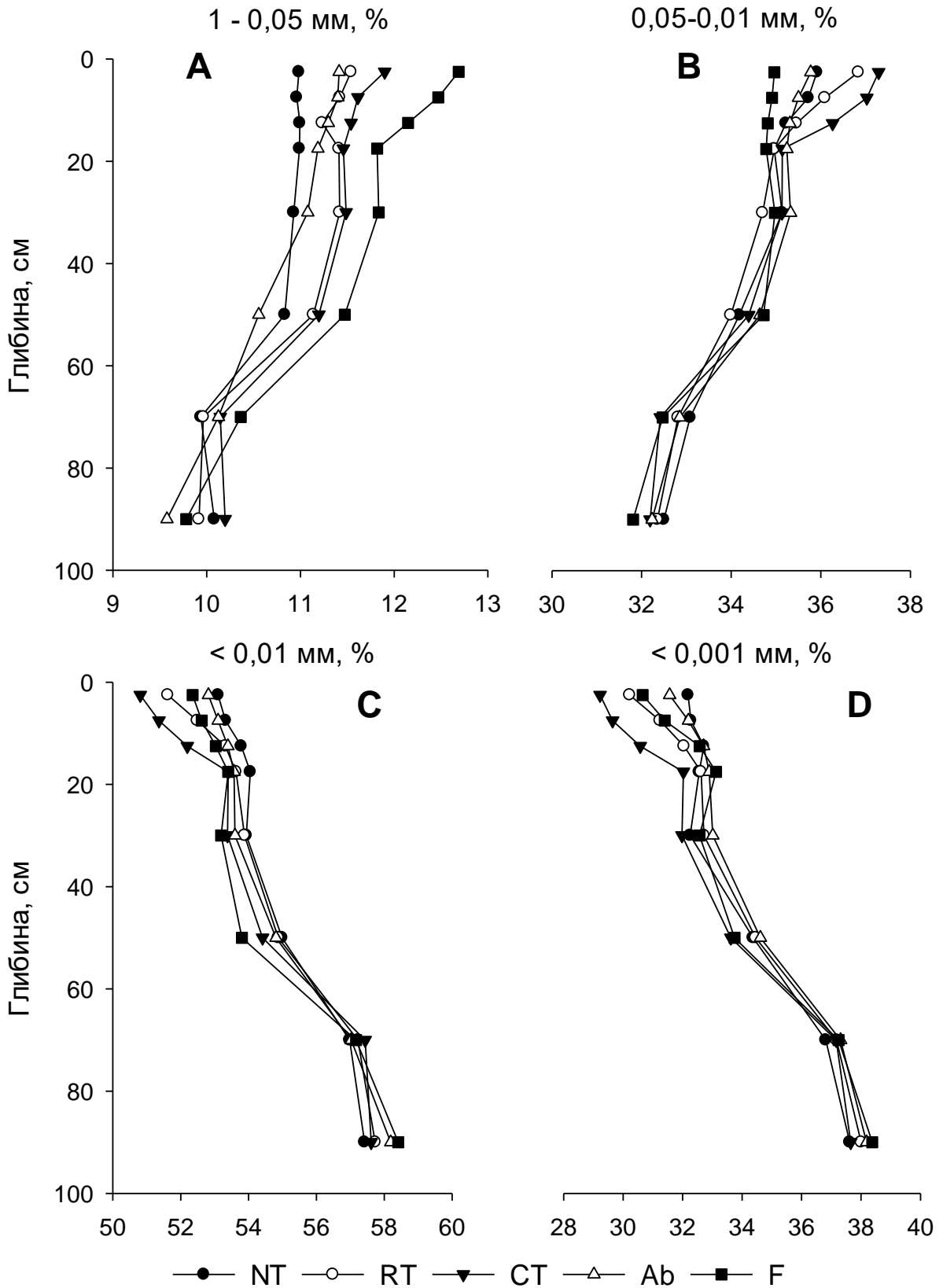


Рис. 3.9. Профільний розподіл гранулометричних фракцій ізогумусолу за 10 річного використання: по-till (NT), безполицевого обробітку (RT), оранки (CT), чорного пару (F), перелугу (Ab), дослід № 3

3.5. Фізико-хімічні й агрохімічні показники чорнозему типового та ізогумусолю за різних систем обробітку й удобрення

Формування поживного режиму ґрунтів забезпечується його природним фоном, мікробіологічною діяльністю, внесенням органічних, мінеральних, мікро- і нано- добрив, мульчуванням, насиченням сівозмін травами, бобовими, проміжними, сумісними та післяжнивними посівами, покривними культурами [320, 321]. Ряд авторів встановили, що за мінімальної обробітку ґрунту зменшуються запаси загального азоту [171], уміст рухомого фосфору [323] та обмінного калію [324]. Дослідження N. Didenko et al. [325] на чорноземі типовому показали, що застосування безполицевих технологій обробітку ґрунту зменшило: рівень pH_{KCl} , уміст обмінного кальцію, амонійного та нітратного азоту; підвищило: уміст азоту легкогідролізних сполук, рухомих форм фосфору, обмінного калію – у шарі 0–10 см. Протилежна закономірність змін показників чорнозему типового спостерігалась у шарі 10–20 см, де перевагу мала оранка. Інші дослідники [326, 327] відмічали позитивну, негативну або неефективну дію безполицевих технологій щодо покращення поживного режиму ґрунтів. Доступність поживних речовин і кореневе живлення рослин залежать також і від фізико-хімічного середовища ґрунтів.

Відповідно до групування ґрунтів за pH сольової витяжки [328], чорнозем типовий характеризувався нейтральною і близькою до нейтральної реакцією середовища у шарі 0–50 см (6,7–7,5) та слабколужною (7,5–7,8) – у шарі 50–100 см (рис. 3.10 А). Найменший рівень pH_{KCl} спостерігався на неудобреному варіанті, найбільший – за норми удобрення: солома 1,2 т/га + N_{12} + $N_{78}P_{68}K_{68}$ (варіант 3). В середньому по профілю, найбільший показник pH_{KCl} був відмічений за RTu: $7,4 \pm 0,02$; $7,5 \pm 0,02$ і $7,5 \pm 0,03$. Застосування мілкого безполицевого обробітку ґрунту істотно збільшувало значення pH_{KCl} (7,1–7,3) порівняно із STu (6,8–7,1) та DRTu (6,7–7,1) у верхньому 0–5 см шарі. Вважають [329], що чорноземи типові поміж інших ґрунтів мають найбільший уміст мінерального і легкогідролізного (обмінний азот, вільний і ввібраний аміак,

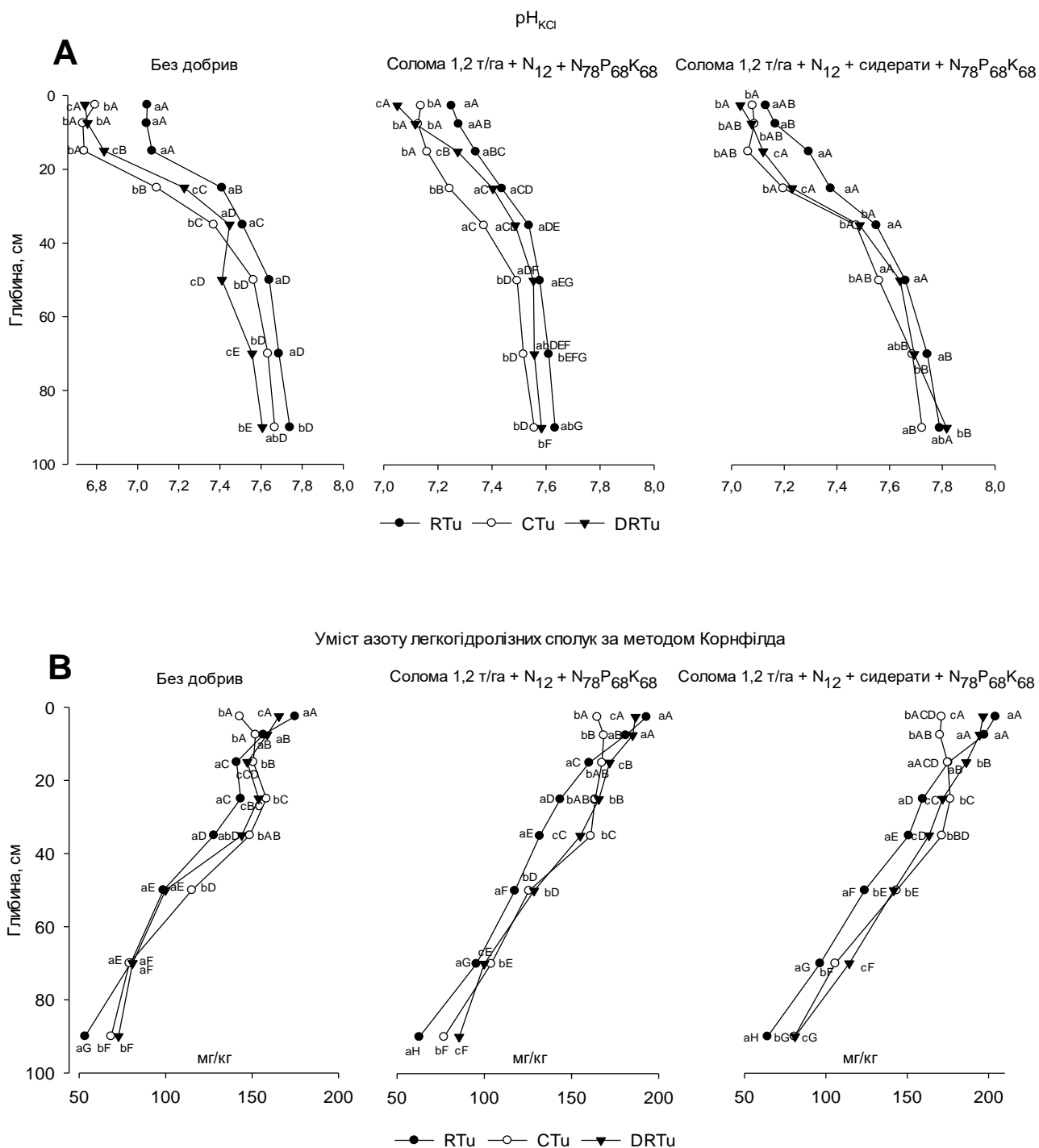


Рис. 3.10. Профільний розподіл pH_{KCl} (A) і умісту легкогідролізних сполук азоту (B) чорнозему типового за використання мілкого безполицевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu) ґрунту (середні значення за 2010–2015 рр., дослід № 1). a^b —різні літери вказують на істотну різницю між варіантами обробки та шарами ґрунту

аміди, частково амінокислоти, аміноцукри та певні органічні сполуки) азоту. Уміст даних сполук азоту в ґрунтах обумовлений передусім кількісним і якісним складом гумусу. Довготривале інтенсивне окиснення гумусових речовин у верхньому 0–10 см шарі чорнозему типового за дії оранки вплинуло на зменшення умісту лужнорозчинних сполук азоту (рис. 3.10 В). В той же час, у шарі 20–40 см, уміст вищезгаданих сполук за оранки збільшився одночасно із збільшенням умісту фракцій 1а та 1 ГК і ФК і зменшенням співвідношення С : N (табл.: 4.2–4.4). Підвищений та середній уміст легкогідролізного азоту орного горизонту поступово зменшувався на низький та дуже низький рівень у 60–80 та 80–100 см шарах. Профільний тренд умісту легкогідролізного азоту за DR_{Tu} був подібним до СТ_{Tu} та RT_{Tu} на контролі. Збільшення кореневої маси рослин у нижніх шарах ґрунту за СТ_{Tu} та DR_{Tu} сприяло посиленню ризосферного та мікробіологічного ефекту, підвищило уміст CO₂, сформувало специфічний режим ОВП та вологи – усе вищезгадане вплинуло на поступове зниження легкогідролізного азоту з глибиною за даних технологій. Внесення добрив збільшувало уміст легкогідролізного азоту на 5,30–24,64 мг/кг – у третьому та 1,05–19,19 мг/кг – у п'ятому варіантах.

Під впливом геохімічних і біологічних процесів відбувається трансформація і транслокація фосфатів в ґрунтах [330], що призводить до утворення водорозчинних, лабільних і стабільних фосфатів. Уміст фосфатів, на відміну від азоту та вуглецю, не залежить від окисно-відновних реакцій і відповідних ферментів, які беруть участь у трансформації ароматичних сполук гумусу [331]. В той же час, рослинні рештки, які надходять у ґрунт при застосуванні ґрунтозахисних технологій, перешкоджають адсорбції фосфатів планарними поверхнями мінералів та ініціюють активацію ферментативної і мікробіологічної діяльності, яка сприяє збільшенню умісту рухомих фосфатів [332]. У наших дослідженнях (рис. 3.11 С), застосування соломи із сидератами (варіант 5) збільшило уміст рухомого фосфору на 3–16,7 мг/кг порівняно із варіантом без сидератів (варіант 3) і 5,5–40,5 мг/кг порівняно із контролем

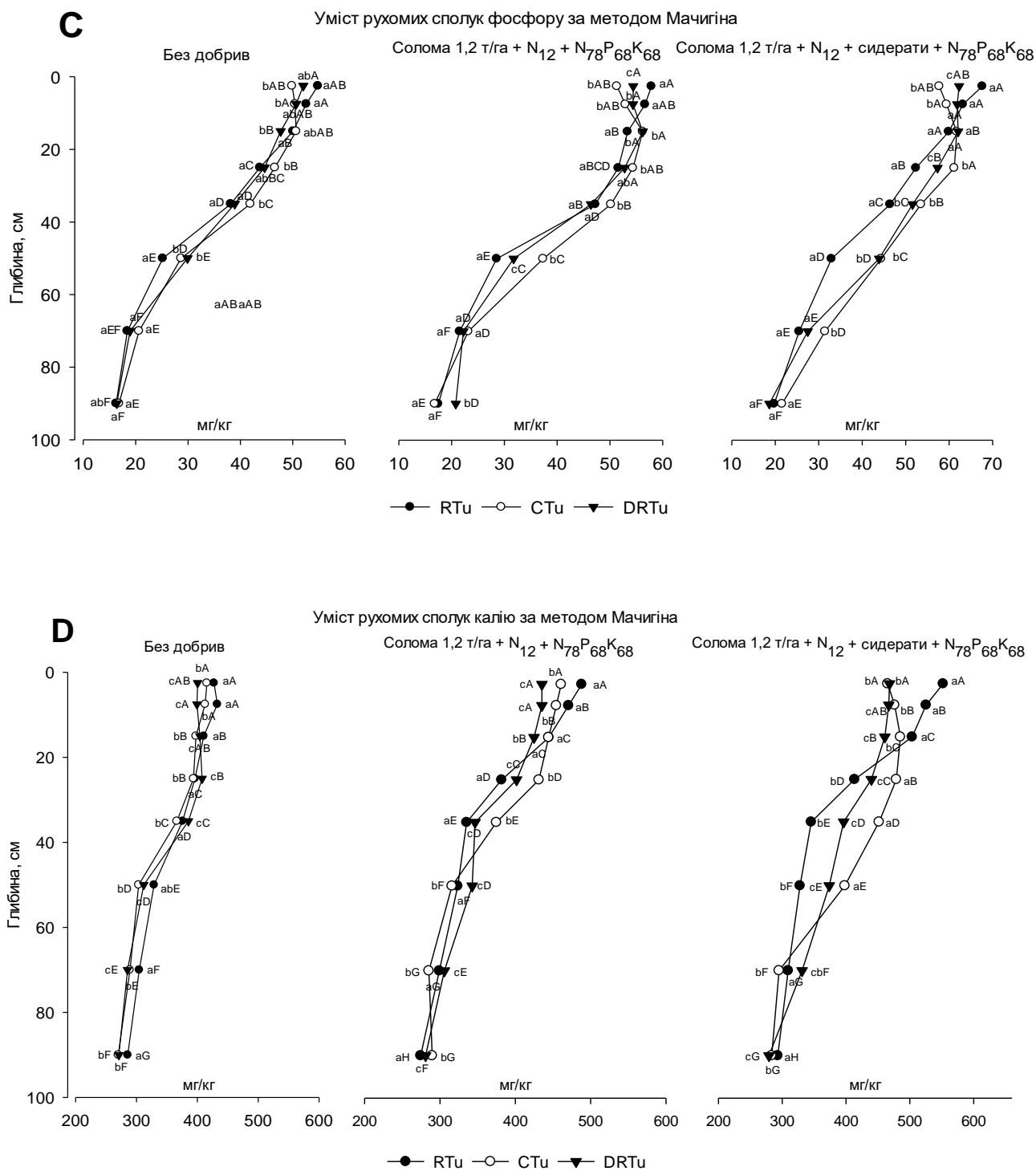


Рис. 3.11. Профільний розподіл умісту рухомих сполук фосфору (С) і калію (D) чорнозему типового за використання мілкового безпліцевого обробітку (RTu), оранки (СТu) і глибокого безпліцевого обробітку (DRTu) ґрунту (середні значення за 2010–2015 рр., дослід № 1). ^{aB}—різні літери вказують на істотну різницю між варіантами обробітку та шарами ґрунту

(варіант 1). У верхній частині профілю, уміст сполук фосфору що легкогідролізуються визначався гумусованістю і був найбільшим за RTu і DRTu – у шарі 0–10 см та STu – у шарі 20–40 см.

На думку В. І. Лопушняка [333] високі валові запаси калію у чорноземах можуть повністю забезпечити запланований рівень врожайності с.-г. культур. Однак тільки 0,5–1,2 % валових запасів калію знаходяться у формі водорозчинних та обмінних сполук [334]. Обмінний калій, який досліджується у нашій роботі, класифікується на інтенсивно-обмінний (активний), екстенсивно-обмінний (потенційний) та легкорухомий (екстрагується витяжкою CaCl_2) [335]. Як свідчать дані рис. 3.11 D, мілкий безполицевий обробіток ґрунту сприяв підвищенню вмісту обмінного калію у чорноземі типовому як на контролі, так і на удобрених варіантах у шарі 0–10 см. Найменший уміст обмінного калію у вищезгаданому шарі був відмічений за DRTu, варіант із STu займав проміжне положення. За застосування оранки уміст обмінного калію суттєво переважав варіанти із DRTu та RTu у шарі 20–40 см на удобрених варіантах. З глибиною, уміст обмінного калію зменшувався за усіх варіантів обробітку ґрунту та удобрення.

Сумарна частка кальцію (78–90 %) і магнію (7–19%) у складі обмінних катіонів чорноземів типових складає 85–97 % [336]. В ґрунтах кальцій виконує роль коагулятора колоїдних сполук гумусу, стабілізатора ґрунтово-вбирного комплексу і агрегатів ґрунту, формує фізико-хімічне середовище ґрунтів. Даними дослідженнями встановлено, що найвищий уміст обмінних кальцію і магнію має верхній гумусовий горизонт (рис. 3.12). З глибиною, частка обмінних кальцію та магнію зменшується і збільшується вміст нерозчинних сполук даних катіонів. Істотної різниці між контролем (без добрив) і удобреними варіантами не спостерігалось. Найменші значення обмінного кальцію спостерігались за оранки – 20,3–23,1 ммоль-екв/100 г, порівняно з RTu – 20,8–24,2 ммоль-екв/100 г та DRTu – 21,0–24,0 ммоль-екв/100 г. За глибокого безполицевого обробітку ґрунту нагромаджувалось найбільше обмінного магнію (3,9–4,3 ммоль-екв/100 г)

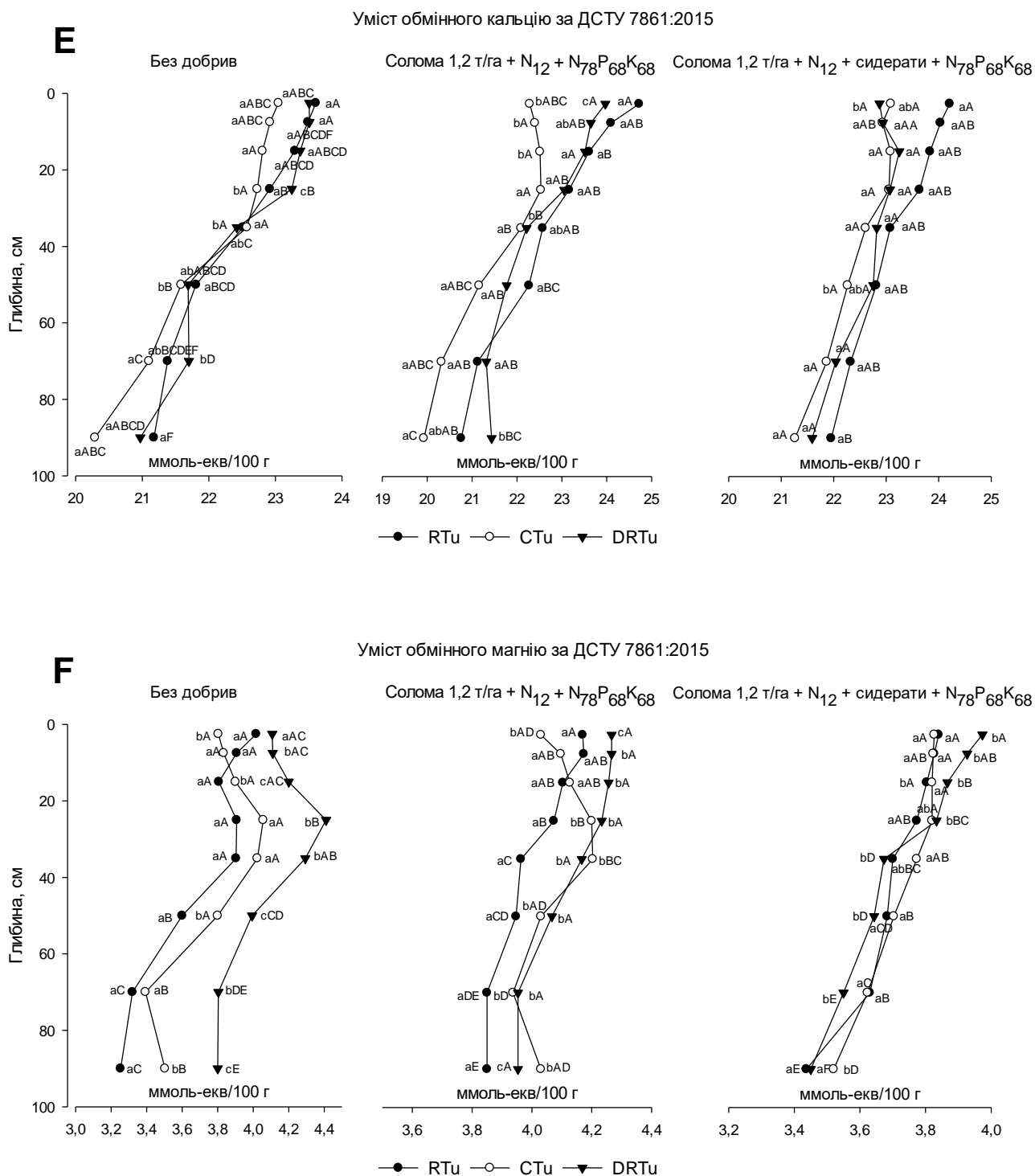


Рис. 3.12. Профільний розподіл умісту обмінних кальцію (E) і магнію (F) чорнозему типового за використання мілкого безполицевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu) ґрунту (середні значення за 2010–2015 рр., дослід № 1). ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між варіантами обробку та шарами ґрунту

у 0–20 см шарі чорнозему типового порівняно із СТ_у (3,8–4,1 ммоль-екв/100 г) та RT_у (3,8–4,1 ммоль-екв/100 г). На дослідних ділянках із застосуванням сидератів на фоні соломи 1,2 т/га + N₁₂ + N₇₈P₆₈K₆₈ утворювалось більше обмінного кальцію, в той же час як за удобреного варіанту без сидератів – обмінного магнію у шарі 0–20 см. Застосування сидератів зменшувало реакцію середовища в орному шарі, але істотно не змінювало рівень рН_{KCl} у нижніх шарах чорнозему типового порівняно із іншими варіантами удобрення.

Уміст амонійного та нітратного азоту і загального фосфору в ізогумусолі зменшувався з глибиною, залежав від способів обробітку ґрунту, але статистично-достовірної різниці між досліджуваними варіантами не спостерігалось (рис. 3.13). У 0–10 см шарі найбільше нагромаджувалось NH₄⁺-N (0,15±0,02) ppm, NO₃⁻ (0,13±0,02) ppm і P_{заг} (0,05±0,02) ppm за NT, RT і NT відповідно. У шарі 10–20 см найбільше поживних елементів нагромаджувалось за NT і RT, у шарі 20–40 см – одержані дані майже не відрізнялись між варіантами обробітку ґрунту.

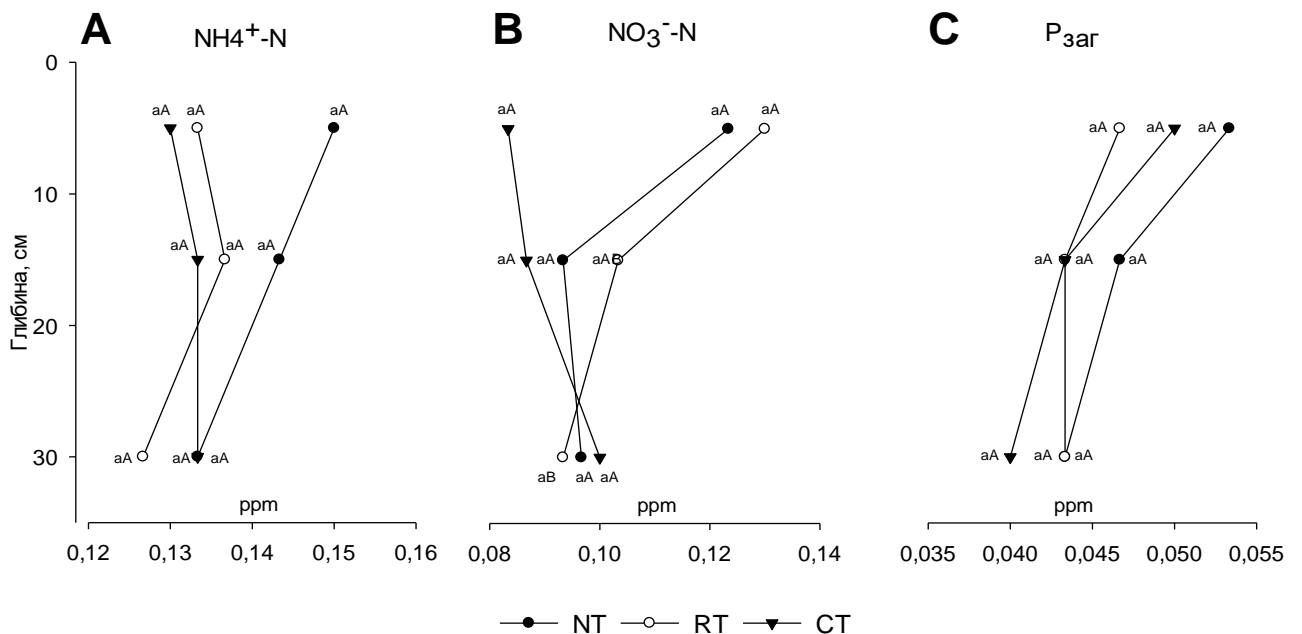


Рис. 3.13. Уміст обмінних NH₄⁺-N (А) та NO₃⁻-N (В) і загального фосфору (С) в ізогумусолі за використання по-till (NT), безполицевого обробітку (RT) і оранки (СТ) (в середньому за 2010–2014 рр., дослід № 3). ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між варіантами обробітку та шарами ґрунту

Висновки до розділу 3

1. Чорнозем типовий і ізогумусолі відповідають типодіагностичним ознакам характерним типу чорноземів: глибокий гумусово-акумулятивний профіль темно-сірого кольору, добре виражена агрегованість, слабко-ущільнені перехідні горизонти, наявні карбонатні новоутворення у нижній частині профілю.

2. За довготривалого застосування обробітку ґрунту колір верхнього горизонту в ізогумусолі набуває буруватих ознак та опіщаненості, збільшується частка твердих горіхуватих агрегатів, утворюється глибокозалягаючий ущільнений шар з ознаками оглеєння. За використання чорнозему типового збільшується частка пилюватих агрегатів в орному шарі та плитчасто-грудкувато-пилюватих – у плужній підшві, верхній перехідний горизонт має видимі форми карбонатів за безполицевого обробітку ґрунту і скипає від 10 % HCl. Найбільш глибокий гумусовий профіль як у чорноземі типовому так і в ізогумусолі формується за оранки, який характеризується найнижчими показниками реакції середовища і найбільшим умістом елементів живлення у 20–40 см шарі. За безполицевого обробітку чорнозему типового підвищується реакція середовища в орному шарі, елементи живлення, обмінні кальцій і магній концентруються найбільше у шарі 0–10 см. Уміст обмінних $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ і загального фосфору у китайському ізогумусолі достовірно не змінюється з глибиною.

3. Тверда фаза чорнозему типового характеризується полімінеральністю із переважанням фракцій кварцу, амфіболів, польових шпатів, первинних і вторинних слюд, змішаношаруватих силікатів, глинистих мінералів і карбонатів. За безполицевого обробітку ґрунту діагностуються мінерали нонтронітової кори вивітрювання: хлорокальцит, гідроксилапатит, коренсит, смектити, баєрит та фторапатит. Діфрактограми ґрунтових проб варіанту з оранки мають найменшу кількість і інтенсивність піків.

4. Ізогумусоль, порівняно із чорноземом типовим, має більший уміст фізичної глини і мулу, чорнозем типовий – піску, фізичного піску і крупного пілу. Більш інтенсивне профільне вивітрювання/руйнування елементарних частинок в ізогумусолі сприяє збільшенню кількості дрібних гранулометричних фракцій з глибиною. Застосування оранки та чорного пару, порівняно з іншими технологіями, призводить до нагромадження більшої кількості піщаної фракції у чорноземі типовому та ізогумусолі.

Результати досліджень за даним розділом опубліковані у наступних працях:

1. Kravchenko Yu., Vykova O. Physico-chemical and agrochemical indicators of typical chernozem and isohumisol under various tillage and fertiliser systems. *Plant and Soil Science*. 2023. Vol. 14(1). P. 22-38.
2. Кравченко Ю. С., Тонха О. Л. Морфогенез чорнозему типового та ізогумусолю за довготривалого використання різних систем обробітку ґрунту. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. Том 11. № 2. С. 39–49.
3. Kravchenko Y., Zhang X., Li X., Li H., Chen Q. Ukrainian and Chinese Mollisols: Distribution, Formation and Properties. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2013. Вип. 183 (2). С. 216–222.
4. Kravchenko Y. *Ukrainian Chernozem: monograph*. Kyiv : NUBiP of Ukraine Press, 2017. 182 p.
5. Кравченко Ю. С. Ландшафтно-географічні та геологічні умови утворення чорноземів Північно-східного Китаю. *Фізична географія та геоморфологія*. Міжвідомчий науковий збірник. Київ. ВГЛ «Обрії», 2013. Вип. 3, № 71. С. 204–210.
6. Liu X., Lee Burras C., Kravchenko Y., Duran A., Huffman T., Morrás H., Studdert G., Zhang X., Cruse R., Yuan X. Overview of Mollisols in the World: Distribution, Land Use and Management *Canadian Journal of Soil Science*. 2011. Vol. 92, № 3. P. 383–402.

РОЗДІЛ 4

ТРАНСФОРМАЦІЯ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО ТА ІЗОГУМУСОЛІВ ЗА ЇХ РІЗНОГО ВИКОРИСТАННЯ

4.1. Профільний розподіл біофільних елементів у чорноземі типовому та ізогумусолях

Рослини, як усі живі організми, потребують елементи живлення для забезпечення свого росту, розвитку і плодоношення. Поживні елементи безпосередньо впливають на життєвий цикл рослин і не можуть бути взаємозамінені. На сьогодні встановлено, що рослини потребують щонайменше 17 хімічних елементів протягом свого життєвого циклу. Вуглець, кисень та водень у формі CO_2 , води та молекулярного кисню рослина одержує переважно з води та повітря. Цих елементів налічується найбільше у рослині, вони називаються органогенними. Азот, фосфор і калій рослини поглинають у великих кількостях у вигляді мінеральних сполук із вивітрених мінералів, ґрунтів та добрив. Вони відомі як первинні (головні) макроелементи. Три інших елементи: сірка, кальцій і магній відомі як вторинні макроелементи. Рослина їх потребує у менших кількостях ніж перинних макроелементів. Бор, мідь, хлор, залізо, марганець, молібден, цинк і нікель – мікроелементи, які знаходяться у невеликій кількості в рослинах, але відіграють надзвичайно важливу біофільну роль у метаболічних процесах в рослинах. Ультрамикроелементи: селен, ртуть, кадмій і свинець нагромаджуються у рослинах у концентраціях менших за 10^{-3} %. Уміст елементів живлення у рослинах зменшується у наступному порядку: $\text{O} > \text{C} > \text{H} > \text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} \leftrightarrow \text{P} \leftrightarrow \text{S} > \text{Cl} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu} > \text{Mo} > \text{Ni} >$ ультрамікроелементи [337]. Рослини вбирають елементи живлення переважно у формі заряджених іонів, а також у вигляді електро-нейтральних молекул, хелатів, фрагментів функціональних груп, аміноцукрів, вітамінів, ферментів, гумусових речовин, тощо.

Загальний вуглець ($\text{C}_{\text{заг}}$) ґрунту об'єднує фракції органічних ($\text{C}_{\text{орг}}$) і

неорганічних ($C_{\text{неорг}}$) сполук вуглецю. Вуглець органічних сполук може перебувати у рідкій (розчинені вуглеводи ґрунтового розчину), твердій (органомінеральний гумус) та колоїдній (хімічні сполуки гумусу) фазах ґрунту. У ґрунтах, до основних органічних сполук, які містять вуглець відносять: – інертні стабілізовані низько- і високомолекулярні органічні речовини розчинів і твердій фази ґрунту; – органічно-мінеральні сполуки гумусу; – стабілізовані хімічні сполуки гумусу із періодом напіврозкладу у декілька тисяч років; – лабільні карбогідрати, ліпіди, амінокислоти, тощо. Неорганічний вуглець присутній в ґрунтах у вигляді солей вугільної кислоти (H_2CO_3): кальциту ($CaCO_3$), арагоніту ($CaCO_3$), люблініту ($CaCO_3$), магнезиту ($MgCO_3$), доломіту ($CaCO_3 + MgCO_3$), графіту та ін. Домінуючим вуглецевмісним мінералом чорноземів є кальцит.

Багаточисельні літературні джерела вказують на істотний вплив різних технологій обробітку ґрунту на розподіл $C_{\text{орг}}$ у ґрунтах [338, 339, 340, 341]. Результати довготривалих досліджень більше ніж 50 стаціонарів розташованих у США, Канаді і європейських країнах вказують на 10–30 % збільшення умісту органічного вуглецю ґрунту при переході від оранки до no-till і мінімального безполицевого обробітку ґрунту [342, 343, 344].

Відповідно до результатів наших досліджень, довготривале застосування технологій обробітку ґрунту визначало стратиграфію розподілу $C_{\text{орг}}$ у профілях українського та китайського чорноземів (рис. 4.1). Уміст $C_{\text{орг}}$ був найвищим у верхніх 0–5 та 5–10 см шарах: 2,3–2,8 % – у чорноземі типовому і 2,4–3,7 % – у ізогумусолях і поступово зменшувався з глибиною. На глибині 80–100 см уміст $C_{\text{орг}}$ у чорноземі типовому (1,0–1,3 %) значно перевищував уміст $C_{\text{орг}}$ в ізогумусолях (0,8–0,9 %). За NT, верхній шар ізогумусолю має непорушену структуру, ґрунт насичений макропорами та багаточисельними вертикальними порами, черворіями, каналами колишніх рослинних коренів [345, 346, 347]. За no-till в ізогумусолях післязбиральні органічні рештки сої та кукурудзи подрібнювались і розкидались зверху по полю. Таким чином, верхній 0–10 см шар ґрунту мав прямі надходження поверхневої і підземної біомаси

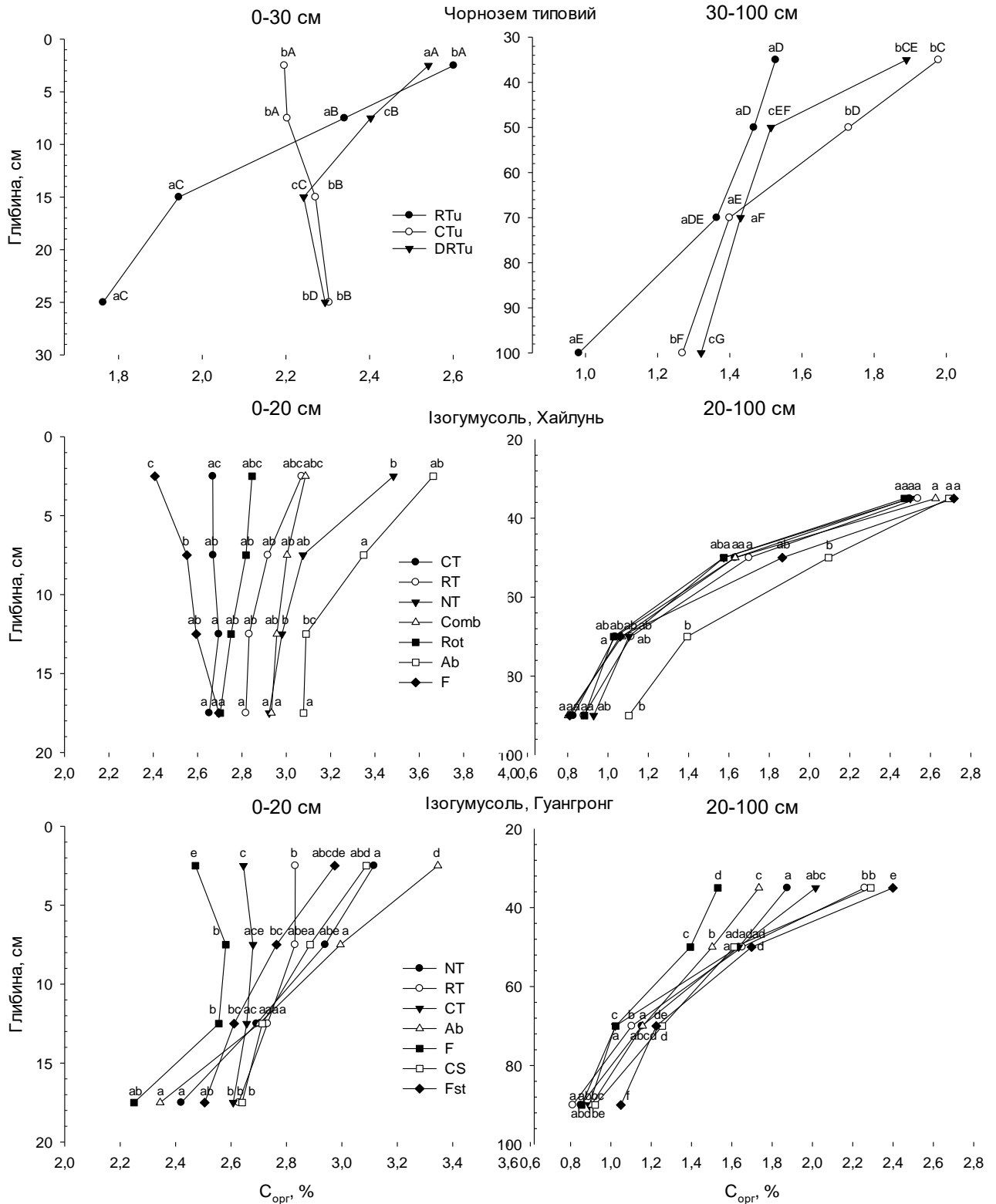


Рис. 4.1. Профільний розподіл C_{org} у чорноземі типовому (2010–2015 рр., удобрення – солома 1,2 т/га + сидерати + N_{12} + $N_{78}P_{68}K_{68}$) за RTu, CTu, DRTu і ізогумусолях Хайлуня і Гуангронгу (середні значення за 2010–2014 рр.) за CT, NT, Rot, RT, Comb, RT, CS, Fst, Ab, F. ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між варіантами обробку ґрунту

рослин, багатой на органічний вуглець, що вплинуло на більше нагромадження $C_{\text{орг}}$ у 0–10 см шарі ґрунту за NT – (3,0–3,5 \pm 0,1) %. За no-till, як вважає W. Ehlers et al. [348], коренева система рослин перед ущільненим шаром лесового ґрунту має широке бічне розгалуження, збільшується у діаметрі, збагачуючи таким чином цей шар на органічну речовину.

Інший механізм, який впливає на утримання $C_{\text{орг}}$ за ґрунтозахисних технологій обробітку ґрунту, пов'язаний із зменшенням кількості доступного кисню у приповерхневому шарі. Позитивний ефект щодо послаблення деструкції $C_{\text{орг}}$ за NT, RT, RTu, DRTu, Comb і CS виявляється також за рахунок розподілу аеробних і анаеробних мікроорганізмів, напряду протікання мікробіологічних процесів [66], зменшення інтенсивності окиснення органічних решток рослин на фоні краще зволоженого і більш холодних температурних умов поверхневого шару [349], порівняно із оранкою. Відведення орного ізогумусолу під переліг найкраще вплинуло на збагачення профілю органічним вуглецем ґрунту. В ізогумусолі дослідного поля с. Гуангронг був сформований природний 8-річний переліг без штучного залуження дослідної ділянки багаторічними травами. Даний захід показав свою ефективність тільки у 0–10 см шарі ізогумусолу. У нижніх 15–100 см шарах ґрунту Ab поступався іншим технологіям за вмістом $C_{\text{орг}}$. Таким чином, відведення орного ізогумусолу під природне залуження без висівання багаторічних трав та внесення добрив призводить до тривалого процесу відновлення вмісту $C_{\text{орг}}$ у профілі ґрунту. Натомість, 25 річне застосування перелігу із штучним залуженням багаторічними травами ізогумусолу дослідної ділянки у м. Хайлунь, призвело до істотного нагромадження вмісту $C_{\text{орг}}$ не тільки у верхній частині профілю, але й і в усьому профілі. Уміст $C_{\text{орг}}$ за Ab (3,7–1,1 \pm 0,3) % значно перевищував відповідний показник за інших варіантів. Вісімнадцятирічні насадження тополі білої сформували найбільший уміст $C_{\text{орг}}$ у 20–100 см шарах еродованого ізогумусоля: (2,4–1,1 \pm 0,02) %.

Оранка та роторний обробітки ґрунту агресивно порушують фізико-агрегатний стан ґрунту, кореневмісний шар краще прогрівається та підсушується [350]. Насичений киснем розпушений верхній шар ґрунту за СТ та Rot мав короткочасний позитивний вплив на швидке проростання сходів с.-г. рослин. В той же час, застосування СТ та Rot створює умови інтенсивного окислення органічних решток рослин та гумусові речовини у верхньому шарі ґрунту, що впливає на зменшення об'ємного умісту $C_{\text{орг}}$ у ньому [351, 352, 353]. Дослідженнями F. Rhoton [354] було доведено, що за активної чотирьохрічної педотурбації за оранки уміст $C_{\text{орг}}$ у поверхневому шарі зменшувався на 10 %, в той же час як L. Mann [355] відмітив 16–77 % зменшення умісту органічного вуглецю ґрунту за його довготривалого використання. Морфологічні дослідження F. Ellis та V. Barnes [356] щодо розвитку кореневої системи озимих злакових на фоні застосування оранки вказують на глибоке проникнення головного кореню, а також опускання вниз по профілю ґрунту бічних коренів із зонами розгалуження та розтягування. Vars E. Et al. [357] визначили, що за глибокого обробітки ґрунту 35 % біомаси кореневої системи кукурудзи на зерно знаходиться на глибині 21–100 см. На глибині, рослинні рештки розкладаються у 3–4 рази повільніше, порівняно із поверхневим шаром ґрунту. Мінералізаційні втрати $C_{\text{орг}}$ послаблюються із глибиною у зв'язку із зменшенням кількості доступного атмосферного кисню, щільний контакт кореневої системи рослин із ґрунтом та надмірним режимом зволоження [358]. Фактор глибокого розташування кореневої біомаси за СТ вплинув на збільшення умісту $C_{\text{орг}}$ у 10–60 см шарі чорнозему типового порівняно з RTu та DRTu. У верхньому 0–5 см шарі чорнозему типового більше $C_{\text{орг}}$ концентрувалось за RTu, у 5–10 та 80–100 см шарах – за DRTu. В ізогумусолі СТ та Rot не мали достовірної переваги за умістом $C_{\text{орг}}$ в 15–20 см шарі порівняно з іншими технологіями обробітки ґрунту. Найбільший уміст $C_{\text{орг}}$ серед технологій обробітки ґрунту у 15–40 см шарі ізогумусолі був за CS, RT, Comb та NT. За молодого лісу та 25

річного перелогу утворювалось більше $C_{\text{орг}}$ у 20–100 см шарах китайських ізогумусолів.

Азот природних сполук має: -3, +1, +2, +3, +4 та +5 валентності. У ґрунтах найбільш поширеними та найбільш стійкими є сполуки азоту, які мають валентність -3 (NH_3) та +5 (N_2O_5). Джерелом азоту органічних сполук ґрунту є: азот утворений за симбіотичної та несимбіотичної азотфіксації, азот селітр, глинистих та органогенних мінералів, азот мінеральних добрив, азот відмерлих решток рослин і тварин, азот сидератів та органічних добрив, солі NO_3^- та NH_4^+ атмосферних опадів, азотисті продукти виділень рослин та мікроорганізмів, азот важко- та не-гідролізованих сполук гумусових речовин [359]. У ґрунтах відбувається трансформація азотного пулу шляхом: фіксації молекулярного атмосферного азоту вільноживучими і бульбочковими бактеріями, молекулярного надходження органічного азоту у структури специфічних гумусових речовин (імобілізація), нітрифікації, амоніфікації, денітрифікації і мінералізації сполук азоту, необмінної фіксації азоту глинистими мінералами, вимивання лабільних сполук азоту з ґрунтової товщі [360]. Основні запаси азоту у чорноземах знаходяться у 2^й фракції гумінових і фульвокислот та гуміні. За тривалого сільськогосподарського використання чорноземів знижується абсолютний уміст усіх фракцій азоту і збільшується відносний уміст сполук азоту, що легкогідролізуються [329].

Уміст загального азоту у метровому шарі досліджуваних ґрунтів коливався від $(0,10 \pm 0,02)$ % до $(0,26 \pm 0,004)$ % – у чорноземі типовому та від $(0,05 \pm 0,001)$ % до $(0,26 \pm 0,01)$ % – у ізогумусолях (рис. 4.2). Проведені дослідження показали, що безполіцеві технології (NT, Rtu, DRTu, RT, CS, Comb) та Ab мали перевагу у нагромадженні $N_{\text{заг}}$ у 0–15 см шарах чорнозему і ізогумусолях. У нижньому 30–100 см шарі найбільший уміст $N_{\text{заг}}$ був сформований за СТ у чорноземі типовому і СТ, RT і Comb – у ізогумусолях. Загальний уміст азоту органічних сполук на 25-річному перелозі переважав на 0,06–0,10 % досліджувані технології обробітку ґрунту у 0–80 см шарі ізогумусоля. Природний 8-річний переліг мав

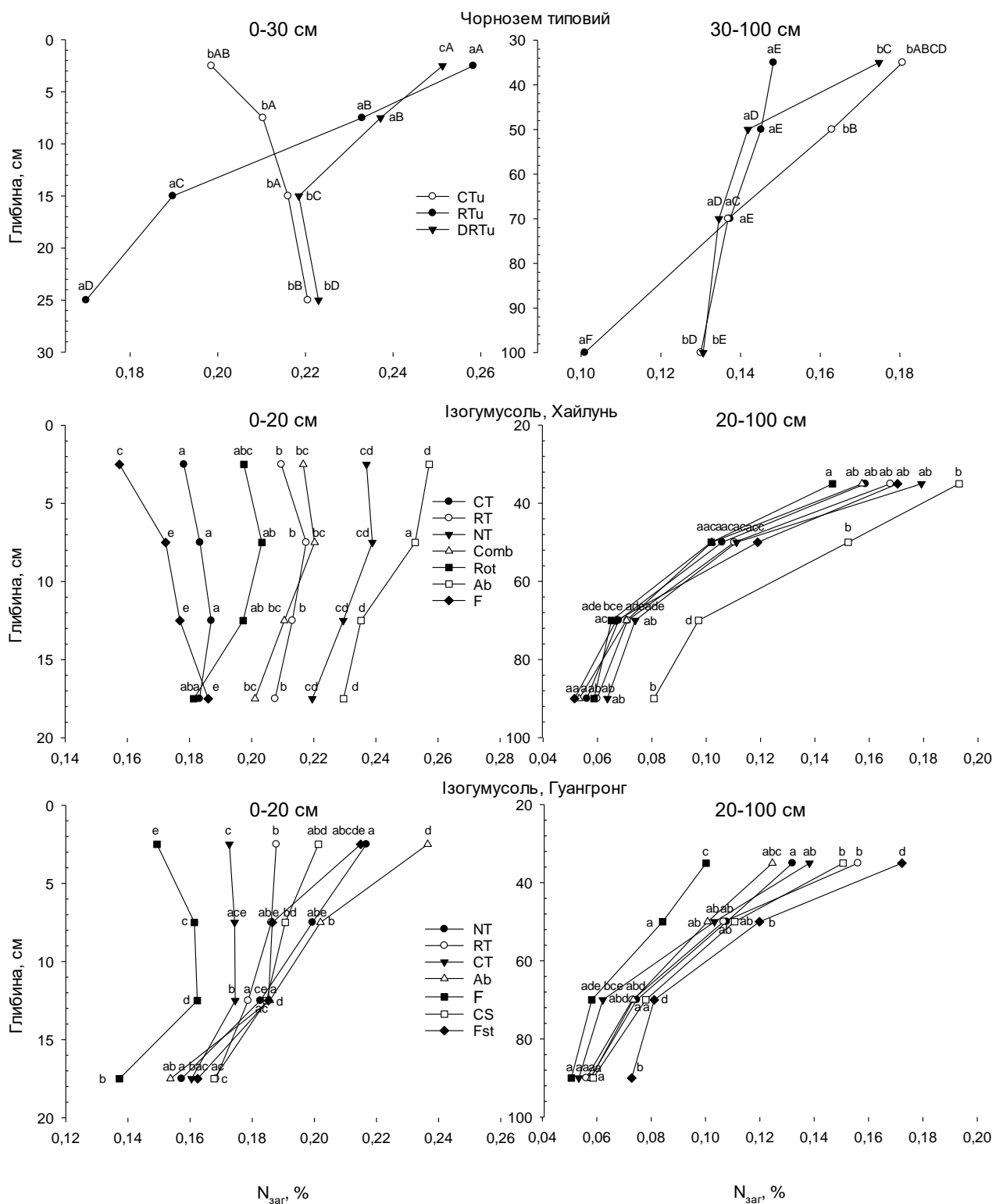


Рис. 4.2. Профільний розподіл N_{3ar1} у чорноземі типовому (2010–2015 рр., удобрення – солома 1,2 т/га + сидерати + N_{12} + $N_{78}P_{68}K_{68}$) за RTu, CTu, DRTu і ізогумусолях Хайлуня і Гуангронгу (середні значення за 2010–2014 рр.) за CT, NT, Rot, RT, Comb, RT, CS, Fst, Ab, F. ^{aB} – різні літери вказують на істотну різницю між варіантами обробку ґрунту

суттєву перевагу над іншими технологіями за вмістом $N_{\text{заг}}$ у 0–15 см шарі ізогумусоля. На глибині 15–100 см найбільша кількість $N_{\text{заг}}$ спостерігалась за Fst. У цілому, зміни вмісту $N_{\text{заг}}$ по профілю відбувались аналогічно змінам $C_{\text{орг}}$. Парні коефіцієнти лінійної кореляції К. Пірсона (r) між змінними $N_{\text{заг}}$ та $C_{\text{орг}}$ за шкалою Чедока оцінювались як дуже високі (додатки: В 3 – В 5).

Відношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ (далі – $C : N$) вказує на кількість атомів вуглецю які відповідають атому азоту у молекулах органічних речовин. Ряд вчених [361, 362] вважає, що співвідношення $C : N$ у ґрунтах є важливим показником, який визначає баланс колообігу вуглецю та азоту у природі. Високе співвідношення $C : N$ може характеризувати інтенсивність процесів гумусоутворення, грубий інертний гумус, наявність інкорпорованого у гумусову молекулу азоту високомолекулярних сполук. Вузьке співвідношення $C : N$ вказує на прискорення процесів мінералізації і нітрифікації, анамоксу, динаміку нітратів у ґрунтах [363, 364]. Фізичний вплив на ґрунт різних сільськогосподарських знарядь призводить до вертикального перерозподілу органічних C та N по профілю ґрунту, утворення мікрозон із різними властивостями. У одних мікрозонах можуть переважати процеси окиснення, мінералізації та мобілізації, в інших – іммобілізації та нітрифікації [365].

За співвідношенням $C : N$ у гумусі [243], чорнозем типовий відповідає середньому (8–11), а ізогумусолі – низькому та дуже низькому рівням збагачення гумусу азотом (12,9–17,6) (рис. 4.3). Найбільша частка вуглецевих сполук у складі гумусу чорнозему типового відмічалась за CTu у шарі 0–5 см ($11,1 \pm 1,7$), за CTu ($11,0 \pm 1,4$) і $DRTu$ ($10,8 \pm 0,8$) – у шарі 30–40 см. Найбільша збагаченість азотом гумусу по всьому профілю була за RTu : від $10,1 \pm 0,8$ у 0–5 см шарі до $9,7 \pm 0,3$ у 80–100 см шарі. Варіант з $DRTu$ переважав усі інші варіанти за рівнем $C : N$ ($10,4 \pm 0,8$) у шарі 60–100 см, CTu – у шарі 0–40 см. В ізогумусолях Хайлуня і Гуангронгу $C : N$ значення зменшувалось до глибини 10–15 см, збільшувалось до 80 см глибини і неістотно зменшувалось на глибині 80–100 см. Слід відмітити, що за вирощування сої ($C : N < 20$) у ґрунтах відбувається мінералізація і

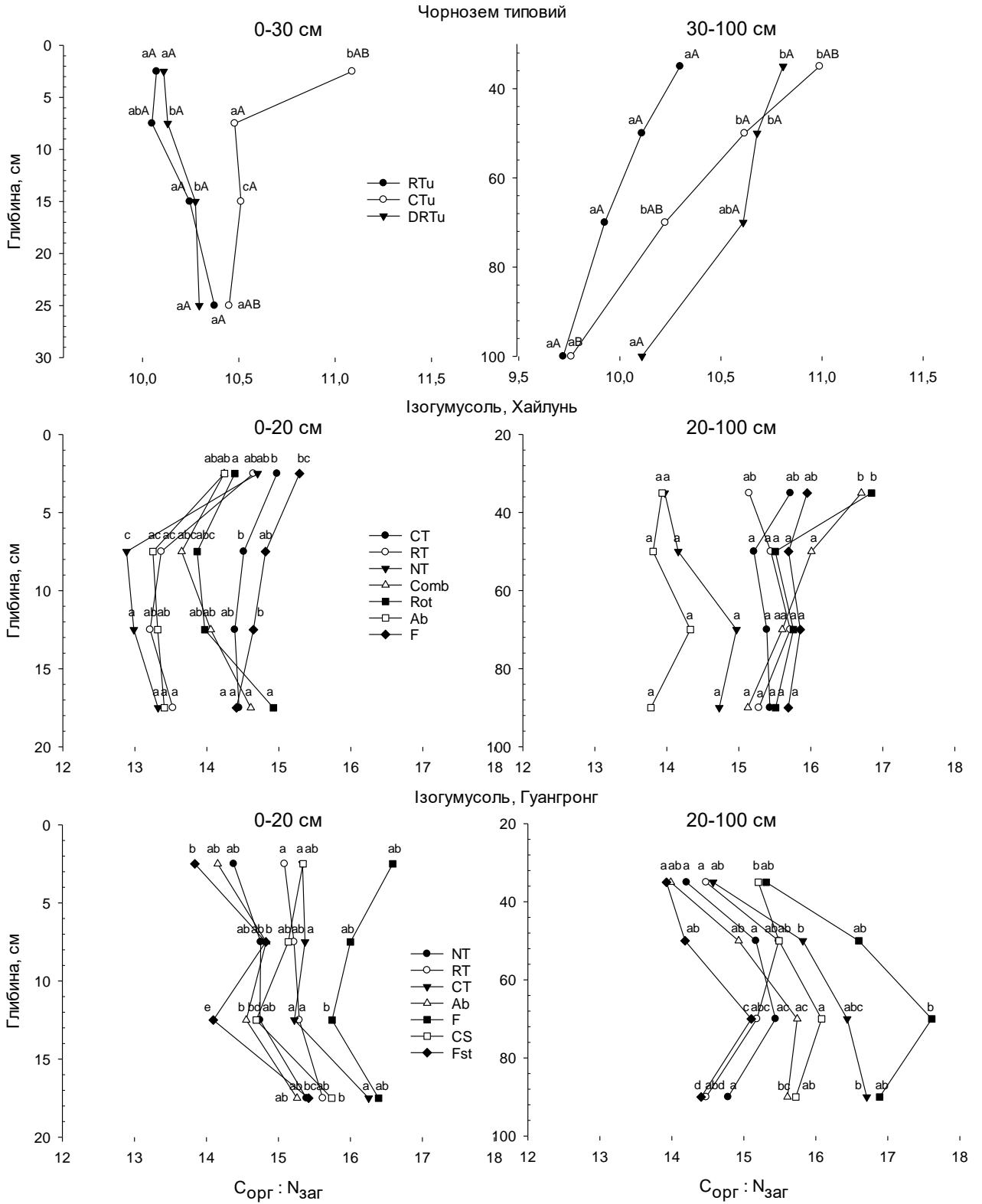


Рис. 4.3. Профільний розподіл відношення $C_{орг} : N_{заг}$ у чорноземі типовому (2010–2015 рр., удобрення – солома 1,2 т/га + сидерати + $N_{12} + N_{78}P_{68}K_{68}$) за RTu, CTu, DRTu і ізогумусолях Хайлуня і Гуангронгу за CT, NT, Rot, RT, Comb, RT, CS, Fst, Ab, F (середні значення за 2010–2014 рр.). ^{aB}—різні літери вказують на істотну різницю між варіантами обробку ґрунту

вивільнення мінеральних N-NH_4^+ , N-NO_3^- та органічних амінокислот [364, 366]. За вирощування кукурудзи на зерно ($\text{C} : \text{N} > 20$) спостерігається іммобілізація N-NH_4^+ , N-NO_3^- мікроорганізмами шляхом: дифузії NH_3 крізь цитоплазматичні мембрани, перенесення NH_4^+ транспортними білками, безпосереднього вбирання NO_3^- [364, 366]. З іншого боку, часті приповерхневі зміни температури, вологи, аерації, ОВП режиму призводять до відмирання та лізису мікробної біомаси, азотовмісні полімери (білки, РНК, аміноцукри, хіто-декстрини, ароматичні сполуки гумусу) деполімеризуються до мономерів, які надалі асимілюються мікробами та споживаються рослинами, а також – мінералізуються до амонію, нітритів і нітратів та мігрують у зону іммобілізації створюючи азотний пул для живлення гетеротрофних організмів [367, 368]. Найкраще процеси іммобілізації азоту і відповідно найменше значення $\text{C} : \text{N}$ виявились у 5–10 та 10–15 см шарах ізогумусолу Хайлуня. X. Zhang et al. [369], вивчаючи ізогумусоль Гуангронгу, відзначали збільшення $\text{C} : \text{N}$ відношення на 11,3 % у 30–40 см шарі порівняно із 0–20 см шаром та подальше несуттєве збільшення даного відношення з глибиною. $\text{C} : \text{N}$ значення змінювалось при цьому у середньому від 14,7 до 17,1, у лісових насадженнях – від 15,1 до 15,2. Відповідно до результатів наших досліджень, $\text{C} : \text{N}$ відношення у профілі ізогумусоля Гуангронгу змінювалось від 13,8 до 17,6, в ізогумусолі Хайлуня – від 12,9 до 16,8, у чорноземі типовому – від 9,7 до 11,1. Причому, у чорноземі типовому $\text{C} : \text{N}$ відношення зменшувалось вниз по профілю, а у ізогумусолях Хайлуня та Гуангронгу – збільшувалось до глибини 60–80 см. У всіх досліджуваних ґрунтах, оранка та чорний пар сформували найбільш широке $\text{C} : \text{N}$ відношення, в той же час як за перелогу, no-till та мілкою безполицевою обробіткою – $\text{C} : \text{N}$ відношення було найменшим. Співвідношення $\text{C} : \text{N}$ в ізогумусолі Хайлуня мало слабку кореляцію з іншими показниками ґрунту ($r = -0,05-0,74$) (додатки: В 4 – В 5). $\text{C} : \text{N}$ відношення ізогумусоля Гуангронгу мало середній та високий коефіцієнт кореляції між парами: $\text{C}_{\text{орг}} : \text{N}_{\text{заг}}$ і $\text{N}_{\text{заг}} : \text{C}_{\text{орг}}$.

Найбільший уміст загального вуглецю спостерігався у 0–5 та 5–10 см

шарах чорнозему типового за RTu ($2,8 \pm 0,3$ і $2,5 \pm 0,1$) % і $DRTu$ ($2,8 \pm 0,2$ і $2,6 \pm 0,1$) %, у 20–30 см шарі – за CTu ($2,5 \pm 0,02$) % (рис. 4.4). При цьому, частка вуглецю неорганічних сполук за усіх варіантів займала від 4,3 до 7,7 % від загального вуглецю у 0–20 см шарі. Униз по профілю, уміст загального вуглецю поступово зменшувався і набував найнижчих значень на глибині 20–40 см – за RTu ($2,0 \pm 0,1$) %, 40–60 см – за $DRTu$ ($2,0 \pm 0,04$) % і 60–80 см – за CTu ($2,1 \pm 0,1$) % (рис. 4.4 А, В). У шарі 80–100 см уміст $C_{заг}$ збільшується і набуває максимальних показників за RTu ($2,2 \pm 0,02$) % та $DRTu$ ($2,3 \pm 0,4$) % (рис. 4.4 В). У найнижчому шарі чорнозему типового, частка $C_{неорг}$ у складі $C_{заг}$ збільшується від ($40,8 \pm 0,1$) % – за CTu до ($54,5 \pm 0,2$) % – за RTu (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Масова частка $C_{неорг}$ та $C_{орг}$ у $C_{заг}$ в чорноземі типовому за різного обробітку ґрунту на фоні солома 1,2 т/га + N_{12} + сидерати + $N_{78}P_{68}K_{68}$

Глибина, см	RTu		CTu		$DRTu$	
	$C_{неорг} : C_{заг}$	$C_{орг} : C_{заг}$	$C_{неорг} : C_{заг}$	$C_{орг} : C_{заг}$	$C_{неорг} : C_{заг}$	$C_{орг} : C_{заг}$
0-5	6,8	93,2	5,2	94,8	7,7	92,3
5-10	4,6	95,4	4,3	95,7	5,8	94,2
10-20	6,2	93,8	4,6	95,4	4,8	95,2
20-30	9,3	90,7	6,3	93,8	6,9	93,1
30-40	22,9	77,1	11,0	89,0	12,9	87,1
40-60	30,4	69,9	18,7	81,3	27,8	75,0
60-80	37,2	62,8	34,8	68,4	35,1	64,9
80-100	54,5	45,5	40,8	59,2	42,8	57,2

Біофільні елементи вступають у різні типи зв'язків із молекулярними сполуками гумусу, зв'язуються мінералами, входять до груп і фракцій гумусу [189Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Трансформація органічних сполук ґрунту, процеси мінералізації, нітрифікації та іммобілізації призводять до вивільнення або фіксації біофільних елементів у складі гумусу. Напрямок процесів гуміфікації-мінералізації, окиснення-відновлення, синтезу і деструкції органічних сполук ґрунту може бути визначений за співвідношенням: $C : N$, $C :$

H, C : S і N : S [370]. Педогенезис трансформаційних змін елементного складу чорноземів визначався нами за співвідношенням: $C_{\text{неорг}} : C_{\text{заг}} \text{ і } C_{\text{орг}} : C_{\text{заг}}$.

Сірка є органогенним елементом, її акумуляція у ґрунтах тісно пов'язана із нагромадженням органічної речовини ґрунту. Сірка є невід'ємною частиною амінокислот (метіоніну та цистину), білків, і відповідно, впливає на функціонування та взаємодію білкових молекул у листях та насінні. Сірка відіграє важливе фізіологічне значення у процесах фотосинтезу і диханні, вуглецевому обміні, первинній асиміляції азоту, синтезу хлорофілу, каротиноїдів, вітамінів: B₁, B₂, B₆ і B₁₂, ферментів, ефірних олій, тощо [371, 372, 373, 374, 375, 376]. Низький уміст сірки зменшує ефективність дії мінеральних добрив, а її внесення поряд з азотними добривами створює синергічний ефект і збільшує врожайність на 10–20 % [377]. Уміст сірки в орних ґрунтах коливається у межах 0,01–0,04 %, у рослинах – 0,02–1,8 %. Рослини споживають SO₄²⁻ іони – кореневою системою, у формі окисненої SO₂ сірки – листковою поверхнею з атмосфери. Виніс сірки з урожаєм коливається від 30 до 60 кг S на 1 га. Найвибагливішими до сірки культурами є: ріпак, гірчиця, капуста, ріпа, цибуля, часник. Ці культури щорічно виносять із урожаєм – 40–80 кг/га сірки [360, 377, 378].

Тренд профільного розподілу умісту органічної сірки (S_{орг}) в чорноземі типовому нагадував криві C_{орг}, N_{заг} та H_{заг} (рис.: 4.1–4.2, 4.4). Найбільший уміст сірки у 0–5 та 5–10 см шарах відзначався за RTu (0,05±0,001) % і (0,04±0,002) %, та DRTu (0,04±0,002) % і (0,04±0,003) %, у 10–20 см шарі – за STu (0,04±0,002) % і DRTu (0,04±0,006) %, у 40–100 см шарі – за DRTu (рис. 4.4 G і H). На глибині 20–40 см не спостерігалась істотна різниця за вмістом S_{орг} між досліджуваними технологіями. Тренди: C_{орг} : S_{орг}, N_{заг} : S_{орг} і C_{орг} : H_{заг} відношень (рис. 4.5) залежали від глибини і обробітку ґрунту. У цілому, варіант із оранкою мав найбільші значення C_{орг} : S_{орг}, N_{заг} : S_{орг} і C_{орг} : H_{заг}, що свідчить про найменшу частку сірки та водню у складі гумусу і відповідно меншу кількість речовин

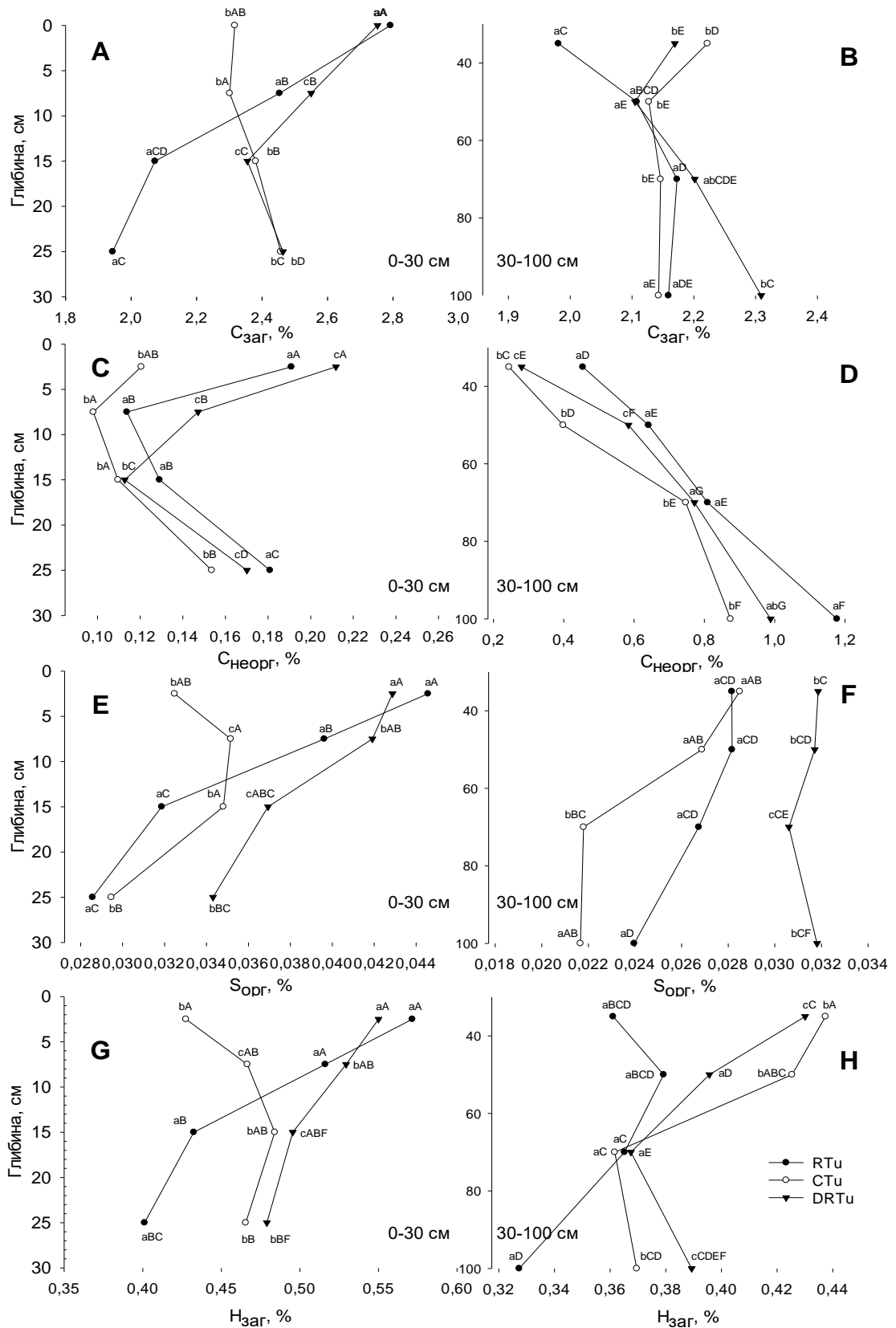


Рис. 4.4. Профільний розподіл $C_{заг}$, $C_{неорг}$, $S_{орг}$ і $H_{заг}$ у чорноземі типовому (середні значення за 2010–2015 рр., удобрення – солома 1,2 т/га + сидерати + $N_{12} + N_{78}P_{68}K_{68}$) за RTu, CTu і DRTu. Дослід № 1. a^b –різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою та шарами ґрунту

білкової природи і функціональних груп із C–S, C–N, C–H та S–H зв'язками у складі гумусу.

Водень відноситься до групи амофілів (активний повітряний мігрант земної атмосфери), входить до ряду елементів із максимальною біофільністю, а також складає групу конституційних елементів органічної речовини ґрунту [379]. Водень представлений у ґрунтах: ґрунтовою вологою, вугільною кислотою, органічними сполуками, кислими солями, гідроксильними іонами. Чим більше у ґрунтах/гумусі водневих атомів задіяних у: –C–H, –CH₂–, –CH₃, –OCH₃, H₃N–, H₂N–, H₃C–, H₂C–, –CH=CH₂, –CH=CH–, –OH та –COOH зв'язках тим буде вужчим співвідношення C_{орг} : H_{заг} і відповідно – більший уміст простих і ароматичних вуглеводів та альдегідів, азотовмісних гетероциклів, аліфатичних ланцюгів, амінокислот, тощо. Уміст загального водню ґрунту (H_{заг}) у 0–5 та 5–10 см шарах був найбільшим за Rtu: (0,58±0,01) % і (0,52±0,02) % та DRtu – (0,54±0,02) % і (0,53±0,02) % відповідно (рис. 4.5). У 10–20, 20–30, 30–40, 40–60 і 80–100 см шарах найбільший уміст водню був за DRtu та Ctu. У шарі 60–80 см не спостерігалось суттєвої різниці за умістом H_{заг} між технологіями. З глибиною, уміст H_{заг} найбільш стрімко зменшувався за Rtu. В той же час, співвідношення C_{орг} : H_{заг} за Rtu було найнижчим в усьому профілі: від 4,56±0,58 у 0–5 см шарі до 2,99±0,55 у 80–100 см шарі чорнозему типового (рис. 4.5). Даний факт свідчить про зв'язок вертикальної динаміки H_{заг} із C_{орг}. Насиченість гумусу воднем (вужке C_{орг} : H_{заг} відношення) вказує на більшу кількість водневих атомів задіяних у будові органічної речовини ґрунту. Цікавим виявився факт середньої та високої кореляційної залежності між відношеннями: C_{орг} : N_{заг} із C_{орг} : H_{заг}. Коефіцієнти кореляції склали: 0,73 (P = 0,491 · 10⁻⁷) – за Rtu, 0,64 (P = 0,699 · 10⁻⁶) – за Ctu і 0,04 (P = 0,864) – за DRtu. Кореляційні залежності із іншими параметрами інших показників ґрунту та відношень оцінювались як дуже слабкі і слабкі (додаток В 3). Дуже висока і висока «r» залежність спостерігалась між N_{заг} та відношенням H_{заг} : S_{орг}, яка відповідала значенням: 0,97 і 0,97 – для Rtu, 0,92 і 0,88 – для Ctu та 0,97 і 0,87 – для DRtu

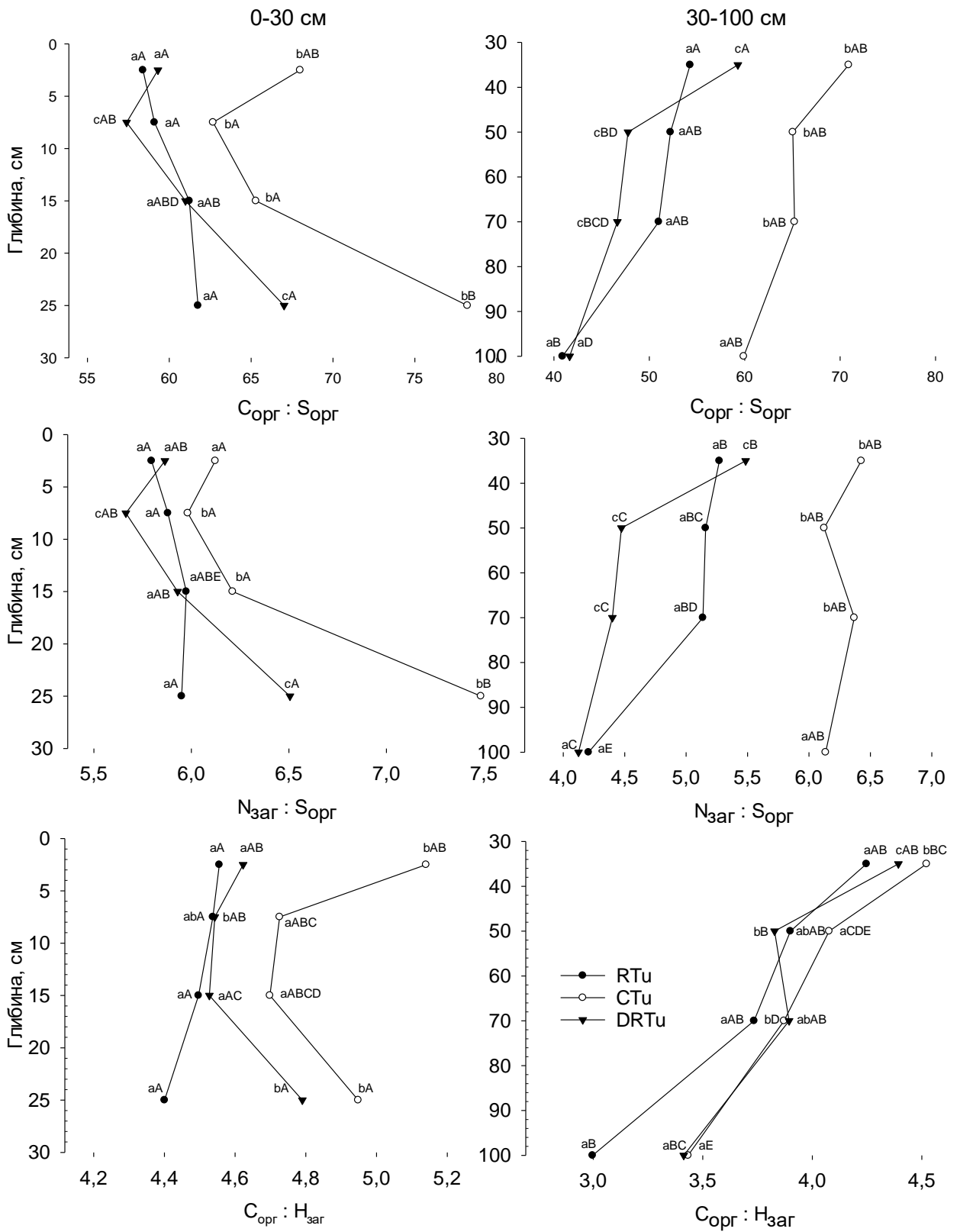


Рис. 4.5. Профільний розподіл відношень $C_{орг} : S_{орг}$, $N_{заг} : S_{орг}$, $C_{орг} : N_{заг}$ у чорноземі типовому (в середньому за 2010–2015 рр., удобрення – солома 1,2 т/га + сидерати + $N_{12} + N_{78}P_{68}K_{68}$) за RTu, CTu і DRTu. Дослід № 1. a^b –різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою та шарами ґрунту

відповідно. Високий кореляційний зв'язок між $C_{\text{орг}}$, $N_{\text{заг}}$, $H_{\text{заг}}$ і $S_{\text{орг}}$ вказують на конституційну роль даних елементів і їх тісний взаємозв'язок у структурі органічних речовин ґрунту і гумусу зокрема. Мольні відношення зазначених елементів вказують на найбільшу концентрацію водню у різних сполуках чорнозему типового порівняно з вуглецем, азотом та сіркою (додаток В 6). Частка вуглецю була більшою у 1,17 та 2,67 рази по відношенню до N і S і відповідно у 11,89 рази меншою стосовно H. Мольні співвідношення C : N, C : S, N : S і C : H змінювались (залежно від глибини та технологій обробітку ґрунту) у наступних діапазонах: 11,37–12,97; 40,90–78,21; 9,44–17,14 і 0,25–0,43 відповідно. Найбільш широке мольне співвідношення C : N спостерігалось на глибині 0–40 см – за CTu (12,97–12,86), 40–100 см – за DRTu (12,49). Найменший показник C : N у 0–20, 20–30 і 30–100 см шарах був за RTu, DRTu і RTu відповідно. За усіх технологій обробітку ґрунту, співвідношення C : S поступово збільшувалось від 0–5 до 20–30 см шару і зменшувалось у 80–100 см перехідному до ґрунтоутворюючої породи горизонті. N : S співвідношення було найменшим у 80–100 см шарі – за RTu ($9,63 \pm 1,00$) та DRTu ($9,44 \pm 1,63$) і у 5–10 см шарі – за CTu ($13,70 \pm 0,08$). Варіант із CTu переважав RTu та DRTu варіанти за C : H відношенням (збагаченістю воднем органічних сполук ґрунту) по всьому профілю: $0,43 \pm 0,04$; $0,40 \pm 0,04$; $0,39 \pm 0,04$; $0,42 \pm 0,01$; $0,38 \pm 0,01$; $0,34 \pm 0,04$; $0,33 \pm 0,02$ і $0,29 \pm 0,001$ у 0–5, 5–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–60, 60–80 і 80–100 см шарах відповідно.

Мольне (атомне) співвідношення C : N в ізогумусолях Хайлуня і Гуанґронґу збільшилось у 1,17 рази порівняно із співвідношенням їх масових часток $C_{\text{орг}}$: $N_{\text{заг}}$. В той же час, крива профільного розподілу C : N залишилась незмінною: співвідношення C : N зменшувалось від 0 до 15 см шару, поступово збільшувалось від 15 до 80 см шару і знову зменшувалось у 80–100 см шарі (додатки: В 7 – В 8). Варіанти із Fst, Ab і NT мали найкращі значення щодо збагаченості гумусу азотом. Найбільш широке відношення C : N спостерігалось за чорного пару.

4.2. Запаси гумусу у метровому шарі чорнозему типового та ізогумусолях

Запаси гумусу є одним із п'яти основних критеріїв, які визначають потенційну родючість ґрунтів. Підтримання певного рівня запасів гумусу є обов'язковою умовою збереження і відтворення органічної речовини ґрунтів. Потенційна здатність ґрунтів екосистем до нагромадження запасів гумусу зменшується від багаторічних трав до лісових екосистем, пасовищ, орних ґрунтів і деградованих земель [350]. Збільшення запасів гумусу сприяє покращенню якості ґрунтів, підвищує їх продуктивність, посилює стійкість екосистемних функцій ґрунтів до змін клімату, активізує реабілітаційні механізми відновлення ґрунтів. Зважаючи на залежність утворення ґрунтів від впливу макрофакторів, динаміка запасів гумусу в генетичному ґрунтознавстві може бути виражена функцією таких факторів, як: – уміст та біохімічна якість (співвідношення C : N) рослинного і тваринного матеріалу; – гідротермічні умови (температура, вологість, ГТК); форма, крутизна, експозиція і висота рельєфних морфоскульптур; – мінералогічний і гранулометричний склад ґрунтотворних порід; – тривалість впливу факторів; – характер і інтенсивність антропогенного впливу на ґрунт [365]. У результаті активного використання ґрунтів у орному землеробстві, запаси органічної речовини ґрунту знижуються, а гумус консервується і переходить у квазірівноважний стан. За надмірного і тривалого внесення у ґрунт органічних добрив та матеріалів, у ґрунтах відбувається експонентна акумуляція, стабілізація і насиченість органічним вуглецем на новому екологічному рівні розвитку ґрунтового профілю [380]. За даними М. І. Лактіонова та ін. [381], вміст гумусу стабілізується після 100 річного використання чорнозему типового.

Проведені нами дослідження описують запаси гумусу у стаціонарному стані природних екосистем Китаю, майже сформовані запаси гумусу агрофонів чорнозему типового і запаси гумусу за активної стадії еволюції у орних ізогумусолях Китаю. Усі досліджувані ґрунти мали гумусово-акумулятивний

перерозподіл запасів гумусу по профілю характерний для чорноземів. У чорноземі типовому ґрунтозахисні технології обробітку ґрунту сформували найбільший уміст гумусу у верхньому 0–20 см шарі, який на фоні вищих параметрів щільності складення сформував більші запаси гумусу за даних технологій (рис.: 4.6–4.7 А). У верхніх 0–5 і 5–10 см шарах чорнозему типового найбільші запаси гумусу були за RTu: $(23,5 \pm 2,4)$ і $(23,6 \pm 0,2)$ т/га – за варіанту 1, $(25,7 \pm 1,2)$ і $(24,8 \pm 0,2)$ т/га – за варіанту 3, $(26,1 \pm 1,00)$ і $(25,4 \pm 0,6)$ т/га – за варіанту 5 відповідно (рис. 4.6). У шарі 10–20 см перевагу мав глибокий безполицевий обробіток ґрунту: $(48,3 \pm 0,1)$, $(49,6 \pm 1,5)$ і $(50,6 \pm 0,4)$ т/га – у варіантах 1, 3 і 5 відповідно. За оранки, на фоні меншої ніж за RTu і DRTu щільності складення сформувалось більше запасів гумусу у 20–60 см шарі. В цілому, у 0–20 см шарі ґрунту, за мілкою безполицевою обробітку ґрунту нагромаджувалось більше запасів гумусу на: 0,2–9,4 т/га порівняно із СТu і DRTu – у варіантах 1, 3 і 5 (рис. 4.7 А). Запаси гумусу за СТu у 0–100 см шарі були найвищими, але вони істотно не відрізнялись від інших технологій обробітку ґрунту (рис. 4.7). За внесення добрив запаси гумусу збільшились на: 2,2 і 5,5 т/га – за RTu; 0,9 і 6,6 т/га – за СТu; 3,0 і 7,0 т/га – за DRTu у 0–20 см шарі та 7,9 і 27,1 т/га – за RTu; 7,0 і 27,7 т/га – за СТu; 12,6 і 32,9 т/га – за DRTu у 0–100 см шарі ґрунту варіантів 3 і 5 відповідно.

Профільний розподіл запасів гумусу в ізогумусолях залежав від способів обробітку ґрунту і характеру їх використання (рис.: 4.8–4.11). В умовах еродованого ізогумусолю найкращими щодо гумусозбереження показали себе:

1. Переліг: $(30,4 \pm 1,4)$ і $(31,6 \pm 0,7)$ т/га – у 0–5 та 5–10 см шарах;
2. Ґрунтозахисний обробіток поперек схилу: $(27,8 \pm 1,2)$ і $(26,9 \pm 0,5)$ т/га – у 10–15 та 15–20 см шарах;
3. 18 річні насадження тополі білої: $(89,9 \pm 1,57)$, $(58,6 \pm 0,16)$, $(48,5 \pm 0,5)$ т/га – у 20–40, 60–80 та 80–100 см шарах;
4. Оранка $(72,6 \pm 1,8)$ т/га – у 40–60 см шарі. На плакорі, за no-till та перелогу сформувались найбільші запаси гумусу: $(32,5 \pm 0,7)$, $(30,9 \pm 1,0)$, $(105,9 \pm 2,3)$, $(82,6 \pm 4,2)$ і $(52,7 \pm 0,6)$ т/га – за Ab у

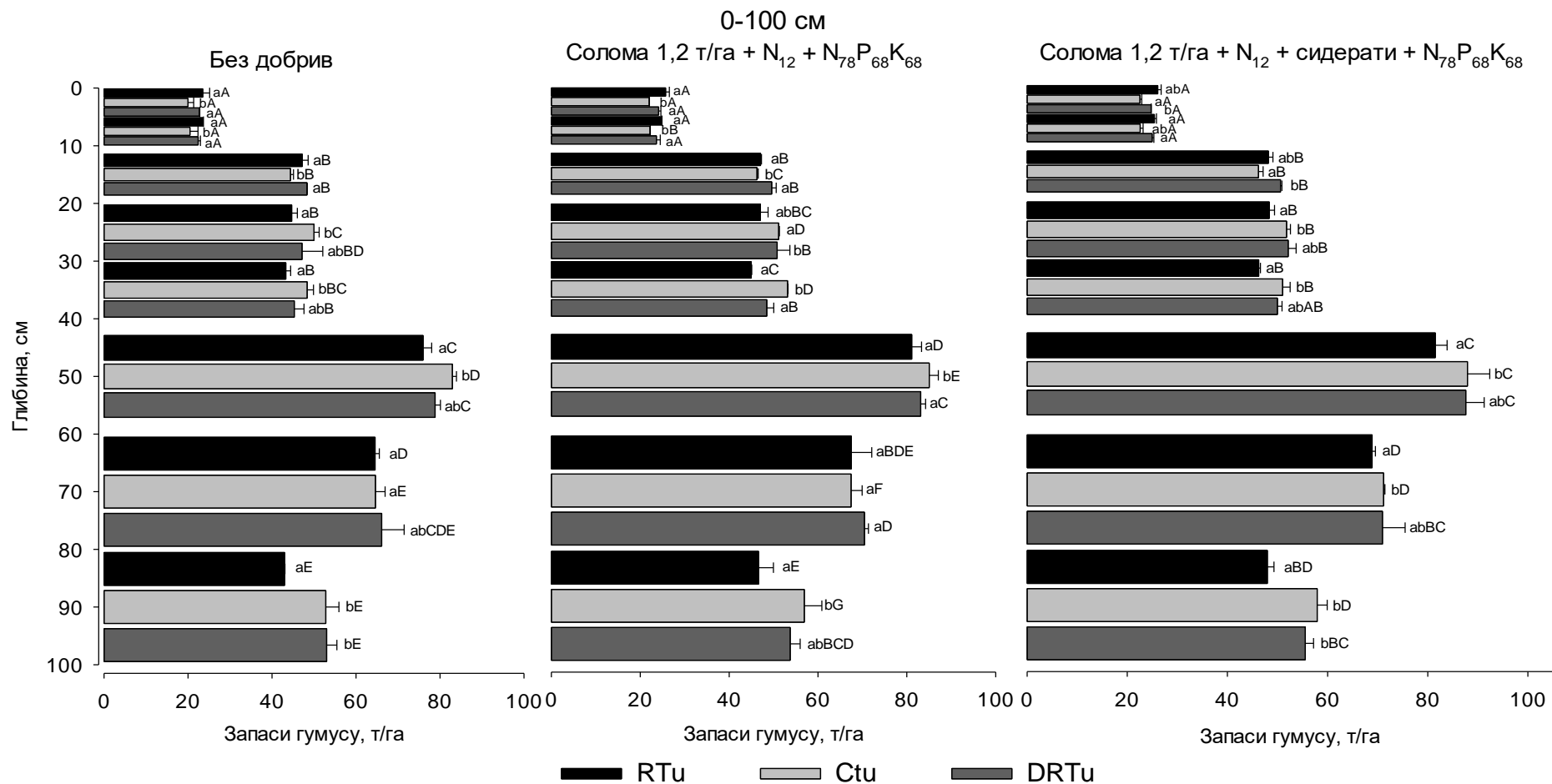


Рис. 4.6. Профільний розподіл запасів гумусу чорнозему типового за використання мілкого безполицевого обробітку (RTu), оранки (CtU) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu) (середні значення за 2010–2015 рр., дослід № 1).
^{ab}—різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту

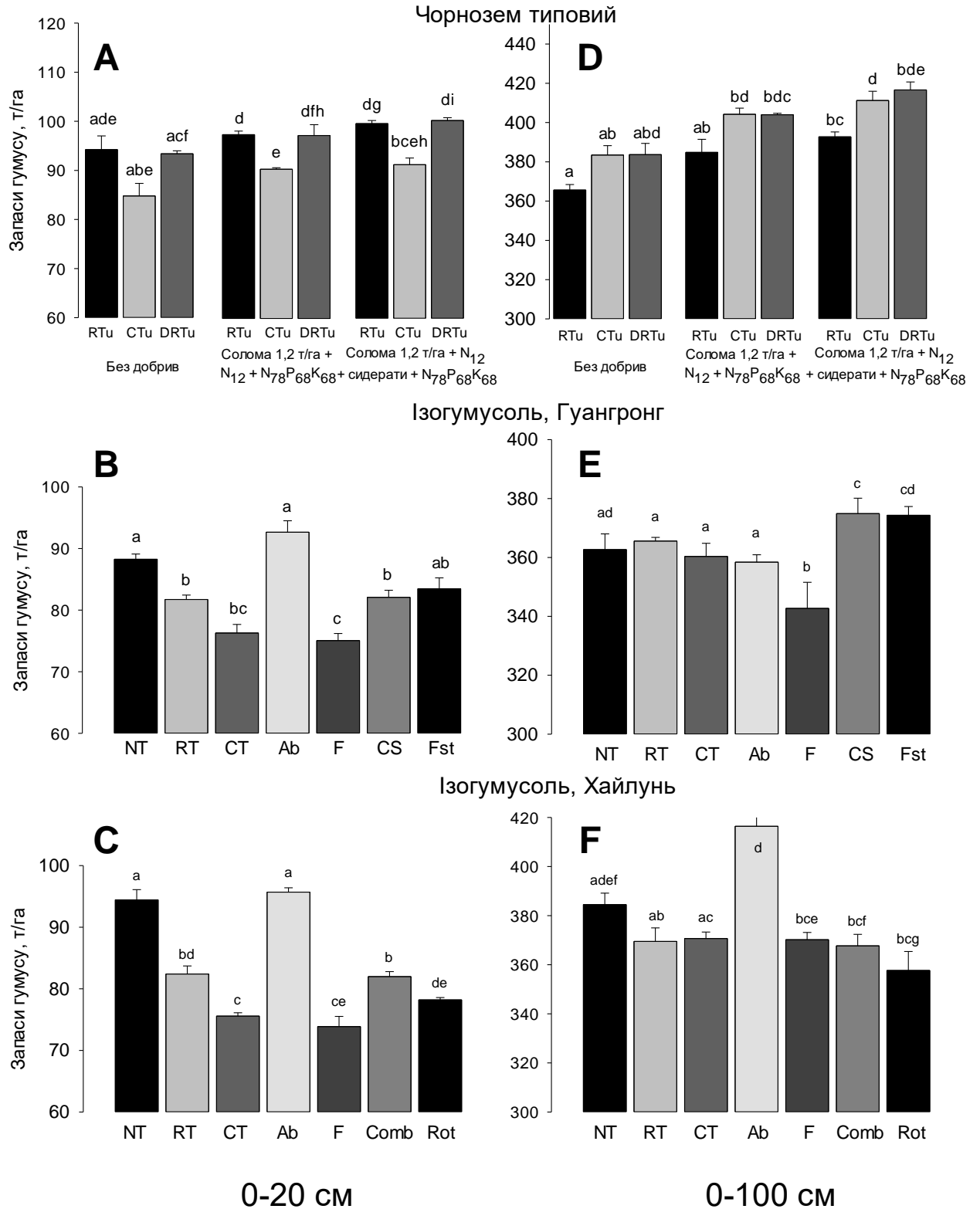


Рис. 4.7. Запаси гумусу у 0–20 (А, В, С) і 0–100 (D, Е, F) см шарах чорнозему типового, ізогумусолях Гуангронгу та Хайлуня за CT, NT, Rot, RT, Comb, RT, CS, Fst, Ab, F, RTu, CTu і DRTu. ^{ab}–різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту

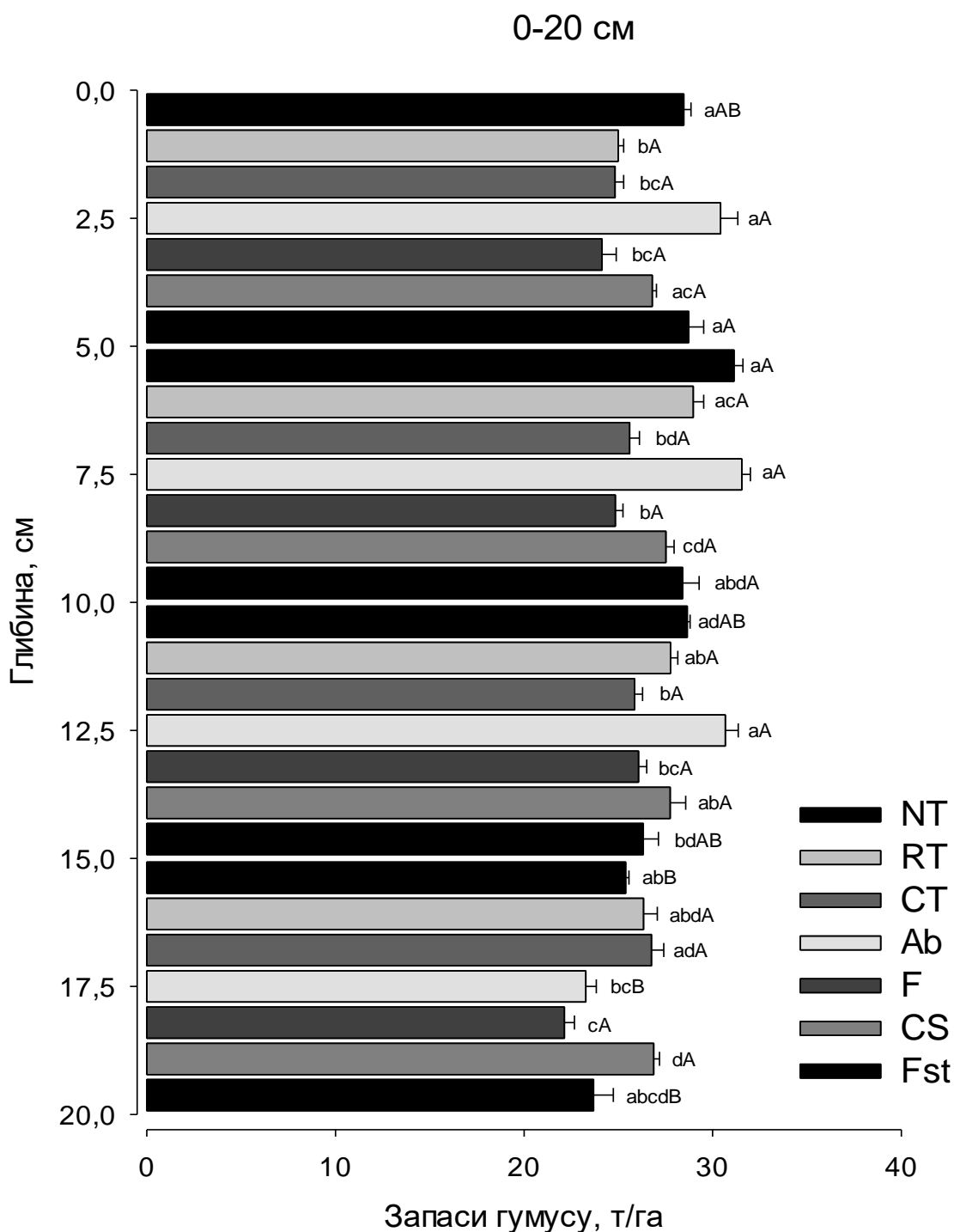


Рис. 4.8. Профільний розподіл запасів гумусу у 0–20 см шарі ізогумусоля за використання: оранки (CT), no-till (NT), безпліцевої обробітки (RT), обробітку поперек схилу (CS), чорного пару (F), перелугу (Ab), лісу (Fst, 18 років) (середні значення за 2010–2014 рр., дослід № 2). Удобрення: $N_{95}P_{51,75}K_{15}$.
^{aB}—різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою та шарами ґрунту

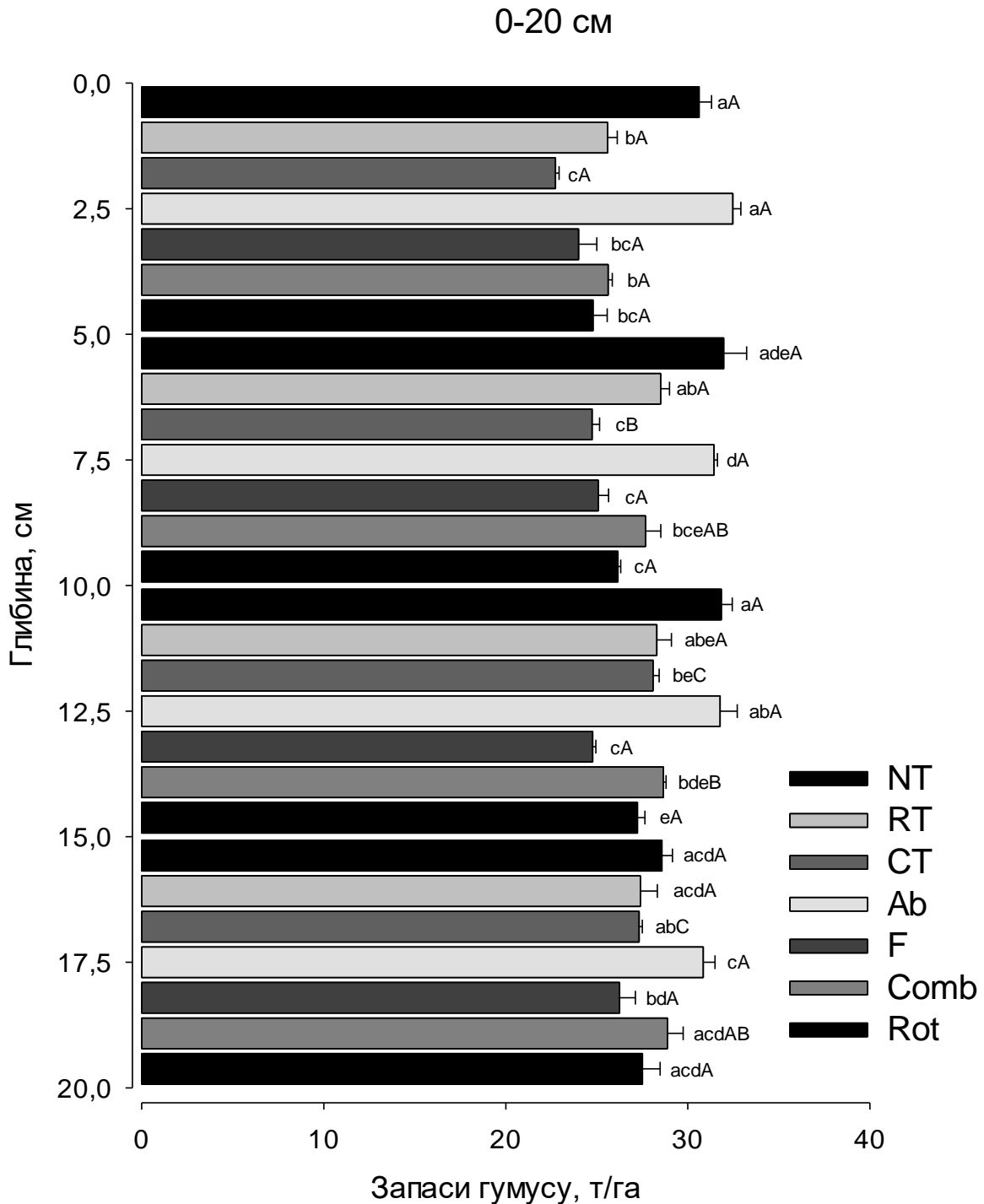


Рис. 4.9. Профільний розподіл запасів гумусу у 0–20 см шарі ізогумусоля за використання: оранки (CT), no-till (NT), роторного (Rot), безполицевого (RT) і комбінованого (Comb) обробітків ґрунту та за чорного пару (F, 25 років) і перелугу (Ab, 25 років) (середні значення за 2010–2014 рр., дослід № 3). Удобрення: $N_{95}P_{51,75}K_{15}$. ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту

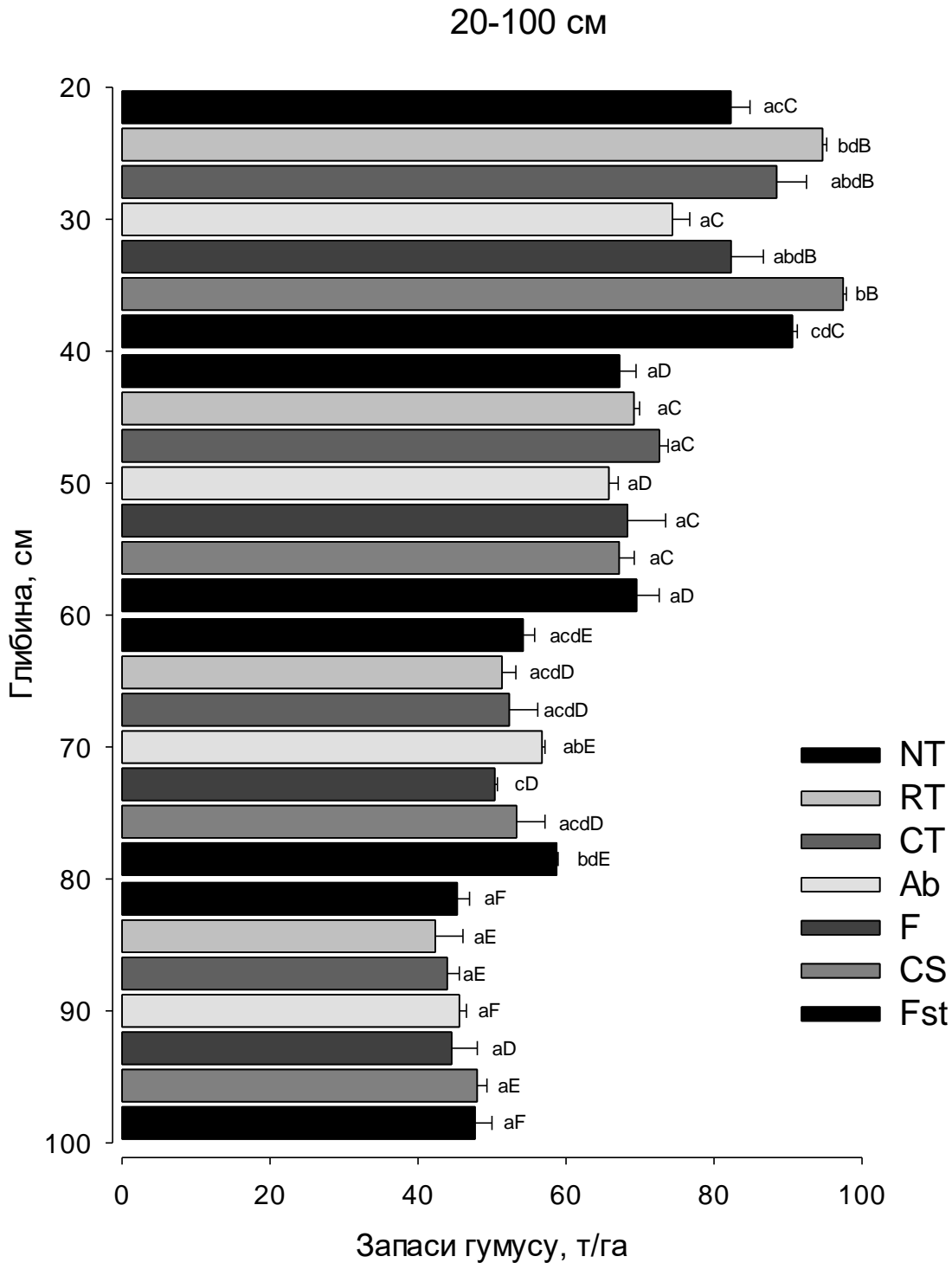


Рис. 4.10. Профільний розподіл запасів гумусу у 20–100 см шарі ізогумусоля за використання: оранки (CT), no-till (NT), безполицевого обробітку (RT), обробітку поперек схилу (CS), чорного пару (F), перелогу (Ab), лісу (Fst, 18 років) (середні значення за 2010–2014 рр., дослід № 3). Удобрення: $N_{95}P_{51,75}K_{15}$.
^{aB}—різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту

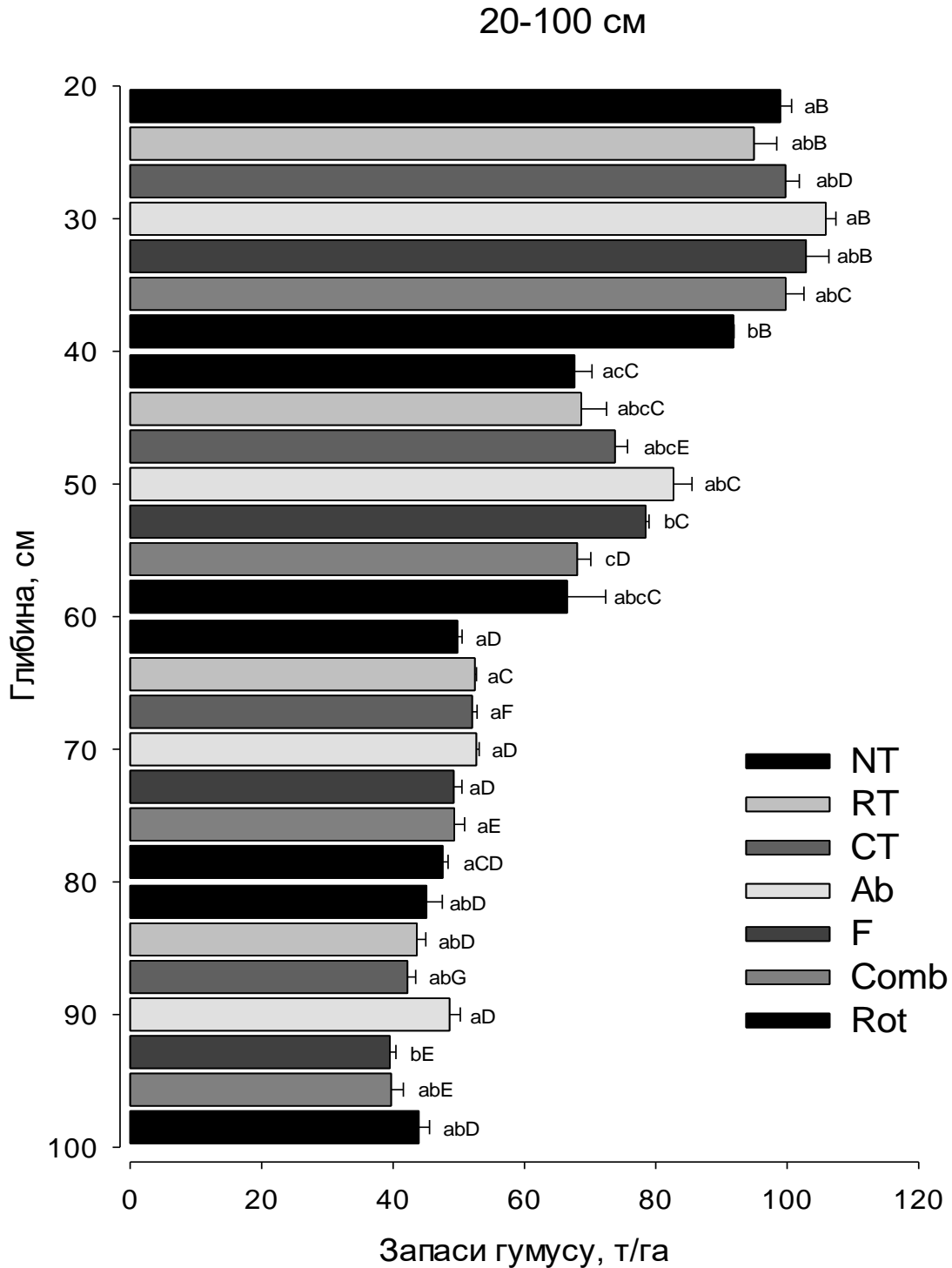
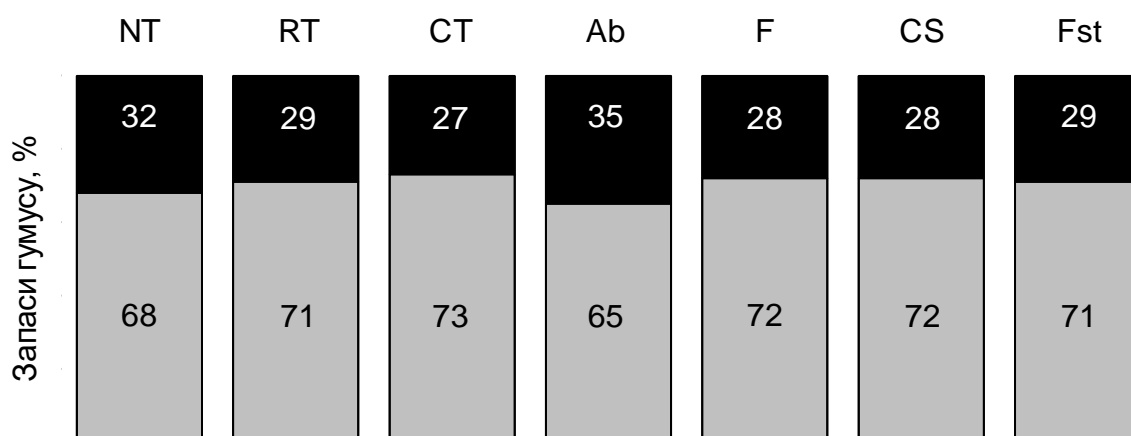


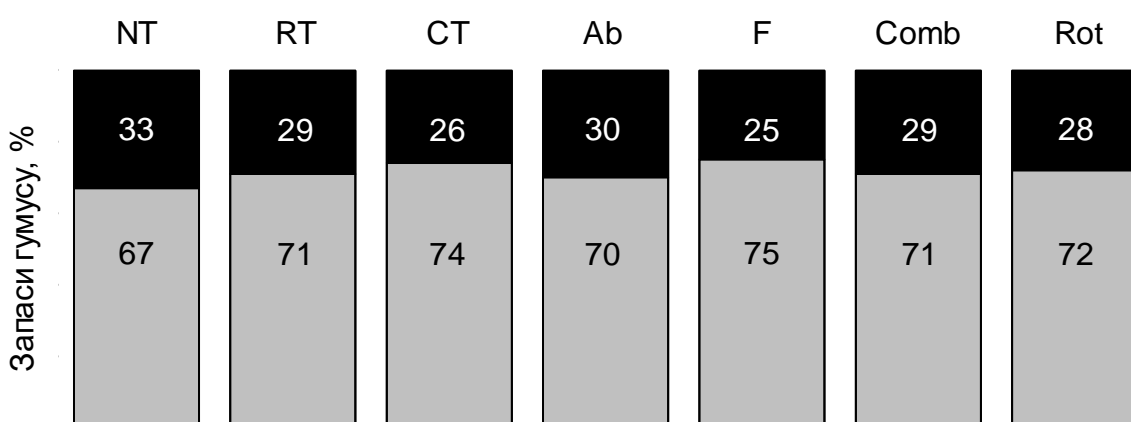
Рис. 4.11. Профільний розподіл запасів гумусу у 20–40 см шарі ізогумусоля за використання: оранки (CT), no-till (NT), роторного (Rot), безполицевого (RT) і комбінованого (Comb) обробітків ґрунту та за чорного пару (F, 25 років) і перелогу (Ab, 25 років) (середні значення за 2010–2014 рр., дослід № 2). Удобрення: N₉₅P_{51,75}K₁₅. ^{aB}—різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту

0–5, 15–20, 20–40, 40–60 і 60–80 см шарах; $(32,0 \pm 0,9)$, $(31,9 \pm 0,9)$, $(45,1 \pm 3,6)$ т/га – за NT у 5–10; 10–15 та 80–100 см шарах відповідно. В цілому, у 0–20 см шарі ізогумусолів найбільші запаси гумусу сформувались за no-till та перелогу, у 20–100 см шарі: за CS і Fst – в еродованому, Ab та NT – у модальному ізогумусолях (рис. 4.7 В, С, Е, F).

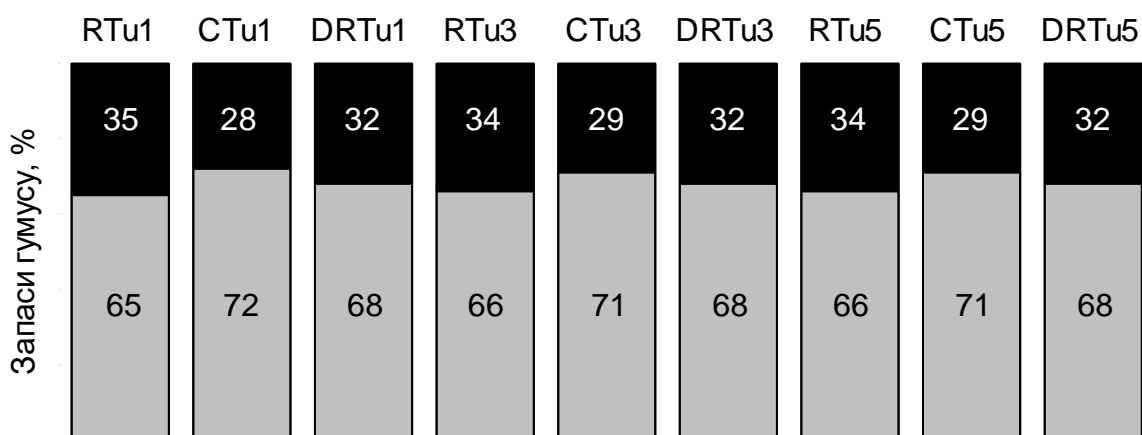
Характер профільного розподілу запасів гумусу у метровій товщі ґрунтів можна також визначити за масовою часткою запасів гумусу 0–20 см шару. За даними R. Harrison et al. [382] у шарі 0–20 см концентрується 23–73 % органічного вуглецю ґрунту. Дослідження 2073 ґрунтових профілів різних кліматичних зон виконаних E. Jobbágy and R. Jackson [383] показали, що запаси органічного вуглецю у 0–20 см шарі ґрунтів складають 33–50 % від його запасів у метровому шарі. На основі обстежень 496 профілів європейських ґрунтів R. Niederer [384] встановив високу залежність ($C_{\text{орг}(0-100)} = 0,54 \cdot C_{\text{орг}(0-30)}$; $r^2 = 0,87$) між запасами органічного вуглецю у шарі 0–30 см і його запасами у метровій товщі мінеральних ґрунтів. Наші дослідження показали, що частка запасів гумусу 0–20 см шару у метровому шарі залежала від способу обробітку та використання ґрунтів і майже не залежала від удобрення (рис. 4.12). Найбільша частка 0–20 см запасів гумусу у метровому шарі була відмічена за: перелогу (30–35 %) та no-till (32–33 %) – в ізогумусолях та RTu (34–35 %) – у чорноземі типовому. Найменші показники показала оранка: 26–27 % – в ізогумусолі, 27–28 % – у чорноземі типовому та чорний пар – 25–28% – в ізогумусолях. За молодого лісу, обробітку ґрунту поперек схилу, безполицевого, комбінованого і ротаційного обробітку ґрунту, вищезгадана частка 0–20 см запасів гумусу була майже на однаковому рівні – 28–29 %. Відповідно до одержаних нами даних, запаси гумусу у 0–20 см шарі ізогумусолів можуть бути приблизно розраховані шляхом множення 0–100 см запасів гумусу на наступні коефіцієнти: 0,24–0,25 – для NT; 0,21 – для СТ; 0,23–0,26 – для Ab; 0,20–0,22 – для F; 0,22 – для RT, CS, Comb, Rot і Fst відповідно. Для чорнозему типового зазначені коефіцієнти відповідають: 0,25–0,26 – для Rtu; 0,22 – для Ctu і 0,24 – для DRTu відповідно.



Дослід № 3



Дослід № 2



Дослід № 1

■ 0-20 см □ 20-100 см

Рис. 4.12. Частка 0–20 та 20–100 см запасів гумусу в ізогумусолях Гуангронгу (a) та Хайлуня (b), у чорноземі типовому (c) за CT, NT, Rot, RT, Comb, RT, CS, Fst, Ab, F, RTu, CTu і DRTu. 1 – без добрив, 3 - Солома 1,2 т/га + N₁₂ + N₇₈P₆₈K₆₈, 5 - Солома 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈

4.3. Груповий та фракційний склад гумусу чорнозему типового та ізогумусолю

Груповий та фракційний склад гумусу є відносно стабільним показником, який характеризує генетичні якісні особливості ґрунту, які формуються протягом педогенезу під дією природних екосистемних факторів, умов і процесів, а родючість ґрунтів забезпечується всією системою гумусових речовин. Співвідношення фракцій гумусу: $C_{ГК1}+C_{ФК(1a+1)}/C_{(ГК+ФК)2+3}$, $C_{ГК1}/C_{ГК(2+3)}$, $C_{ГК(1+3)}/C_{ГК2}$, $C_{ГК1}/C_{ФК1}$ та $C_{ГК2}/C_{ФК2}$ дає можливість охарактеризувати тип фракційного розподілу, інтенсивність процесу новоутворення та формування рухомих гумінових кислот, інтенсивність полімеризації гумусових структур і формування гуматів [36, 385]. За сільськогосподарського використання ґрунтів основне навантаження на забезпечення ефективної родючості ґрунтів лягає передусім на такі компоненти гумусу як лабільні і легкі фракції, що відповідно призводить до зміни природного відношення груп та фракцій у складі гумусу. За даними В. В. Дегтярьова [179], D. McCallister and W. Chien [386], В. В. Пономаревої та Т. А. Плотникової [387], G. Moraes et al. [388], розорювання цілинних ґрунтів розширює співвідношення $C_{ГК}/C_{ФК}$, збільшує частку гумусових речовин пов'язаних із кальцієм, зменшує уміст негідролізуючого залишку. За мінімального обробітку ґрунту та no-till збільшується уміст амінокислот та високомолекулярних фракцій у складі ГК [38, 39], зростає уміст гуміну [40]. Натомість, M. Gonzalez-Perez et al. [389] вважають, що якісний склад гумусу суттєво не змінюється за антропогенного використання ґрунтів. Т. Ohno et al. [390], застосовуючи флуоресцентну спектроскопію та паралельний факторний аналіз (PARAFAC), відмітили істотні зміни у структурних компонентах лабільних фракцій гумусу і їх відсутність у ГК і ФК під впливом мінеральних і органічних добрив та за застосування різного обробітку ґрунту та сівозмін.

Результати наших досліджень показують істотний вплив різних технологій обробітку ґрунту на профільний уміст $C_{орг}$, розподіл груп і фракцій гумусу чорнозему типового і ізогумусолю. Найбільший уміст ГК у 0–5 та 15–20 см

шарах був за: NT і Ab – в ізогумусолях, RTu і DRTu – у чорноземі типовому (табл.: 4.2–4.4). На глибині 20–40 і 60–100 см найбільше ГК нагромаджувалось за RT, Ab і STu – в ізогумусолі Гуангронгу, Хайлуня і чорноземі типовому відповідно. Найбільша частка у структурі ГК належала фракції 2, масова частка якої складала: 22,4–29,6 % – в ізогумусолі Гуангронгу, 22,3–30,2 % – в ізогумусолі Хайлуня і 21,2–28,8 % – у чорноземі типовому. Масова частка ФК-2 у чорноземі типовому (9,2–13,1 %) була значно вищою за відповідну фракцію в ізогумусолі Гуангронгу (2,2–8,9 %) і Хайлуня (3,2–7,7 %). Натомість, китайський ізогумусоль забезпечував значно більший уміст фракцій GK₁ і FK₁, який у 0–100 см шарі складав: 0,08 та 0,16 % – в ізогумусолі Гуангронгу, 0,10 та 0,15 % – в ізогумусолі Хайлуня проти 0,09 та 0,05 % – у чорноземі типовому. Співвідношення C_{ГК} : C_{ФК} було найбільшим за чорного пару (1,87–2,21 та 1,91–2,28) – в ізогумусолях Гуангронгу та Хайлуня і за STu (1,96–2,09) – у чорноземі типовому. Найвужче C_{ГК} : C_{ФК} відношення забезпечували: NT (1,28–1,75 і 1,59–2,10) – в ізогумусолях Гуангронгу та Хайлуня і за RTu (1,89–2,09) – у чорноземі типовому.

На думку багатьох вчених і зокрема А. Д. Балаєва та ін. [391], В. Пономаревої та Т. Плотникової [387], J. Balesdent et al. [392] ефективна родючість орних ґрунтів визначається передусім умістом рухомих гумусових речовин. Ці речовини переважно представлені: мікробною біомасою, продуктами мінералізації органічних решток, цукрами, амінокислотами, водо- і солерозчинними органічними сполуками із вузьким співвідношенням C : N, дискретною органічною речовиною крупних гранулометричних фракцій, вільними неагрегованими органічними сполуками, тощо [393, 394, 395]. Застосування по-till та безполицевих технологій обробітку ґрунту, порівняно із оранкою, сприяло більшому нагромадженню GK₁ фракції гумінових кислот у 0–20 см шарі на: 0,1–0,2 % – за RTu і DRTu у чорноземі типовому, 0,1–0,5 % –

Таблиця 4.2

Профільний розподіл групового і фракційного складу гумусу в ізогумусолі за його різного використання. Удобрення: N₉₅P_{51,75}K₁₅ (середні значення за 2010–2012 рр., дослід № 3). Різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою та шарами ґрунту

Глибина, см	Гумус, %	C _{орг} , %	ГК					ФК						Гумін		Сгк/Сфк	
			Фракції			сума	АРА стат.	Фракції				сума	АРА стат.	уміст	АРА стат.	віднош.	АРА стат.
			1	2	3			1a	1	2	3						
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
No-till (NT)																	
0-5	4,63	2,69	<u>0,22</u> 8,25	<u>0,64</u> 23,79	<u>0,14</u> 5,34	<u>1,00</u> 37,38	aA	<u>0,12</u> 4,57	<u>0,24</u> 9,02	<u>0,09</u> 3,40	<u>0,12</u> 4,37	<u>0,57</u> 21,36	aA	<u>1,12</u> 41,26	abA	1,75	abA
15-20	3,89	2,25	<u>0,15</u> 6,65	<u>0,60</u> 26,62	<u>0,10</u> 4,44	<u>0,85</u> 37,71	acB	<u>0,10</u> 4,49	<u>0,18</u> 7,93	<u>0,07</u> 3,11	<u>0,11</u> 4,88	<u>0,46</u> 20,41	aB	<u>0,94</u> 41,88	aB	1,85	aA
20-40	2,90	1,68	<u>0,10</u> 5,95	<u>0,50</u> 29,76	<u>0,07</u> 4,07	<u>0,67</u> 39,78	aC	<u>0,07</u> 3,96	<u>0,10</u> 6,16	<u>0,06</u> 3,57	<u>0,11</u> 6,50	<u>0,34</u> 20,19	abC	<u>0,67</u> 40,03	aC	1,97	aA
40-60	2,53	1,47	<u>0,05</u> 3,41	<u>0,42</u> 28,62	<u>0,05</u> 3,41	<u>0,52</u> 35,44	abD	<u>0,06</u> 3,98	<u>0,09</u> 6,24	<u>0,06</u> 4,09	<u>0,08</u> 5,45	<u>0,29</u> 19,76	abD	<u>0,66</u> 44,80	acC	1,79	aA
60-80	1,88	1,09	<u>0,03</u> 2,30	<u>0,28</u> 25,72	<u>0,04</u> 3,67	<u>0,35</u> 31,69	aE	<u>0,05</u> 4,25	<u>0,06</u> 5,85	<u>0,07</u> 5,97	<u>0,06</u> 5,51	<u>0,24</u> 21,58	aE	<u>0,50</u> 46,73	D	1,47	aB
80-100	1,48	0,86	<u>0,02</u> 2,34	<u>0,21</u> 24,53	<u>0,03</u> 2,94	<u>0,26</u> 29,81	aF	<u>0,05</u> 5,53	<u>0,06</u> 3,82	<u>0,07</u> 8,18	<u>0,05</u> 5,84	<u>0,20</u> 23,37	aF	<u>0,40</u> 46,82	aE	1,28	aC

Продовження табл. 4.2

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
Безполицейвий обробіток (RT)																	
0-5	4,21	2,44	<u>0,20</u> 8,20	<u>0,56</u> 22,95	<u>0,12</u> 4,76	<u>0,88</u> 35,91	<i>bA</i>	<u>0,10</u> 3,81	<u>0,19</u> 7,84	<u>0,09</u> 3,70	<u>0,10</u> 4,23	<u>0,48</u> 19,58	<i>bA</i>	<u>1,08</u> 44,51	<i>aA</i>	1,83	<i>abA</i>
15-20	3,94	2,28	<u>0,15</u> 6,57	<u>0,54</u> 23,63	<u>0,11</u> 4,82	<u>0,80</u> 35,02	<i>abB</i>	<u>0,09</u> 4,07	<u>0,15</u> 6,44	<u>0,07</u> 3,06	<u>0,12</u> 5,25	<u>0,43</u> 18,82	<i>bB</i>	<u>1,05</u> 46,16	<i>bB</i>	1,86	<i>aA</i>
20-40	3,29	1,91	<u>0,09</u> 4,33	<u>0,53</u> 27,78	<u>0,08</u> 4,19	<u>0,69</u> 36,30	<i>aC</i>	<u>0,08</u> 4,42	<u>0,11</u> 5,54	<u>0,07</u> 3,67	<u>0,11</u> 5,77	<u>0,37</u> 19,40	<i>aC</i>	<u>0,85</u> 44,30	<i>bcC</i>	1,87	<i>aA</i>
40-60	2,56	1,49	<u>0,04</u> 2,70	<u>0,44</u> 29,58	<u>0,05</u> 3,36	<u>0,53</u> 35,64	<i>aD</i>	<u>0,06</u> 4,22	<u>0,09</u> 5,86	<u>0,07</u> 4,71	<u>0,09</u> 6,05	<u>0,31</u> 20,84	<i>aD</i>	<u>0,65</u> 43,52	<i>aD</i>	1,71	<i>aAB</i>
60-80	1,94	1,13	<u>0,03</u> 2,67	<u>0,31</u> 27,51	<u>0,04</u> 3,55	<u>0,38</u> 33,73	<i>bE</i>	<u>0,05</u> 4,44	<u>0,06</u> 5,32	<u>0,08</u> 7,10	<u>0,07</u> 6,21	<u>0,26</u> 23,07	<i>aDE</i>	<u>0,49</u> 43,20	<i>aE</i>	1,46	<i>aBC</i>
80-100	1,35	0,79	<u>0,02</u> 2,55	<u>0,21</u> 26,74	<u>0,03</u> 3,61	<u>0,26</u> 32,90	<i>aF</i>	<u>0,05</u> 6,41	<u>0,03</u> 3,78	<u>0,07</u> 8,91	<u>0,07</u> 8,43	<u>0,22</u> 27,53	<i>aE</i>	<u>0,31</u> 39,57	<i>bF</i>	1,19	<i>aC</i>
Оранка (СТ)																	
0-5	3,99	2,32	<u>0,17</u> 7,34	<u>0,52</u> 22,44	<u>0,10</u> 4,32	<u>0,79</u> 34,10	<i>cA</i>	<u>0,05</u> 2,19	<u>0,19</u> 8,17	<u>0,05</u> 2,16	<u>0,11</u> 4,76	<u>0,40</u> 17,28	<i>cAB</i>	<u>1,13</u> 48,62	<i>bA</i>	1,97	<i>aAC</i>
15-20	4,00	2,32	<u>0,14</u> 5,82	<u>0,52</u> 22,63	<u>0,11</u> 4,53	<u>0,77</u> 32,98	<i>bdA</i>	<u>0,08</u> 3,29	<u>0,15</u> 6,63	<u>0,08</u> 3,23	<u>0,10</u> 4,09	<u>0,40</u> 17,24	<i>cA</i>	<u>1,15</u> 49,78	<i>cA</i>	1,91	<i>aA</i>
20-40	3,01	1,75	<u>0,06</u> 3,43	<u>0,44</u> 25,17	<u>0,05</u> 3,10	<u>0,55</u> 31,70	<i>bB</i>	<u>0,08</u> 4,13	<u>0,08</u> 4,44	<u>0,09</u> 5,15	<u>0,09</u> 5,15	<u>0,33</u> 18,87	<i>abB</i>	<u>0,87</u> 49,43	<i>bB</i>	1,68	<i>aBD</i>
40-60	2,66	1,54	<u>0,03</u> 1,95	<u>0,42</u> 27,27	<u>0,04</u> 2,60	<u>0,49</u> 31,82	<i>abcC</i>	<u>0,05</u> 3,18	<u>0,09</u> 5,90	<u>0,06</u> 3,90	<u>0,07</u> 4,55	<u>0,27</u> 17,53	<i>bcC</i>	<u>0,78</u> 50,65	<i>bC</i>	1,81	<i>aBC</i>
60-80	1,97	1,14	<u>0,02</u> 1,75	<u>0,31</u> 27,18	<u>0,03</u> 2,63	<u>0,36</u> 31,56	<i>abdD</i>	<u>0,05</u> 4,23	<u>0,06</u> 5,41	<u>0,05</u> 4,38	<u>0,06</u> 5,27	<u>0,22</u> 19,29	<i>abdD</i>	<u>0,56</u> 49,15	<i>bD</i>	1,64	<i>abdD</i>
80-100	1,36	0,79	<u>0,01</u> 1,47	<u>0,23</u> 29,08	<u>0,02</u> 2,94	<u>0,26</u> 33,49	<i>aE</i>	<u>0,03</u> 5,40	<u>0,06</u> 7,23	<u>0,05</u> 5,88	<u>0,05</u> 5,88	<u>0,19</u> 24,41	<i>abdD</i>	<u>0,34</u> 42,10	<i>bE</i>	1,37	<i>aDE</i>

Продовження табл. 4.2

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
Переліг (Ab)																	
0-5	4,89	2,84	$\frac{0,20}{7,11}$	$\frac{0,66}{23,11}$	$\frac{0,16}{5,78}$	$\frac{1,02}{36,00}$	aA	$\frac{0,12}{4,36}$	$\frac{0,18}{6,31}$	$\frac{0,08}{2,82}$	$\frac{0,19}{6,67}$	$\frac{0,57}{20,15}$	aA	$\frac{1,25}{43,85}$	cA	1,79	bA
15-20	4,29	2,49	$\frac{0,14}{5,63}$	$\frac{0,60}{24,12}$	$\frac{0,12}{4,82}$	$\frac{0,86}{34,57}$	cB	$\frac{0,11}{4,23}$	$\frac{0,15}{6,22}$	$\frac{0,07}{2,81}$	$\frac{0,14}{5,63}$	$\frac{0,47}{18,89}$	abB	$\frac{1,16}{46,54}$	cB	1,83	abA
20-40	2,62	1,52	$\frac{0,08}{5,26}$	$\frac{0,40}{26,32}$	$\frac{0,08}{5,26}$	$\frac{0,56}{36,84}$	bC	$\frac{0,08}{5,42}$	$\frac{0,06}{3,79}$	$\frac{0,06}{3,95}$	$\frac{0,09}{5,92}$	$\frac{0,29}{19,08}$	bC	$\frac{0,67}{44,08}$	aC	1,93	aA
40-60	2,44	1,41	$\frac{0,05}{3,54}$	$\frac{0,38}{26,87}$	$\frac{0,06}{4,24}$	$\frac{0,49}{34,65}$	bcD	$\frac{0,07}{5,13}$	$\frac{0,06}{4,06}$	$\frac{0,06}{4,24}$	$\frac{0,08}{5,66}$	$\frac{0,27}{19,09}$	cC	$\frac{0,65}{46,26}$	aC	1,81	aA
60-80	2,11	1,23	$\frac{0,03}{2,45}$	$\frac{0,30}{24,46}$	$\frac{0,05}{4,08}$	$\frac{0,38}{30,99}$	abE	$\frac{0,07}{5,35}$	$\frac{0,05}{4,44}$	$\frac{0,06}{4,89}$	$\frac{0,07}{5,71}$	$\frac{0,25}{20,39}$	aC	$\frac{0,60}{48,62}$	cD	1,52	aB
80-100	1,47	0,85	$\frac{0,02}{2,34}$	$\frac{0,21}{24,57}$	$\frac{0,04}{4,35}$	$\frac{0,27}{31,26}$	aF	$\frac{0,05}{5,53}$	$\frac{0,05}{6,18}$	$\frac{0,05}{5,80}$	$\frac{0,06}{7,24}$	$\frac{0,21}{24,74}$	aD	$\frac{0,37}{44,00}$	aE	1,26	aC
Чорний пар (F)																	
0-5	3,50	2,03	$\frac{0,10}{5,15}$	$\frac{0,54}{26,12}$	$\frac{0,08}{4,12}$	$\frac{0,72}{35,39}$	dA	$\frac{0,04}{1,73}$	$\frac{0,06}{2,95}$	$\frac{0,08}{4,12}$	$\frac{0,14}{7,20}$	$\frac{0,32}{16,00}$	dAB	$\frac{0,99}{48,61}$	dA	2,21	cA
15-20	3,72	2,15	$\frac{0,08}{3,71}$	$\frac{0,57}{26,45}$	$\frac{0,09}{4,18}$	$\frac{0,74}{34,34}$	dA	$\frac{0,05}{2,42}$	$\frac{0,07}{3,15}$	$\frac{0,11}{5,10}$	$\frac{0,13}{6,03}$	$\frac{0,36}{16,70}$	cA	$\frac{1,05}{48,96}$	bB	2,06	bAB
20-40	2,83	1,64	$\frac{0,05}{3,05}$	$\frac{0,42}{25,52}$	$\frac{0,07}{4,50}$	$\frac{0,54}{33,07}$	bB	$\frac{0,05}{3,05}$	$\frac{0,05}{3,05}$	$\frac{0,10}{6,31}$	$\frac{0,10}{6,01}$	$\frac{0,30}{18,42}$	bcB	$\frac{0,80}{48,51}$	cC	1,80	aC
40-60	2,46	1,43	$\frac{0,03}{2,11}$	$\frac{0,38}{26,65}$	$\frac{0,06}{4,21}$	$\frac{0,47}{32,97}$	cC	$\frac{0,05}{3,30}$	$\frac{0,04}{3,01}$	$\frac{0,08}{5,61}$	$\frac{0,08}{5,61}$	$\frac{0,25}{17,53}$	cdC	$\frac{0,71}{49,50}$	cD	1,88	aBC
60-80	1,83	1,06	$\frac{0,02}{1,88}$	$\frac{0,28}{26,31}$	$\frac{0,05}{4,70}$	$\frac{0,35}{32,89}$	aD	$\frac{0,04}{3,68}$	$\frac{0,03}{2,89}$	$\frac{0,05}{4,70}$	$\frac{0,07}{6,58}$	$\frac{0,19}{17,86}$	bD	$\frac{0,52}{49,25}$	abE	1,84	bC
80-100	1,39	0,80	$\frac{0,02}{2,69}$	$\frac{0,22}{26,93}$	$\frac{0,04}{5,59}$	$\frac{0,28}{35,21}$	aE	$\frac{0,03}{3,95}$	$\frac{0,02}{2,26}$	$\frac{0,05}{6,42}$	$\frac{0,05}{6,21}$	$\frac{0,15}{18,84}$	bD	$\frac{0,37}{45,95}$	aF	1,87	bABC

Примітка: чисельник – процентний уміст вуглецю фракції від маси ґрунту; знаменник – % фракції від умісту $C_{орг}$;
^{aB}– різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою та шарами ґрунту.

Таблиця 4.3

Профільний розподіл групового і фракційного складу гумусу в ізогумусолі за його різного використання. Удобрення: N₉₅P_{51,75}K₁₅ (середні значення за 2010–2012 рр., дослід № 2). Різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту

Глибина, см	Гумус, %	C _{орг} , %	ГК					ФК						Гумін		Сгк/Сфк	
			Фракції			сума	АРА стат.	Фракції				сума	АРА стат.	уміст	АРА стат.	віднош.	АРА стат.
			1	2	3			1a	1	2	3						
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
No-till (NT)																	
0-5	4,96	2,88	<u>0,23</u> 7,86	<u>0,65</u> 22,55	<u>0,16</u> 5,68	<u>1,04</u> 36,09	aA	<u>0,11</u> 3,71	<u>0,21</u> 7,42	<u>0,11</u> 3,95	<u>0,13</u> 4,39	<u>0,56</u> 19,46	aA	<u>1,28</u> 44,45	aA	1,85	aAC
15-20	4,31	2,50	<u>0,16</u> 6,42	<u>0,61</u> 24,51	<u>0,13</u> 5,13	<u>0,90</u> 36,06	abc ABCDE	<u>0,09</u> 3,61	<u>0,16</u> 6,23	<u>0,09</u> 3,57	<u>0,13</u> 5,22	<u>0,47</u> 18,63	aB	<u>1,13</u> 45,31	aB	1,94	aABC
20-40	3,53	2,05	<u>0,13</u> 6,12	<u>0,52</u> 25,57	<u>0,09</u> 4,31	<u>0,74</u> 36,00	acB	<u>0,08</u> 3,70	<u>0,08</u> 3,90	<u>0,07</u> 3,38	<u>0,13</u> 6,13	<u>0,35</u> 17,12	aC	<u>0,96</u> 46,88	adC	2,10	acdAB
40-60	2,73	1,59	<u>0,05</u> 3,50	<u>0,47</u> 29,50	<u>0,06</u> 3,85	<u>0,58</u> 36,85	acC	<u>0,06</u> 3,89	<u>0,05</u> 3,10	<u>0,07</u> 4,79	<u>0,10</u> 6,13	<u>0,28</u> 17,91	abD	<u>0,73</u> 45,24	aD	2,06	aB
60-80	1,91	1,11	<u>0,03</u> 2,56	<u>0,31</u> 27,30	<u>0,05</u> 4,87	<u>0,39</u> 34,73	abcD	<u>0,04</u> 3,94	<u>0,05</u> 4,48	<u>0,06</u> 5,56	<u>0,07</u> 6,07	<u>0,22</u> 20,05	abE	<u>0,50</u> 45,22	abE	1,73	aC
80-100	1,67	0,97	<u>0,03</u> 3,15	<u>0,26</u> 26,84	<u>0,03</u> 2,90	<u>0,32</u> 32,89	acE	<u>0,05</u> 4,71	<u>0,02</u> 2,17	<u>0,07</u> 7,55	<u>0,06</u> 6,22	<u>0,20</u> 20,65	aE	<u>0,45</u> 46,46	aE	1,59	aCD

Продовження табл. 4.3

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
Безполицевий обробіток ґрунту (RT)																	
0-5	4,50	2,61	<u>0,20</u> 7,66	<u>0,61</u> 23,06	<u>0,12</u> 4,74	<u>0,93</u> 35,46	<i>bA</i>	<u>0,09</u> 3,33	<u>0,19</u> 7,24	<u>0,10</u> 3,88	<u>0,12</u> 4,49	<u>0,49</u> 18,94	<i>bA</i>	<u>1,19</u> 45,60	<i>bA</i>	1,87	<i>aA</i>
15-20	4,27	2,47	<u>0,18</u> 7,49	<u>0,58</u> 23,29	<u>0,12</u> 4,71	<u>0,88</u> 35,49	<i>aA</i>	<u>0,07</u> 2,92	<u>0,16</u> 6,40	<u>0,10</u> 3,88	<u>0,11</u> 4,28	<u>0,43</u> 17,48	<i>bB</i>	<u>1,16</u> 47,03	<i>aA</i>	2,03	<i>aB</i>
20-40	3,66	2,13	<u>0,13</u> 6,24	<u>0,53</u> 24,85	<u>0,09</u> 4,23	<u>0,75</u> 35,32	<i>aB</i>	<u>0,07</u> 3,22	<u>0,09</u> 4,42	<u>0,07</u> 3,29	<u>0,11</u> 5,18	<u>0,34</u> 16,11	<i>aC</i>	<u>1,03</u> 48,57	<i>bB</i>	2,19	<i>abC</i>
40-60	2,56	1,48	<u>0,06</u> 4,04	<u>0,44</u> 29,66	<u>0,05</u> 3,37	<u>0,55</u> 37,07	<i>aC</i>	<u>0,06</u> 4,16	<u>0,06</u> 3,93	<u>0,06</u> 4,04	<u>0,08</u> 5,63	<u>0,26</u> 17,76	<i>aD</i>	<u>0,67</u> 45,17	<i>bC</i>	2,09	<i>aBC</i>
60-80	1,93	1,12	<u>0,04</u> 3,32	<u>0,34</u> 30,16	<u>0,05</u> 4,67	<u>0,43</u> 38,15	<i>aD</i>	<u>0,06</u> 5,20	<u>0,05</u> 4,16	<u>0,07</u> 6,36	<u>0,06</u> 5,51	<u>0,24</u> 21,23	<i>aD</i>	<u>0,46</u> 40,62	<i>adD</i>	1,80	<i>aA</i>
80-100	1,40	0,81	<u>0,03</u> 3,24	<u>0,24</u> 29,79	<u>0,03</u> 3,66	<u>0,30</u> 36,69	<i>abE</i>	<u>0,05</u> 5,94	<u>0,01</u> 1,79	<u>0,06</u> 7,68	<u>0,06</u> 7,93	<u>0,19</u> 23,34	<i>abE</i>	<u>0,32</u> 39,97	<i>bE</i>	1,57	<i>aD</i>
Оранка (СТ)																	
0-5	4,04	2,35	<u>0,19</u> 8,11	<u>0,54</u> 23,18	<u>0,14</u> 5,77	<u>0,87</u> 37,06	<i>cA</i>	<u>0,05</u> 2,18	<u>0,16</u> 6,79	<u>0,08</u> 3,26	<u>0,14</u> 5,87	<u>0,42</u> 18,10	<i>cA</i>	<u>1,06</u> 44,84	<i>cA</i>	2,05	<i>abA</i>
15-20	4,12	2,39	<u>0,14</u> 6,01	<u>0,56</u> 22,92	<u>0,13</u> 5,63	<u>0,83</u> 34,56	<i>aA</i>	<u>0,06</u> 2,61	<u>0,14</u> 5,78	<u>0,09</u> 3,92	<u>0,11</u> 4,61	<u>0,40</u> 16,92	<i>bA</i>	<u>1,16</u> 48,52	<i>aB</i>	2,04	<i>aA</i>
20-40	3,36	1,95	<u>0,08</u> 3,87	<u>0,49</u> 25,34	<u>0,09</u> 4,53	<u>0,66</u> 33,74	<i>bB</i>	<u>0,07</u> 3,68	<u>0,09</u> 4,16	<u>0,10</u> 5,23	<u>0,10</u> 5,23	<u>0,36</u> 18,30	<i>aB</i>	<u>0,93</u> 47,96	<i>aC</i>	1,84	<i>cA</i>
40-60	2,72	1,58	<u>0,05</u> 2,88	<u>0,42</u> 27,44	<u>0,05</u> 2,88	<u>0,52</u> 33,20	<i>bC</i>	<u>0,05</u> 3,88	<u>0,07</u> 4,27	<u>0,08</u> 4,79	<u>0,07</u> 4,25	<u>0,27</u> 17,19	<i>abC</i>	<u>0,79</u> 49,61	<i>cD</i>	1,93	<i>aA</i>
60-80	1,98	1,15	<u>0,03</u> 2,79	<u>0,32</u> 27,06	<u>0,04</u> 3,75	<u>0,39</u> 33,60	<i>bcD</i>	<u>0,05</u> 4,04	<u>0,05</u> 4,59	<u>0,06</u> 4,98	<u>0,04</u> 3,72	<u>0,20</u> 17,73	<i>bD</i>	<u>0,56</u> 48,67	<i>bcE</i>	1,90	<i>aA</i>
80-100	1,44	0,84	<u>0,02</u> 1,82	<u>0,24</u> 28,98	<u>0,03</u> 4,00	<u>0,29</u> 34,80	<i>bE</i>	<u>0,05</u> 5,77	<u>0,04</u> 4,05	<u>0,04</u> 5,07	<u>0,03</u> 4,12	<u>0,16</u> 19,01	<i>bE</i>	<u>0,39</u> 46,19	<i>cF</i>	1,83	<i>aA</i>

Продовження табл. 4.3

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
Переліг (Ab), 22 років																	
0-5	5,50	3,19	$\frac{0,26}{8,18}$	$\frac{0,74}{23,28}$	$\frac{0,20}{6,08}$	$\frac{1,20}{37,54}$	dA	$\frac{0,13}{4,16}$	$\frac{0,16}{5,01}$	$\frac{0,12}{3,76}$	$\frac{0,21}{6,59}$	$\frac{0,62}{19,52}$	dA	$\frac{1,37}{42,94}$	dA	1,92	aA
15-20	4,69	2,72	$\frac{0,17}{6,30}$	$\frac{0,65}{23,66}$	$\frac{0,15}{5,56}$	$\frac{0,97}{35,52}$	bB	$\frac{0,11}{3,87}$	$\frac{0,14}{5,18}$	$\frac{0,09}{3,41}$	$\frac{0,15}{5,60}$	$\frac{0,49}{18,06}$	cB	$\frac{1,26}{46,42}$	bB	1,97	aAB
20-40	4,07	2,36	$\frac{0,13}{5,55}$	$\frac{0,55}{23,14}$	$\frac{0,14}{5,85}$	$\frac{0,82}{34,54}$	aC	$\frac{0,10}{4,13}$	$\frac{0,11}{4,87}$	$\frac{0,08}{3,22}$	$\frac{0,11}{4,70}$	$\frac{0,40}{16,92}$	bC	$\frac{1,14}{48,54}$	cC	2,04	bdAB
40-60	2,96	1,72	$\frac{0,07}{4,17}$	$\frac{0,48}{28,20}$	$\frac{0,06}{3,63}$	$\frac{0,62}{36,00}$	cD	$\frac{0,07}{4,31}$	$\frac{0,05}{2,71}$	$\frac{0,08}{4,43}$	$\frac{0,10}{5,91}$	$\frac{0,30}{17,36}$	bD	$\frac{0,80}{46,64}$	abcD	2,07	aB
60-80	2,16	1,25	$\frac{0,04}{3,43}$	$\frac{0,34}{27,22}$	$\frac{0,05}{3,99}$	$\frac{0,43}{34,64}$	abE	$\frac{0,06}{4,96}$	$\frac{0,05}{4,08}$	$\frac{0,05}{4,28}$	$\frac{0,05}{3,80}$	$\frac{0,21}{17,12}$	bcE	$\frac{0,60}{48,24}$	cD	2,02	aAB
80-100	1,76	1,02	$\frac{0,03}{3,15}$	$\frac{0,25}{24,74}$	$\frac{0,06}{5,59}$	$\frac{0,34}{33,48}$	cF	$\frac{0,05}{4,72}$	$\frac{0,02}{2,44}$	$\frac{0,04}{3,86}$	$\frac{0,06}{6,05}$	$\frac{0,17}{17,07}$	abE	$\frac{0,51}{49,45}$	dE	1,96	aAB
Чорний пар (F), 22 років																	
0-5	3,63	2,11	$\frac{0,09}{4,49}$	$\frac{0,49}{23,40}$	$\frac{0,08}{3,69}$	$\frac{0,66}{31,58}$	eA	$\frac{0,03}{1,54}$	$\frac{0,07}{3,34}$	$\frac{0,10}{4,53}$	$\frac{0,12}{5,89}$	$\frac{0,32}{15,30}$	eA	$\frac{1,13}{53,12}$	cA	2,28	bA
15-20	3,82	2,22	$\frac{0,09}{3,62}$	$\frac{0,50}{22,76}$	$\frac{0,10}{4,64}$	$\frac{0,69}{31,02}$	cA	$\frac{0,04}{1,82}$	$\frac{0,07}{3,25}$	$\frac{0,11}{4,88}$	$\frac{0,13}{5,87}$	$\frac{0,35}{15,82}$	dB	$\frac{1,18}{53,16}$	abB	1,96	aB
20-40	3,98	2,31	$\frac{0,10}{4,66}$	$\frac{0,52}{22,31}$	$\frac{0,11}{4,76}$	$\frac{0,73}{31,73}$	bcA	$\frac{0,05}{2,33}$	$\frac{0,07}{2,92}$	$\frac{0,15}{6,52}$	$\frac{0,14}{6,14}$	$\frac{0,41}{17,91}$	abAB	$\frac{1,17}{50,36}$	bcdAB	1,77	acdA B
40-60	2,51	1,46	$\frac{0,04}{2,83}$	$\frac{0,41}{27,68}$	$\frac{0,06}{4,30}$	$\frac{0,51}{34,81}$	bB	$\frac{0,04}{2,95}$	$\frac{0,05}{3,16}$	$\frac{0,09}{6,05}$	$\frac{0,08}{5,39}$	$\frac{0,26}{17,55}$	abAC	$\frac{0,69}{47,64}$	abC	1,98	aAB
60-80	1,56	0,91	$\frac{0,03}{3,53}$	$\frac{0,26}{29,05}$	$\frac{0,04}{3,87}$	$\frac{0,33}{36,45}$	cC	$\frac{0,02}{1,80}$	$\frac{0,05}{5,44}$	$\frac{0,06}{6,90}$	$\frac{0,05}{5,19}$	$\frac{0,18}{19,33}$	abCD	$\frac{0,40}{44,22}$	dD	1,89	aAB
80-100	1,08	0,63	$\frac{0,02}{3,11}$	$\frac{0,19}{29,79}$	$\frac{0,02}{3,89}$	$\frac{0,23}{36,79}$	dD	$\frac{0,02}{3,44}$	$\frac{0,03}{3,51}$	$\frac{0,04}{6,73}$	$\frac{0,03}{5,55}$	$\frac{0,12}{19,23}$	cD	$\frac{0,28}{43,98}$	bE	1,91	aAB

Примітка: чисельник – процентний уміст вуглецю фракції від маси ґрунту; знаменник – % фракції від умісту C_{орг};
 a^b – різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою та шарами ґрунту.

Таблиця 4.4

Профільний розподіл групового і фракційного складу гумусу чорнозему типового за використання різних технологій обробітку ґрунту. Варіант - солома 1,2 т/га + сидерати + N₁₂ + N₇₈P₆₈K₆₈ (середні значення за 2010–2014 рр., дослід № 1). Різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту

Глибина, см	Гумус, %	C _{орг} , %	ГК					ФК						Гумін		Сгк/Сфк	
			Фракції			сума	АРА стат.	Фракції				сума	АРА стат.	уміст	АРА стат.	віднош.	АРА стат.
			1	2	3			1а	1	2	3						
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
Мілкий безполицевий обробіток ґрунту (RTu)																	
0-5	4,48	2,60	<u>0,13</u> 5,00	<u>0,59</u> 22,68	<u>0,36</u> 13,84	<u>1,08</u> 41,52	<i>aA</i>	<u>0,08</u> 3,08	<u>0,09</u> 3,46	<u>0,24</u> 9,23	<u>0,16</u> 6,15	<u>0,57</u> 21,92	<i>aA</i>	<u>0,95</u> 36,56	<i>aA</i>	1,89	<i>aA</i>
10-20	3,35	1,94	<u>0,11</u> 5,66	<u>0,50</u> 25,72	<u>0,28</u> 14,40	<u>0,89</u> 45,78	<i>aB</i>	<u>0,05</u> 2,57	<u>0,05</u> 2,57	<u>0,22</u> 11,32	<u>0,13</u> 6,69	<u>0,45</u> 23,15	<i>aB</i>	<u>0,60</u> 31,07	<i>aB</i>	1,98	<i>aA</i>
30-40	2,63	1,53	<u>0,08</u> 5,24	<u>0,44</u> 28,82	<u>0,27</u> 17,69	<u>0,79</u> 51,75	<i>aC</i>	<u>0,03</u> 1,97	<u>0,04</u> 2,62	<u>0,20</u> 13,10	<u>0,12</u> 7,86	<u>0,39</u> 25,55	<i>aC</i>	<u>0,35</u> 22,71	<i>aC</i>	2,03	<i>aA</i>
40-60	2,53	1,47	<u>0,07</u> 4,77	<u>0,41</u> 27,96	<u>0,25</u> 17,05	<u>0,73</u> 49,78	<i>aD</i>	<u>0,03</u> 2,05	<u>0,04</u> 2,73	<u>0,17</u> 11,59	<u>0,11</u> 7,50	<u>0,35</u> 23,87	<i>aC</i>	<u>0,39</u> 26,36	<i>aC</i>	2,09	<i>aA</i>
80-100	1,69	0,98	<u>0,02</u> 2,04	<u>0,27</u> 27,50	<u>0,17</u> 17,32	<u>0,46</u> 46,86	<i>aE</i>	<u>0,01</u> 1,02	<u>0,02</u> 2,04	<u>0,12</u> 12,22	<u>0,08</u> 8,15	<u>0,23</u> 23,43	<i>aD</i>	<u>0,29</u> 29,71	<i>aD</i>	2,00	<i>aA</i>

Продовження табл. 4.4

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
Оранка (СТu)																	
0-5	3,79	2,20	$\frac{0,11}{5,01}$	$\frac{0,51}{23,22}$	$\frac{0,32}{14,57}$	$\frac{0,94}{42,80}$	<i>bA</i>	$\frac{0,05}{2,28}$	$\frac{0,06}{2,73}$	$\frac{0,22}{10,02}$	$\frac{0,14}{6,37}$	$\frac{0,47}{21,40}$	<i>bA</i>	$\frac{0,79}{35,80}$	<i>bA</i>	2,00	<i>aA</i>
10-20	3,91	2,27	$\frac{0,13}{5,73}$	$\frac{0,53}{23,34}$	$\frac{0,30}{13,21}$	$\frac{0,96}{42,28}$	<i>bA</i>	$\frac{0,06}{2,64}$	$\frac{0,08}{3,52}$	$\frac{0,22}{9,69}$	$\frac{0,13}{5,73}$	$\frac{0,49}{21,58}$	<i>bA</i>	$\frac{0,82}{36,14}$	<i>bA</i>	1,96	<i>bB</i>
30-40	3,41	1,98	$\frac{0,11}{5,56}$	$\frac{0,50}{25,28}$	$\frac{0,29}{14,66}$	$\frac{0,90}{45,50}$	<i>bA</i>	$\frac{0,05}{2,53}$	$\frac{0,07}{3,54}$	$\frac{0,20}{10,11}$	$\frac{0,11}{5,56}$	$\frac{0,43}{21,74}$	<i>aAB</i>	$\frac{0,65}{32,76}$	<i>bB</i>	2,09	<i>bB</i>
40-60	2,98	1,73	$\frac{0,10}{5,78}$	$\frac{0,40}{23,13}$	$\frac{0,27}{15,62}$	$\frac{0,77}{44,53}$	<i>bB</i>	$\frac{0,05}{2,89}$	$\frac{0,05}{2,89}$	$\frac{0,16}{9,25}$	$\frac{0,11}{6,36}$	$\frac{0,37}{21,40}$	<i>aB</i>	$\frac{0,59}{34,07}$	<i>bC</i>	2,08	<i>bC</i>
80-100	2,19	1,27	$\frac{0,01}{0,79}$	$\frac{0,29}{22,86}$	$\frac{0,19}{14,98}$	$\frac{0,49}{38,62}$	<i>abC</i>	$\frac{0,01}{0,79}$	$\frac{0,03}{2,36}$	$\frac{0,13}{10,25}$	$\frac{0,08}{6,31}$	$\frac{0,25}{19,71}$	<i>bC</i>	$\frac{0,53}{41,67}$	<i>bC</i>	1,96	<i>bD</i>
Глибокий безполицевий обробіток ґрунту (DRTu)																	
0-5	4,38	2,54	$\frac{0,14}{5,51}$	$\frac{0,53}{20,86}$	$\frac{0,36}{14,17}$	$\frac{1,03}{40,54}$	<i>cA</i>	$\frac{0,07}{2,76}$	$\frac{0,07}{2,76}$	$\frac{0,25}{9,84}$	$\frac{0,17}{6,69}$	$\frac{0,56}{22,04}$	<i>aA</i>	$\frac{0,95}{37,41}$	<i>aA</i>	1,84	<i>bA</i>
10-20	3,87	2,24	$\frac{0,13}{5,80}$	$\frac{0,51}{22,74}$	$\frac{0,34}{15,16}$	$\frac{0,98}{43,70}$	<i>bB</i>	$\frac{0,04}{1,78}$	$\frac{0,06}{2,68}$	$\frac{0,24}{10,70}$	$\frac{0,15}{6,69}$	$\frac{0,49}{21,85}$	<i>bB</i>	$\frac{0,77}{34,44}$	<i>cB</i>	2,00	<i>cB</i>
30-40	3,26	1,89	$\frac{0,10}{5,29}$	$\frac{0,47}{24,88}$	$\frac{0,29}{15,35}$	$\frac{0,86}{45,52}$	<i>cC</i>	$\frac{0,04}{2,12}$	$\frac{0,05}{2,65}$	$\frac{0,21}{11,12}$	$\frac{0,12}{6,35}$	$\frac{0,42}{22,23}$	<i>aC</i>	$\frac{0,61}{32,25}$	<i>bC</i>	2,05	<i>cC</i>
40-60	2,61	1,51	$\frac{0,06}{3,96}$	$\frac{0,41}{27,08}$	$\frac{0,27}{17,83}$	$\frac{0,74}{48,87}$	<i>abD</i>	$\frac{0,03}{1,98}$	$\frac{0,04}{2,64}$	$\frac{0,18}{11,89}$	$\frac{0,11}{7,27}$	$\frac{0,36}{23,78}$	<i>aD</i>	$\frac{0,41}{27,35}$	<i>aD</i>	2,06	<i>cD</i>
80-100	2,28	1,32	$\frac{0,03}{2,27}$	$\frac{0,28}{21,20}$	$\frac{0,21}{15,90}$	$\frac{0,52}{39,38}$	<i>bE</i>	$\frac{0,02}{1,51}$	$\frac{0,02}{1,51}$	$\frac{0,14}{10,60}$	$\frac{0,08}{6,06}$	$\frac{0,26}{19,69}$	<i>bE</i>	$\frac{0,54}{40,93}$	<i>bC</i>	2,00	<i>cE</i>

Примітка: чисельник – процентний уміст вуглецю фракції від маси ґрунту; знаменник – % фракції від умісту $S_{орг}$;
ab – різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту

за RT і NT в ізогумусолі Гуангронгу і 0,1–0,4 % – за RT і NT в ізогумусолі Хайлуня. У цьому шарі на ділянках із перелогом нагромаджувалось найбільша, а за чорного пару – найменша кількість $C_{ГК1}$ фракції. Інтенсивність утворення гумусових речовин ($C_{ГК1}+C_{ФК(1+1)}/C_{(ГК+ФК)2+3}$) у 0–40 см шарі була вищою за: NT (0,35–0,52), RT (0,37–0,50) проти СТ (0,29–0,45) та F (0,23–0,25) – в ізогумусолі Хайлуня; – NT (0,37–0,59), RT (0,34–0,56) проти СТ (0,31–0,53) та F (0,22–0,24) – в ізогумусолі Гуангронгу і СТ_u (0,18–0,23) проти RT_u (0,15–0,22) та DRT_u (0,17–0,21) – у чорноземі типовому (рис. 4.13). Рухомість та уміст усієї частини гумусових речовин в ізогумусолях у декілька разів перевищували відповідні параметри чорнозему типового. Якщо розглядати фульвокислотний пул як джерело та попередник ГК, то відношення $C_{ГК1}/C_{ФК1}$ може опосередковано характеризувати: – інтенсивність і напрям першої стадії процесу гуміфікації; – оцінювати стан окультуреності ґрунтів [37]. Найбільша інтенсивність утворення гумінових кислот у верхній частині профілю ґрунтів за показником $C_{ГК1}/C_{ФК1}$ була за DRT_u – у чорноземі типовому, NT – в ізогумусолі Гуангронгу та Ab – в ізогумусолі Хайлуня. З глибини 50 см найбільша частка рухомих ГК у складі гумусу була за оранки – у чорноземі типовому і ізогумусолі Гуангронгу та Ab – в ізогумусолі Хайлуня. В цілому, частка новоутворених ГК у структурі ГК ($C_{ГК1}/C_{ГК(2+3)}$) була найбільшою за DRT_u – у чорноземі типовому, NT – в ізогумусолі Гуангронгу та RT – в ізогумусолі Хайлуня (рис. 4.14). Частка другої фракції ГК у структурі ГК ($C_{ГК(1+3)}/C_{ГК2}$) була найбільшою за використання оранки та чорного пару в усіх досліджуваних ґрунтів, що може свідчити про найменшу кількість доступного для глибокої гуміфікації пулу рухомих речовин даної фракції. Інтенсивність другої стадії гуміфікації може бути оцінена за відношенням $C_{ГК2}/C_{ФК2}$. Величина даного показника, в середньому у шарі 0–100 см, у китайських ізогумусолях перевищувала чорнозем типовий у 1,8–3,1 рази, що вказує на більш сприятливі умови впливу на інтенсивність процесу

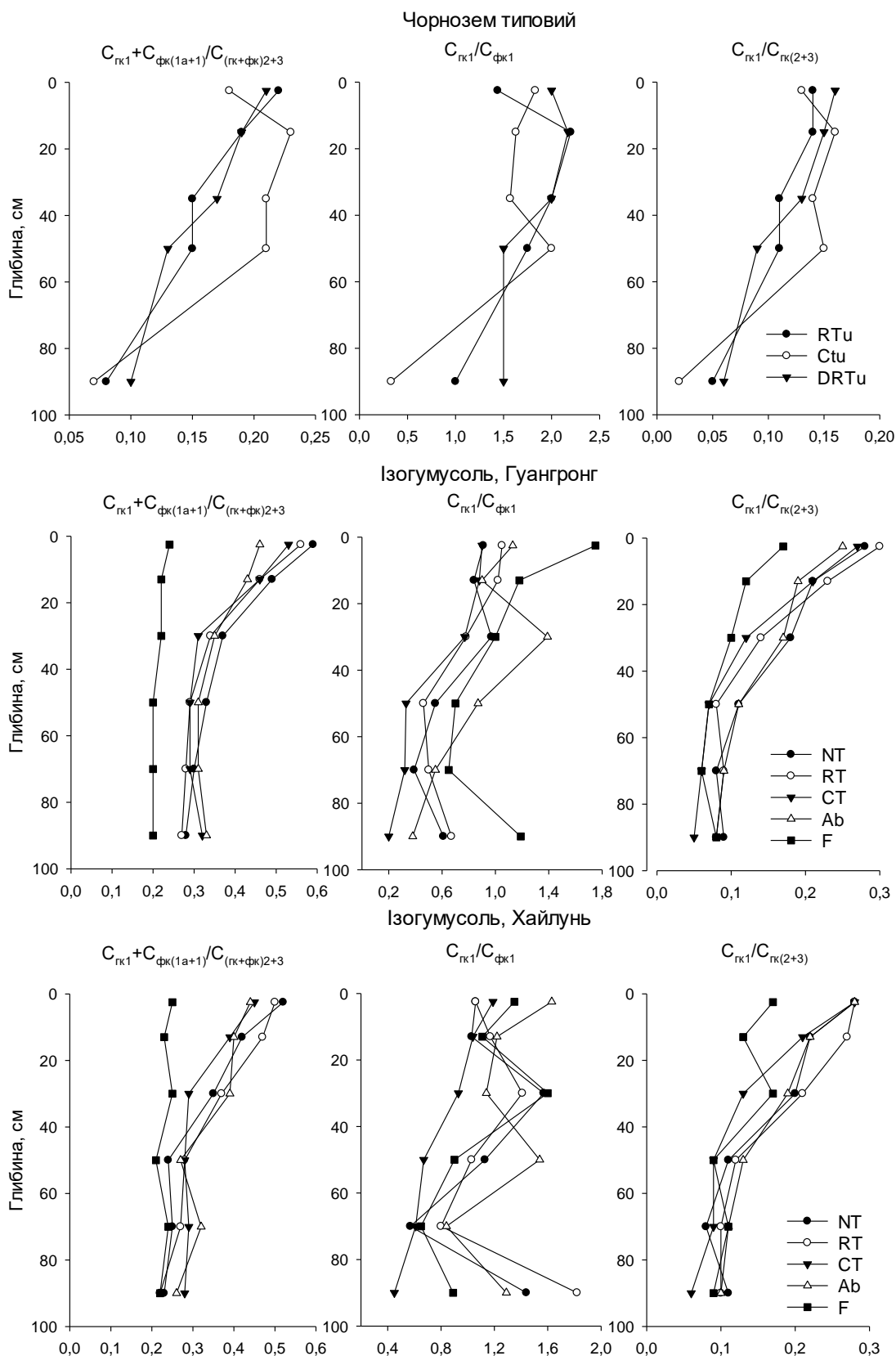


Рис. 4.13. Профільний розподіл груп і фракцій гумусу (умовні одиниці) у чорноземі типовому (солома 1,2 т/га + сидерати + $N_{12} + N_{78}P_{68}K_{68}$), ізогумусолях Хайлуня і Гуангронгу за СТ, NT, RT, Ab, F, RTu, CTu і DRTu

полімеризації гумусових речовин, утворення і акумуляції гумусу гуматного типу в ізогумусолях (рис. 4.14). Вищезгаданий процес також може бути оцінений за показником ступеня гуміфікації (%), який в середньому, у шарі 0–100 см ґрунту був найвищим за безполицевих технологій, no-till та перелогу і складав: 47,1; 42,8 і 43,6 – за Rtu, Ctu і DRtu у чорноземі типовому, 35,3; 34,9; 32,6; 34,1 і 34,0 – за NT, RT, CT, Ab і F – у ізогумусолі Гуангронгу і 35,4; 36,4; 34,5; 35,3 і 33,7 – за NT, RT, CT, Ab і F – у ізогумусолі Хайлуня відповідно (рис. 4.14). Фракція 2 гумінових кислот відіграє роль основного джерела щодо нагромадження органічного вуглецю в ґрунтах. Найбільший уміст цієї фракції був за: Rtu – 0,27–0,59 %, DRtu – 0,28–0,53 % – у чорноземі типовому (табл. 4.4); NT – 0,26–0,65 %, Ab – 0,25–0,74 % – в ізогумусолі Хайлуня (табл. 4.3); NT – 0,21–0,64 %, Ab 0,21–0,66 % – в ізогумусолі Гуангронгу (табл. 4.2). Середній уміст негідролізованого залишку (гуміну) був також найбільшим за вищезгаданих варіантів. Менший уміст інтенсивно- та важко- мінералізованих фракцій органічної речовини ґрунту за оранки та чорного пару може свідчити про однородність пула органічної речовини ґрунту, втрату її аліфатичних угруповань, деструкцію високомолекулярних компонентів, що погіршує в цілому якість системи гумусових речовин на інших рівнях їх організації. Чорноземи типові та ізогумусолі характеризувались гуматним та фульватно-гуматним типом гумусу незалежно від технологій обробітку ґрунту та типів сільськогосподарських угідь. Кореляційні залежності між групами і фракціями гумусу чорнозему типового представлені у додатку В 9.

4.4. Термогравіметрія органічної речовини чорнозему типового

Термічний аналіз у ґрунтознавстві уперше був застосований Ле Шательє у 1887 році при дослідженні глинистої фракції ґрунтів за контрольованої температури [396]. Застосування термічного аналізу у дослідженні органічної речовини ґрунту стало можливим після винайдення апаратного способу спалювання речовини у кисневій атмосфері [397]. Термогравіметричні

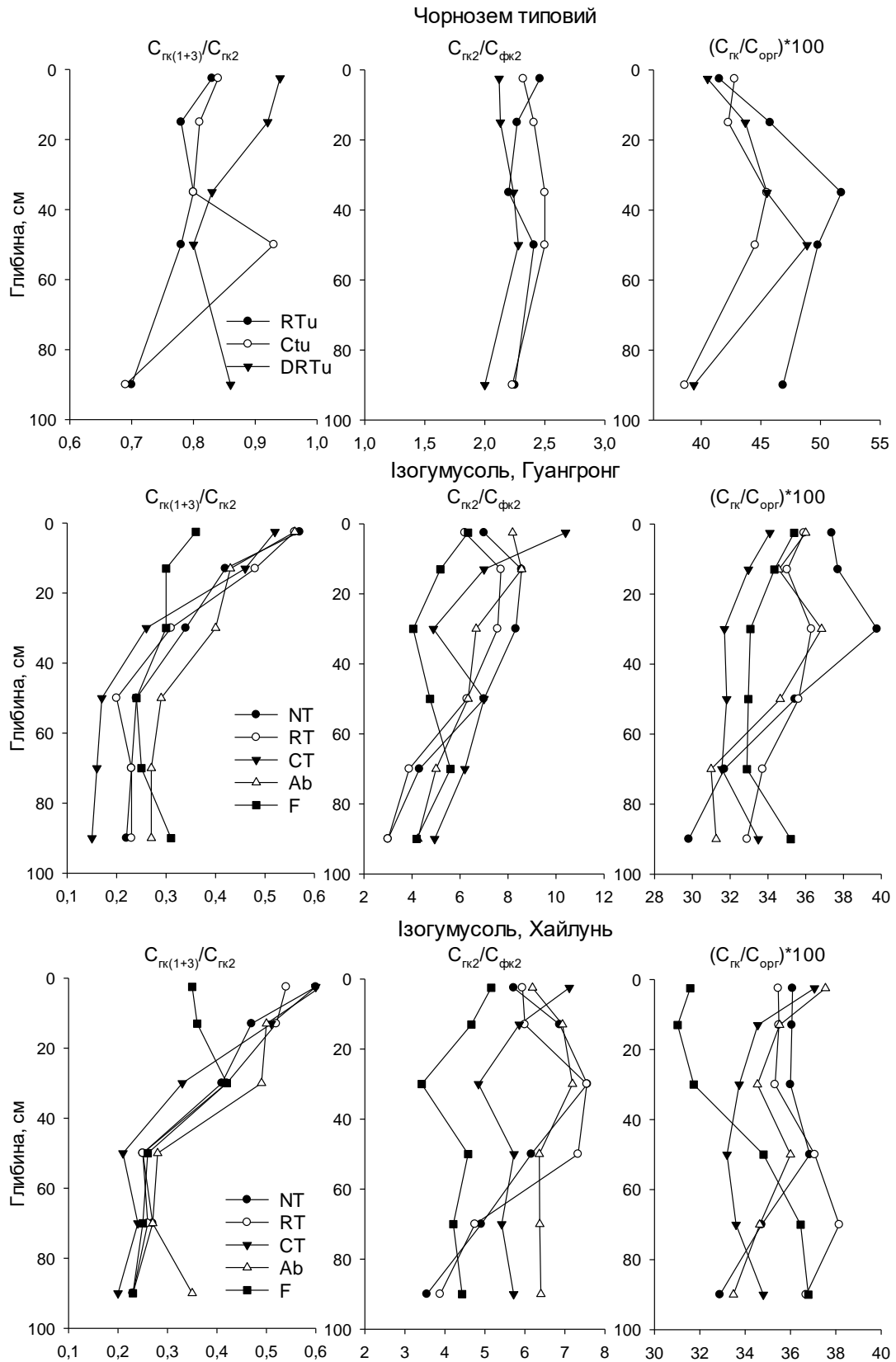


Рис. 4.14. Профільний розподіл груп і фракцій гумусу (умовні одиниці) у чорноземі типовому (солома 1,2 т/га + сидерати + N₁₂ + N₇₈P₆₈K₆₈), ізогумусолях Хайлуня і Гуангронгу за СТ, NT, RT, Ab, F, RTu, Ctu і DRTu

дослідження, виконані М. Schnitzer та І. Hoffman у середині 60-х років минулого століття у комплексі із інфрачервоною спектроскопією і аналізом елементного складу ґрунтів, показали два екзотермічних піки між 200 і 500 °С у всіх досліджуваних пробах підзолистих ґрунтів [398]. Перший термічний максимум, на думку дослідників, був пов'язаний із випаровуванням –ОН та –СООН груп лабільних компонентів гумусу, другий – окисненими сполуками стабілізованих гумусових речовин [399]. Подальші комплексні дослідження ґрунтів із застосуванням даних термічного аналізу вказали на істотний зв'язок між температурними максимумами і: аліфатичними і ароматичними компонентами гумусових речовин [400], відношеннями Н : С та N : С гумінових кислот [401], ароматичного ядра гумінових кислот [402], відмерлими органічними рештками рослинного і тваринного походження [403]. Р. Leinweber et al. [404] визначили відмінність у термічних характеристиках органічної речовини ґрунтів залежно від особливостей їх використання [405].

Відповідно до даних одержаних за термогравіметрією (ТГ) органічна речовина чорнозему типового характеризується гетерогенністю, високою і низькою термостійкістю (рис.: 4.15–4.17). Термічні перетворення ґрунтової проби на термограмах починається із ендотермічного ефекту в області 50–110 °С. Маса ґрунтової проби у цьому інтервалі температур зменшувалась у середньому на 2%. Даний ефект пов'язаний передусім із поверхневою дегідратацією фізично зв'язаної води [406]. У межах температур 112,30–212,39 °С спостерігаються багаточисельні і невеликі за амплітудою енто- і екзотермічні реакції пов'язані із: вивільненням кристалічної води у складі солей, змішано-шаруватих і глинистих силікатів, води аліфатичної частини гумусових речовин, деструкцією пентоз (арабіноза, ксилоза і рибоза), целюлози, глютамінової кислоти, лізину, аспарагіну, тощо [407, 408, 409]. Результати дослідження диференційованої кривої по втраті маси у дослідних ґрунтових пробах (додатки: Б 43 – Б 51) вказують на наявність наступних термічних ефектів: – дегідратація: гідрокарбонату магнію (170–210 °С), гідрогематиту

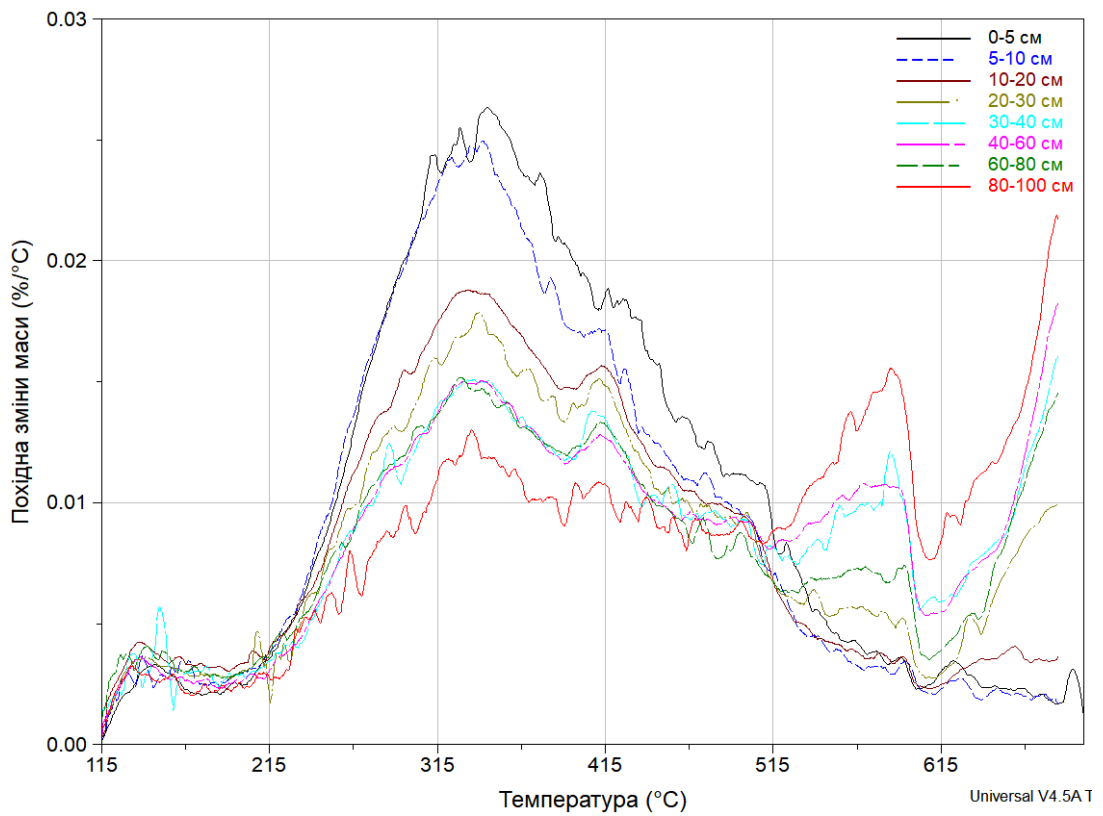
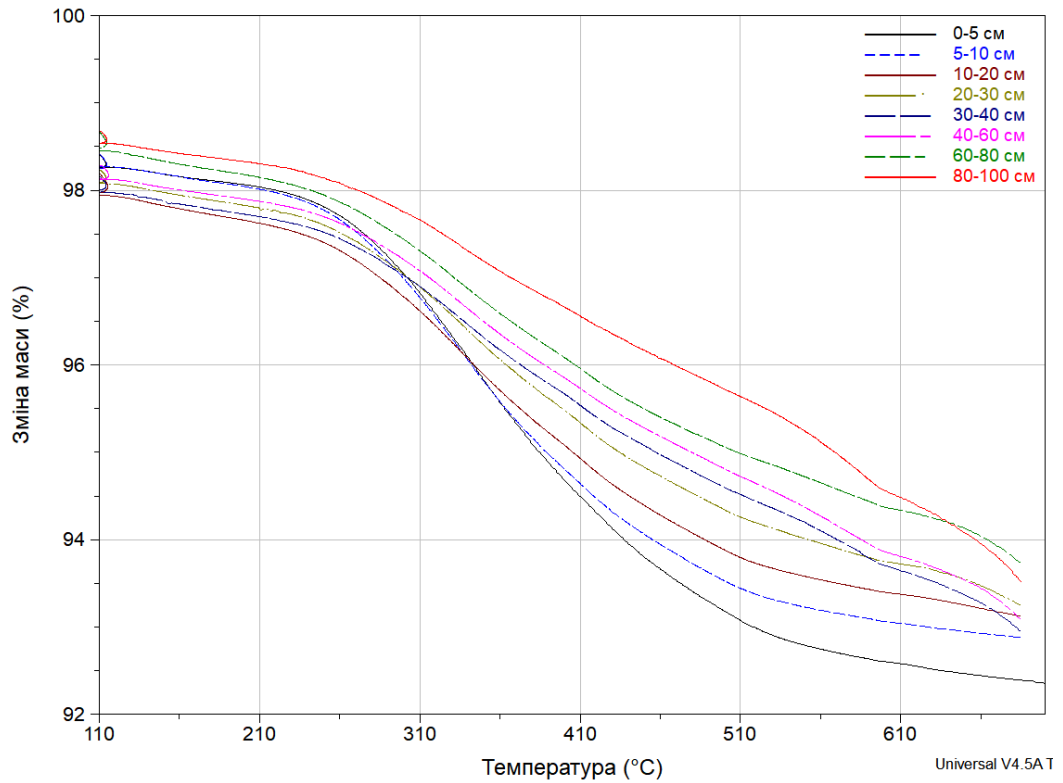


Рис. 4.15. Проста (а) і диференційована (б) криві втрати маси ґрунтової проби 0–100 см шару чорнозему типового за 16 річного використання мілкого безполицевого обробітку (RTu). Варіант – солома 1,2 т/га + сидерати + N_{12} + $N_{78}P_{68}K_{68}$, дослід № 1

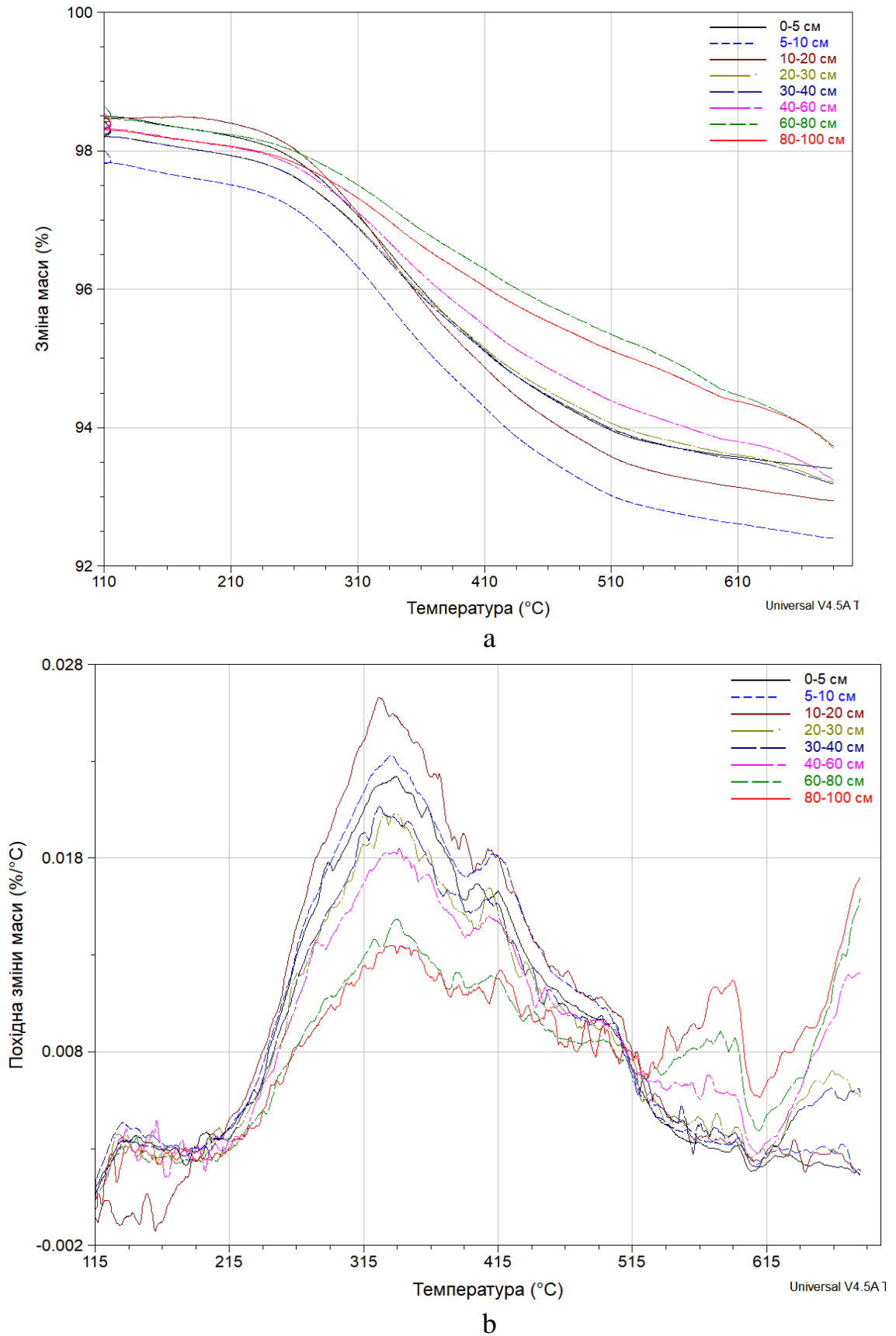


Рис. 4.16. Проста (а) і диференційована (б) криві втрати маси ґрунтової проби 0–100 см шару чорнозему типового за 16 річного оранки (СТu). Варіант – солома 1,2 т/га + сидерати + $N_{12} + N_{78}P_{68}K_{68}$, дослід № 1

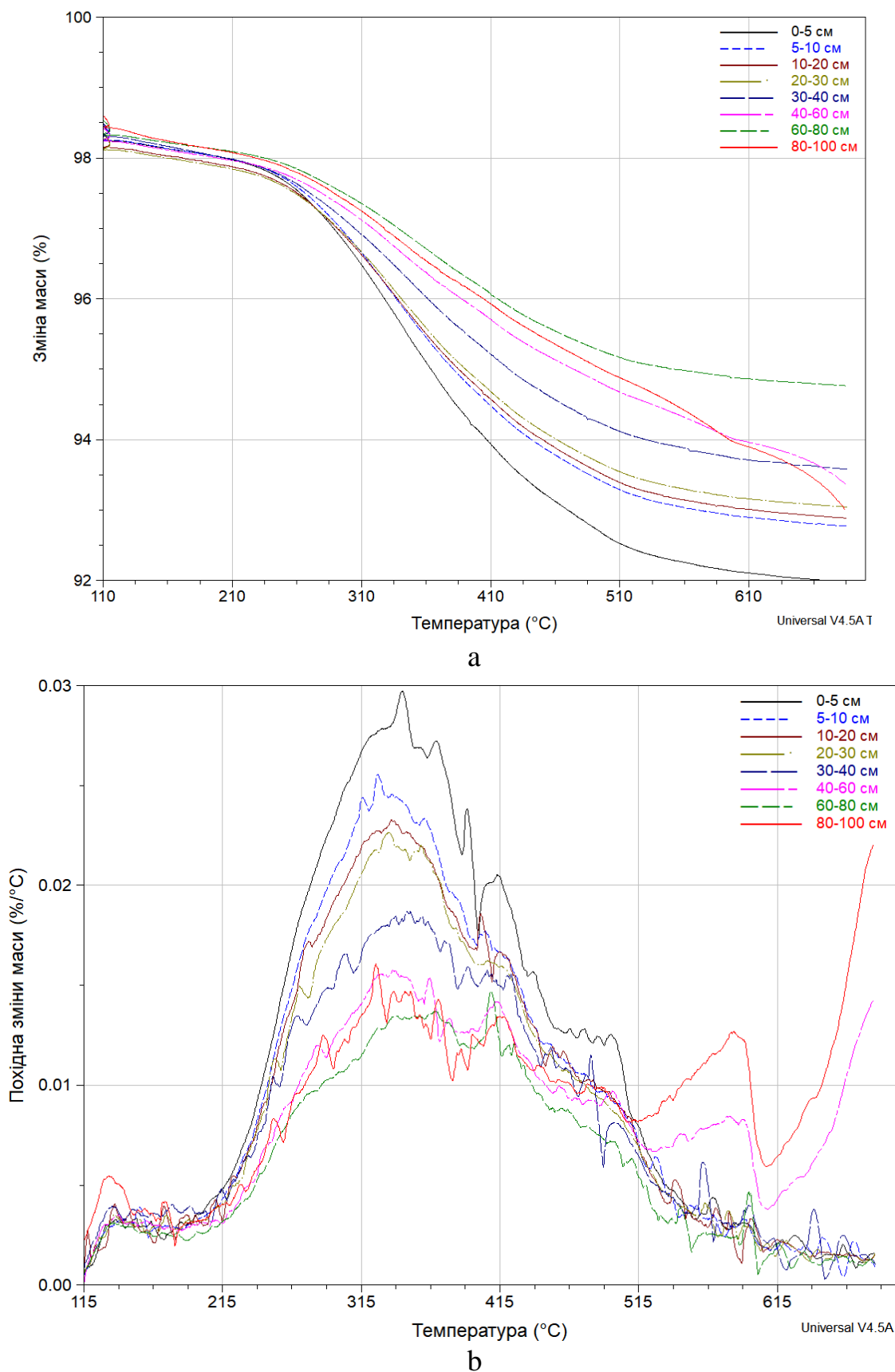


Рис. 4.17. Проста (а) і диференційована (б) криві втрати маси ґрунтової проби 0–100 см шару чорнозему типового за 16 річного використання глибокого безпліцевого обробітку (DRTu). Варіант – солома 1,2 т/га + сидерати + N_{12} + $N_{78}P_{68}K_{68}$, дослід № 1

(120–140 °C), гіпсу (180–220 °C), епсоміту (125–150 і 185–195 °C), гідробіотиту (160–180 °C), гідросилікату кальцію (110–150 °C); – втрата адсорбованої води у: монтморилоніті (50–175 °C), вермикуліті (80–170 °C), мусковіті (125 °C), глауконіті (40–170 °C), гідрослюдах (100–170 °C); – окиснення органічних сполук (129–132 °C) [410]. Малочисельні екзотермічні ефекти за температур 129–131 °C – за усіх варіантів обробітку ґрунту і 120–123 °C – за DRTu у шарі 5–10 см і STu у шарі 10–20 см пов’язані із окисненням глюкози, мальтози. Складні цукри, такі як пентози та гексози дали ендогенний термічний ефект біля 150 °C. Найбільша кількість температурних ефектів спостерігалась за STu та DRTu – у 0–5, RTu – у 5–10, RTu і DRTu – у 10–20, DRTu – у 20–40, RTu і STu – у 40–80 та RTu і DRTu – у 80–100 см шарах чорнозему типового.

Загальна кількість температурних ефектів за температур 215–300 °C була меншою, ніж у попередньому температурному інтервалі. Кількість ефектів збільшувалась від верхніх до нижніх шарів. Основні термічні ефекти були відмічені за STu: 233,9 і 287,7 °C – у шарі 0–5 см, RTu: 217,1; 235,9; 248,1; 273,6; 291,9 °C і DRTu: 209,9; 222,1 і 276,9 °C – у шарі 10–20 см; RTu: 219,8; 223,7; 238,7; 261,43; 289,15 °C, STu: 265,31 і 290,81 °C; DRTu: 253,11 і 270,3 °C – у шарі 20–30 см; RTu – 285,27 °C, STu: 242,02; 285,82; 293,58 °C і DRTu: 250,89 і 267,53 °C – у шарі 30–40 см, RTu – 225,94 °C, STu: 203,21 і 279,72 °C, DRTu – 283,05 °C – у шарі 40–60 см, RTu – 221,51 і 258,1 °C та STu: 239,25 і 276,4 °C – у шарі 60–80 см, RTu: 242,02; 251,45; 261,98; 284,71 і 295,25 °C, STu: 245,35; 264,2; 290,26 °C і DRTu: 204,88; 275,29; 284,71 і 298,02 °C – у шарі 0–100 см. Поодинокі екзотермічні ефекти у даних межах викликані окисненням таких неспецифічних гумусових речовин як: ксилоза, арабіноза, рамноза, целобіоза, аспарагінова кислота, цукроза, крохмаль [409]. За вищезгаданих температур відбувається руйнування органічного вуглецю та азоту аліфатичних структур гумусових речовин, дегідратація, декарбоксілювання і окиснення функціональних груп, первинний розклад лабільних компонентів у складі ГК і ФК [405, 411]. Виявлені нами ендогенні ефекти у даному термічному інтервалі, за даними Kaiser and

Guggenberger [412], виникають в результаті: дегідратації гідромагнетиту (275–375 °С), утворення беміту з α – гіббситу (250–300 °С), часткової дегідратації β – гідраргіліту (250–300 °С), дегідратації β – лимоніту та гелеподібних оксидів заліза (250–300 °С), втрати 0,5 H₂O у гіпсі (220–240 °С), втрати пакетної води у монтморилоніті (200–235 °С) та Mg-вермикуліті (220–265 °С), дегідратації гідробіотиту (200–250 °С), ступеневої дегідратації гідроалюмінату кальцію (250–320 °С), тощо.

Максимальний за амплітудою екзогенний пік власне гумусових речовин спостерігався в інтервалі 330–350 °С. Ряд авторів [403, 404, 413] вважають, що даний екзотермічний пік асоційований із целюлозою та/або із слабогуміфікованими компонентами гумусу, які втрачають OH⁻ і COOH⁻ групи [414]. Натомість, G. McCarty et al. [415] та J. Boyle [416] не знайшли наявності гідроксид- та оксигідроксид- вмісних мінералів у даному діапазоні. Ці автори вважають, найбільша втрата маси у високогумусних ґрунтах відбувається саме у даному інтервалі, а екзотермічний ефект пов'язаний із виділенням CO₂ з органічної речовини ґрунту. Результати досліджень інших авторів [417], показують, що ґрунтові проби із високим умістом гумусу і високою ступеню гуміфікації характеризуються наявністю термічного «плеча» при 300 °С, а екзотермічний ефект є результатом спалювання аліфатичної частини гумусових речовин. Лабільними органічними компонентами аліфатичної частини гумусових речовин, які розкладаються в інтервалі 270–400 °С, на думку: Z. Cihlaa and J. Kuceroak [418], R. Andrade et al. [419], Y. Zhang et al. [420] та G. Moraes et al. [388] – можуть бути: карбоксильні, метиленові, спиртові, альдегідні, амідні, амінні та фенольні групи, поліцукри з C–O зв'язками, прості ароматичні структури, які легко трансформуються мікроорганізмами. Результати диференційно-термічного аналізу чорнозему звичайного, проведеного Е. А. Шургіною [400] показали, що в інтервалі 270–400 °С втрачається 8,8 % маси гумінових і 45,8 % – фульвокислот. Більші масові втрати ФК у даному діапазоні пов'язані більшою у них кількістю полярних і кисневмісних

функціональних груп, порівняно із ГК [421]. Згідно результатів наших досліджень (рис.: 4.15–4.17), амплітуда зміни маси ґрунтової проби при екзотермічному ефекті у даному діапазоні поступово зменшувалась від 0–5 до 80–100 см шарів чорнозему типового за RTu і DRTu. За оранки, найбільший термoeфект спостерігався у пробі 10–20 см шару ґрунту. Максимальна швидкість згорання органічних компонентів ґрунтових проб відмічалась у 0–10 см шарі – за RTu, 0–30 см шарі – за DRTu і 0–40 см шарі – за CTu. У даному діапазоні, крім основного екзотермічного піку за температур 338–343 °С, спостерігались температурні ефекти при: 303, 304, 315, 322–327, 363–368, 376–378, 382–385 і 391–397 °С. Наявні екзотермічні ефекти вказують на багатоконпонентність лабільної фракції гумусових речовин. За даними В. М. Семенова і А. С. Туліної [385] лабільна фракція представлена легко-, помірно- та важко-мінералізованими компонентами з константами швидкості мінералізації: $k_1 > 0,1$, $k_2 > 0,01$ і $k_3 > 0,001$ (за 1 добу). Органічна речовина легкої фракції активного пулу швидко окислюється, утилізується мікроорганізмами, взаємодіє із фенольними продуктами розкладу і мінералізації поліцукрів, «важка» – складається із більш захищених до розкладу органічних речовин та стабілізованих лабільних гумусових речовин. Легкі фракції лабільних гумусових речовин являють собою слабо-трансформовані ферментами органічні сполуки ґрунту, які мають найкращу біологічну якість і є індикатором ранніх змін якісного складу гумусу. Наявність стабілізованої фракції захищає лабільний гумус від його повної мінералізації за оранки, чорного пару та перебування у нижніх шарах ґрунту.

Втрата ароматичних сполук у лігніні та поліфенолах відбувається у температурному інтервалі – 400–500 °С [422, 423]. Основне термічне окиснення лігніну відбувається за температур 410–430 °С, а термічно стійкі вуглисті артефакти целюлози згорають за 460–480 °С [424]. Термостійкі фракції органічної речовини ґрунту, пов'язані із поліконденсованим ароматичним ядром, представляють піки за температури більше 500 °С [425]. Органічна речовина ґрунту, яка зазнала глибокої трансформації і гуміфікації та зв'язана із

мінералами різними сорбційними механізмами – на термограмах представлена у вигляді плечового піка [426]. У наших дослідженнях такі піки винайдені за температур: 415–416 та 420–422 °С. Термічні піки лігніну, целюлози та інших складних вуглеводів за даної температури не відмічається.

Відповідно до наших даних, другий екзотермічний пік органічної речовини ґрунту знаходиться у межах 413–417 °С, якому передувала зміна маси ґрунтових проб при температурах 400–409 °С (окислення найбільш термічно стійких решток рослин) [403]. Похідна зміни маси в інтервалах 413–417 °С поступово зменшувалась від ґрунтових проб верхнього 0–5 см (0,0019 %/°С) до 80–100 см (0,0011 %/°С) шарів чорнозему типового. Найбільша кількість термічних ефектів в області 400–500 °С спостерігалась за RTu та DRTu – у шарі 0–5 см, DRTu – у шарі 60–80 см та RTu, DRTu і STu – у шарі 80–100 см. Втрата маси ґрунтової проби за температур, які перевищують 400 °С пов'язана переважно із важкорозчинною та стабілізованою органічною речовиною ґрунту, в основі якої лежить sp^2 гібридизована карбонова основа [427]. За температурних ефектів 420–550 °С відбувається втрата поліциклічних і поліароматичних сполук [411], руйнування складних довголанцюгових вуглеводів (лігнін) [423], мінералізація нерозчинних і термостійких (507–570 °С) органо-мінеральних сполук з енергією ароматичних зв'язків $\cong 520$ кДж/моль [428], окиснення «ядерної» частини гумусових речовин (470–580 °С). Повна деструкція органічної речовини ґрунту, за даними E. Lopez-Capel et al. [424], відбувається за 650 °С, рекальцитрантного вуглецю – за 650–700 °С [400], гумінових і фульвокислот – за 500–600 і 600–700 °С відповідно [400]. За температур вище 500 °С, у гумінових кислотах можуть протікати процеси конденсації та ароматизації довголанцюгових азотовмісних компонентів, що впливає на уповільнення (іноді – збільшення) втрати їх маси [421]. Інші автори [412] пов'язують зменшення амплітуди екзотермічного піку при 430–590 °С із наявністю органічної речовини ґрунту сорбованою твердою фазою глинистих мінералів, у якій більшу масову частку займають мінерали і меншу – органічні сполуки. У даному

температурному інтервалі фазові перетворення відбуваються із каолінітом (480–610 °С), монтморилонітом (500–760 °С), магнезитом (540–710 °С), гідрокарбонатом магнію (530–600 °С), ілітом і гідрослюдами (500–650 °С), гідросилікатом кальцію (500–600 °С), тощо. За температури 573 °С спостерігається типова ендотермічна реакція фазового перетворення $\alpha \leftrightarrow \beta$ кварц. Після 600 °С основні термічні ефекти пов'язані із фазовими перетвореннями кальциту (вивільнення $\text{CO}_2\text{-C}$ та $\text{CO}_3\text{-C}$) з максимальною ендотермічною реакцією за температури 765–790 °С [426, 429]. У наших ґрунтових пробах, в області температур вище 600 °С екзотермічних ефектів не було знайдено.

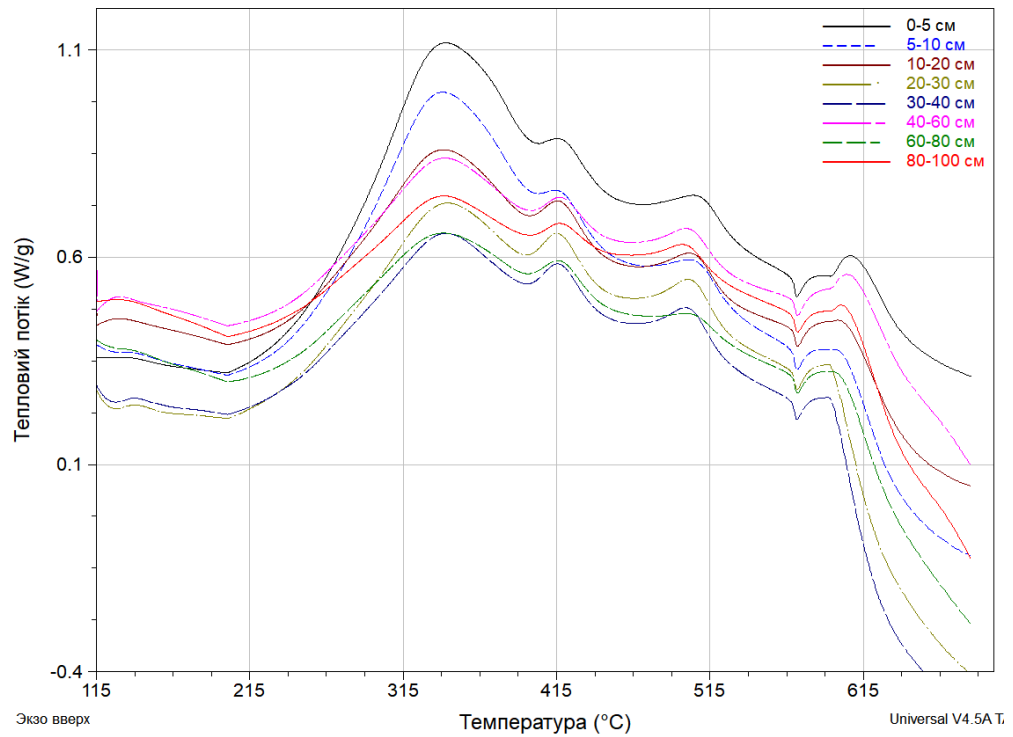
Третій за амплітудою екзотермічний пік спостерігався за температур 495–505 °С. Найбільші фазові перетворення у даній температурній області спостерігались у ґрунтових пробах 0–5 см шару – за RTu і DRTu та 5–20 см шару – за STu. Даному ефекту передували термічні перетворення речовин при температурах 452–463 і 475–477 °С, найбільша кількість яких спостерігалась за RTu і DRTu – у 0–20 і 30–40 см шарах, STu – у 20–30 та 80–100 см шарах, DRTu – у 40–80 см шарі. В області 500–600 °С основні термічні ефекти відповідали температурам: 522–257, 539–542 і 554–562 °С. За температур 572–574 °С в усіх досліджуваних пробах спостерігався характерний для кварцу ендогенний ефект, після якого виникало два екзотермічних ефекти з характерним «плечем» за температур 591–592 °С, які пов'язують із руйнуванням та окисненням термостійких «ядерних» конденсованих органо-мінеральних комплексів гумусових речовин ароматичної будови [388, 406, 411, 430]. Похідна зміни маси ґрунтових проб 20–100 см шару чорнозему типового інтенсивно наростала після 600 °С, що пов'язано передусім із більшим умістом кальциту та фазових переходах у кристалічних ґратках мінералів. Основні термічні ефекти у даній області виникали за температур : 631, 659, 663, 675 і 694 °С та мали ендогенний характер.

4.5. Диференційна скануюча калориметрія органічної речовини чорнозему типового

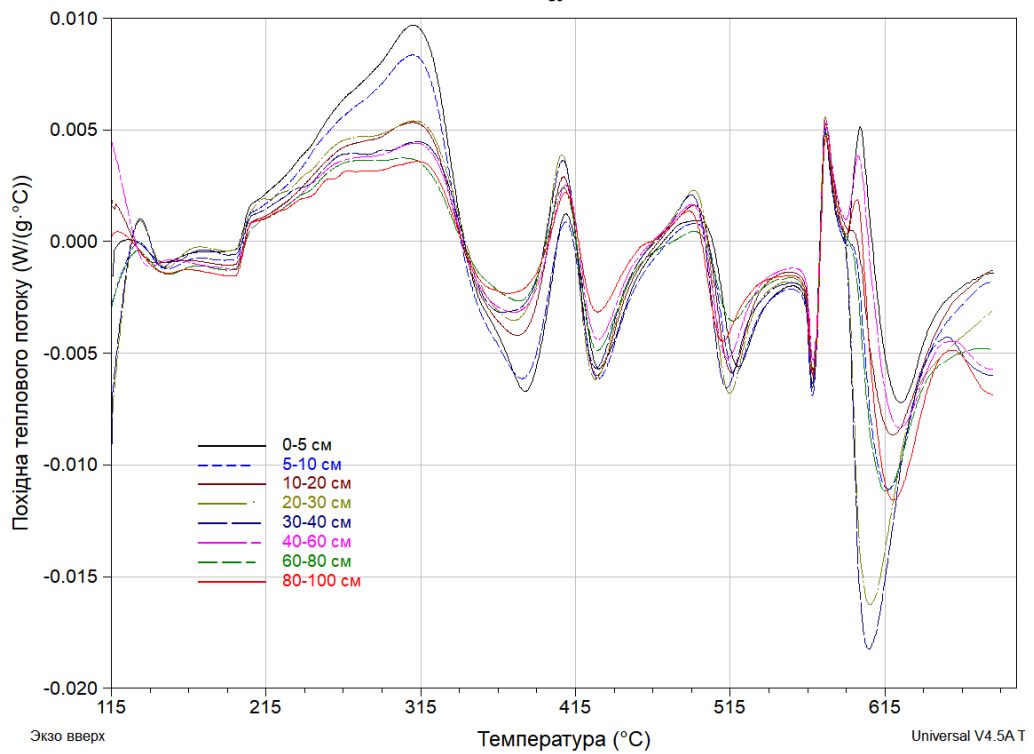
Застосування термогравіметрії, дериватної термографічної гравіметрії і диференційної скануючої калориметрії (ДСК) при аналізі органічної речовини ґрунту дозволяє якісно і кількісно оцінити поліморфну трансформацію і деструкцію органічних і мінеральних сполук, синтез нової твердої фази, термодинаміку і кінетику фазових переходів окремих компонентів ґрунту, ідентифікувати склад твердої фази, тощо [431, 432]. С. Siewert [429] винайшов високі кореляційні відношення ($r = 0,96$, $P < 0,001$) та ($r = 0,74$; $P < 0,001$) між висотою теплових енергетичних піків і умістом гумусу у термічних інтервалах 330–350 і 410–420 °С. Відсутність відповідного кореляційного зв'язку ($r = 0,11$; $P = 0,58$) була відмічена для піків інтервалу 500–505 °С і органічного вуглецю ґрунту. Натомість, M. Schiedung et al. [433], відзначали найбільше падіння маси при температурі 400 °С у ґрунтовій пробі піщаного гранулометричного складу із найменшим умістом гумусу, що вказує на проблемність кількісного оцінювання даної фракції гумусу за параметрами термічного піку. Незважаючи на складнощі оцінювання умісту органічної речовини ґрунту за енергетичними параметрами піків, можна визначити процентне співвідношення різних фракцій гумусу. Порівнюючи масову втрату ґрунтової проби у межах екзотермічних піків можна також розрахувати індекси термічної стабільності органічної речовини ґрунту і її фракцій. На думку вчених екзотермічні області доцільно досліджувати у наступних температурних інтервалах: 301–388, 424–448 і 507–570 °С [434], 230–330, 330–430 і 430–530 °С [434], піки при 354, 430 і 520 °С [435], 200–380, 380–475 і 475–650 °С [434], 338–341, 439–456 і 539–560 °С [436], 40–220, 220–430 та 430–650 °С [411]. Ряд авторів [437] вказують на інші температурні інтервали, що пов'язано передусім із різними типами ґрунтів, торфів і вуглецевих сполук. Відповідно до результатів наших досліджень, екзотермічні ефекти у ґрунтових пробах чорнозему типового виникали в температурних інтервалах: 200–310 °С (E_{x01}), 310–396 °С (E_{x02}), 396–451 °С (E_{x03}), 451–568 °С

(E_{x04}) і 578–610 (E_{x05}) °C (рис.: 4.18–4.20). У зв'язку з цим, нами були обраховані: зміна маси ґрунтової проби (ΔM) та площа питомої теплоємності (c_s) інтервалів з екзотермічними ефектами, а також їх співвідношення (додатки: В. 11 – В. 16).

Р. Voguta et al. [411] встановили індекс гуміфікації органічної речовини ґрунту за співвідношенням втрати маси ґрунтової проби (ΔM) в інтервалі 0–430 °C до ΔM в інтервалі 430–650 °C. Даний підхід, на нашу думку, є не зовсім виправданим, тому, що він зумовлений переважно втратою маси ґрунтової проби за рахунок втрати адсорбованої та кристалічної води, фазових переходів солей, змішано-шаруватих і глинистих силікатів. Наші ДСК дослідження вказують, що екзотермічні ефекти починаються із температур більше 200 °C. У зв'язку з цим, у даній роботі, індекс гуміфікації органічної речовини ґрунту ($I_{гк\Delta M}$) пропонується розрахувати: – за співвідношенням ΔM в інтервалі 200–396 °C ($\sum E_{x01-2}$) до ΔM в інтервалі 396–610 °C ($\sum E_{x03-5}$). Відповідно до даних додатку В 17, $I_{гк\Delta M}$ у ґрунтових пробах за RTu – стрімко зменшується із глибиною, за STu – зростає до глибини 10–20 см і поступово зменшується до 100 см шару, за $DRTu$ – має найбільші значення за усі досліджувані варіанти обробітку ґрунту в шарі 0–40 см. Розрахунок індексу гуміфікації органічної речовини ґрунту ($I_{гкc_s}$) за співвідношенням площі питомої теплоємності (c_s) запропонований Voguta et al. [411], на жаль, за результатами наших досліджень не показує реальне питоме тепловиділення окремих фракцій органічної речовини ґрунту і їх відношення. Так наприклад, найбільша площа питомої теплоємності лабільних фракцій гумусових речовин E_{x01-2} температурних діапазонів була відмічена у 0–5 та 5–10 см шарах за RTu : 130 і 119 Дж/(г·°C) і $DRTu$ – 138 і 118 Дж/(г·°C). Натомість, показник $I_{гкc_s}$ визначив найбільший індекс гуміфікації органічної речовини ґрунту за STu – 4,3 у шарі 0–5 см, ґрунтова проба якої характеризується значно меншою площею питомої теплоємності вищезгаданих фракцій у цьому діапазоні – 101 Дж/(г·°C) (додатки: В 12, В 14 і В 16). Дана неузгодженість пояснюється найменшим тепловим ефектом гумусових речовин E_{x03-5} регіону за STu , який

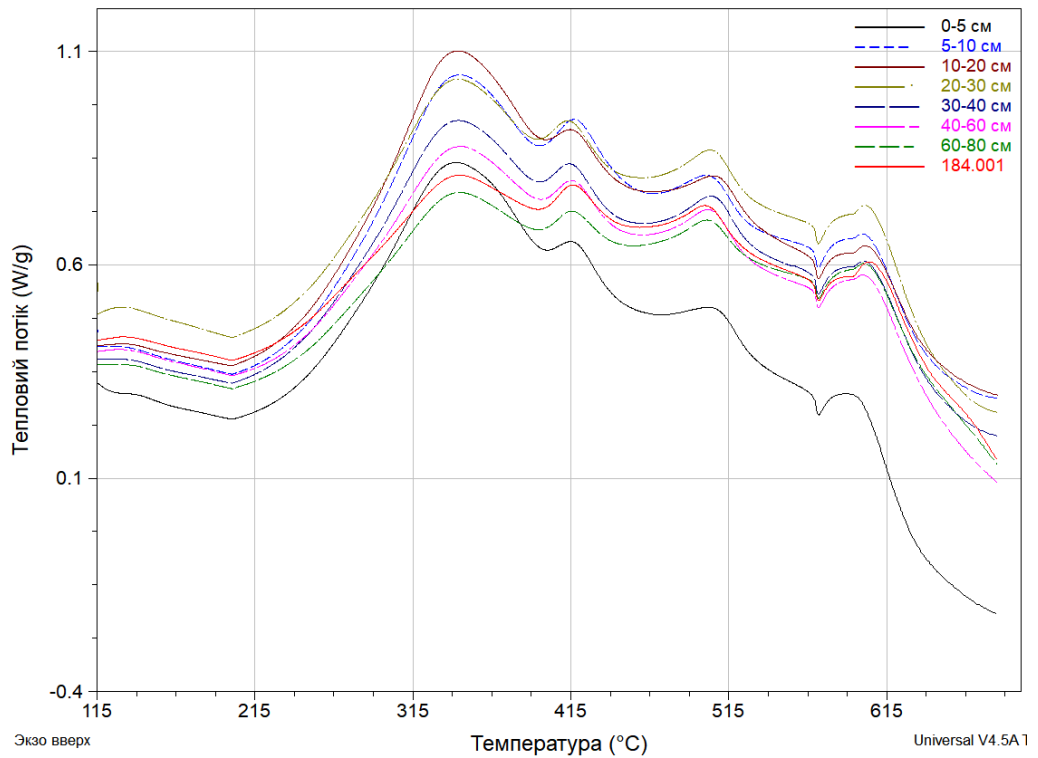


а

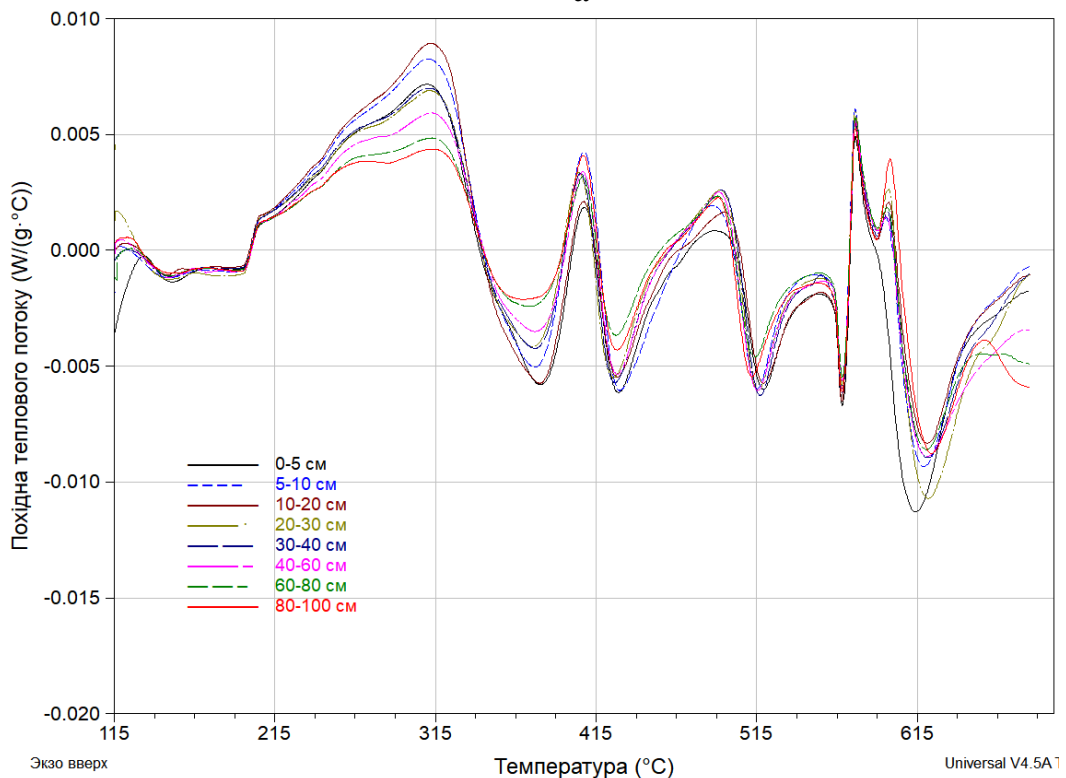


б

Рис. 4.18. Розподіл теплового потоку (а) і похідної теплового потоку (б) ґрунтових проб 0–100 см шару чорнозему типового за 16 річного використання мілкого безполицевого обробітку (RTu). Варіант – солома 1,2 т/га + сидерати + $N_{12} + N_{78}P_{68}K_{68}$, дослід № 1

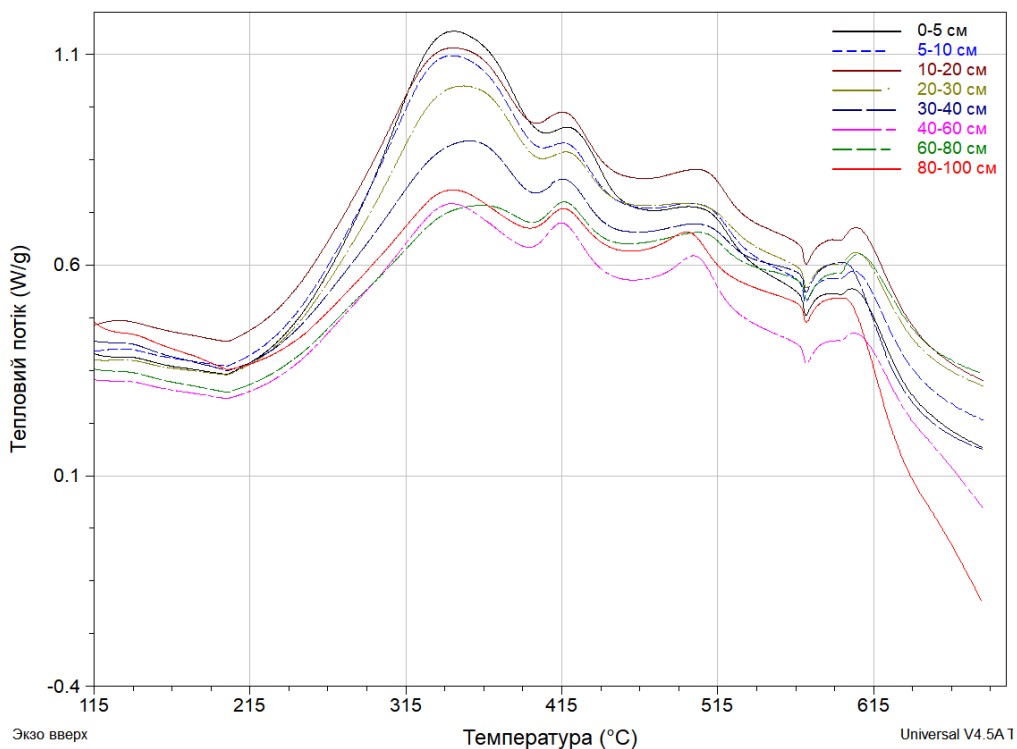


а

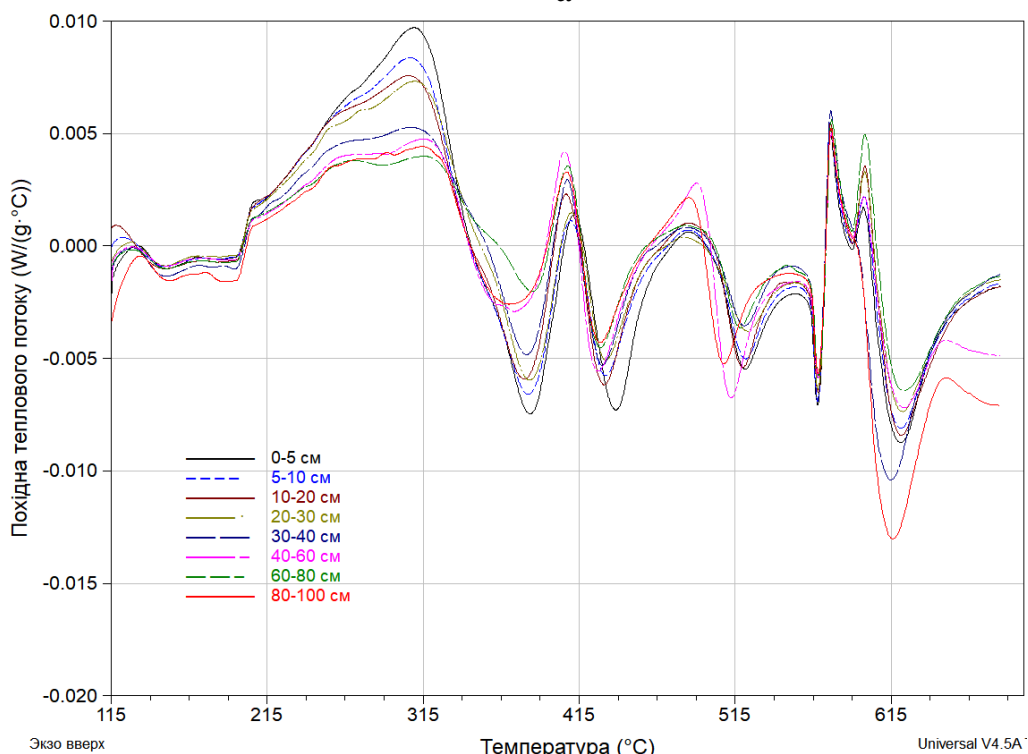


б

Рис. 4.19. Розподіл теплового потоку (а) і похідної теплового потоку (б) ґрунтових проб 0–100 см шару чорнозему типового за 16 річного використання оранки (СТу). Варіант – солома 1,2 т/га + сидерати + $N_{12} + N_{78}P_{68}K_{68}$, дослід № 1



a



b

Рис. 4.20. Розподіл теплового потоку (a) і похідної теплового потоку (b) ґрунтових проб 0–100 см шару чорнозему типового за 16 річного використання глибокого безполицевого обробітку (DRTu). Варіант – солома 1,2 т/га + сидерати + $N_{12} + N_{78}P_{68}K_{68}$, дослід № 1

вплинув на завищення I_{gk_s} показника у даному варіанті. Найбільша площа питомої теплоємності лабільних фракцій органічної речовини ґрунту відмічалась за: STu – у 10–20 та 30–60 см шарах, RTu – у 5–10 та 60–80 см шарах і $DRTu$ – у 0–5, 20–30 та 80–100 см шарах. Площі питомої теплоємності стабільних фракцій ОРГ ($E_{ho_{3-5}}$) були найбільшими за $DRTu$ і RTu у шарах 0–5 та 10–100 см, і за STu – у шарі 5–10 см. Похідна теплового потоку у температурному інтервалі 578–610 °С, що відповідає екзотермічному ефекту – E_{ho_5} – має «плече», яке зростає у ґрунтових пробах нижніх шарів ґрунту. На думку А. Langier-Kuz'niarowa [438] та J. Ferná'ndez et al. [426] це «плече» виникає у результаті термічної реакції ароматичної поліконденсованої частини ОРГ, яка зв'язана із мінеральною частиною ґрунту. Відповідно до результатів наших досліджень у ґрунтових пробах нижніх шарів ґрунту, порівняно із верхніми шарами, площа E_{ho_5} ефекту суттєво зростає, що свідчить про збільшення частки органо-мінеральних гумусових речовин із глибиною. Процентний уміст площ питомої теплоємності зменшується униз по профілю за $E_{ho_{1-2}}$ та збільшується за $E_{ho_{3-5}}$. Втрата мас ґрунтових проб за $E_{ho_{1-2}}$ зменшувалась з глибиною за RTu (3,2–2,3 %) і $DRTu$ (3,5–2,8 %) та збільшувалась до середини профілю за STu (2,9–3,1 %) (додатки: В 11, В 13 і В 15). З глибиною, процентний уміст $E_{ho_{4-5}}$ термостійких фракцій гумусу за показниками ΔM та c_s – збільшувався в усіх ґрунтових пробах усіх варіантів. Кореляційні залежності між групами і фракціями гумусу чорнозему типового та параметрами екзотермічних ефектів гумусових речовин представлені у додатку В 18.

4.6. Сезонна динаміка вмісту $C_{\text{орг}}$, $N_{\text{заг}}$ і відношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ у чорноземі типовому та ізогумусолях

Протягом останніх десятиліть дослідження науковців спрямовувались на вивчення властивостей органічної речовини ґрунту, її кількісного і якісного складу у взаємозв'язку із глобальним кліматичними змінами і сільськогосподарським використанням. Гумус і $C_{\text{орг}}$ дійсно відіграють важливу роль у забезпеченні важливих екосистемних функцій ґрунтів, однак їх статичні параметри не відображують поточний стан вмісту азоту і поживних елементів у ґрунтах [439]. Розуміння сезонної динаміки органічного вуглецю та азоту ґрунту сприятиме розробці комплексу заходів із управління забезпеченістю потреб рослин азотом протягом вегетації, а також – при створенні стратегії щодо формування оптимальних властивостей ґрунтів [440]. Питання сезонних змін вмісту органічної речовини ґрунту є одним із найбільш дискусійних у сучасній науковій літературі. Агрономічні дослідження в основному спрямовані на вивчення динаміки вмісту органічного вуглецю і загального азоту у верхньому орному шарі ґрунтів [441]. Переважна більшість вчених, як вважають G. Stanford and S. Smith [442] та C. Campbell et al. [443] вивчають $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ у одноразово відібраних за рік пробах, не беручи до уваги їх можливі сезонні зміни. На думку A. Franzluebbbers et al. [436], сезонні зміни $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ залежать від активності мікроорганізмів, агротехнічних заходів, продуктів життєдіяльності живих організмів, типу та якості органічних решток, сівозміни, обробітку ґрунту, удобрення, тощо. Розміри флуктуації росту і відмирання мікробної біомаси, можуть складати 0,015–0,04 % від маси ґрунту. Ряд авторів [444, 445] вважають, що сільськогосподарське використання ґрунтів впливає на динаміку запасів $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ у підорних шарах. Вивчення речовинних потоків у глибоких шарах ґрунтів дозволить зрозуміти фундаментальні зміни властивостей ґрунтів за їх сільськогосподарського використання і допоможе в управлінні їх родючістю. Сезонна динаміка вмісту $C_{\text{орг}}$, $N_{\text{заг}}$, а також відношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ вказує на напрям трансформаційних процесів органічної речовини ґрунтів у наземних природних

та аграрних екосистемах. Агроекологічна сезонна стабільність ґрунтів, у контексті взаємодії C : N органічних сполук ґрунту, визначається вхідними параметрами умісту $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ на початку або перед вегетацією, амплітудою та циклічністю їх сезонних змін, умістом $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ наприкінці або після вегетації сільськогосподарських рослин. Протягом вегетації с.-г. рослин відбувається як зміна умісту вуглецю органічних сполук та азоту, так і їх структурні перетворення. Н. Janzen et al. [80] вважають, що легка (лабільна) фракція (LF) органічної речовини ґрунту грає «ключову роль» у поясненні сезонних змін $C_{\text{орг}}$ [93]. Найбільш піддатливі до мінералізації компоненти LF фракції знаходяться за межами агрегатів ґрунту і відносяться до вільної LF фракції – FLF. Інша частина LF компонентів оклюдована у складі ґрунтових агрегатів – OLF і є більш стійкою до біохімічної трансформації. FLF сполуки є найбільш доступним джерелом живлення для рослин і мікроорганізмів, вони визначають ефективну родючість чорноземів і найбільш динамічно змінюються за використання агротехніки та впливу абіотичних кліматичних факторів.

Строки та глибина відбору ґрунтових проб, технології обробітку і характер використання ґрунтів вплинули на динаміку змін органічного вуглецю та загального азоту в ґрунтах. За результатами наших спостережень ($n = 36-54$), положення медіани $X_{n_{0,50}}$ міжквартильного розмаху IQR_{25-75} показників $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ за безполицевих технологій було вищим за оранку у верхньому 0–20 см шарі чорнозему типового як на удобрених, так і на неудобрених варіантах (додатки: Б 52 *a, b* – Б 54 *a, b*). У нижньому 20–80 см шарі чорнозему типового, медіана параметра $C_{\text{орг}}$ була вищою у варіанті із оранкою (додатки: Б 52 *c, e* – Б 54 *c, e*). Положення медіани параметру $N_{\text{заг}}$ було найвищим за оранки у 20–40 (вар.: 1, 3) (додатки: Б 52 *d, Б 53 d*) та 40–80 см шарах (вар.: 3, 5) (додатки: Б 53 *f, Б 54 f*). Медіана параметру $N_{\text{заг}}$ за DRTu була найвищою у 40–80 см шарі (вар.1) (додаток Б 52 *f*), 20–40 см шарі (вар.5) (додаток Б 54 *d*). Найбільший міжквартильний розмах IQR_{25-75} параметру $C_{\text{орг}}$ протягом сезону був за: DRTu – у 0–20 см шарі (вар.1), RTu – у 20–40 (вар. 1) та 0–20 см шарах (вар. 5), STu – у 40–80 см шарі

(вар.: 1, 3, 5). Максимально високе розсіювання точок викиду $C_{орг}$ і $N_{заг}$ було за RTu – у 0–20 см шарі за усіх варіантів удобрення (додатки: Б 52 *a, b* – Б 54 *a, b*).

Одержані множинні дані ($n = 12-48$) у травні, липні, серпні і жовтні по змінам умісту $C_{орг}$ і $N_{заг}$ у китайських ізогумусолях показали найбільш високе положення медіани, третього квартилю, максимальні параметри розмаху і найбільший діапазон викидів – у варіантах із Ab та NT у верхньому 0–20 см шарі (додатки: Б 55 *a, b* – Б 56 *a, b*). Варіант із СТ характеризувався найвужчим IQR_{25-75} та найменшим діапазоном максимальних і мінімальних значень. У варіанті із чорним паром – положення медіани, перший квартиль, найменше значення дев'яносто п'яти процентного персентилю і викиди значень – займали найнижчу позицію серед досліджуваних варіантів. У нижньому 20–40 см шарі, найбільш високе положення IQR_{25-75} (уміст $C_{орг}$ і $N_{заг}$) було за Ab та F (додатки: Б 55 *c, d*; Б 56 *c, d*). Серед технологій обробітку ґрунту, найбільший розмах найменших і найбільших значень умісту $C_{орг}$ і $N_{заг}$ у даному шарі спостерігався за: СТ, RT, Comb і Rot. Нижній 40–80 см шар характеризувався динамічними змінами значень $C_{орг}$ і $N_{заг}$ протягом вегетації. Найбільший міжквартильний IQR_{25-75} розмах $C_{орг}$ і $N_{заг}$ був за: Ab, F, СТ, RT і Fst (додатки: Б 55 *e, f*; Б 56 *e, f*).

На початку вегетації уміст $C_{орг}$ і $N_{заг}$ залежав від: процесів перетворення рослинного матеріалу протягом осінньо-зимово-весняного періоду на фоні локальних кліматичних умов; припосівного удобрення, агротехніки, внутрішньо-ґрунтових процесів, активності живих організмів, зниження інтенсивності процесів нітрифікації – амоніфікації, тощо. Протягом 6 місяців відбувалось природне відновлення властивостей і режимів досліджуваних ґрунтів. Однак тривале застосування різних технологій обробітку ґрунту неоднаково вплинуло на стратиграфію умісту $C_{орг}$ і $N_{заг}$. В середньому по варіантах удобрення найбільший уміст $C_{орг}$ і $N_{заг}$ перед початком вегетації забезпечували: RTu – у шарі 0–5 см (2,38–2,61 %), DRTu – у 5–30 і 60–100 см шарах (рис.: 4.21–4.22, 4.24–4.25 і 4.27–4.28). Варіант із оранкою забезпечував найбільший уміст $C_{орг}$ у 20–30 см шарі на удобрених варіантах: $(2,32 \pm 0,02) \%$ –

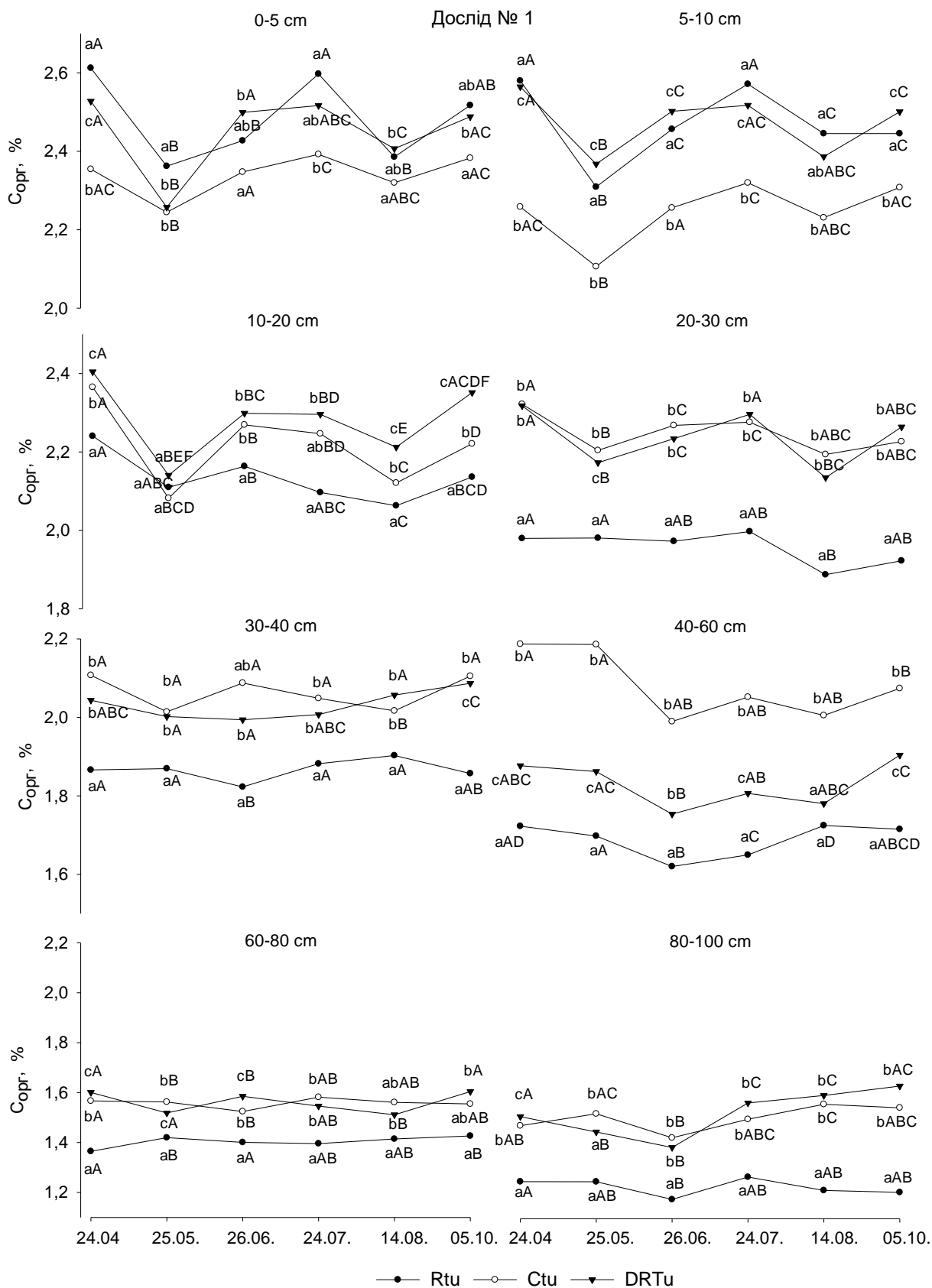


Рис. 4.21. Динаміка умісту $C_{орг}$ (%) у 0–100 см шарі чорнозему типового за використання RТу, СТу і DRTу протягом 2012–2014 років. Варіант – солома 1,2 т/га + N_{12} + сидерати + $N_{78}P_{68}K_{68}$. Культура – ячмінь. ab –різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

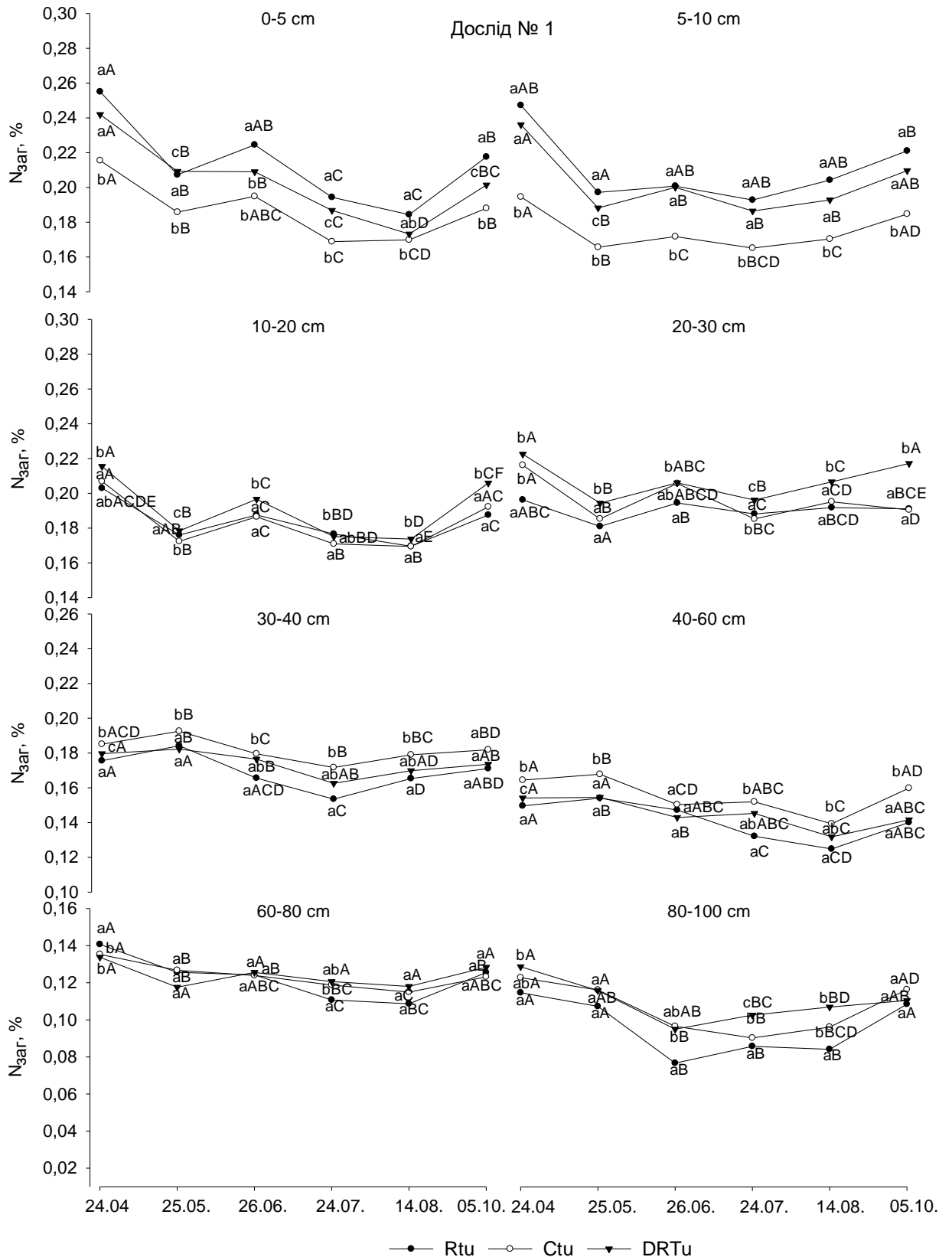


Рис. 4.22. Динаміка умісту $N_{\text{заг}}$ (%) у 0–100 см шарі чорнозему типового за використання RТу, СТu і DRTu протягом 2012–2014 років. Варіант – солома 1,2 т/га + N_{12} + сидерати + $N_{78}P_{68}K_{68}$. Культура – ячмінь. a^b –різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

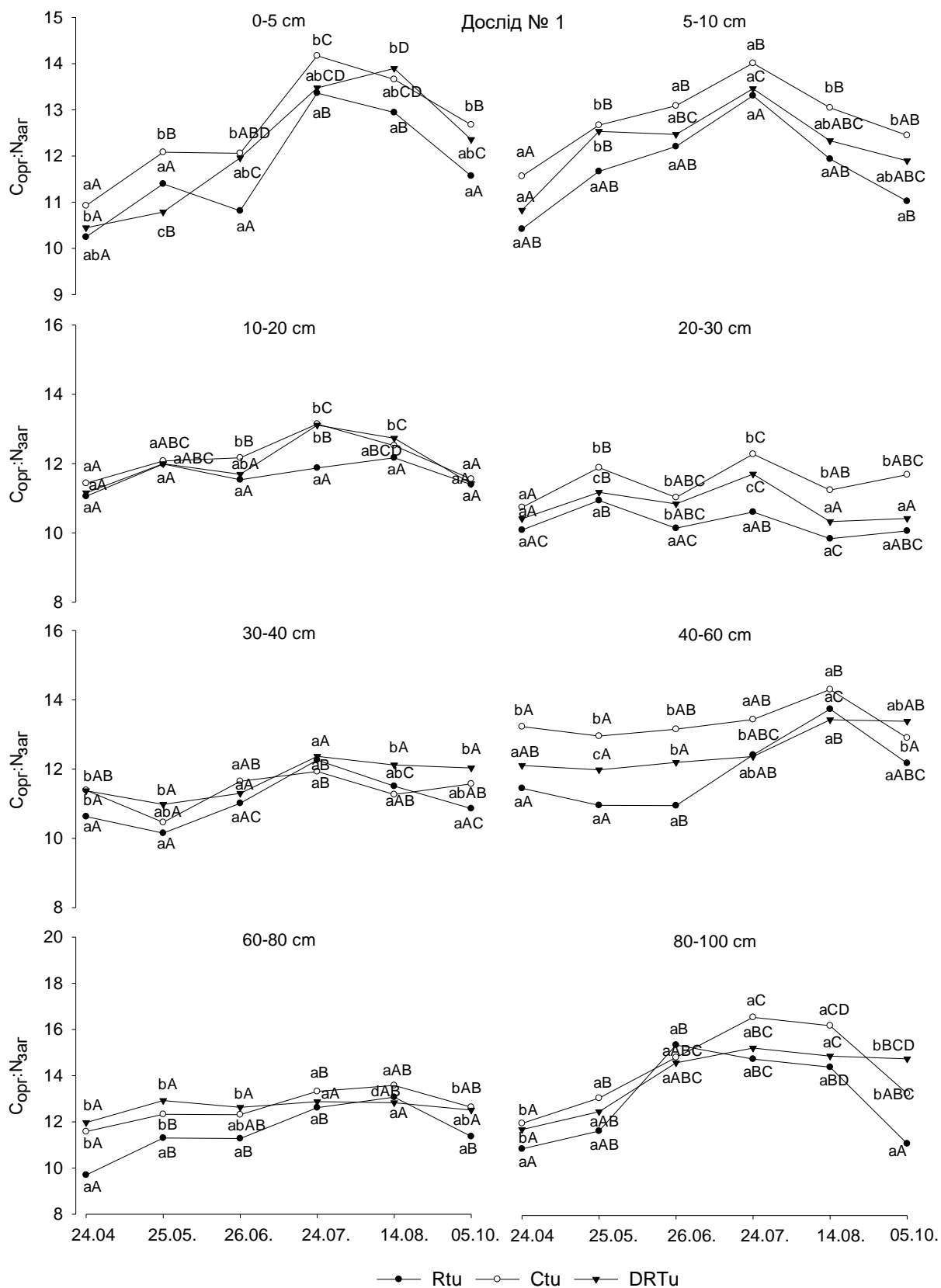


Рис. 4.23. Динаміка відношення $C_{орг} : N_{заг}$ у 0–100 см шарі чорнозему типового за використання Rt_u , Ct_u і DRT_u протягом 2012–2014 років. Варіант – солома 1,2 т/га + N_{12} + сидерати + $N_{78}P_{68}K_{68}$. Культура – ячмінь. a^B –різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

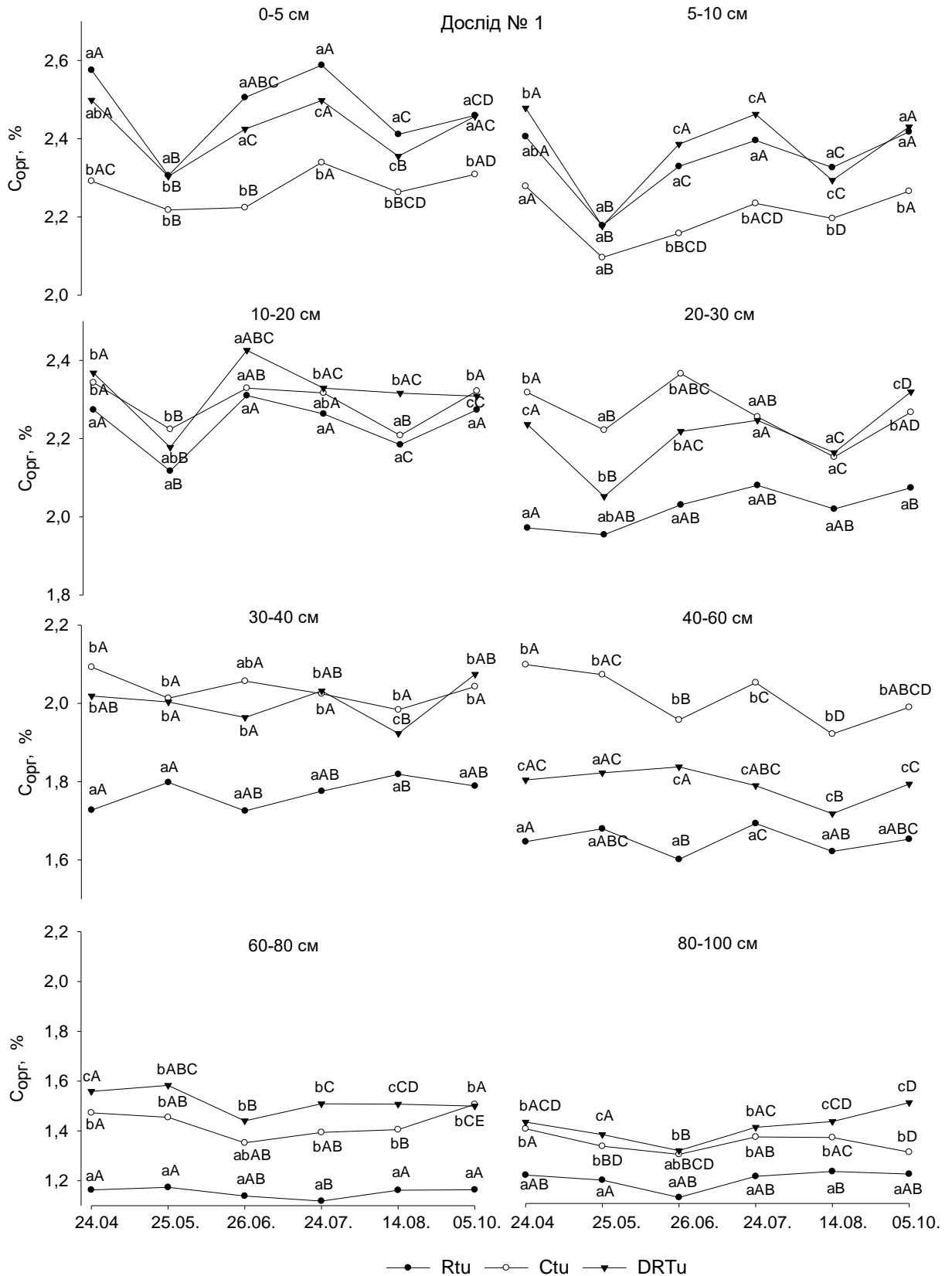


Рис. 4.24. Динаміка умісту $C_{орг}$ (%) у 0–100 см шарі чорнозему типового за використання RТу, СТу і DRTу протягом 2012–2014 років. Варіант – солома 1,2 т/га + N_{12} + $N_{78}P_{68}K_{68}$. Культура – ячмінь. ab –різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

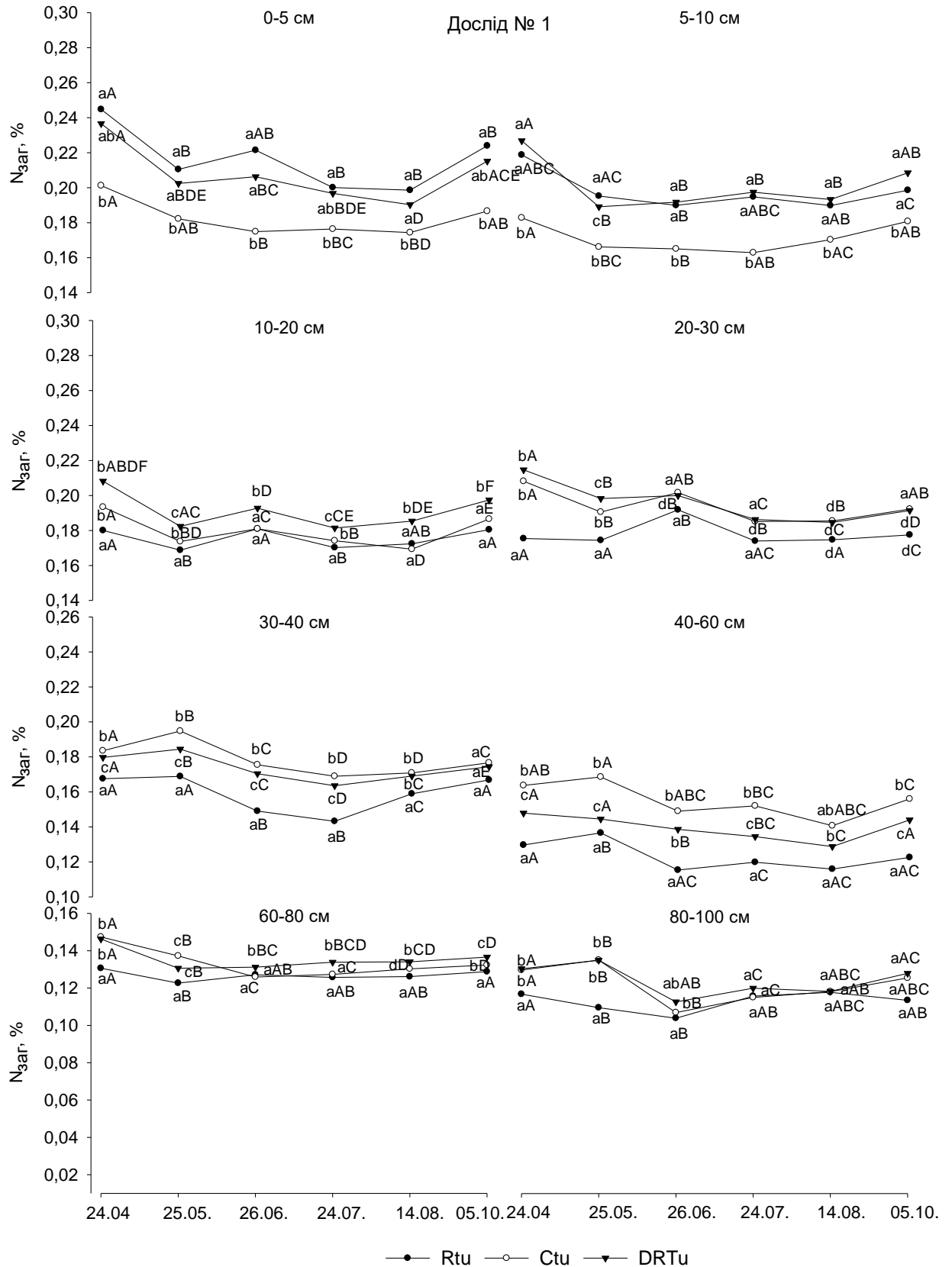


Рис. 4.25. Динаміка умісту $N_{зaг}$ (%) у 0–100 см шарі чорнозему типового за використання RTu, CTu і DRTu протягом 2012–2014 років. Варіант – солома 1,2 т/га + N_{12} + $N_{78}P_{68}K_{68}$. Культура – ячмінь. ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробітком ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

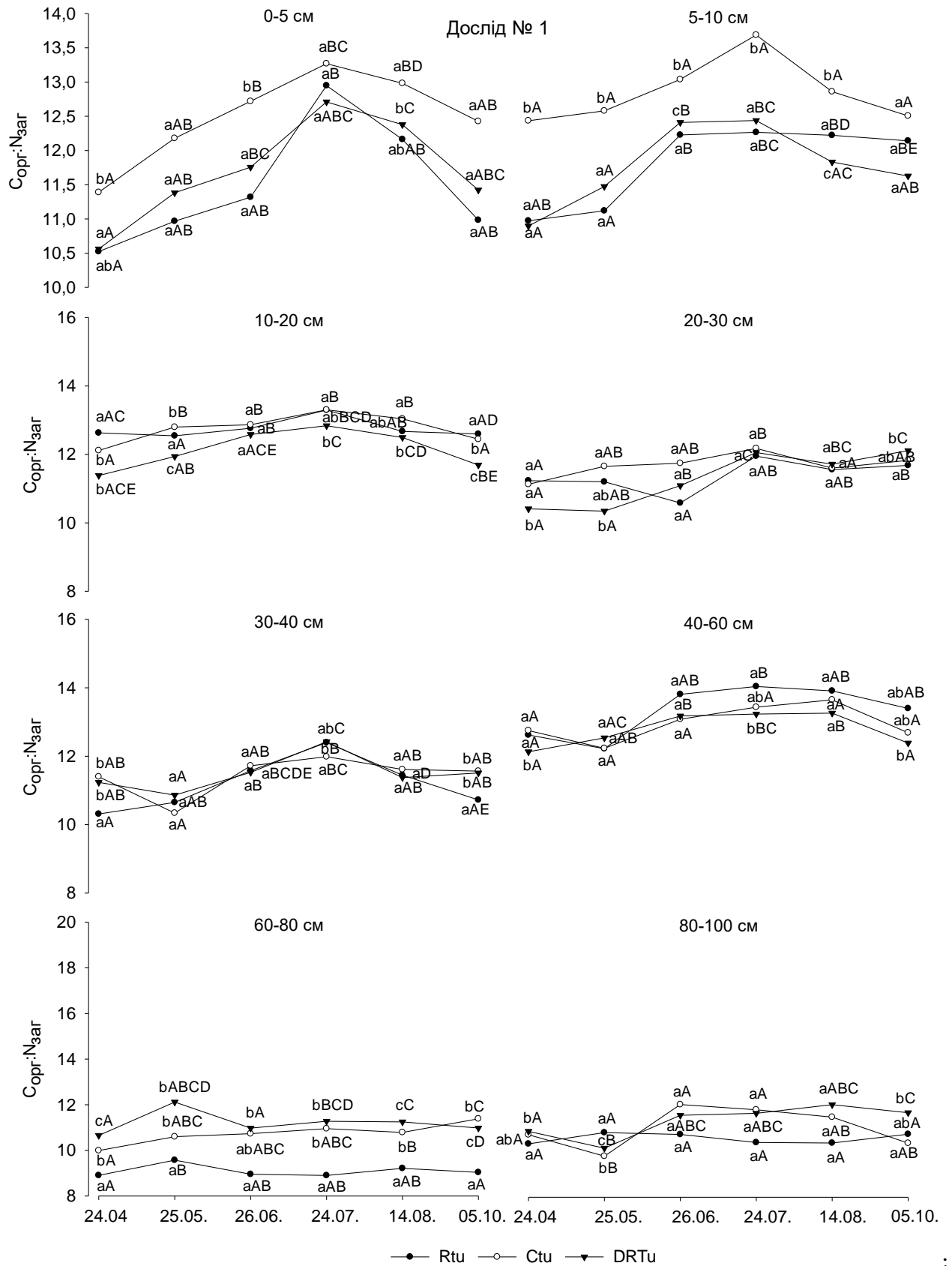


Рис. 4.26. Динаміка відношення $C_{орг} : N_{заг}$ у 0–100 см шарі чорнозему типового за використання RTu, CTu і DRTu протягом 2012–2014 років. Варіант – солома 1,2 т/га + N_{12} + $N_{78}P_{68}K_{68}$. Культура – ячмінь. ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

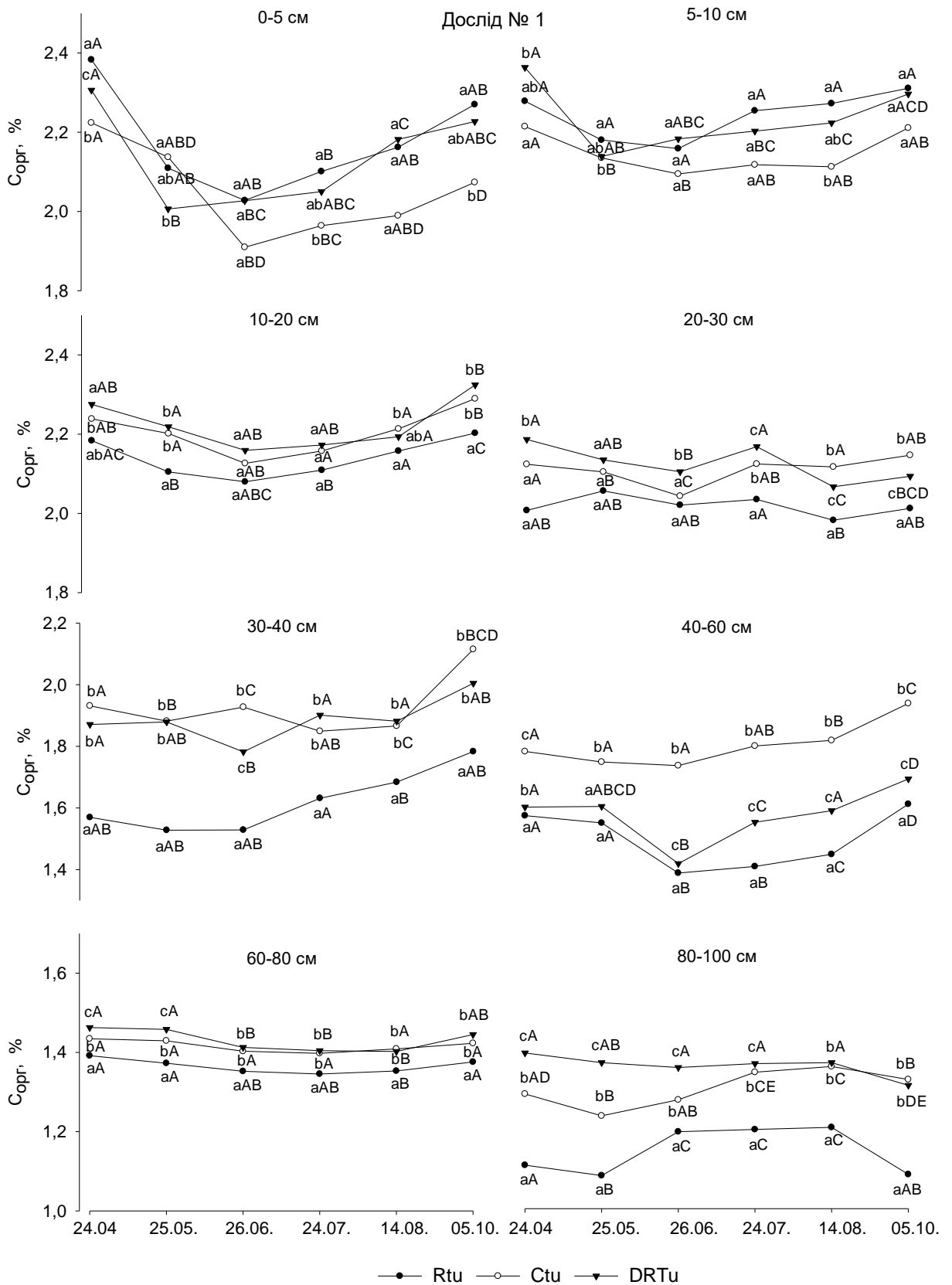


Рис. 4.27. Динаміка умісту $C_{орг}$ (%) у 0–100 см шарі чорнозему типового за використання RТу, СТу і DRTу протягом 2012–2014 років. Варіант – без добрив. Культура – ячмінь. a^B –різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

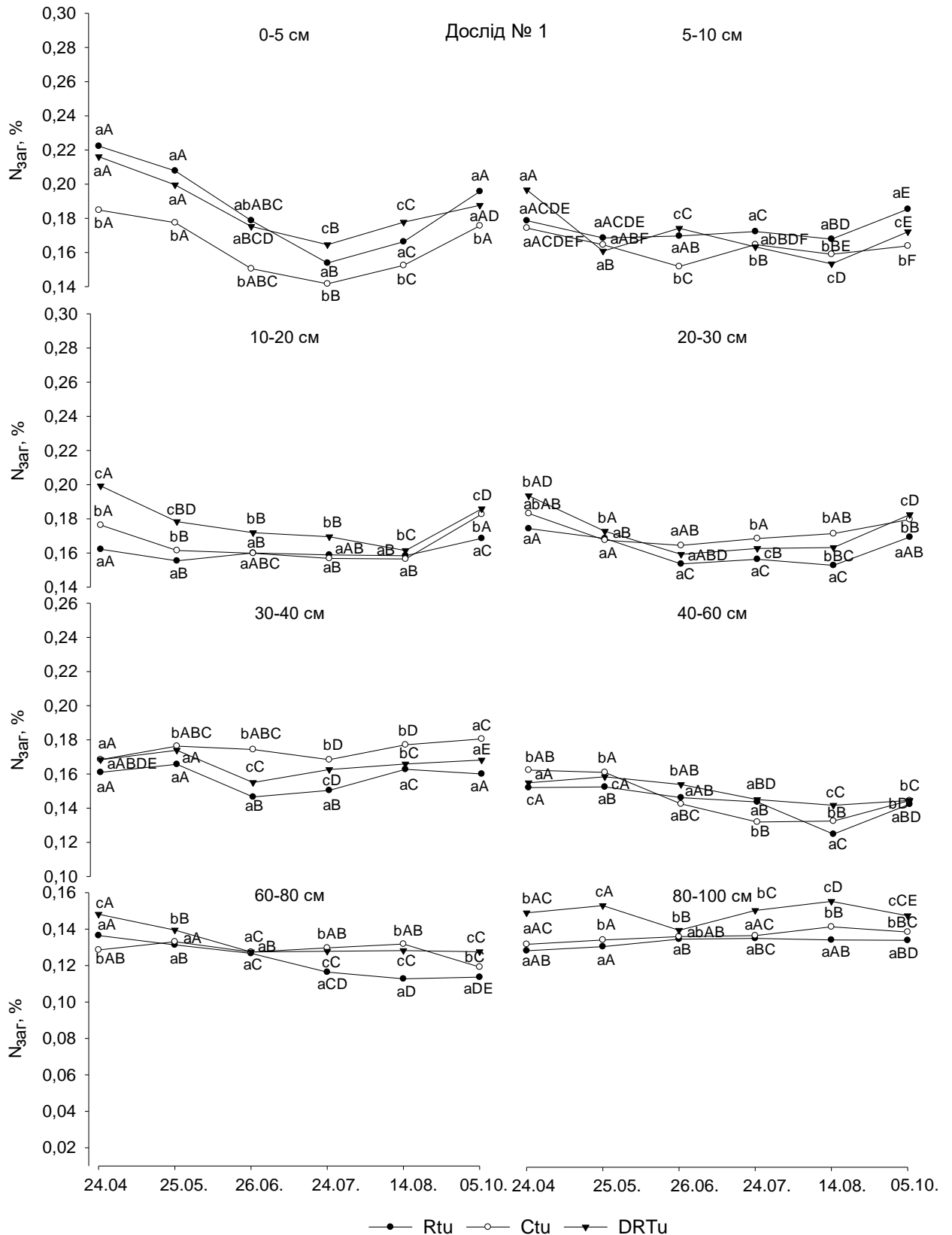


Рис. 4.28. Динаміка умісту $N_{зар}$ (%) у 0–100 см шарі чорнозему типового за використання RТу, СТU і DRТу протягом 2012–2014 років. Варіант – без добрив. Культура – ячмінь. ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

за варіанту 3, $(2,32 \pm 0,01)$ % – за варіанту 5, у 30–40 і 40–60 см шарах: $(1,93 \pm 0,06)$ і $(1,79 \pm 0,01)$ % – за варіанту 1, $(2,09 \pm 0,14)$ і $(2,11 \pm 0,01)$ % – за варіанту 3, $(2,19 \pm 0,01)$ і $(1,57 \pm 0,01)$ % – за варіанту 5 відповідно. Мінімальні значення відношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ у верхніх шарах чорнозему спостерігались також у цей період (рис.: 4.23, 4.26 і 4.29). В ізогумусолі Хайлуня Аб мав перевагу над технологіями обробітку ґрунту за умістом $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ по всьому профілю (рис.: 4.30–4.31). Уміст $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ у 0–10, 10–20, 20–40, 40–60 і 60–100 см шарах ізогумусолу Гуангронгу був найбільшим за: Аб $(3,09 \pm 0,25)$ і $(0,24 \pm 0,02)$ %, CS $(2,67 \pm 0,02)$ і $(0,18 \pm 0,01)$ %, Fst $(2,01 \pm 0,04)$ і $(0,14 \pm 0,01)$ %, RT $(2,65 \pm 0,04)$ і $(0,18 \pm 0,01)$ %, Fst $(1,15 \pm 0,01)$ і $(0,07 \pm 0,01)$ % відповідно (рис.: 4.33 і 4.34). Найвужче $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ відношення було за NT, Fst і Аб, найширше – за СТ, F та Rot (рис.: 4.32 і 4.35). У цілому, $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ відношення зростало до глибини 40 см, зменшувалось у шарі 40–60 см і знову зростало на глибині 60–100 см. Подібну профільну динаміку $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ в ізогумусолі Гуангронгу спостерігали Zhang et al. [369], які відмічали зростання C : N значення із 14,86 – у 0–20 см шарі до 17,11 у 50–60 см шарі.

У період із 24 квітня по 25 травня в чорноземах України та з 16 травня по 12 липня у Китаї відбулось зниження вмісту $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ порівняно із передпосівними значеннями. João Carlos de M. Sa et al. [446] вважають, що значне зниження вмісту гумусу (основний резервуар органічних C та N) від весни до літа обумовлено інтенсивністю процесів окиснення на фоні оптимальних умов зволоження та температури. За середньодобових температур повітря більше 20 °C і 50–60 % вологості від повної вологості ґрунтів відбувається найбільш активне вивільнення мобілізованого азоту ґрунту. Відразу після проведення весняного обробітку, ґрунт інтенсивно насичується киснем, що призводить до автотрофної мінералізації органічних сполук вуглецю. У цей час, за даними С. Ю. Булигіна та ін. [3], емісія CO₂ у 10–25 разів більша за відповідну емісію у осінній період. За безполицевого обробітку ґрунту, на фоні більшої

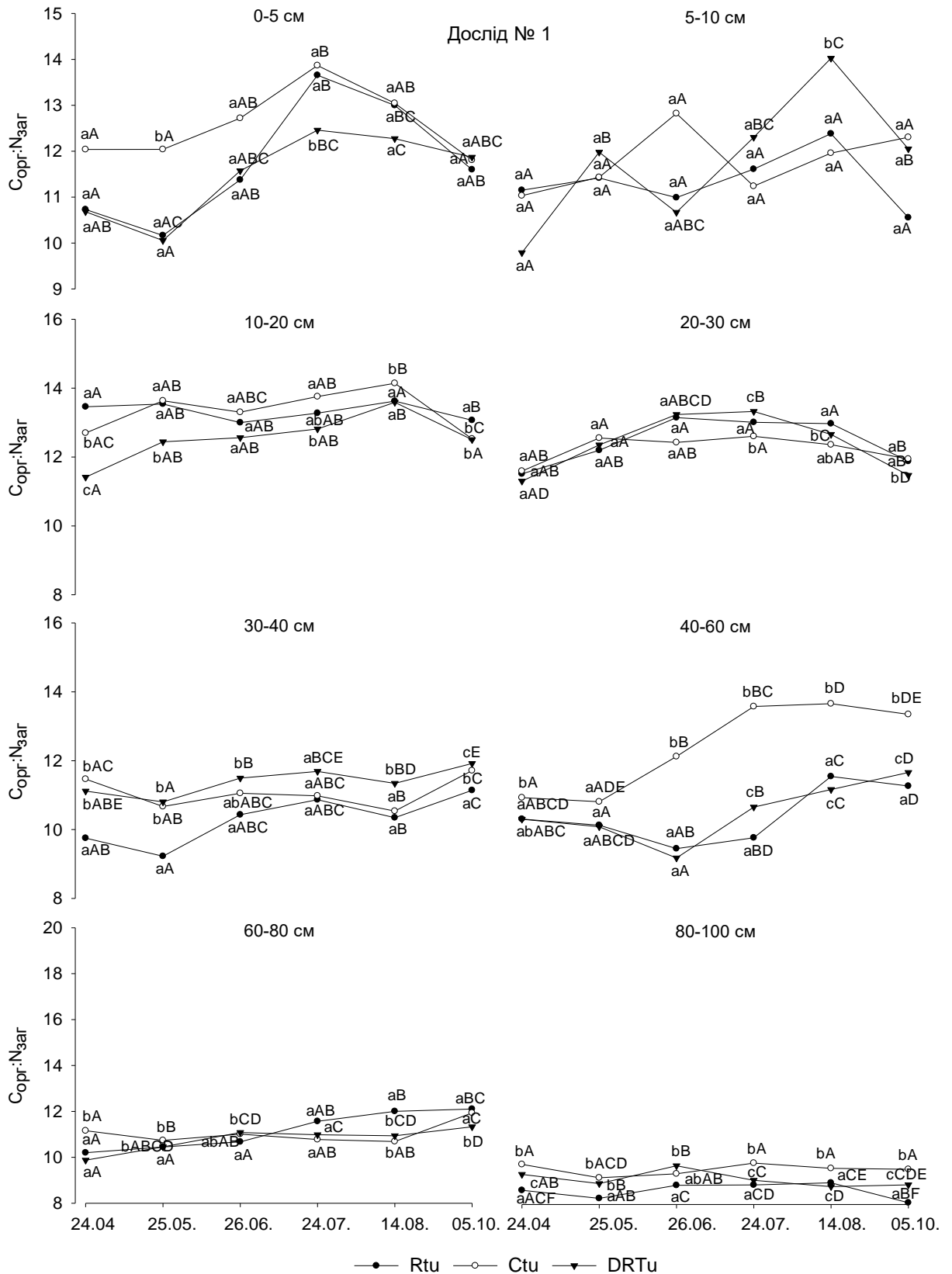


Рис. 4.29. Динаміка відношення $C_{орг} : N_{заг}$ у 0–100 см шарі чорнозему типового за використання RTu, CTu і DRTu протягом 2012–2014 років. Варіант – без добрив. Культура – ячмінь. ^{aB} – різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

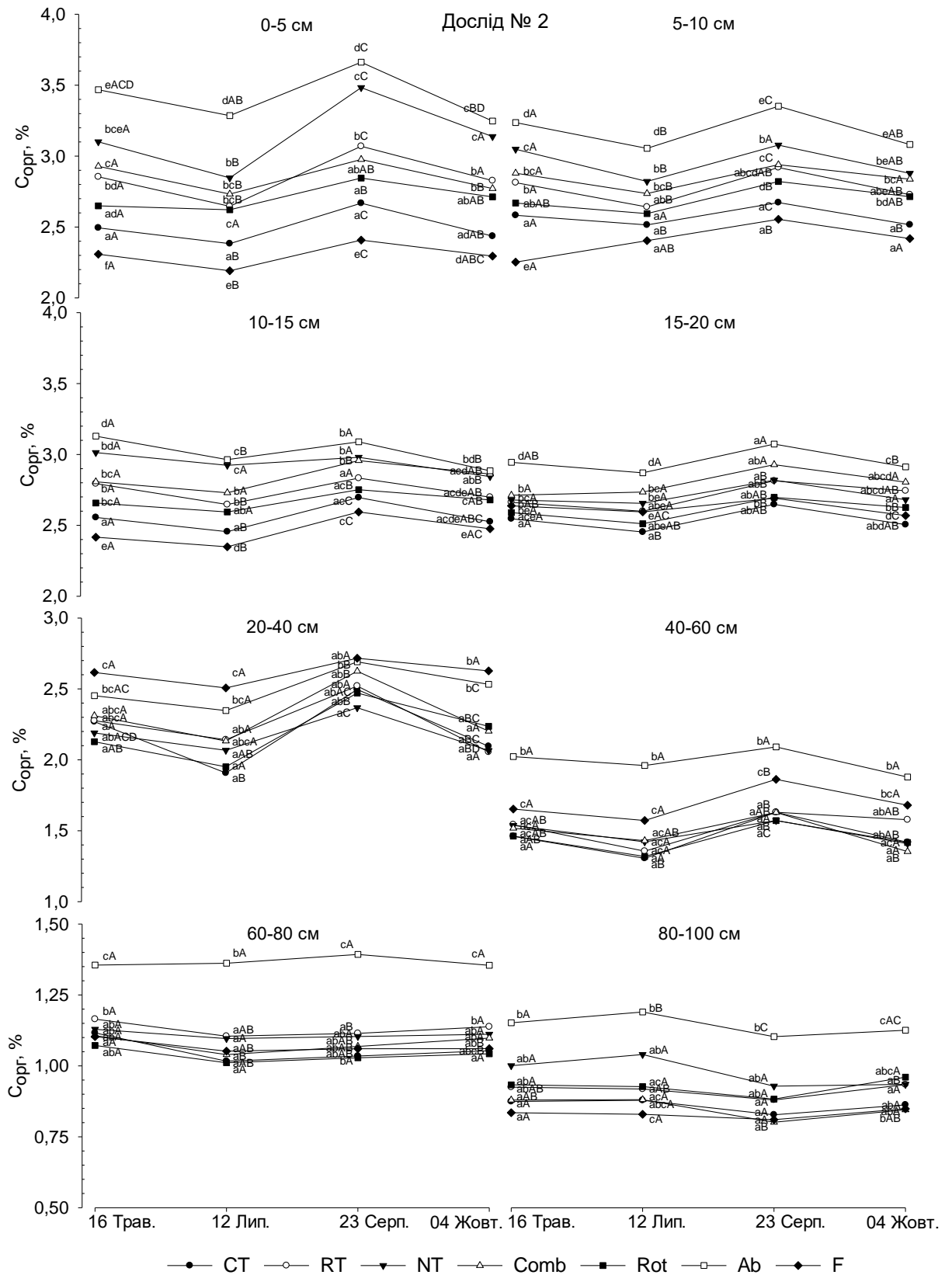


Рис. 4.30. Динаміка умісту $C_{орг}$ (%) у 0–100 см шарі ізогумусоля Хайлуня за використання: СТ, РТ, НТ, Сomb, Rot, Ab (25 років) і F (25 років) (середні значення за 2010–2014 рр.). a^b –різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

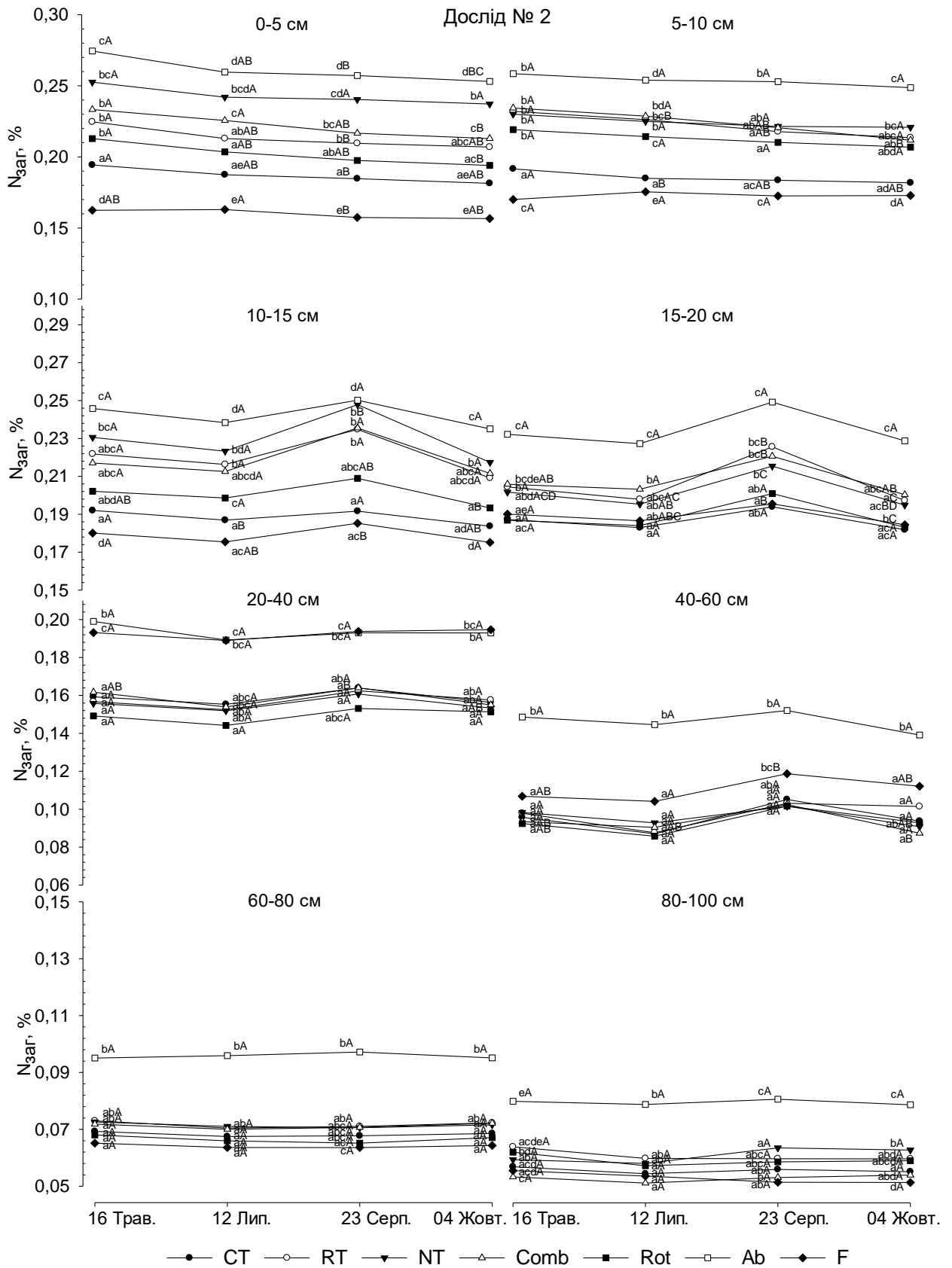


Рис. 4.31. Динаміка умісту N_{3ag} (%) у 0–100 см шарі ізогумусоля Хайлуня за використання: СТ, RT, NT, Comb, Rot, Ab (25 років) і F (25 років) (середні значення за 2010–2014 рр.). ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

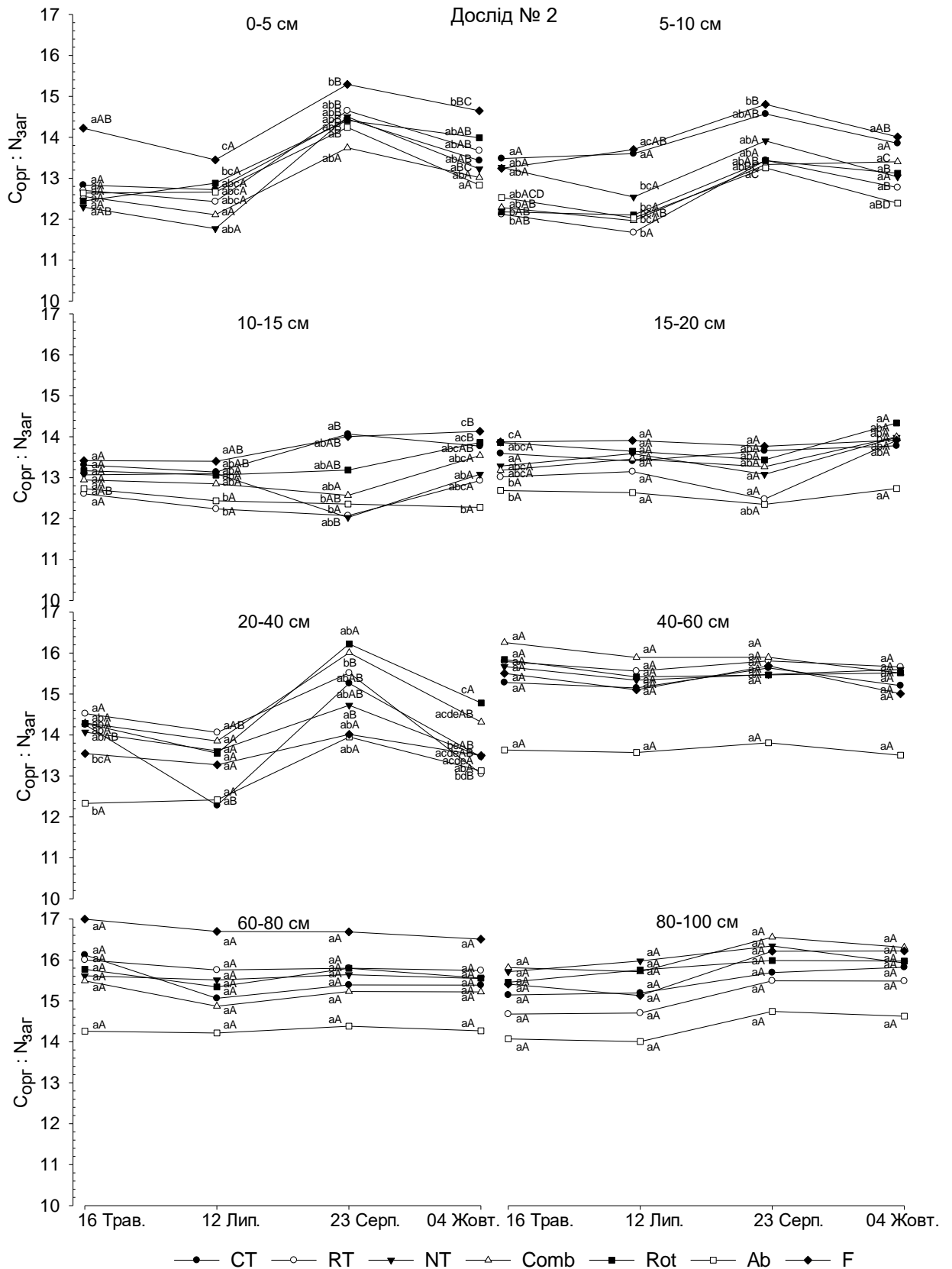


Рис. 4.32. Динаміка відношення $C_{орг} : N_{зар}$ у 0–100 см шарі ізогумусоля Хайлуня за використання: СТ, RT, NT, Comb, Rot, Ab (25 років) і F (25 років) (середні значення за 2010–2014 рр.). a^B – різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

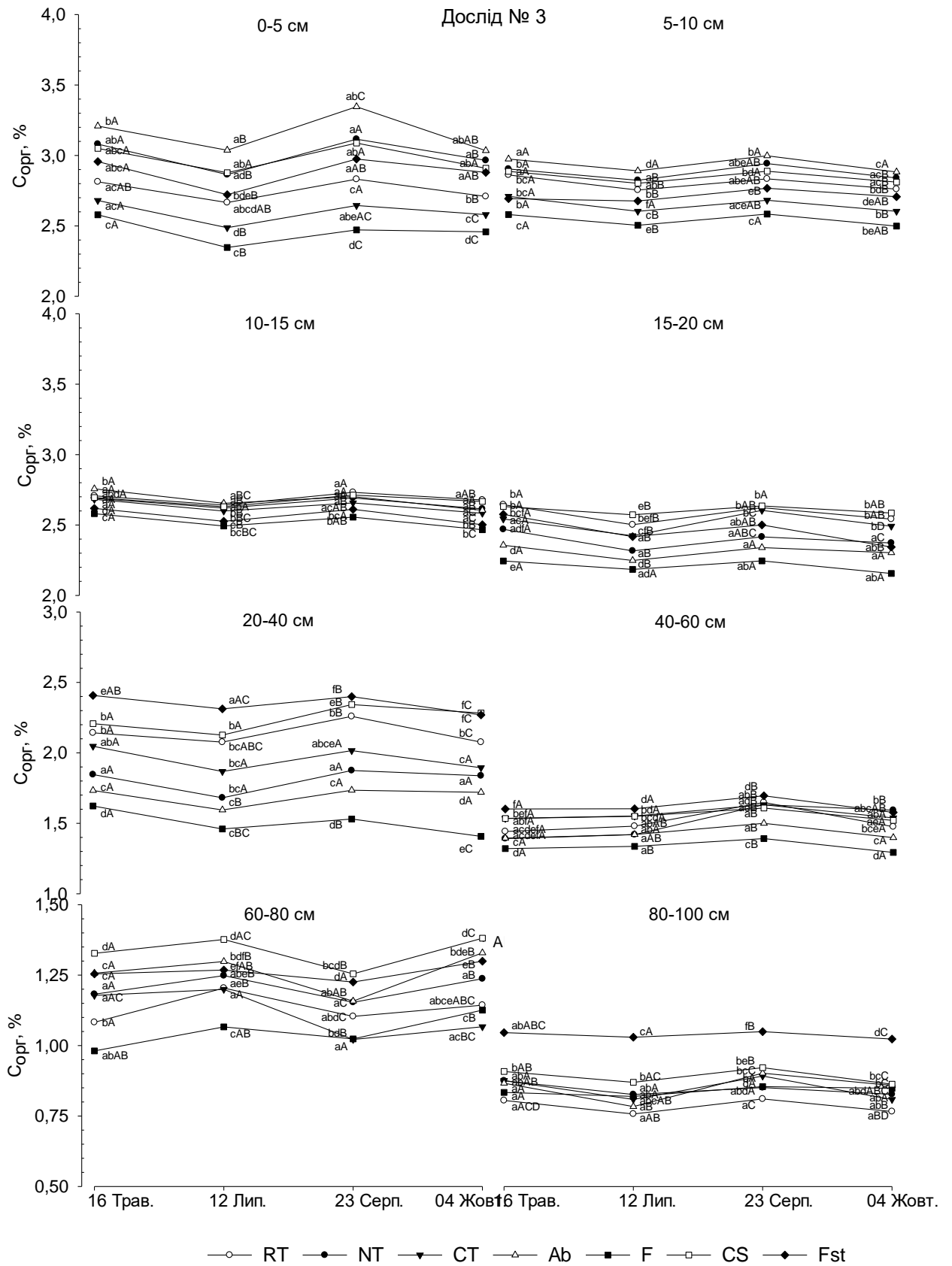


Рис. 4.33. Динаміка умісту $C_{орг}$ (%) у 0–100 см шарі ізогумусоля Гуангронгу за використання: СТ, NT, RT, CS, F, Ab, Fst (18 років), (середні значення за 2010–2014 рр.). a_B —різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

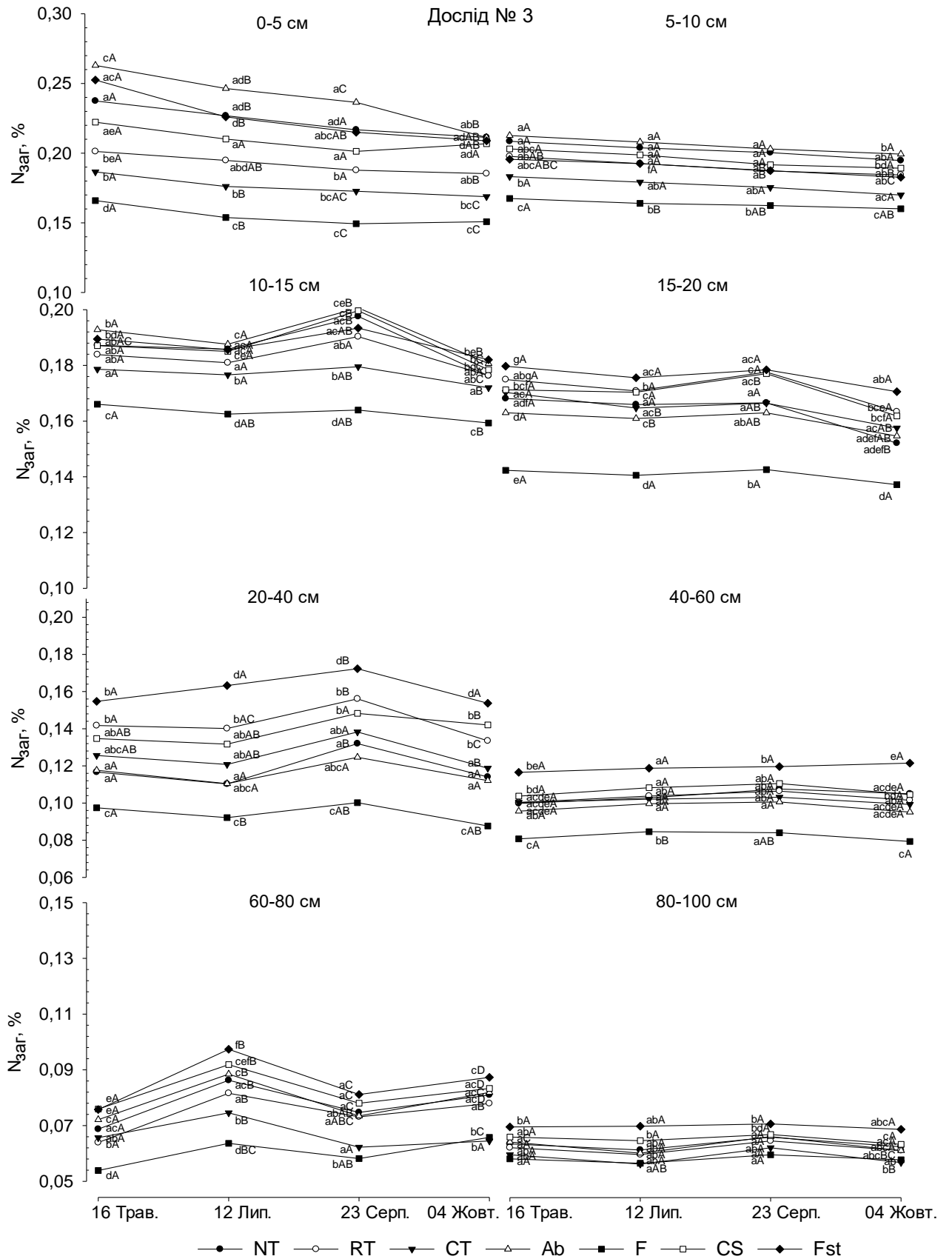


Рис. 4.34. Динаміка умісту $N_{\text{заг}}$ (%) у 0–100 см шарі ізогумусоля Гуангронгу за використання: СТ, NT, RT, CS, F, Ab, Fst (18 років) (середні значення за 2010–2014 рр.). a^b –різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

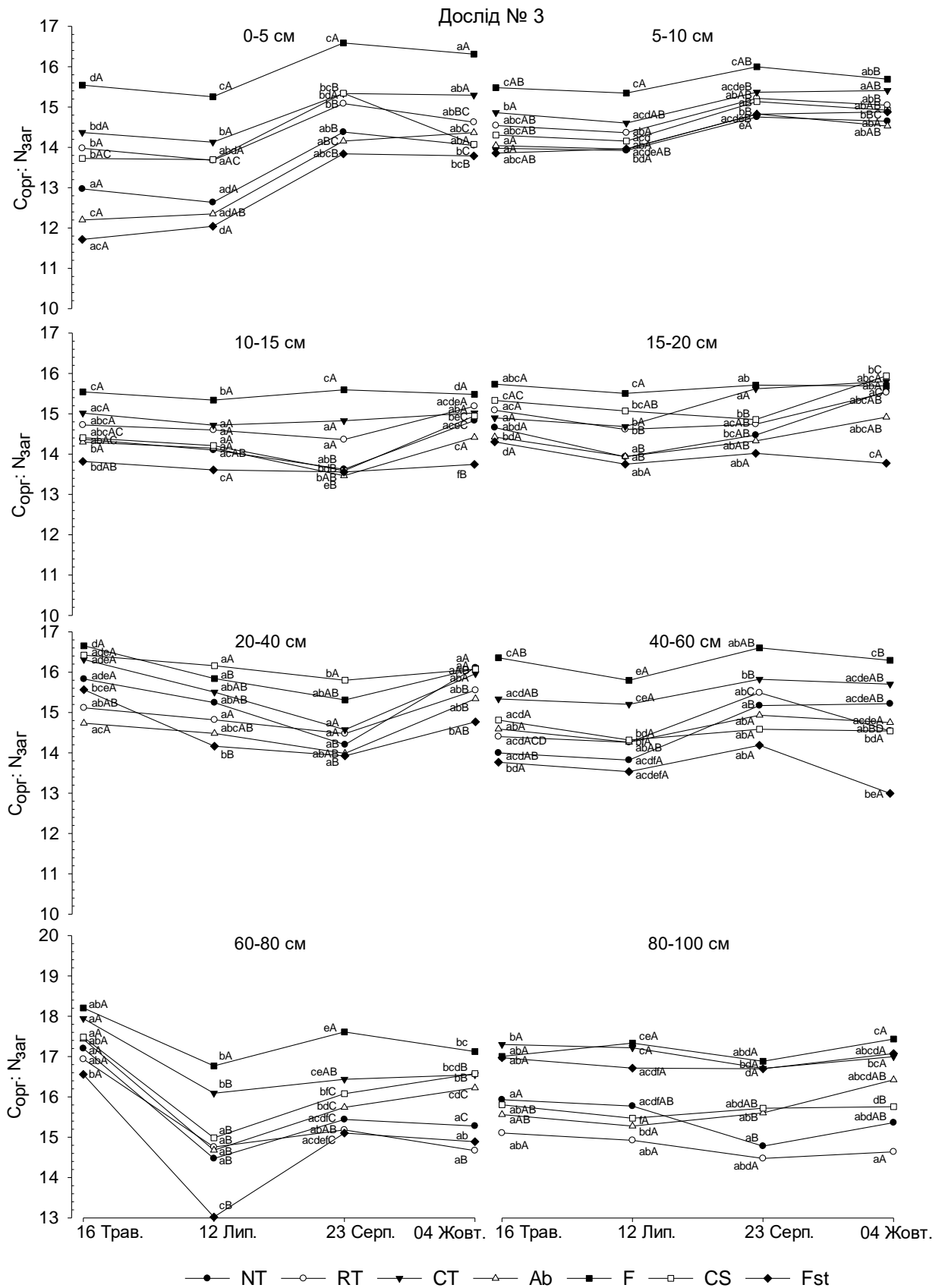


Рис. 4.35. Динаміка відношення $C_{орг} : N_{заг}$ у 0–100 см шарі ізогумусоля Гуангронгу за використання: СТ, NT, RT, CS, F, Ab, Fst (18 років) (середні значення за 2010–2014 рр.). ab – різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

наявної кількості органічних субстратів, відбувається прискорений катаболічний метаболізм, деполімеризація, інтенсивна мікробіологічна та ферментативна активність. Протягом перших двох місяців після посівної, зменшується уміст $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$, новоутворені органічні мономери використовуються мікроорганізмами, мінеральні сполуки і навіть амінокислоти [366] – рослинами. Частина азоту ґрунту тимчасово вивільняється із біологічного колообігу. Вивільнена у ході катаболізму енергія та біологічні мономери у літній період використовуються згодом для синтезу гумусових сполук, реакцій поліконденсації і ароматизації, утворення складних асоціативних комплексів. За даними T. Vonde et al. [447] мінералізаційні втрати азоту на початку вегетації у середньому на 55 % більші за його втрати у кінці вегетації. J. Salinas-Garcia et al. [448] за результатами 10-річних досліджень визначили, що амплітуда сезонних змін органічного вуглецю за no-till була у середньому на 16 % більша за інші технології обробітку ґрунту, причому найбільша різниця вищезгаданих змін спостерігалась на початку вегетації (64 %) та на стадії цвітіння (41 %).

У чорноземі типовому, у період із 24.04 по 25.05 найбільше падіння умісту $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ відбулось за RTu, яке складало: $(0,28 \pm 0,01)$ % – за варіанту 1 і $(0,05 \pm 0,01)$ % – за варіанту 5 у шарі 0–5 см та $(0,30 \pm 0,01)$ % – за варіанту 3 і $(0,03 \pm 0,01)$ % – за варіанту 5 у 5–10 см шарі відповідно. У 10–40 і 80–100 см шарах найбільше зниження умісту $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ відмічалось за оранки (рис.: 4.21–4.22, 4.24–4.25, 4.27–4.28). У ізогумосолях Хайлуня і Гуангронгу падіння умісту $C_{\text{орг}}$ було найбільшим у 0–15 см шарі за: Ab, Fst і NT; у 15–40 см шарі – за СТ, у нижній частині профілю – за Rot, Ab, Fst і RT. Співвідношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ за даний період зменшувалось у верхніх шарах і майже не змінювалось з глибиною (рис.: 4.23, 4.26, 4.29).

У літній період, під дією високих температур, сонячної радіації та атмосферного окиснення відбувається: – фотолітичний, ферментативний, фізичний і хімічний каталіз сполук $C_{\text{орг}}$ [449]; – дегідроконденсація фенолів через механізм вільних радикалів; – необмінна фіксація C-CO₂ ґрунтового повітря у

гетероциклічні ароматичні сполуки гумусових речовин; – поліконденсація і комплексотворення органічних сполук вуглецю, їх необмінна фіксація у мікроагрегатах і входження до рекальцитранту (поліфенолів, лігніну, бензолкарбонових кислот); – оліго- та полімеризація поліфенолів, пірогалолів, гідрохінонів і катехінів з наступною їх фіксацією у стабільні фракції гумусових речовин; – біоміметичний синтез гумусових речовин [450]; – збільшення розмірів гумусових молекул шляхом створення макромолекулярних полімерів або супермолекулярних біо-мономерів [451, 452]; – збільшення розмірів крупних фракцій дисперсної органічної речовини [453, 454] та водостійких агрегатів ґрунту [455]. рН реакції середовища протягом літа підвищується і відновлюється у осінній період. Це явище супроводжується збільшенням умісту обмінного кальцію і загальних карбонатів, формуванням гуматів Са і Mg, посиленням агрегованості.

У чорноземі типовому (рис.: 4.21, 4.24, 4.27), уміст $C_{\text{орг}}$ у 0–10 см шарі збільшувався з травня по 24 липня. Найбільші значення $C_{\text{орг}}$ відмічались за RTu у шарі 0–5 см: $(2,10 \pm 0,06)$ % – за варіанту 1, $(2,59 \pm 0,01)$ % – за варіанту 3 і $(2,59 \pm 0,02)$ % – за варіанту 5. У 5–10 см шарі перевагу мали: RTu $(2,25 \pm 0,08)$ % – за варіанту 1, $(2,56 \pm 0,02)$ % – за варіанту 5 і DRTu $(2,46 \pm 0,03)$ % – за варіанту 3. У 10–20 см шарі наростання умісту $C_{\text{орг}}$ відбувалось із травня по червень із максимальними значеннями за глибокого безполицевого обробітку ґрунту та оранки. У нижньому 30–100 см шарі чорнозему типового уміст $C_{\text{орг}}$ поступово зменшувався із квітня по червень. Уміст загального азоту у 0–30 см шарі чорнозему типового збільшувався із травня по червень на удобрюваних ділянках і зменшувався – на ділянках без добрив. У 30–100 см шарі, уміст $N_{\text{заг}}$ зменшувався із червня по серпень залежно від технології обробітку ґрунту та удобрення. Співвідношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$, подібно до динаміки умісту $C_{\text{орг}}$, мало максимальну амплітуду 24 липня у верхніх шарах чорнозему типового із найбільшими значеннями за: STu $(13,87 \pm 0,22)$ – у шарі 0–5 см за варіанту 1, STu $(13,92 \pm 0,73)$ – у шарі 5–10 см за варіанту 5, STu $(13,76 \pm 0,44)$ – у шарі 10–20 см

за варіанту 1, DRTu ($13,33 \pm 0,06$) – у шарі 20–30 см за варіанту 1, DRTu ($12,44 \pm 0,54$) – у шарі 30–40 см за варіанту 3 (рис.: 4.23, 4.26, 4.29).

З 12 липня по 23 серпня відбулось збільшення умісту $C_{\text{орг}}$ та співвідношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ у 0–60 см шарі досліджуваних ізогумусолів (рис.: 4.30–4.31, 4.33–4.34). Подібну закономірність спостерігали Л. В. Бойцова та Я. В. Пухальський [456], Б. М. Когут [457], X. Shao et al. [458], E. Babur and T. Dindaroglu [439], Y. Feng et al. [103] та ін. На глибині 60–80 см ізогумусоля Гуангронгу і у 80–100 см шарі ізогумусоля Хайлуня відбулось зниження умісту $C_{\text{орг}}$ і відношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ за цей період. У нижніх шарах ґрунтів амплітуда динаміки органічного вуглецю була значно меншою порівняно із поверхневими шарами. Найбільша динаміка умісту $C_{\text{орг}}$ серед технологій обробітку ґрунту в ізогумусолі Хайлуня відбулось за NT ($0,64 \pm 0,12$) % – у шарі 0–5 см, RT ($0,28 \pm 0,49$) % – у шарі 5–10 см, СТ ($0,24 \pm 0,33$) % – у шарі 10–15 см, RT ($0,21 \pm 0,61$) % – у шарі 15–20 см, СТ ($0,59 \pm 0,40$) % – у шарі 20–40 см, СТ ($0,32 \pm 0,15$) % – у шарі 40–60 см, Comb ($0,03 \pm 0,03$) % – у шарі 60–80 см, NT ($0,11 \pm 0,14$) % – у шарі 80–100 см. У ізогумусолі Гуангронгу найбільша динаміка $C_{\text{орг}}$ спостерігалась за NT, RT, СТ, NT, СТ, RT, RT і СТ у вищезгаданих шарах відповідно. Серед природних ценозів, найбільша динаміка $C_{\text{орг}}$ була за Ab і Fst, найменша – за F. Уміст $N_{\text{заг}}$ суттєво знижувався у цей період на глибині 0–40 см. У 60–80 см шарі в ізогумусолі Гуангронгу і на глибині 20–60 см в ізогумусолі Хайлуня відбулось збільшення умісту органічного азоту за цей період. Рівень динаміки $N_{\text{заг}}$ значно поступався динаміці $C_{\text{орг}}$ у зв'язку із меншим абсолютним умістом органічного азоту порівняно із $C_{\text{орг}}$. Співвідношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ збільшилось за усіх варіантів, яке на 23 серпня складало: 13,81–15,79 – в ізогумусолі Хайлуня, 14,60–15,93 – в ізогумусолі Гуангронгу. Збагаченість гумусу азотом у цей період, за шкалою Л. О. Гришиною та Д. С. Орловим [243], відповідала дуже низькому параметру.

В середині серпня уміст $C_{\text{орг}}$ у чорноземі типовому зменшувався порівняно із липнем місяцем на: 0,08–0,12 % – у шарі 0–5 см, 0,06–0,11 % – у шарі 10–20 см,

0,04–0,08 % – у шарі 10–20 см і 0,06–0,09 % – у шарі 20–30 см. У 30–100 см шарі (крім шару 40–60 см за удобрених варіантів) відбулось незначне збільшення умісту $C_{\text{орг}}$ із 24 липня по 14 серпня. Співвідношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ за цей час зменшувалось на глибинах: 0–40 см і 80–100 см та збільшувалось на глибині 40–80 см. Уміст $N_{\text{заг}}$ мав тенденцію до зменшення на глибині 0–30 і 40–60 см і збільшувався на інших глибинах.

У кінці літнього періоду, в ізогумусолях відбулось збільшення умісту $C_{\text{орг}}$ і відношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ та зменшення умісту $N_{\text{заг}}$ (рис.: 4.30–4.35). До процесів синтезу органічної речовини ґрунту долучились мінеральний азот, азот амінокислот і азот органічних мономерів, утворені у результаті деполімеризації органічних решток у весняно-літній період. Рештки пшениці озимої та ячменю ($C : N = 80$), сої ($C : N = 30$) і кукурудзи на зерно ($C : N = 50$) у ґрунтах посилили асиміляцію азоту і вуглецю рослинної біомаси мікроорганізмами у цей період. Цей процес, за результатами наших досліджень, прискорився за двічі внесеного підживлення сечовиною $CO(NH_2)_2$ у дозі $N_{50} + N_{50}$ у весняно – літній період. У кінці серпня значно зросла кількість органічного вуглецю ґрунту. Азотне підживлення на фоні внесеної соломи, на думку G. Agren et al. [459], пригнічує деструкцію органічної речовини ґрунту, зменшує емісію CO_2 ґрунту, покращує процес входження органічних неспецифічних речовин до складу гумусових речовин. Дослідження K. Moran et al. [460] показали, що за внесення азотного добрива значно збільшується коефіцієнт гуміфікації листо-стебельної маси кукурудзи. За даними M. Kaisi and J. Guzman [461], за внесення високих доз соломи (>2 грам на 1 кг ґрунту), додаткове внесення азоту у ґрунт буде сприяти емісії CO_2 та мінералізації сполук органічного вуглецю.

A. K. Квиткіна та ін. [462] визначили, що найбільша мінералізація рослинних решток відбувалась за внесення NH_4NO_3 . За внесення сечовини висока концентрація амідного азоту у мікронах тимчасово пригнічує нітрифікацію і сприяє іммобілізації азоту рослинами, мікроорганізмами та гумусовими речовинами. Сучасні дослідження показують, що частка амідного

азоту гумусу по відношенню до азоту гетероциклів значно більша, ніж вважалось раніше. Власне ароматичні структури перебувають у середині чорних вуглецевих мікрочастинок, де сполучаються між собою через міцні гідрофобні сполуки на кшталт гломаліну та гідрофобінів і мають гідрофільні групи на її периферії [463]. Гломалін – відноситься до глікопротеїнів. Він виробляється гіфами та спорами грибів арбускулярної мікоризи, містить 1–9 % зв'язаного заліза і виділяється із ґрунту 20 mM розчином ефіру лимонної кислоти за температури 121 °C [464]. Саме ці речовини беруть активну участь в ізоляції органічного вуглецю та азоту від мінералізації, а їх уміст у складі агрегатів ґрунту корелює із стабільністю останніх.

З 14 серпня по 5 жовтня середньодобова температура у с. Велика Снітинка, знижувалась із 20,3 до 5,3 °C, середньомісячна кількість опадів – із 62,7 до 8,9 мм. У цей час відбувались процеси відновлення умісту $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ і звуження їх відношення майже на усіх глибинах та на ділянках усіх варіантів удобрення. З 23 серпня по 4 жовтня середньодобова температура в районі дослідного поля у м. Хайлунь (Китай), знижувалась із 20,1 до 9,5 °C, середньомісячна кількість опадів – із 75,3 мм у серпні до 25 мм у жовтні. За цей період спостерігалось незначне зменшення умісту $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ та звуження відношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ у шарі 0–60 см. Стратиграфія профільного розподілу умісту $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$ майже повністю співпадали. Найбільший уміст органічного вуглецю і азоту у верхніх шарах сформувався за Ab, NT, CS, RT, Comb, найменший – за CT і F. У цей час кукурудза на зерно споживає не більше 20 % азоту від загальних потреб, відбувається поступова реутилізація мінеральних форм поживних речовин із вегетативних органів у зерно рослини. У ґрунтах нагромаджується найбільша кількість свіжого зеленого рослинного прижиттєвого опаду ($C : N = 15\text{--}25$) та корневих виділень, продуктів руйнування агрегатів. Ці процеси уповільнюють падіння умісту $N_{\text{заг}}$ у кінці вегетації. На фоні надлишку доступного мікроорганізмам вуглецю зміщується азотно-вуглецевий баланс у бік іммобілізації азоту в ґрунті. У твердій фазі відбувається абіотична стабілізація

азоту амонійного, амінокислот та амідів органічними речовинами, його фіксація глинистими мінералами, гідролюдами і змішано-шаруватими силікатами, закріплення нітратів у мікропорах, інкорпорація сполук органічного азоту у ґрунтові мікроагрегати. Напрямо динаміки процесів мінералізації – іммобілізації азоту в ґрунтах більше залежить від: співвідношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ рослинного опаду в цілому і його хімічного складу, доступності для мікроорганізмів (співвідношення лігнін/поліфеноли), інтенсивності дихання кореневої системи рослин, $C\text{-CO}_2$ емісії, ніж від співвідношення $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ у ґрунтах [365]. Збільшення або зменшення умісту $C_{\text{орг}}$ ґрунту не призводило відповідних змін із умістом $N_{\text{заг}}$.

Після збирання врожаю, в осінньо-зимовий період, відбувається процес тривалої біологічної і абіотичної стабілізації і відновлення сполук органічного вуглецю та азоту. Утворені при розкладі післяжнивних решток гідрофільні органічні компоненти збагачені на вуглець та азот, зв'язуються із гідрофобними центрами гумінових речовин і стабілізуються у дисперсних та водостійких фракціях агрегатів ґрунту [465]. У дощовий період, новостворені гумусові речовини, органігенні мономери, продукти кислотного гідролізу азотовмісних речовин (амінокислоти, аміни, аміді) проникають з гравітаційною водою у нижні шари ґрунту. В анаеробних умовах гумусові речовини вступають у зв'язок із мінеральними компонентами ґрунту, відбувається гетеротрофна фіксація вуглекислоти ґрунту, конденсація гумусових речовин у високомолекулярні структури. У верхніх шарах ґрунтів, біля 90 % органічного вуглецю знаходиться у складі агрегатів, у т.ч. 20–40 % – у мікроагрегатах [466]. Новостворені водотривкі агрегати, $C_{\text{орг}}$ і $N_{\text{заг}}$, будуть представлені у максимальній кількості весною, перед початком вегетації.

4.7. Сезонна динаміка умісту органічного вуглецю та азоту біомаси мікроорганізмів

Мікробна біомаса (МБ) є частиною живої фази ґрунту, уміст якої у більшості ґрунтів знаходиться у межах від 1–5 до 10 % від маси органічної

речовини ґрунту [467, 468]. Враховуючи швидкий колообіг (від кількох днів до тижнів) лабільної мікробної біомаси [469], її динаміка передуює змінам умісту органічних сполук вуглецю, азоту і сірки у ґрунтах, виступаючи таким чином первинним індикатором змін властивостей орних ґрунтів, процесів їх відновлення або деградації [470]. Сезонні зміни біомаси мікроорганізмів залежать передусім від температури та водного потенціалу ґрунтів, умісту лабільних гумусових речовин та біофільних елементів, кількості і якості відмерлого рослинного субстрату, ОВП режиму і фізико-хімічних властивостей ґрунтів [471]. Сезонні зміни біомаси мікроорганізмів, які визначаються методом фумігації-екстракції, можуть відбуватись 2–4 і більше раз [472, 473, 474]. Причому, за сільськогосподарського використання ґрунтів, сезонна динаміка біомаси мікроорганізмів є більш вираженою порівняно із природними ценозами [475].

Відповідно до даних додатку Б 56 та рис.: 4.36–4.37 обробіток ґрунту мав суттєвий вплив на амплітуду і сезонну динаміку $C_{\text{мікро}}$, $N_{\text{мікро}}$, $C_{\text{мікро}} : N_{\text{мікро}}$ в ізогумусолях Хайлуня і Гуанґронгу. Розмір амплітуди сезонної динаміки органічних вуглецю і азоту біомаси мікроорганізмів залежав від характеру використання ізогумусоля і глибини відбору ґрунтової проби. Найбільша амплітуда сезонних змін $C_{\text{мікро}}$ була відмічена у ґрунтових пробах верхнього 0–10 см шару ізогумусолю, найменша – у шарі 10–20 см (додаток Б 56). Найбільші значення третього квантилю X_n . (0,75) відмічались за Ab в усіх шарах ґрунту. Найменші значення першого квантилю X_n . (0,25) були за F у шарі 0–20 см і Rot – у шарі 20–40 см. Найбільший перепад квантильного розмаху ($IQR_{0,25-0,75}$) спостерігався за СТ у шарі 0–20 см та RT – у шарі 20–40 см. Максимальний квантильний розмах $C_{\text{мікро}}$ значень в інтервалі $IQR_{0,10-0,90}$ зустрічався за СТ та Rot – у шарі 0–10 см, Ab та СТ – у шарі 10–20 см та RT і Comb – у шарі 20–40 см. Медіани, у межах міжквантильного розмаху (IQR) тяжіють до нижнього положення, створюючи таким чином нижню асиметрію ящику (boxplot). Нижнє

положення медіани свідчить про тенденцію до зменшення амплітуди динаміки $C_{\text{мікро}}$ протягом вегетації.

Уміст органічних вуглецю та азоту змінювався протягом сезону: найбільший уміст $C_{\text{мікро}}$ та $N_{\text{мікро}}$ спостерігався у середині травня-липня, зменшувався до кінця серпня і відновлювався у жовтні (рис.: 4.36–4.37). Дана закономірність була відмічена в ізогумусолях Північно-східного регіону Китаю Y. Sui et al. [476] та Y. Lou et al. [477]. На швидкість мікробного колообігу в ґрунтах, крім абіотичних факторів впливають також наявність легкодоступних гумусових речовин, детритів, продуктів десорбції колоїдів та трансформації рослинних решток, виділень кореневої системи рослин, продуктів гідролізу органічних полімерів, тощо [478]. На початку вегетації, середньодобова температура повітря складала 18 °С, температура досліджуваного ізогумусолю варіювалась від 19–23 °С – у шарі 0–5 см до 10–14 °С – у шарі 10–20 см, орний шар ґрунту був добре зволожений ($W = 20,4\text{--}27,7\%$), у ньому містилось багаточисельні рештки попередньої рослини – сої та новоутворені в осінньо-зимовий період лабільні гумусові речовини. Ізогумусоль у цей час був збагачений мінеральними формами поживних речовин у зв'язку із внесенням наприкінці квітня-початку травня основного припосівного мінерального добрива у нормі $N_{69,5}P_{51,75}K_{15}$, з наступними двома підживленнями сечовиною $N_{50} + N_{50}$. Наявність доступних для мінералізації органічних речовин сприяло ініціалізації гідролітичної мікрофлори (L-стратегі), яка підготувала для інших груп мікроорганізмів легкогідролізований субстрат [479]. Саме у цей період відбувся так званий затравний ефект (priming effect), який стимулював метаболічну активність мікроорганізмів в ізогумусолях [480]. В результаті, у середині травня спостерігався найбільший уміст $C_{\text{мікро}}$ та $N_{\text{мікро}}$ у 0–10 см шарі ґрунту на всіх досліджуваних варіантах. Найбільші значення $C_{\text{мікро}}$ і $N_{\text{мікро}}$ за цей період були виявлені за: Ab ($577,79 \pm 1,64$) і ($65,0 \pm 0,47$) мг/кг, NT ($485,43 \pm 1,97$) і ($52,7 \pm 0,45$) мг/кг – в ізогумусолі Хайлуня, Ab ($497,3 \pm 2,99$) і ($59,9 \pm 1,87$) мг/кг і Fst ($464,5 \pm 0,97$) і ($55,8 \pm 0,29$) мг/кг – в ізогумусолі Гуангронгу. Найменший уміст

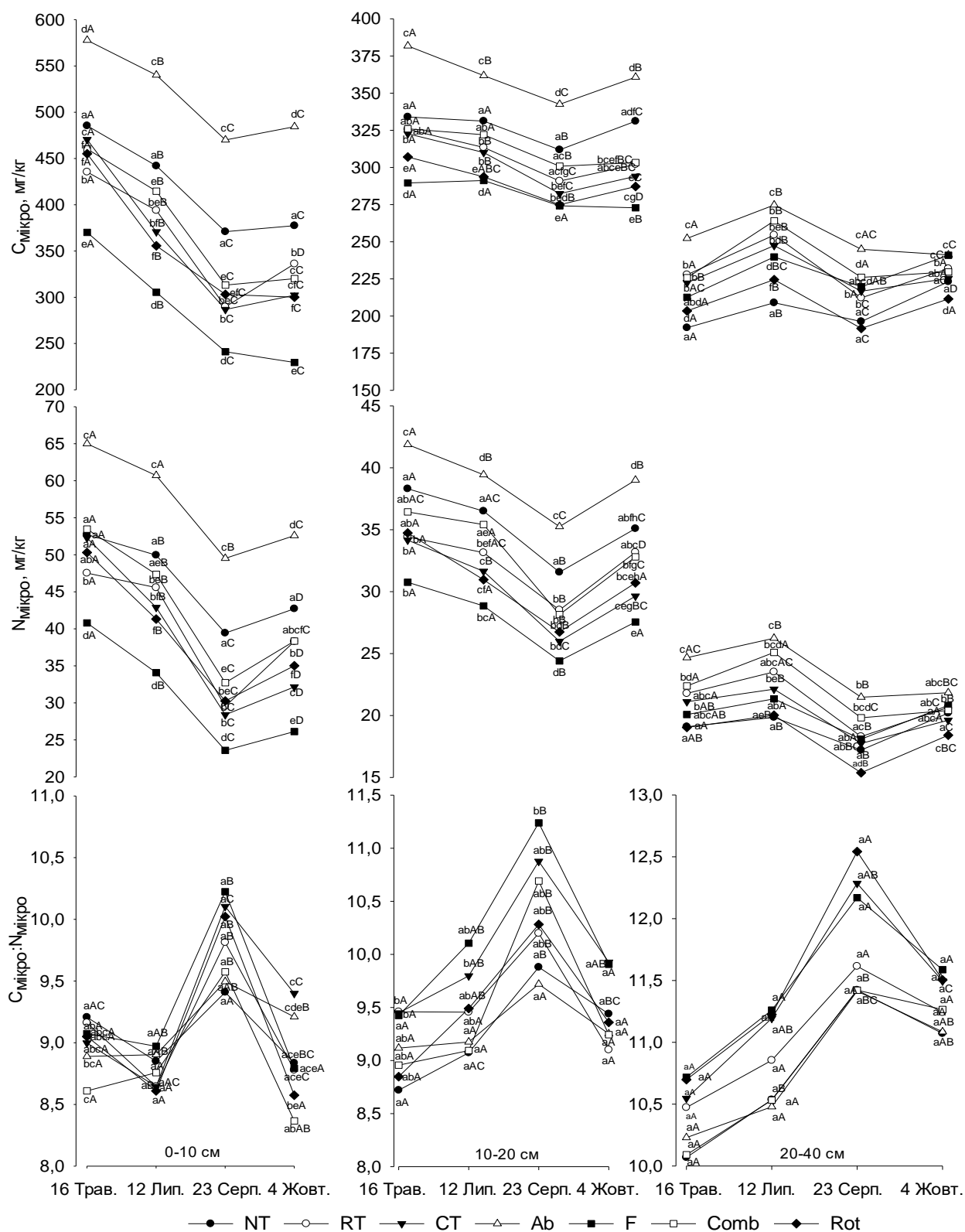


Рис. 4.36. Сезонна динаміка $C_{\text{мікро}}$, $N_{\text{мікро}}$ і $C_{\text{мікро}} : N_{\text{мікро}}$ у 0-40 см шарі ізогумусоля Хайлуня за використання: оранки (СТ), по-тіл (NT), роторного (Rot), безполицевого (RT) і комбінованого (Comb) обробіток ґрунту та за чорного пару (F, 25 років) і перелугу (Ab, 25 років) (2010–2014 рр., дослід № 2).
 a^B —різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою та шарами ґрунту

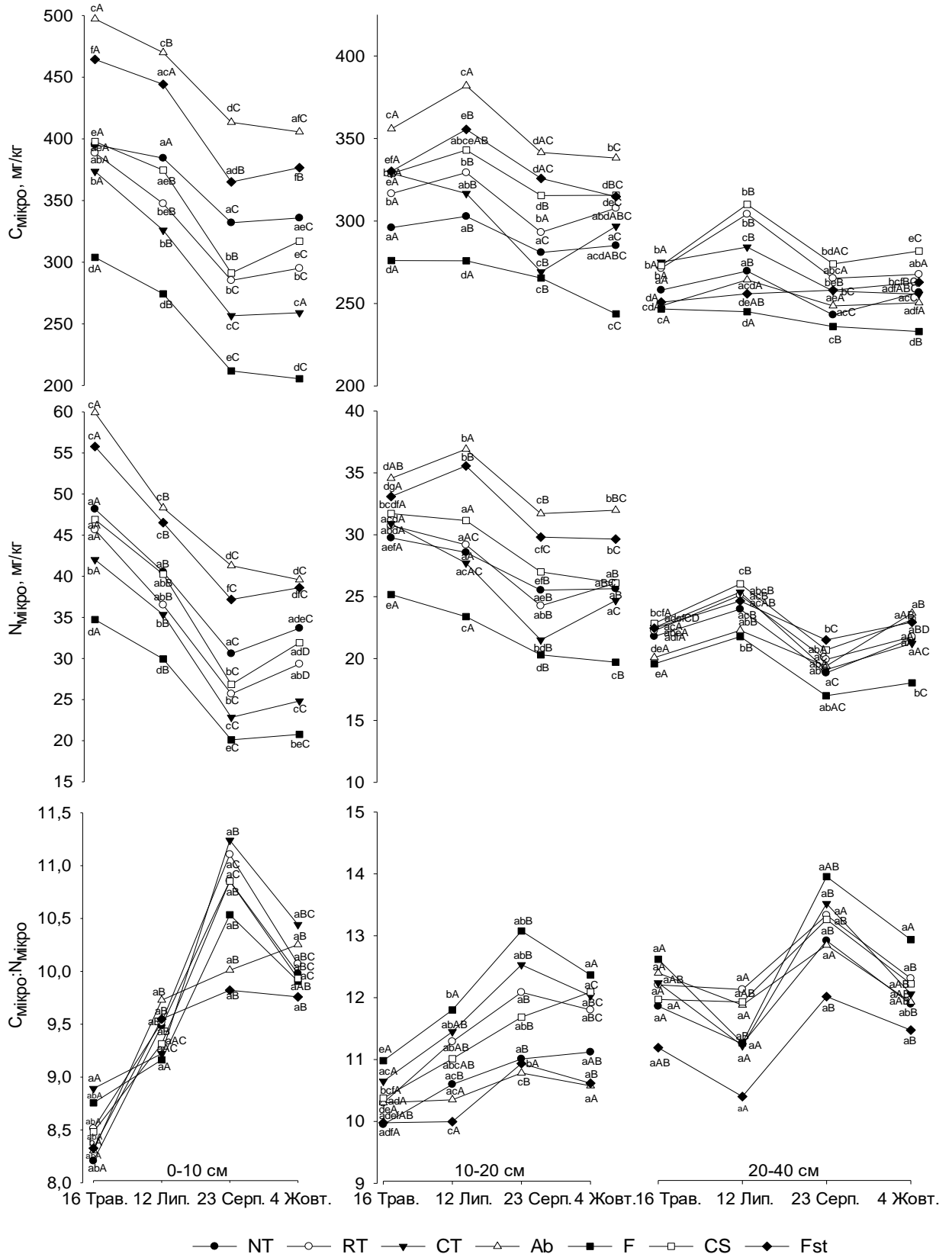


Рис. 4.37. Сезонна динаміка $C_{мікро}$, $N_{мікро}$ і $C_{мікро} : N_{мікро}$ у 0–40 см шарі ізогумусоля Гуангронгу за використання: оранки (CT), по-til (NT), безполицевого обробітку (RT), обробітку поперек схилу (CS), чорного пару (F), перелогу (Ab), лісу (Fst, 18 років) (2010–2014 рр., дослід № 3). ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою та шарами ґрунту

органічних вуглецю та азоту був відмічений за чорного пару. Протягом наступних двох тижнів після початку затравочного ефекту настає стабілізація біомаси мікроорганізмів, її зниження на початку червня і поступове наростання до середини липня, яке пов'язане передусім із збільшенням рослинного опаду, кореневих і мікоризних виділень, наростанням температури і вологи ґрунту.

За NT, Ab та Fst температура верхнього шару ізогумусолів протягом сезону була дещо нижчою порівняно із досліджуваними варіантами обробітку ґрунту у зв'язку із наявністю живого і відмерлого рослинного покриву та більшим умістом вологи. Даний ефект призвів до протікання продовженої сукцесії розкладаючих природні аміно- та полі- цукри мікроорганізмів ґрунту за вищезгаданих варіантів. За NT, Ab та Fst відповідно до наших досліджень, не виникала короткотермінова гаряча точка (hotspot) [481] спалаху кількості мікроорганізмів протягом вегетації. Це можна пояснити зростаючою активністю мікоризних грибів на рослинних рештках, відсутністю різких змін температури та вологи ґрунту за даних варіантів, мусонним кліматичним ефектом протягом вегетаційного періоду. S. Frey et al. [482, 483] та O. Butenschoen [484] відмічали значне переважання грибної до бактеріальної біомаси за no-till. Результати, одержані X. Jiang et al. [485] вказують на локальне розташування грибної біомаси в макроагрегатах і біомаси мікроорганізмів – в мікроагрегатах ґрунту незалежно від способу обробітку ґрунту. C. Cleveland та D. Liptzin [486] вважають, що високе співвідношення $C_{\text{мікро}} : N_{\text{мікро}}$ в макроагрегатах ґрунту за СТ порівняно із NT, свідчить про недостатній уміст азоту за оранки. Відповідно до результатів наших досліджень, які підтверджуються роботою Hernández та Lopez-Hernández [487], за оранки та чорного пару, в середньому за сезон, нагромаджувалась найменша кількість азоту в біомасі мікроорганізмів (26,49–29,79 і 23,52–27,21 мг/кг відповідно), що призвело до найбільш широкого співвідношення $C_{\text{мікро}} : N_{\text{мікро}}$ за безполицевого обробітку ($12,49 \pm 1,00$) і чорного пару ($12,69 \pm 2,00$) – в ізогумусолі Гуанґронґу і ротаційного обробітку ($11,49 \pm 1,41$) та чорного пару ($11,43 \pm 1,09$) – в ізогумусолі Хайлуня.

Протягом серпня, загальна кількість легкокорозчинного органічного субстрату, поживних елементів та умісту доступної для рослин вологи зменшувались, щільність складення і температура ґрунту збільшувались, ОВП режим характеризувався максимальним окисненням, обробіток ґрунту та пересування агротехніки по полю протягом сезону призвели до руйнування структурних агрегатів ґрунту. У результаті утилізації мікроорганізмами органічних рослинних решток, ексудатів грибів і кореневої системи рослин, легкокорозчинних низькомолекулярних гумусових речовин, відбувається зменшення поживного субстрату, що призводить до зменшення кількісного і видового складу мікроорганізмів. Між рослинами та мікроорганізмами спостерігається конкуренція за доступні елементи живлення. Усі вище перелічені фактори вплинули на найбільше зменшення концентрації біомаси ґрунтових мікроорганізмів у кінці серпня. На початку жовтня, перед збиранням врожаю, відбувається реутилізація поживних елементів у ґрунт, збільшується кількість рослинного опаду, що на фоні більшої кількості опадів і середньодобової температури повітря 12 °С, вплинуло на збільшення біомаси мікроорганізмів в ізогумусолях. Протягом холодного періоду року, збільшується співвідношення біомаси грибів до бактерій. У цей час активно розвиваються міцелярні та дріжджові гриби, актиноміцети, які є глибокими деструкторами важкорозчинних термостійких сполук типу целюлози та лігніну [477, 488]. Завдячуючи вищезгаданим організмам, навесні, перед початком вегетації, у ґрунтах нагромаджується значна кількість лабільних і неспецифічних гумусових речовин, які активно використовуються мікроорганізмами і рослинами під час вегетаційного періоду.

Мікробний індекс ґрунтів $(C_{\text{мікро}}/C_{\text{орг}}) \cdot 100$ (%) є чутливим індикатором, який застосовується при дослідженні первинних змін якісного складу органічної речовини на фоні змін властивостей ґрунтів [489]. Пропорція $C_{\text{мікро}} : C_{\text{орг}}$ збільшується в результаті активної конверсії органічної речовини ґрунту ґрунтовими мікроорганізмами і зменшується у деградованих ґрунтах. Мікробний

індекс (МІ) ґрунтів зростає у легких добре зволжених слабокислих ґрунтах природних трав'яних ценозів [490]. Відповідно до результатів наших досліджень, МІ протягом вегетаційного періоду змінювався від $(0,72 \pm 0,17)$ до $(2,00 \pm 0,03)$ % – в ізогумусолі Хайлуня і від $(0,88 \pm 0,11)$ до $(1,68 \pm 0,08)$ % – в ізогумусолі Гуангронгу (рис. 4.38). Значення МІ протягом вегетації змінювався подібно динаміці $C_{\text{мікро}}$ та $N_{\text{мікро}}$. Мікробний індекс зменшувався від початку вегетації до кінця серпня і збільшувався на початку жовтня. Найбільші значення МІ у 0–20 см шарі спостерігались за: Ab, Fst та NT. У нижньому 20–40 см шарі МІ переважав за: Ab, F та СТ. Під час інтенсивного росту і розвитку рослин найбільше лабільного вуглецю мікроорганізмів у складі гумусу утворювалось за Ab, Fst, NT та F (у шарі 20–40 см). Безполицевий RT обробіток ґрунту займав середнє положення між іншими технологіями за значенням мікробного індексу. На початку жовтня МІ збільшувався за усіх технологій обробітку ґрунту і агроценозів. Мікробний індекс поступово зменшувався з глибиною в ізогумусолі Хайлуня і збільшувався в 20–40 см шарі ізогумусоля Гуангронгу.

Для встановлення зв'язків між зміною вуглецю біомаси мікроорганізмів та динамікою органічного вуглецю ґрунту протягом вегетації нами був проведений кореляційний аналіз і визначені коефіцієнти лінійної кореляції К. Пірсона (додатки: В 19 – В 20). Встановлено, що позитивна кореляція між двома показниками зростає від 0–10 см верхнього до 20–40 см нижнього шару. Величина коефіцієнту кореляції між $C_{\text{мікро}}$ та $C_{\text{орг}}$ у 0–10 см шарі ізогумусоля Хайлуня за «Таблицею Чеддока» оцінюється переважно як: «помірна» та «значна» і «слабка» – у відповідному шарі ізогумусоля Гуангронгу. «Сильні» $(0,70–0,89)$ та поодинокі високі $(0,90–0,99)$ від'ємні кореляційні відношення були знайдені в ізогумусолі Хайлуня.

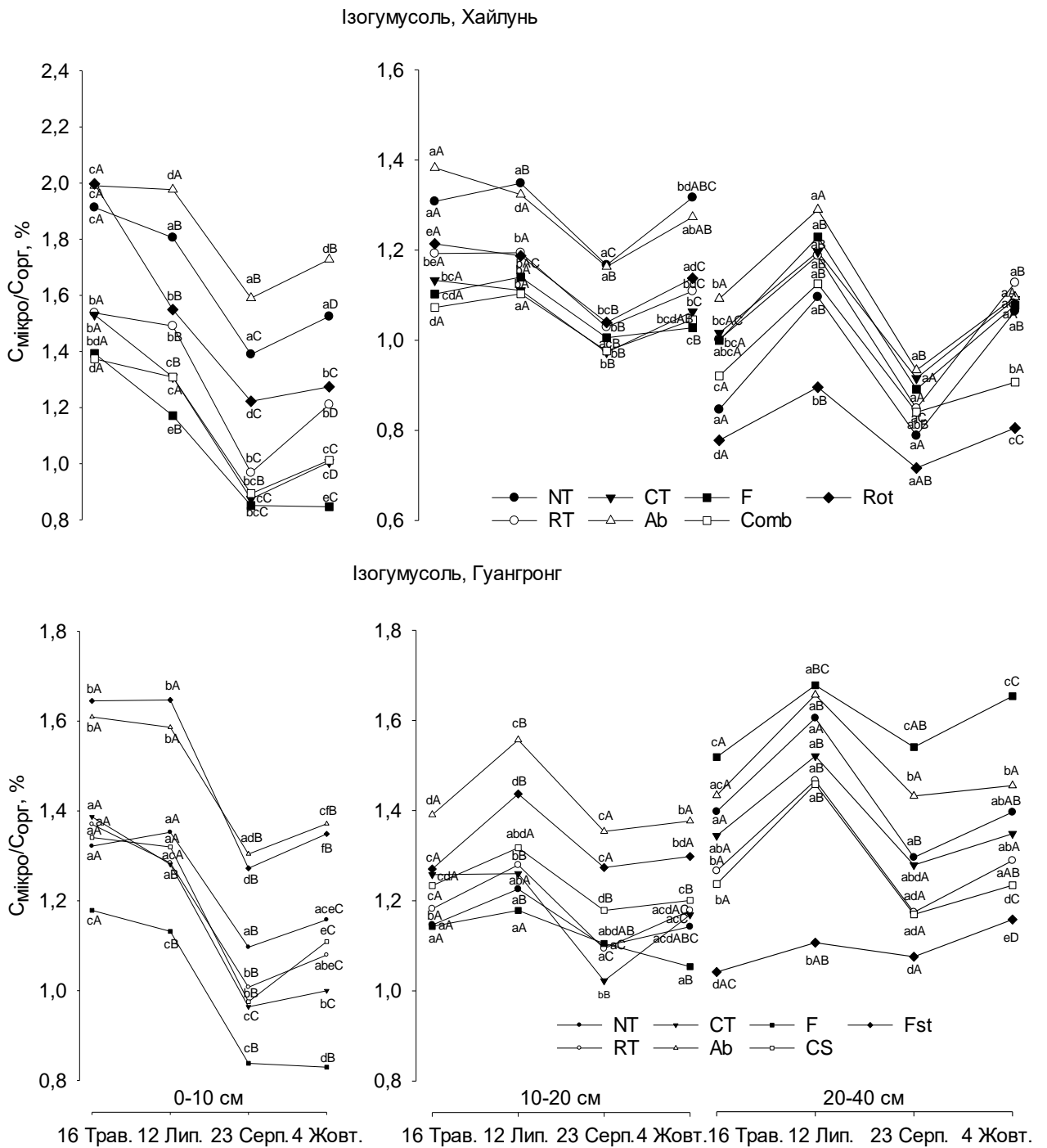


Рис. 4.38. Сезонна динаміка мікробного індексу ($C_{\text{мікро}}/C_{\text{орг}}$, %) у 0-40 см шарі ізогумусолів Хайлуня і Гуангронгу за використання: оранки (CT), no-till (NT), безполицевого обробітку (RT), оранки (CT), роторного (Rot), комбінованого (Comb) обробітків ґрунту, обробітку ґрунту поперек схилу (CS), за чорного пару (F) і перелогу (Ab) і молодого лісу (Fst) (середні значення за 2010–2014 рр.). ^{aB}—різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту)

4.8. Базальне дихання ізогумусолів в аграрних та природних ценозах

Приблизно 1,4 % світових запасів органічного вуглецю перебувають у біомасі мікроорганізмів і беруть активну участь у глобальному колообігу вуглецю нашої планети [491]. Біомаса мікроорганізмів представлена бактеріями, археями, грибами, актиноміцетами, одноклітинними водоростями, деякими найпростішими. Біохімічні властивості ґрунтів визначаються такими показниками як: мікробна біомаса, уміст вуглецю та азоту у біомасі мікроорганізмів, мікробний індекс, базальне дихання і коефіцієнт мікробного дихання (qCO_2). Дані показники ґрунтів найшвидше реагують на вплив природних і антропогенних факторів на зміни властивостей ґрунтів [492, 493, 494]. Інтенсивність мікробного дихання ґрунтів ($C-CO_2$) є найбільш динамічним показником, який описує зміни лабільного вуглецю ґрунтів і може слугувати важливим критерієм оцінки загальної біологічної активності мікробного компоненту ценозу [495, 496]. Органічний і неорганічний вуглець ґрунту надходить в атмосферу у вигляді емітованого діоксиду вуглецю в результаті: дихання кореневої системи рослин, діяльності мікоризної та гетеротрофної мікрофлори, реакції декарбоксілювання органічної і мінеральної частини ґрунту, випаровування ґрунтової води, тощо [497]. До абіотичних факторів, які впливають на газообмін, відносять дифузію газів, зміни температури ґрунту/повітря і барометричного тиску, опади та зрошення, геологічна діяльність вітру, зміна рН середовища, щільність складення ґрунтів [498]. Мікроорганізми ґрунту активно продукують CO_2 у приземний шар атмосфери за певних фенологічних і фізіологічних стадій розвитку рослин, за сприятливих кліматичних умов та наявності лабільної органічної речовини в ґрунтах. Таким трофічним органічним пулом для мікроорганізмів у ґрунтах може бути: фітодетрит, лабільні фракції гумусових речовин, сполуки органічного азоту, прості-, аміно- і полі- цукри, кореневі виділення рослин, меланоїди грибів, лізат мікроорганізмів, мономерні низькомолекулярні органічні сполуки, амінокислоти і високомолекулярні біомолекули, негуміфіковані продукти розкладу рослинних

і тваринних решток, тощо. Частка мікробного дихання у загальній емісії діоксиду вуглецю досягає 62 % в умовах помірного поясу [499].

Застосування різних агротехнічних заходів при вирощуванні сільськогосподарських культур безпосередньо впливає на міграцію та депонування діоксиду вуглецю у системі ґрунт-атмосфера. Спостереження за емісією діоксиду вуглецю виявили різне продукування $\text{CO}_2\text{-C}$ ізогумусолями протягом вегетації (рис. 4.39 А і В). Швидкість виділення вуглекислого газу на початку вегетації характеризувалась найменшими значеннями за весь період досліджень. У середині липня був відмічений максимальний пік емісії $\text{CO}_2\text{-C}$ ізогумусолями. Кількість емітованого $\text{CO}_2\text{-C}$ за перелогу та лісу в середньому за сезон перевищувала орні ґрунти у 1,5–1,8 рази (рис. 4.39 С і D). У варіанті із чорним паром, емісія $\text{CO}_2\text{-C}$ була у 2,6–3,5 рази нижча за природні ценози. Подібні результати одержали А. Holzknicht et al. [500] та С. Tate and R. Striegl [501]. У кінці квітня, перед посівом, застосовували різні гребнеутворювачі на глибину 25 см, що сприяло активізації мінералізаційних процесів і короткотерміновому (декілька діб) надходженню $\text{CO}_2\text{-C}$ в атмосферу. Ефект гарячої точки «hot spot» [480], який виникнув в ізогумусолі відразу після розорювання, продовжувався декілька днів і не впливав на дослідження емісії діоксиду вуглецю, які виконувались 16 травня. Традиційно, як для цієї пори року, нами відмічалась найменша кількість емітованого CO_2 за сезон. Застосування глибокого розпушення за СТ та Rot сприяло швидкому нагріванню орного шару ґрунтів, посиленню окислювальних процесів і дифузії CO_2 із нижніх шарів ґрунтів. Концентрація $\text{CO}_2\text{-C}$ у приземному шарі атмосфери складала: $(0,55 \pm 0,01)$ кг/га/год – за СТ в ізогумусолі Гуангронгу, $(0,64 \pm 0,02)$ кг/га/год – за СТ та $(0,72 \pm 0,02)$ кг/га/год – за Rot в ізогумусолі Хайлуня відповідно. Протягом літнього періоду відбувалось збільшення емісії $\text{CO}_2\text{-C}$ у природних (від 1,65 до 1,78 кг/га/год) та агро- (від 1,15 до 1,51 кг/га/год) ценозах. Збільшення емісії CO_2 із середини травня до середини липня в ізогумусолях Гуангронгу та Хайлуня пов'язана із двічі проведеною культивуацією посівів, внесенням сечовини у якості

позакореневого живлення рослин, інтенсивним нагромадженням біомаси мікроорганізмів та кореневої системи рослин, активізацією ферментативної активності. На фоні високої температури ґрунту і вологості (вплив мусонних дощів) у ґрунт надходило більше корневих ексудатів

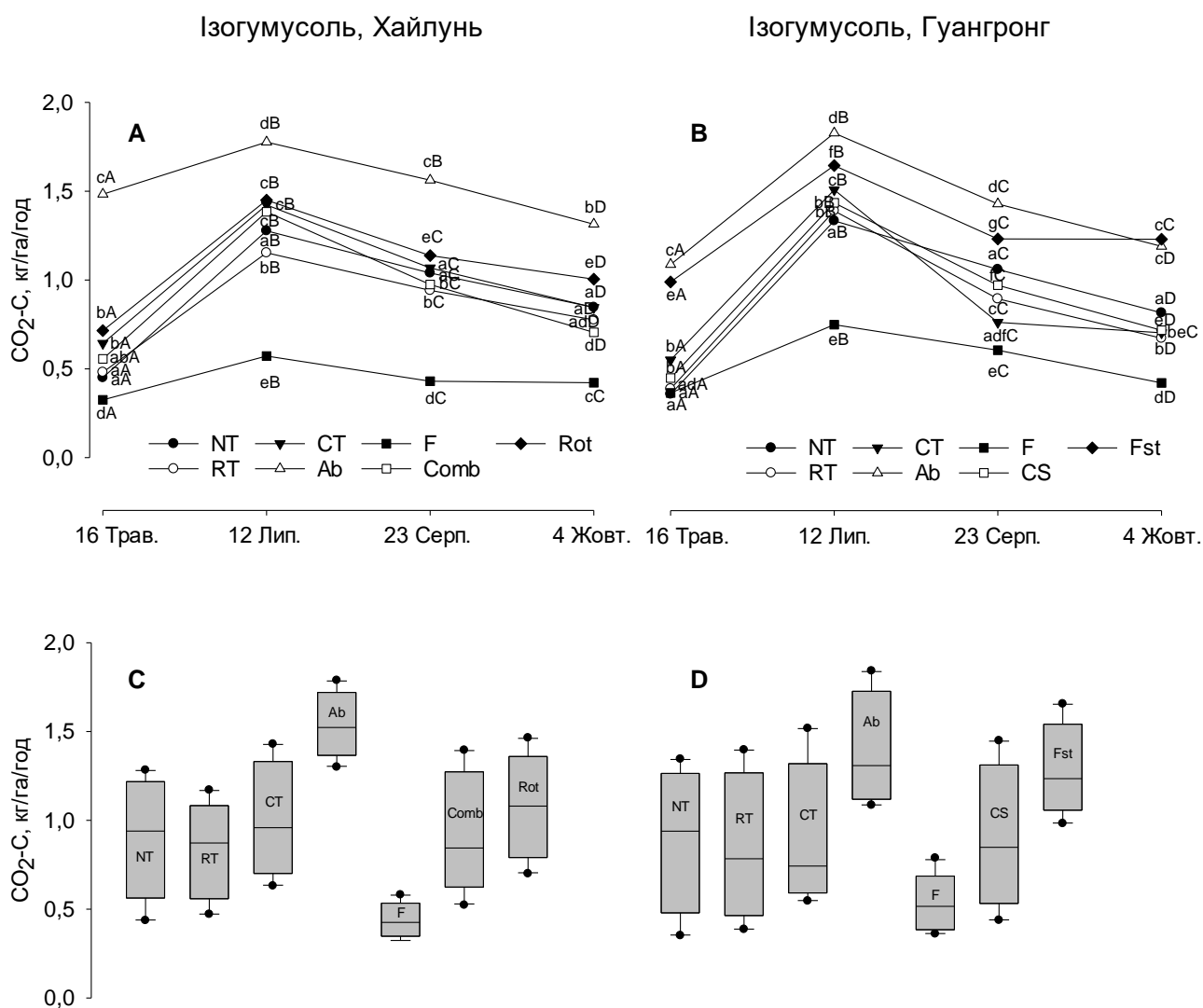


Рис. 4.39. Розміри сезонної динаміки (box plot 25-75 %, медіана, $n = 12$, травень-липень-серпень-жовтень) емісії $\text{CO}_2\text{-C}$ (кг/га/год) в ізогумусолях Хайлуня (A, C) і Гуангронгу (B, D) за використання: оранки (CT), по-till (NT), безполицевого (RT), поперек схилу (CS), роторного (Rot), комбінованого (Comb) обробітків, чорного пару (F), перелогу (Ab), лісу (Fst) (середні значення за 2010–2014 рр.). ^{aB}—різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту

та рослинного опаду, продуктів декарбоксілювання карбонатів та гумусових речовин. В цілому, інтенсивність емітованого потоку діоксиду вуглецю з поверхні ґрунтів протягом вегетації залежала від біологічних, біохімічних, фізичних і геологічних факторів. Частка ґрунтово-атмосферного газообміну у загальній емісії CO₂ складає 21,8–24,42 % [502], кореневого дихання рослин – 17–90 % [503], карбонатів – <30 % [504], мікробного дихання – 2–90 % (в середньому 55–69 %) [505]. Причому відношення автотрофного до гетеротрофного дихання у екосистемах характеризується параметром 73 : 27 – на початкових стадіях метаболізму [506] і змінюється у протилежному напрямку протягом вегетаційного періоду.

У серпні – вересні погіршувались умови функціонування та розвитку мікроорганізмів, зменшується температура ґрунту, біомаса та активність кореневої системи рослин, в ґрунт надходить менша кількість легкорозчинного органічного субстрату, неспецифічних і лабільних гумусових речовин, збільшується щільність складення ґрунтів, орний шар ґрунтів втрачає доступну вологу. Усі вищеперераховані фактори знизили кількість емітованого CO₂-C із поверхні ізогумусолів у даний період на 0,33–0,72 кг/га/год – в ізогумусолі Гуангронгу і 0,15–0,68 кг/га/год – в ізогумусолі Хайлуня. Після збирання врожаю, у ґрунт надходить велика кількість рослинних решток, які активізують мікробіологічну діяльність і відповідно – зростання емісії CO₂ ґрунтами. В осінньо-зимовий період інтенсивність емісії CO₂ знижується, а його частка становить – 30–42 % від загально річного потоку [507]. В середньому за сезон, найбільша кількість CO₂-C емітувала за Ab (1,38–1,53 кг/га/год), Fst (1,27 кг/га/год) і Rot (1,08 кг/га/год). Серед ґрунтозахисних технологій перевагу мали: NT, Comb і CS – 0,89–0,90 кг/га/год. Найменша кількість CO₂-C виділялась за F – 0,44–0,54 кг/га/год.

4.9. Базальне мікробне дихання у 0–100 см шарі чорнозему типового

Мікробне дихання ґрунту, поряд із лабільними гумусовими речовинами та мікробною біомасою, є чутливим індикатором зміни органічної речовини ґрунту під впливом природних і агротехнічних заходів [508, 509]. Багаточисельні дослідження вказують на вплив ґрунтової температури і вологи, окиснення, типу ґрунту, мікробної популяції, рослинної біомаси, фізико-хімічних властивостей ґрунту на емісію вуглекислого газу в атмосферу [510, 511, 512, 513, 514]. Втрата органічного вуглецю ґрунту за сільськогосподарського використання є одним із основних факторів збільшення умісту CO_2 у приземному шарі атмосфери [515]. В той же час, у науковій літературі відсутні дані із продукування вуглекислого газу різними шарами ґрунтового профілю. У даному підрозділі представлені дослідження, які показують потенційну дію мікробіологічного процесу на емісію вуглекислого газу у ґрунтових пробах, які мають різний уміст гумусу та відібрані із різних шарів чорнозему типового. Мікробне дихання ґрунту визначали на 7 день інкубаційного періоду. У даний термін продукується найбільша кількість CO_2 у ґрунтовій пробі в пляшечці Уітона, за умови, якщо до ґрунтової наважки не додають живильні речовини [514, 516, 517]. Одержані результати вказують на дуже високий рівень (за шкалою Чедока) щільності лінійного кореляційного відношення К. Пірсона між кількістю емітованого мікроорганізмами CO_2 ґрунтової проби і умістом органічного вуглецю ґрунту: 0,94 – за RTu, 0,95 – за STu і 0,98 – за DRTu (додаток В 21). Подібно до профільного розподілу умісту органічного вуглецю ґрунту (рис. 4.40 В), кількість виділеного CO_2 (мг $\text{CO}_2/24$ год/кг) поступово зменшувалась від верхніх шарів чорнозему типового: $55,89 \pm 1,42$ – за DRTu, $50,40 \pm 0,01$ – за RTu і $31,19 \pm 0,35$ – за STu до нижніх: 9,81; 9,31 і 6,29 мг $\text{CO}_2/24$ год/кг за DRTu, STu і RTu відповідно (рис. 4.40 А). Ряд авторів визнають ключову роль ґрунтозахисних технологій у зменшенні емісії вуглекислого газу [342, 518]. За результатами наших досліджень, за глибокого безполицевого обробітку ґрунту метаболічна

активність була значно більшою ніж на оранці, що свідчить про більшу кількість лабільних гумусових

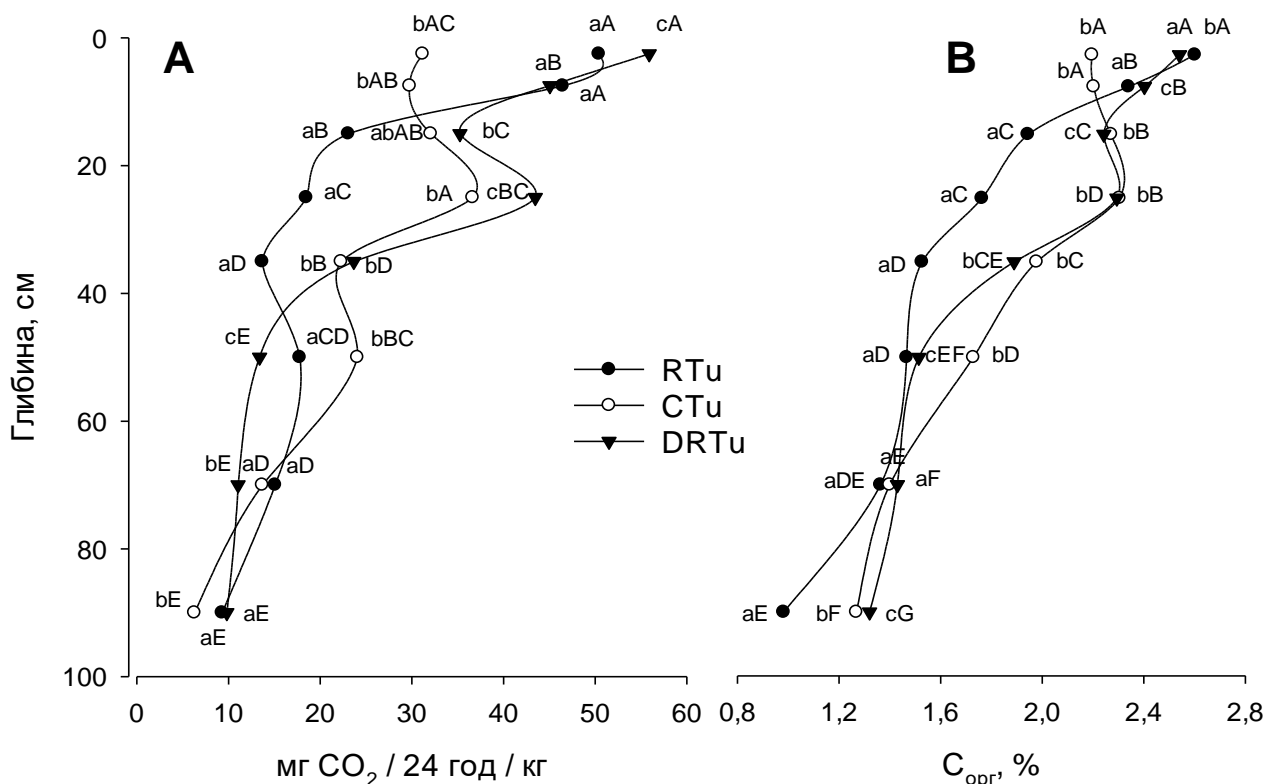


Рис. 4.40. Профільний розподіл емітованого CO₂ (A) і умісту C_{орг} (B) в чорноземі типовому за мілкого безполицевого обробітку (RTu), оранки (STu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu). Удобрення: солома 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈ (2010–2015 рр., дослід № 1). ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту

речовини та мікробної біомаси за даної технології [519]. Кількість емітованого CO₂ ґрунту за DRTu – у 0–40 та 80–100 см шарах становила (40,66±1,07) та (9,81±0,23) мг CO₂/24 год/кг проти (30,39±0,53) та (6,29±0,08) мг CO₂/24 год/кг за оранки. В середньому у 0–100 см шарі ґрунту кількість виділеного CO₂ зменшувалась від DRTu до STu і RTu відповідно (рис. 4.40 A).

Висновки до розділу 4

1. Уміст біофільних макроелементів у досліджуваних ґрунтах зменшується за напрямом: $C_{\text{заг}} > C_{\text{орг}} > C_{\text{неорг}} > N_{\text{заг}} > N_{\text{заг}} > S_{\text{орг}}$. Найбільший уміст біофільних макроелементів у верхньому 0–15 см шарі чорнозему типового і ізогумусолів нагромаджується за безполицевих технологій, у верхньому та нижньому перехідних горизонтах – за оранки, глибокого безполицевого і комбінованого обробітку ґрунту, а також за 25 річного застосування перелогу із штучним залуженням багаторічними травами. Масова часта неорганічного вуглецю у складі загального вуглецю ґрунту збільшується від оранки (40,8 %) до глибокого (42,8 %) і мілкового безполицевого (54,5 %) обробітку ґрунту. Мольні відношення елементів вказують на найбільшу концентрацію водню у різних сполуках чорнозему типового порівняно з вуглецем, азотом та сіркою.

2. Профільний розподіл запасів гумусу у чорноземі типовому та ізогумусолях залежить від характеру використання ґрунтів. Найбільші запаси гумусу у 0–20 см шарі формуються за no-till, перелогу та безполицевих способів обробітку ґрунту, у 20–100 см шарі – за оранки, молодого лісу, ґрунтозахисного обробітку ґрунту поперек схилу і 25 річного перелогу. Найбільша масова частка гумусу 0–20 см шару у метровому шарі ґрунтів утворюється за мілкового безполицевого обробітку ґрунту, перелогу та no-till.

3. Ізогумусолі, порівняно із чорноземом типовим мають у 1,3–1,5 разів більший уміст $C_{\text{фк1a}}$, $C_{\text{фк1}}$, $C_{\text{гк1}}$ фракцій гумусових речовин, з найбільшим їх умістом за no-till, глибокого безполицевого обробітку ґрунту і перелогу, найменшим – за оранки і чорного пару. Інтенсивність утворення першої ($C_{\text{гк1}}/C_{\text{фк1}}$) та другої ($C_{\text{гк2}}/C_{\text{фк2}}$) стадій гуміфікації, процеси полімеризації і акумуляції гумусових речовин гуматного типу ($C_{\text{гк2}}+C_{\text{гк3}}+C_{\text{нз}}$; $C_{\text{гк}}/C_{\text{орг}}$) значно зростають за ґрунтозахисних технологій.

4. За глибокого безполицевого обробітку ґрунту, порівняно із іншими технологіями, формується більш гетерогенна система органічних сполук ґрунту, яка характеризується багаточисельними піками падіння маси ґрунтової проби та

найбільшими площинними екзотермічними ефектами за: 200–310, 310–396, 396–451, 451–568 і 578–610 °С. Амплітуда термічних ефектів ґрунтових проб зменшується від ґрунтових проб 0–5 до 80–100 см шару.

5. Найбільша амплітуда сезонних коливань органічних сполук вуглецю, загального азоту ґрунту і їх відношення відбувається за безполицевого обробітку ґрунту, по-till, перелогу та молодого лісу – у верхніх і нижніх шарах ґрунту та за оранки – у нижній частині орного і підорного шарів. В ізогумусолях та чорноземі типовому за безполицевих технологій обробітку ґрунту, перелогу, по-till та молодого лісу формується найвужче $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ відношення, що свідчить про позитивний вплив цих технологій на збагаченість органічної речовини азотом.

6. В середньому за сезон, найменша кількість вуглецю та азоту біомаси мікроорганізмів нагромаджується за оранки та чорного пару, найбільша – за перелогу, молодого лісу, по-till і ґрунтозахисного обробітку поперек схилу.

7. Сезонна динаміка $\text{CO}_2\text{-C}$ в ізогумусолях описується флуктаційним трендом із максимумом амплітуди у середині липня і мінімумом – на початку та кінці вегетаційного періоду. Максимальна амплітуда емісійної активності в орних ґрунтах продукується за оранки, мінімальна – за безполицевого обробітку ґрунту, по-till і чорного пару.

8. Профільний розподіл кількості емітованого CO_2 по профілю чорнозему типового має дуже високий рівень лінійного кореляційного відношення К. Пірсона із умістом органічного вуглецю ґрунту. Найбільша кількість емітованого CO_2 чорнозему типового виділялась за глибокого безполицевого обробітку ґрунту у ґрунтових пробах відібраних із 0–40, 80–100 та 0–100 см шарів.

Результати досліджень за даним розділом опубліковані у наступних працях:

1. Kravchenko Y., Yarosh A., Chen Y. Profile Soil Carbon and Nitrogen Dynamics in Typical Chernozem under Long-Term Tillage Use. *Land*. 2022. № 11. 1165.

2. Kravchenko Y., Zhang X., Song C., Hu W., Yarosh A., Voitsekhivska O. Seasonal Dynamics of Organic Carbon and Nitrogen in Biomasses of Microorganisms in Arable Mollisols Affected by Different Tillage Systems. *Land*. 2022. Vol. 11. № 4.
3. Kravchenko Y. Ukrainian Chernozem: monograph. Kyiv : NUBiP of Ukraine Press, 2017. 182 p.
4. Chen Q., Kravchenko Y., Li H., Chen S., Zhang X. Seasonal Variation of Physical and Chemical Properties in a Black Soil under No-Till and Conventional Tillage in Northeast China. *The Philippine Agricultural Scientist*. 2016. Vol. 99, № 3. P. 277–282.
5. Kravchenko Y., Zhang X., Li X., Li H., Chen Q. Ukrainian and Chinese Mollisols: Distribution, Formation and Properties. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агронімія»*. 2013. Вип. 183 (2). С. 216–222.
6. Kravchenko Y., Zhang X., Liu X., Song C., Cruse R. Mollisols properties and changes in Ukraine and China. *Chinese Geographical Science*. 2011. Vol. 21. № 3. P. 257–266.

РОЗДІЛ 5

СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНИЙ СТАН ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО ТА ІЗОГУМУСОЛІВ У АГРОЦЕНОЗАХ І ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ

5.1. Формування агрегатного складу чорнозему типового і ізогумусолів

Ґрунт є гетерогенною багатофазною дисперсною системою, яка акумулює, виділяє, проводить і трансформує речовини та енергію. Фізичні фактори середовища (вологість, світлова енергія, температура повітря і ґрунту) мають безпосередній вплив на фізіологічні процеси в рослині (фотосинтез, дихання, наростання біомаси), формуючи таким чином продуктивність сільськогосподарських культур на рівні агроценозів [520]. Вміст водостійких агрегатів, щільність складення ґрунту та його інфільтраційна здатність є предметом багатьох наукових досліджень [106,106]. Більше того, ряд авторів [521] у своїх дослідженнях вказують на роль різних технологій обробітку ґрунту у формуванні структурних агрегатів ґрунту. Розмір, форма і спосіб упакування ґрунтових агрегатів визначає співвідношення об'ємів твердої, рідкої і газоподібної фаз, впливає на газообмін з атмосферою, обумовлює теплоємність і теплопровідність ґрунтів, поведінку ґрунтового розчину, енергетику і рухомість води, тощо [522]. В орному землеробстві агрофізичні властивості ґрунтів регулюються агротехнологічними заходами, які по-різному змінюють їх структурно-агрегатний стан [523]. За мінімальною обробітку ґрунту збільшується вміст водостійких агрегатів [114] та їх оклюдованість гумусовими речовинами [115]. Добре оструктурені ґрунти створюють оптимальну для сільськогосподарських рослин щільність складення [524] і кращу водопроникність [117]. А. Franzluebber та М. Arshad [525], М. Beare et al. [526] спостерігали на ґрунтах легкого гранулометричного складу збільшення масової частки макроагрегатів (>0,25 мм) і їх середньозваженого діаметру за використання no-till, порівняно із оранкою. Макроагрегати ґрунту розміром 10–0,25 мм є більш чутливими до дії розриваючих фізичних сил. Натомість, за

даними J. Tisdall & J. Oades [527], водостійкі мікроагрегати розміром $<0,25$ мм є невразливими до впливу інтенсивного обробітку ґрунту. В. В. Медведєв [522] вважає, що застосування однієї й тієї ж самої агротехніки на одному й тому ж самому ґрунті, але за різного умісту вологи може ініціювати утворення глибистих злитих або агрономічно цінних агрегатів. Інтенсивний обробіток ґрунту, за даними F. Grohmann [528], удвічі зменшує уміст фракцій макроагрегатів розміром більше 2 мм. За оранки, порівняно із ґрунтозахисними технологіями обробітку ґрунту, відбуваються: швидкі зміни розмірів структурних агрегатів, послаблюється інтенсивність агрегатоутворення, поверхневий шар ґрунту оголюється і піддається процесам проморожування-відтаювання та осушення-зволоження, зменшується уміст доступної для рослин вологи, органічна речовина ґрунту та рослинні рештки рівномірно розосереджуються в орному шарі і прискорено окислюються біля поверхні ґрунту, пригнічується мікробіологічна активність ґрунтів [529, 530, 531]. Усі вищезгадані фактори негативно впливають на утворення агрономічно цінних агрегатів за даної технології.

Структурний стан досліджуваних ґрунтів за вмістом повітряно-сухих агрономічно цінних агрегатів за класифікацією С. І. Долгова та П. У. Бахтіна [532] можна охарактеризувати як «добрий» $(61,1 \pm 1,3) \%$ – $(79,7 \pm 1,3) \%$ – для чорнозему типового та «задовільний» $(35,6 \pm 10,4) \%$ – для ізогумусоля. Ізогумусоль, порівняно із чорноземом типовим, характеризувався більшим вмістом брилистих (>10 мм) і макро (5–10 мм) агрегатів та меншим – пилюватих ($<0,25$ мм) мікроагрегатів (рис. 5.1). Масова частка 10–2 мм макроагрегатів у 0–5 та 5–10 см шарах була значно більшою за безполицевих технологій в ізогумусолі і чорноземі типовому (рис.: 5.2 D–I і 5.3 A–F). Ізогумусоль, на відміну від чорнозему типового, мав на 2,13–63,64 % більше $\sum >10-7$ мм агрегатів ніж чорнозем типовий. Даний факт можна пояснити різними умовами формування агрегатів в Україні і Китаї.

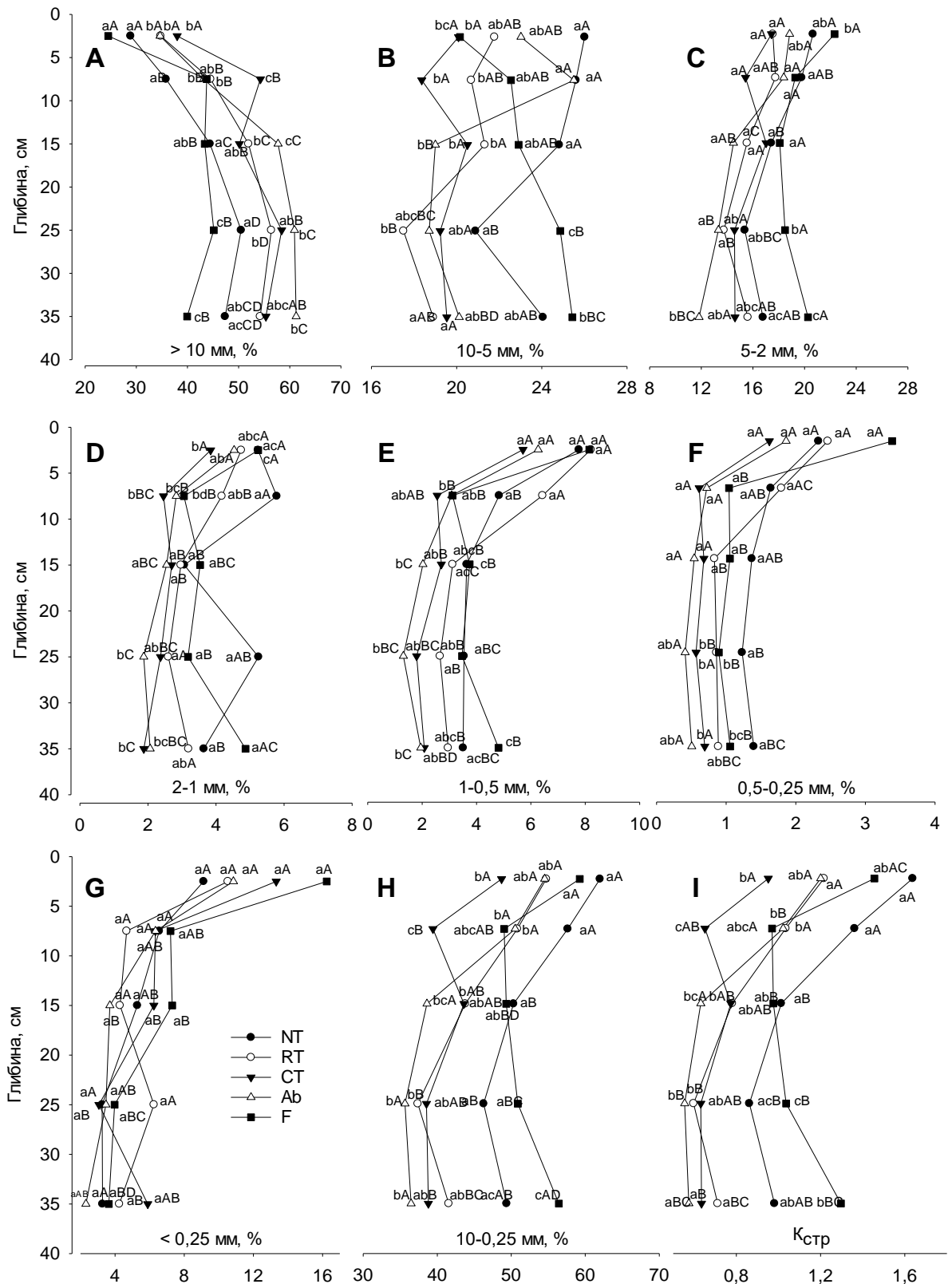


Рис. 5.1. Уміст структурних окремістей та $K_{стр}$ ізогумусолі Гуангронгу за використання: оранки (CT), по-till (NT), безполицевого обробітку (RT), чорного пару (F) та перелогу (Ab). Удобрення: $N_{95}P_{51,75}K_{15}$ (середні значення за 2010–2014 рр.). a^B – різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту

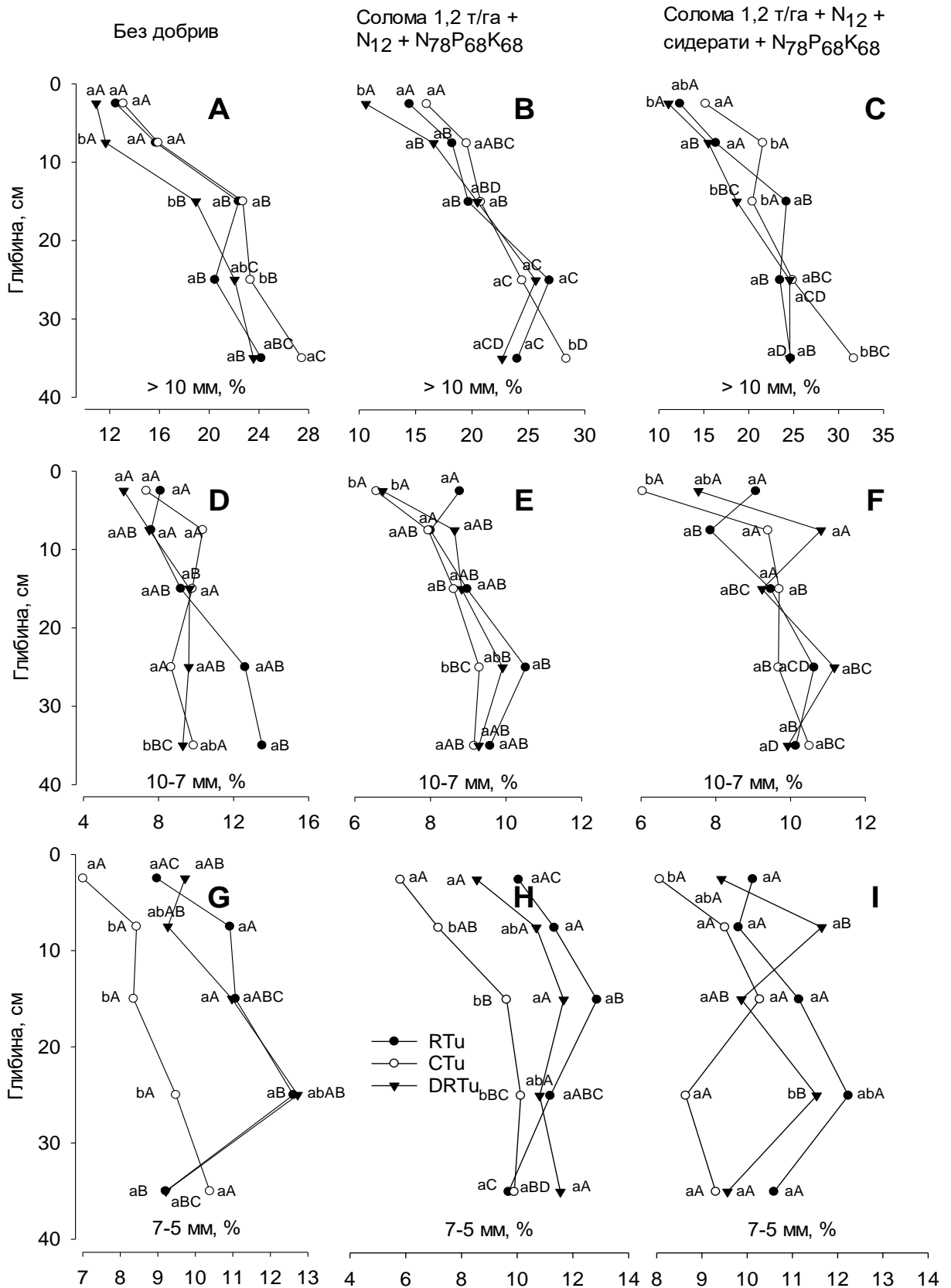


Рис. 5.2. Уміст >10, 10–5 мм структурних окремоностей у чорноземі типовому за використання мілкового безполицевого обробітку (RTu), оранки (СТu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu) (2010–2014 рр., дослід № 1). ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту

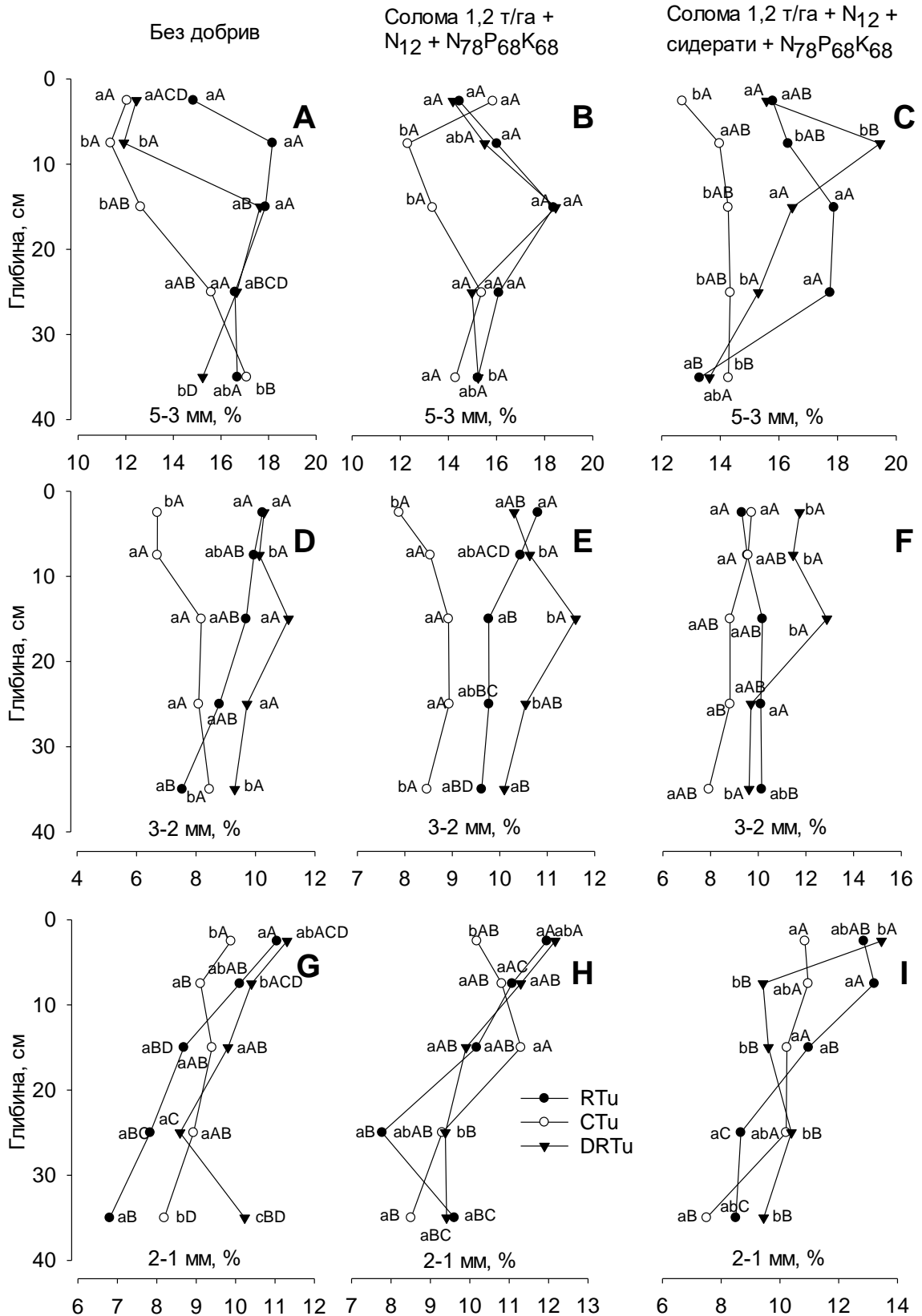


Рис. 5.3. Уміст 5–1 мм структурних окремоостей у чорноземі типовому за використання мілкокого безполицевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu) (2010–2014 рр., дослід № 1).
 аВ—різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту

Структурні агрегати Північно-східного регіону Китаю формуються за спекотного мусонного літа і сухих холодних зим з невеликою кількістю твердих опадів та глибоким промерзанням ґрунту. В Україні, агрегати формуються за спекотного літа з періодичними засухами і м'якою помірно-холодною зимою із снігопадами та дощами. На фоні більш вологої різкоконтинентальної кліматичної зони, більша частка $\Sigma >10-5$ мм структурних агрегатів китайських ізогумусолів, сформована у результаті природнього педогенезу, забезпечує оптимальні параметри водо- і повітряно-проникності ґрунтів та ефективно їх захищає від вітрової ерозії. Б. Д. Михайлов [533] стверджував, що найбільше випаровують ґрунтову вологу агрегати, які мають найбільші і найменші розміри. В Україні навпаки, за чорноземогенезу сформувалось більше $\Sigma >5-0,25$ мм агрегатів, які у більш посушливих умовах спряють кращому вологозбереженню. З іншого боку, більший уміст, порівняно із ізогумусолем, $1-0,25$ та $<0,25$ мм фракцій погіршує їх протиерозійні властивості (рис. 5.4). За нашими дослідженнями, уміст пилюватих мікроагрегатів у чорноземі типовому був більшим за ізогумусоль у середньому в 1,56 рази у $0-20$ см шарі і 1,96 рази – у шарі $20-40$ см (рис.: 5.1 G і 5.4 G-I). Уміст агрономічно цінних $10-0,25$ мм агрегатів зменшувався від верхніх до нижніх шарів і був найбільшим за: RTu $(63,6 \pm 0,8) \% - (79,7 \pm 1,3) \% -$ у чорноземі типовому і NT $(46,3 \pm 2,3) \% - (61,7 \pm 3,4) \% -$ в ізогумусолі (рис.: 5.1 H і 5.5 A-C). Коефіцієнт структурності ($K_{\text{стр}}$), подібно до агрономічно цінних агрегатів, зменшувався вниз по профілю ґрунтів і був найбільшим за DRTu $(1,8 \pm 0,6) - (3,9 \pm 0,3) -$ у чорноземі типовому і NT $(0,9 \pm 0,1) - (1,6 \pm 0,2) -$ в ізогумусолі (рис.: 5.1 і 5.5). Внесення повного органо-мінерального добрива та повного органо-мінерального добрива із сидератами – збільшувало, порівняно із неудобrenим варіантом, масову частку агрономічно цінних агрегатів і зменшувало уміст пилюватих фракцій (рис.: 5.4 G-I і 5.5 A-C). Одними із факторів, які визначають стабільність та фракційний розподіл ВАГ є: тиск газу, швидкість змочування, диспергуючі компоненти, органічна речовина ґрунту [534]. E. Dickson et al. [280] досліджуючи у лабораторії та на лінійній

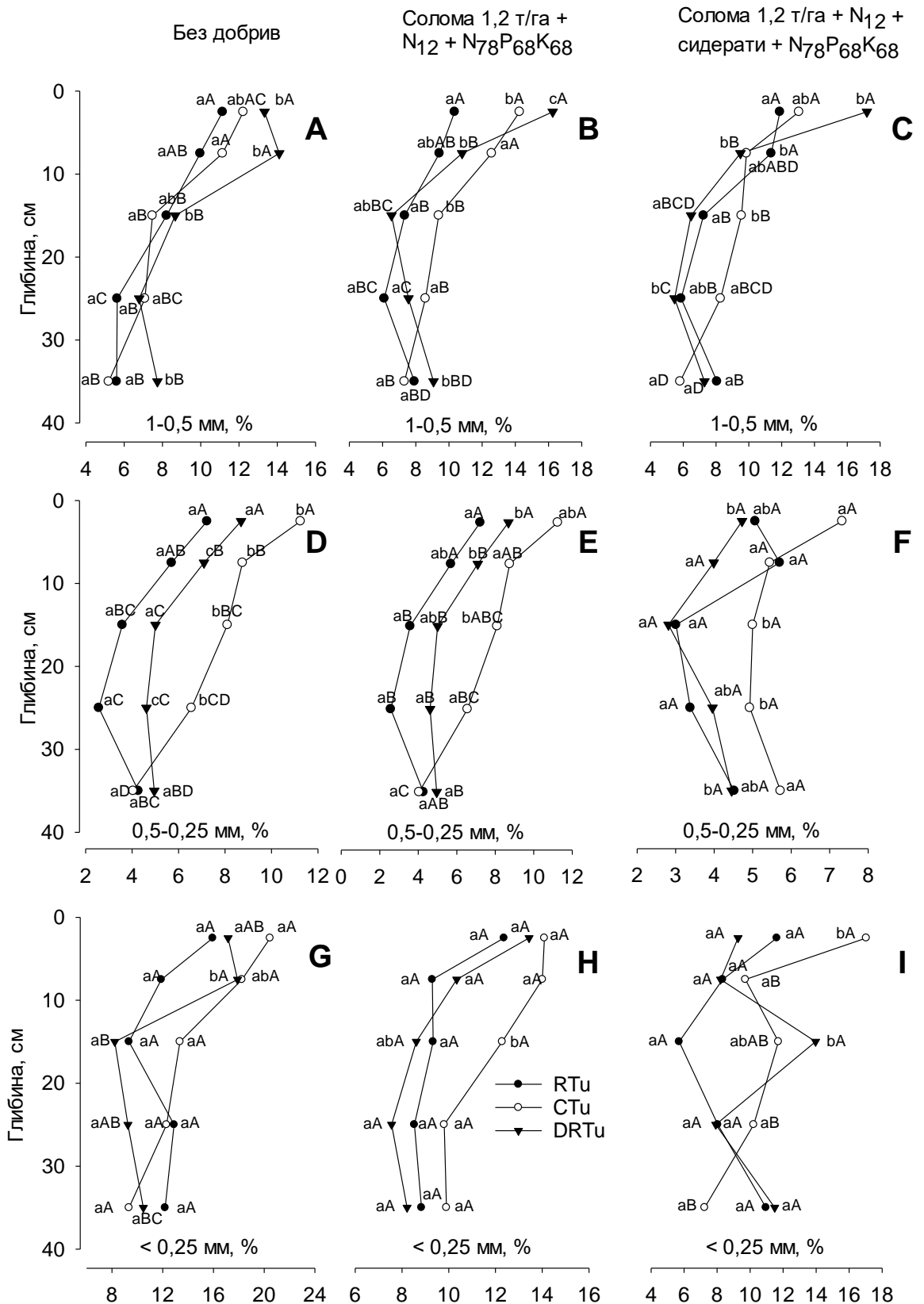


Рис. 5.4. Уміст 1– < 0,25 мм структурних окремоостей у чорноземі типовому за використання мілкокого безполицевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu) (2010–2014 рр., дослід № 1).
 аВ—різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту

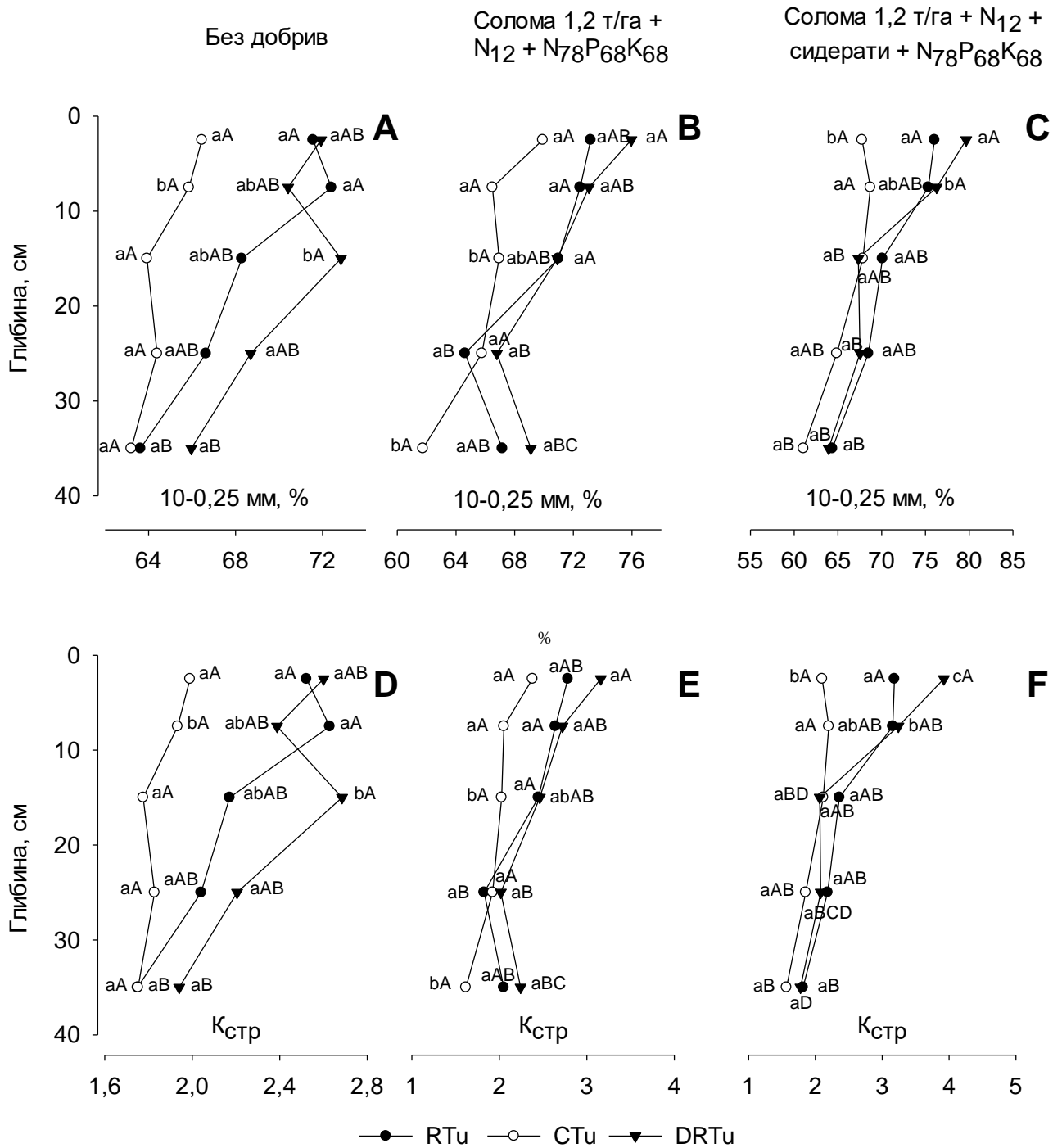


Рис. 5.5. Уміст 10–0,25 мм структурних окремоностей і $K_{стр}$ у чорноземі типовому за використання мілкового безполицевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu) (2010–2014 рр., дослід № 1).
^{aB} – різні літери вказують на істотну різницю між обробітком та шарами ґрунту

математичній моделі вплив тиску газу, швидкості змочування та гранулометричного складу на ВАГ, прийшов до висновку, що стійкість ВАГ залежала передусім від швидкості змочування, за якою йшли тиск газу та гранулометричний склад ґрунту.

В ізогумусолях, темнозабарвлені гумусові речовини вкривають поверхню водостійких агрегатів наче товстою плівкою, яка виконує роль цементуючої речовини з одного боку та захищає агрегати від водно-ерозійного впливу – з іншого. Після розтирання ВАГ їх колір змінюється із сірого на червоно-коричневий (рис. 5.6).



Рис. 5.6. Зовнішній вигляд 2-1 мм фракції водостійких агрегатів ізогумусолу до (a) і після (b) розтирання в агатовій ступці

Водостійкі агрегати ґрунту (ВАГ) визначали шляхом їх швидкого (NVFW) та повільного (NVSW) замочування у водопровідній воді, швидкого замочування у дистильованій воді (NVFW-dw) та повільного замочування у дистильованій воді у вакуумі (nHVSW) [279]. Різні методи підготовки ґрунтової проби вплинули на вихід водостійких агрегатів і їх фракційний розподіл. Найбільший і найменший вихід водостійких агрегатів був одержаний за nHVSW та NVFW відповідно (табл. 5.1). Швидке замочування агрегатів у водопровідній і дистильованій воді вплинуло на руйнування 5–1 мм фракції і збільшення частки 0,5–0,25 мм фракції. Загальний вихід 10–0,25 мм фракції поступово збільшувався від NVFW до NVSW, NVFW-dw і nHVSW, який становив: 54,8;

72,9; 74,2 і 74,0 % – за СТ та 62, 5; 77,6; 77,7 і 83,3 % – за NT відповідно. За no-till, порівняно із оранкою, формувалось більше 10–5, 2–1 і 1–0,5 мм фракцій, за оранки – 5–2 та 0,5–0,25 мм фракцій. За вмістом 10–0,25 мм агрегатів, оранка суттєво поступалась no-till: 54,8–74,0 % – за СТ проти 62,5–83,3 % – за NT. Коефіцієнт водостійкості збільшувався від макроагрегатів оранки (0,94–1,28) до no-till (1,14–1,52).

Таблиця 5.1

Вплив методів підготовки ґрунтової проби до аналізу та різних технологій обробітку ґрунту на фракційний розподіл водостійких агрегатів ізогумусолю, % [279]

Технології обробітку ґрунту	Методи	10–5 мм	5–2 мм	2–1 мм	1–0,5 мм	0,5–0,25 мм	10-0,25 мм	К _{водост.}
СТ	NVFW	0,3 A,a	1,3 A,a	6,6 A,a	21,3 B	25,4 B,b	54,8 A	0,94 A
	NVSW	0,5 A,a	17,2 B,b	12,2 B,b	25,5 B	17,4 B,a	72,9 B	1,25 A
	NVFW-dw	1,2 A,a	14,3 B,ab	16,7 B,b	26,9 B	15,0 B,a	74,2 B	1,28 A
	nHVSW	4,7 A,a	8,6 A,ab	17,7 B,b	26,8 C	16,2 B,a	74,0 B	1,28 A
NT	NVFW	1,5 A,a	2,6 A,a	8,0 A,a	30,3 B	20,2 B,ab	62,5 AB	1,14 A
	NVSW	2,3 A,a	10,8 B,a	26,6 C,c	23,1 C	14,8 C,a	77,6 B	1,41 B
	NVFW-dw	1,3 A,a	9,2 B,ab	23,7 C,c	29,5 C	13,6 B,a	77,2 B	1,41 B
	nHVSW	7,3 C,b	15,6 B,b	24,6 C,c	23,9 BC	11,9 A,a	83,3 C	1,52 B

Примітка: ^{ab} – середні значення із різними малими літерами вказують на істотну різницю між фракціями агрегатів, великими літерами – істотну різницю між способами підготовки ґрунтової проби до аналізу (НІР, $\alpha = 0,05$).

Описова статистика водостійких агрегатів ґрунту (табл. 5.2) виявила надзвичайно важливий факт дуже низької варіабельності одержаних результатів за nHVSW. Коефіцієнт варіабельності зменшувався від NVFW до NVSW, NVFW-dw і nHVSW та становив: 0,41; 0,32; 0,17 і 0,06 – для СТ і 0,27; 0,24; 0,15 і 0,04 – для NT відповідно. Отже, за нашими даними, процедура підготовки ґрунтової проби до аналізу ВАГ критично впливає на статистичну розбіжність даних та їх достовірність.

Структурний склад чорнозему типового за вмістом водостійких агрегатів >0,25 мм характеризувався як «добрий», коливався від 59, 8 до 67,2 % і був

Таблиця 5.2

Дескриптивна статистика водостійких агрегатів ґрунту, варіантів СТ та NT, одержаних чотирьома способами підготовки ґрунтової проби до аналізу [279]

Методи	Середнє ^a (%)	Дисперсія	CV ^b	Max (%) ^c	Min (%) ^d
СТ					
NVFW	51,1 ± 6,8	93,83	0,41	67,02	37,10
NVSW	74,2 ± 7,2	162,67	0,32	88,66	46,18
NVFW-dw	73,6 ± 6,5	90,61	0,17	81,10	59,22
nHVSW	82,0 ± 2,7	22,39	0,06	87,16	77,90
NT					
NVFW	55,2 ± 8,6	157,00	0,27	65,42	35,70
NVSW	72,1 ± 13,6	204,80	0,24	90,84	55,32
NVFW-dw	80,5 ± 4,9	147,14	0,15	89,44	66,66
nHVSW	87,6 ± 3,6	12,82	0,04	89,74	83,48

Примітки:

^a Середнє значення 6 ґрунтових проб, (±) – стандартне відхилення;

^b CV – коефіцієнт варіації;

^c Max (%) – максимальне значення показника;

^d Min (%) – мінімальне значення показника.

найвищим за RT (66,8±0,6) % – у шарі 0–10 см і DRTu (67,2±6,8) % – у шарі 10–20 см (табл. 5.3). Найбільша кількість водостійких агрегатів нагромаджувалось у фракціях: 10–5 мм – за DRTu (7,3±0,3) %, 5–2 мм – за RTu (7,7±0,6) %, 2–1 мм – за STu (9,5±0,5) %, 1–0,5 мм – за RTu (21,7±0,2) %, 0,5–0,25 мм – STu (24,5±1,4) % і <0,25 мм – за STu (37,8±0,8) % – у шарі 0–10 см. У шарі 10–20 см, найбільший вміст ВАГ у вищезгаданих фракціях був за: RTu, RTu, DRTu, DRTu/RTu і STu відповідно. Співвідношення вмісту агрегатів розміром 10–0,25 мм до пилуватої <0,25 мм фракції за RTu, STu і DRTu становило: 2,0; 1,5 і 1,9 – у 0–10 см шарі і 1,8; 1,5 і 1,9 – у 10–20 см шарі відповідно. Коефіцієнт водостійкості зменшувався від STu (0,91±0,04) до RTu (0,88±0,04) і DRTu (0,84±0,05) – у 0–10 см шарі та від DRTu (1,00±0,11) до RTu (0,92±0,05) і STu (0,88±0,05) – у шарі 10–20 см.

Вплив різних технологій обробітку ґрунту на уміст водостійких агрегатів (%) у 0–10 та 10–20 см шарах чорнозему типового [535], дослід № 1

Шар ґрунту, см	Технологія обробітку ґрунту		
	Rtu	Ctu	DRTu
10-5 мм			
0-10 см	5,3 _a A	4,0 _b A	7,3 _c A
10-20 см	6,9 _a B	3,7 _b A	2,4 _b B
5-2 мм			
0-10 см	7,7 _a A	7,3 _a A	6,1 _b A
10-20 см	6,4 _a B	5,1 _{a,b} B	4,5 _b B
2-1 мм			
0-10 см	8,9 _a A	9,5 _{a,b} A	6,8 _b A
10-20 см	6,0 _a B	6,1 _a B	9,2 _b B
1-0,5 мм			
0-10 см	21,7 _a A	17,4 _b A	21,2 _a A
10-20 см	19,2 _a B	22,4 _b B	27,1 _c B
0,5-0,25 мм			
0-10 см	23,3 _a A	24,1 _a A	23,8 _a A
10-20 см	26,0 _a B	22,4 _b A	26,0 _a B
< 0,25 мм			
0-10 см	33,2 _a A	37,8 _b A	34,8 _a A
10-20 см	35,3 _{a,b} A	40,2 _a B	36,1 _b A
10-0,25 мм			
0-10 см	66,8 _a A	62,2 _b A	65,2 _{a,b} A
10-20 см	64,4 _a B	59,8 _b A	67,2 _{a,b} A
K _{водост.}			
0-10 см	0,9 _{ab} A	0,9 _b A	0,8 _a A
10-20 см	0,9 _{ab} A	0,9 _a A	1,0 _b B

Примітка: ^{aB} – середні значення із різними малими літерами вказують на істотну різницю між технологіями обробітку ґрунту, великими літерами – істотну різницю між шарами ґрунту (NIP, $\alpha = 0,05$).

Проведені нами дослідження демонструють залежність розподілу фракцій ВАГ від умісту органічної речовини ґрунту при використанні NVFW, NVSW, NVFW-dw на фоні важкосуглинкового гранулометричного складу (табл. 5.4). Застосування nHVSW при визначенні ВАГ у ґрунтових пробах із умістом гумусу: 2,1; 4,4 та 6,1 % показало майже однаковий вихід 10–1 мм фракцій незалежно від рівня гумусованості. Уміст <1 мм фракцій суттєво залежав від умісту гумусу в

грунтових пробах. У варіанті із nHVSW, вихід 10–0,5 мм фракції значно перевищував інші методи підготовки ґрунтової проби: 82,0–87,8 г/100 г – за nHVSW проти 33,8–54,8 г/100 г – за NVFW, 39,7–56,4 г/100 г – за NVSW і 36,6–50,4 г/100 г – за NVFW-dw.

Таблиця 5.4

Вплив методів підготовки ґрунтової проби до аналізу та різних технологій обробітку ґрунту на фракційний розподіл водостійких агрегатів ізогумусолю (г/100 г) у ґрунтах із різним умістом гумусу [279]

Уміст гумусу, %	Методи	10–5 мм	5–2 мм	2–1 мм	1–0,5 мм	0,5–0,25 мм	10-0,25 мм
2,10	NVFW	1,3 A,c	2,5 A,b	2,4 A,b	10,6 B,a	17,0 C,b	33,8 A
	NVSW	2,4 A,c	2,3 A,b	1,7 A,a	10,3 B,a	23,0 C,c	39,7 A
	NVFW-dw	1,3 A,c	2,5 A,b	2,6 A,b	9,8 B,a	20,4 C,b	36,6 A
	nHVSW	11,5 A,d	18,6 B,c	12,7 A,d	27,0 B,c	12,2 A,a	82 C
4,41	NVFW	0,4 A,b	1,8 A,a	2,3 A,b	12,3 B,a	27,1 C,c	43,9 AB
	NVSW	0,7 A,b	1,6 A,a	3,5 A,b	14,2 B,a	28,9 C,c	48,9 AB
	NVFW-dw	0,2 A,a	1,5 A,a	2,1 A,b	10,0 B,a	26,7 C,c	40,5 AB
	nHVSW	17,4 C,d	20,9 C,c	10,7 A,d	27,6 D,c	11,2 B,a	87,8 C
6,13	NVFW	1,0 A,b	3,9 A,b	4,8 A,c	18,5 B,b	26,6 B,c	54,8 B
	NVSW	2,0 A,c	3,2 A,b	4,2 A,c	18,8 B,b	28,2 C,c	56,4 B
	NVFW-dw	1,2 A,b	3,6 A,b	3,9 A,c	15,7 B,b	26,0 C,c	50,4 B
	nHVSW	16,2 A,d	21,6 AB,c	12,9 A,d	26,8 B,c	10,1 A,a	87,6 C

Примітка: ^{aB}–середні значення із різними малими літерами вказують на істотну різницю між фракціями агрегатів, великими літерами – істотну різницю між способами підготовки ґрунтової проби до аналізу (НІР, $\alpha = 0,05$).

Чорнозем типовий характеризується «доброю» оструктуреністю за умістом водостійких агрегатів та сприятливими умовами для обробітку ґрунту. В той же час у вчених виникають складнощі із розумінням процесів агрегатоутворення, стабілізації та змін агрегатного складу ґрунтів за їх різного використання [536]. Макроагрегати ґрунту формуються і стабілізуються переважно за впливу фізичних факторів (зволоження – підсушування, замерзання – відтаювання) і органічних чинників: дисперсної органічної речовини ґрунту, кореневої системи рослин і продуктів їх виділення (органічні

кислоти, амінокислоти, ферменти та вітаміни, слиз, поліцукри, фізіологічно активні речовини, алкалоїди, терпени, флавоноїди, водорозчинні сполуки та ін.), везикулярних–арбускулярних мікоризних гіфів, грибів, продуктів мікробного синтезу і мінералізації [537, 538]. Мікроагрегати формуються і стабілізуються за переважаючого впливу колоїдної і мулуватої фракцій, полівалентних катіонів металів, їх оксидів і гідроксидів, стабілізованих ароматичних гумусових речовин сорбованих полімерами [527]. Вони є більш стійкими до зовнішнього і антропогенного впливу ніж макроагрегати ґрунту. Обробіток ґрунту фізично руйнує макроагрегати і послаблює їх стабільність, прискорює мінералізацію органічної речовини ґрунту, створює більше пилюватих мікроагрегатів [539, 540]. З іншого боку, при застосуванні ґрунтозахисних технологій на чорноземах (молісолях, ізогумусолях) поряд із збільшенням умісту гумусу в орному шарі ґрунтів формуються крупні фракції ґрунтових агрегатів [541]. У наших дослідженнях, за мілкового безполицевого обробітку ґрунту, порівняно з оранкою, уміст 10–5 і 5–2 мм водостійких макроагрегатів ґрунту був на 1,4 і 0,4 % більшим – у 0–10 і 3,2 і 1,3 % – у 10–20 см шарах відповідно. Варіант із оранкою суттєво переважав безполицеві технології обробітку ґрунту за умістом <0,25 мм фракції. Варіант із глибоким безполицевим обробітком ґрунту, порівняно із RTu та STu, мав більший уміст: 10–5 та 10–0,25 мм фракцій у 0–10 та 10–20 см шарах чорнозему типового, а також мав більший коефіцієнт водостійкості у шарі 10–20 см ($1,0 \pm 0,1$) (табл. 5.4).

5.2. Стабільність та динаміка водостійких агрегатів досліджуваних ґрунтів

Кількісне оцінювання змін фізичних властивостей ґрунтів за механічного впливу на ґрунт різних технологій обробітку ґрунту може бути виконано на основі досліджень стабільності ґрунтових агрегатів (СГА). Даний показник оцінюється за умістом водостійких агрегатів ґрунтів (ВАГ) їх середньозваженим (MWD) і геометричним (GMD) діаметрами, фрактальною розмірністю (D),

коефіцієнтами структурності ($K_{\text{стр}}$) і водостійкості ($K_{\text{водост.}}$) [252, 282]. Вищезгадані показники є досить чутливими до впливу агротехнічних практик на зміни властивостей ґрунтів, тому вони можуть виконувати роль ранніх індикаторів їх відновлення або деградації. СГА є динамічним параметром, який змінюється протягом року, у тому числі під час вегетаційного періоду вирощування с.-г. культур. Саме у цей період орні ґрунти зазнають найбільше антропогенне навантаження на фоні протікання природних біотичних і абіотичних процесів.

Проведені нами дослідження показали, що обробіток ґрунту та строки відбору ґрунтових проб вплинули на структурно-агрегатний склад ВАГ в усіх шарах ізогумусолу. Розмір динаміки умісту ВАГ протягом вегетаційного періоду мав найбільшу амплітуду за оранки – 7,3–8,9 % проти: 5,0–5,4 % – за NT; 7,1–7,5 % – за RT і 5,6–6,5 % – за Ab (рис. 5.7–5.9). Найбільша динаміка змін умісту ВАГ була відмічена у 10–5 і 5–2 мм фракціях, найменша – у 0,5–0,25 і <0,25 мм агрегатах. Уміст 10–5 і 5–2 мм фракцій максимально підвищувався у кінці серпня, 2–1 і 1–0,5 мм фракцій – у середині травня, 0,5 і 0,25 мм фракцій – у середині липня та напочатку жовтня. Найбільшу частку у структурі ВАГ займали: 10–5, 5–2 і 1–0,5 мм фракції. Сума вмісту 10–0,25 мм макроагрегатів ґрунту у 0–10 см шарі ізогумусолу була найбільшою за Ab (92,0 %), у 10–20 см шарі – за NT (90,6 %) та Ab (90,8 %), у 20–40 см шарі – за RT (88,4 %). Органічна речовина ґрунту у складі ВАГ захищає агрегати від процесів фізичної, хімічної і біологічної деградації, підвищує їх пластичність та стійкість до впливу антропогенних і природних факторів. Стабілізований $C_{\text{орг}}$ змінюється повільно і має більш тривалий період перебування у складі ВАГ, порівняно із $C_{\text{орг}}$ у складі агрегатів визначених за сухого просіювання. Уміст органічного вуглецю ґрунту з 16 травня по 4 жовтня у структурі фракцій ВАГ мав тенденцію до збільшення у 0–20 см шарі і суттєво не змінювався у 20–40 см шарі (рис. 5.10–5.11). Найбільший уміст $C_{\text{орг}}$ переважно зосереджувався у 0,5–0,25 мм фракції,

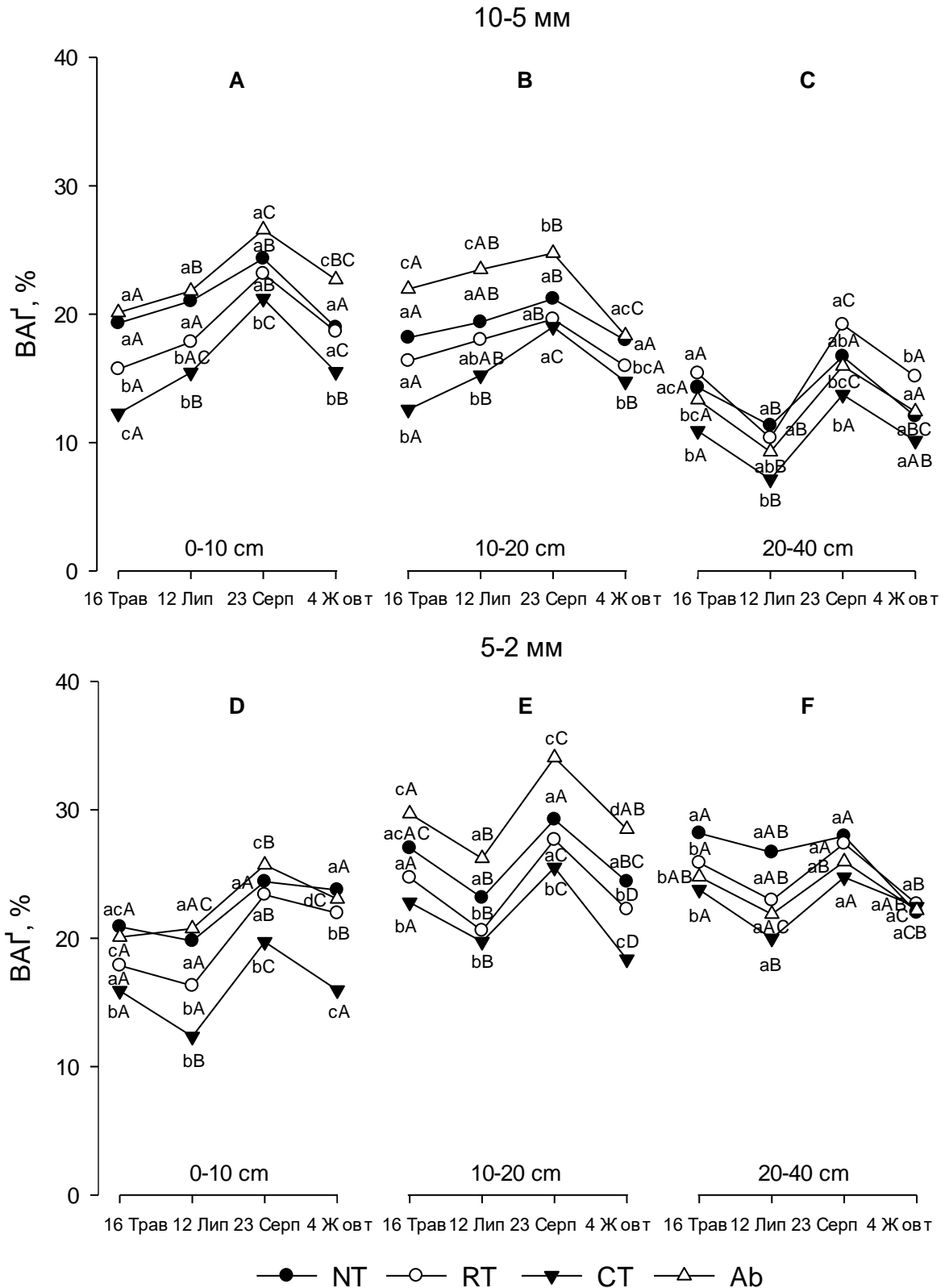


Рис. 5.7. Сезонна динаміка умісту 10–2 мм водостійких агрегатів (BAГ) ізогумусолу Гуангронгу за використання: оранки (CT), по-till (NT), безполицевого обробітку (RT) та перелугу (Ab) (2010–2014 рр., дослід № 3).
^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробітком ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

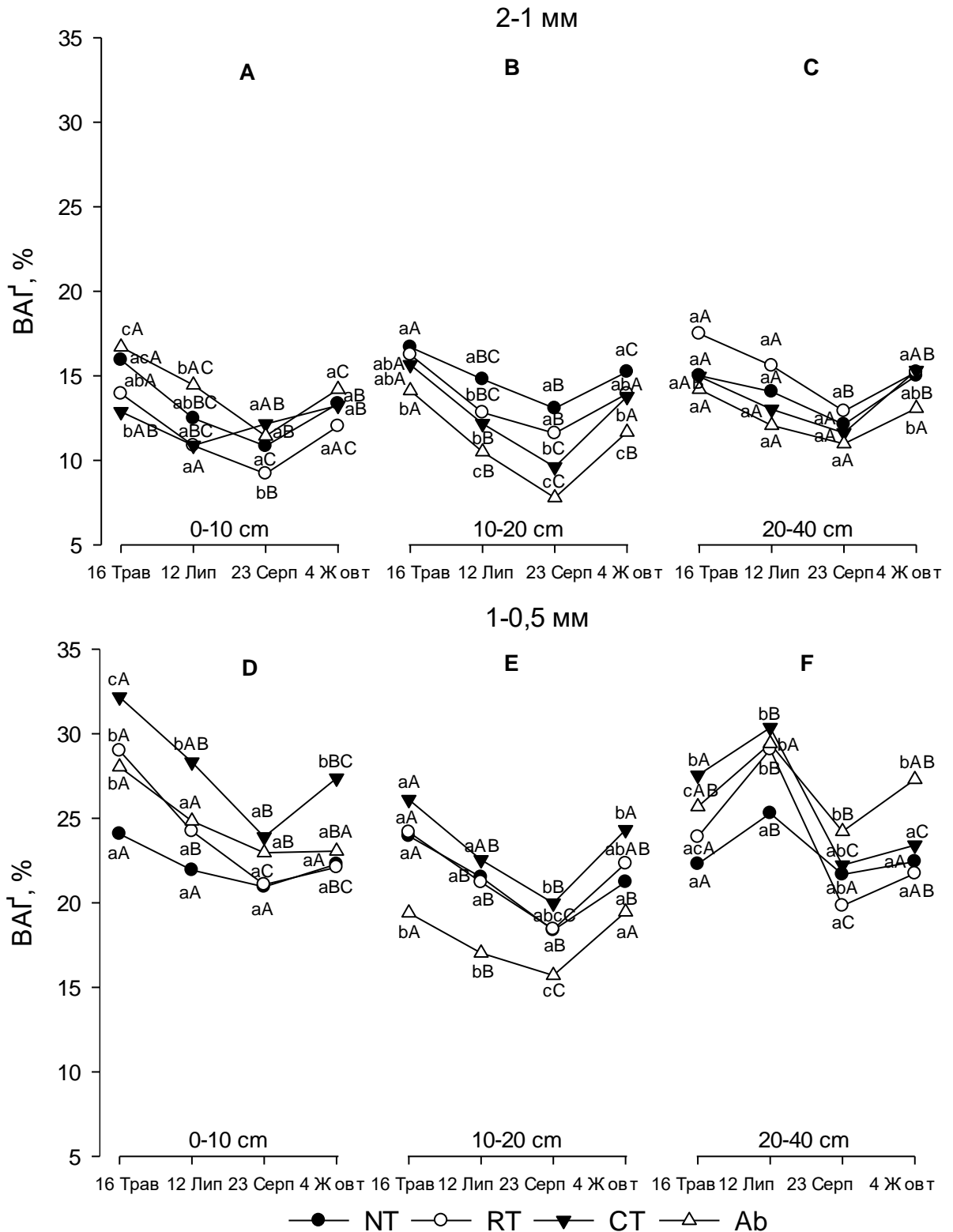


Рис. 5.8. Сезонна динаміка умісту 2–0,5 мм водостійких агрегатів (BAГ) ізогумусолу Гуангронгу за використання: оранки (CT), no-till (NT), безполицевого обробітку (RT) та перелугу (Ab) (середні значення за 2010–2014 рр., дослід № 3). ^{ab}—різні літери вказують на істотну різницю між обробітком ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

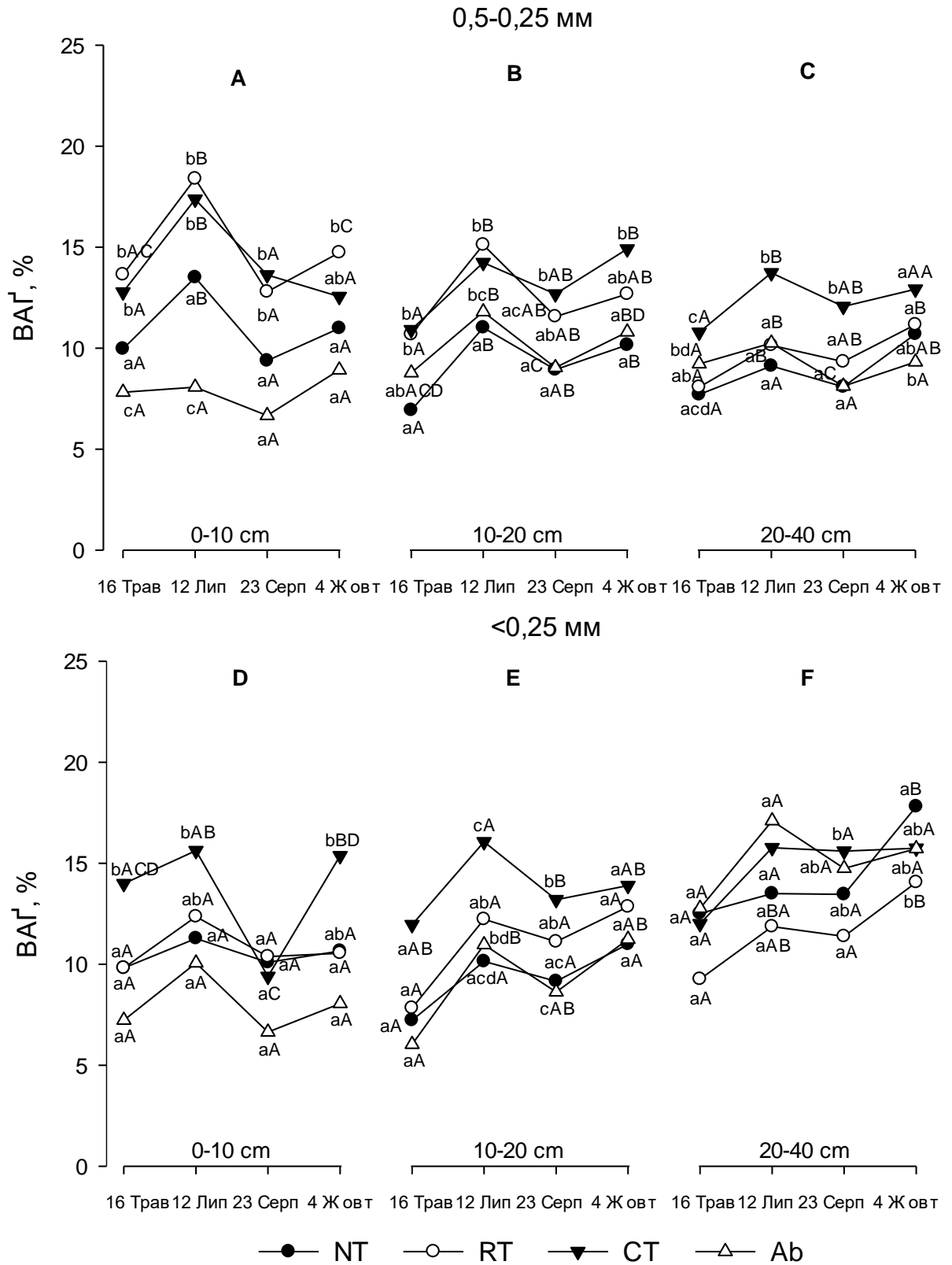


Рис. 5.9. Сезонна динаміка умісту 0,5–0,25 і <0,25 мм водостійких агрегатів (ВАГ) ізогумусолу Гуангронгу за використання: оранки (СТ), по-til (NT), безпліцевого обробітку (RT) та перелогу (Ab) (середні значення за 2010–2014 рр., дослід № 3). ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

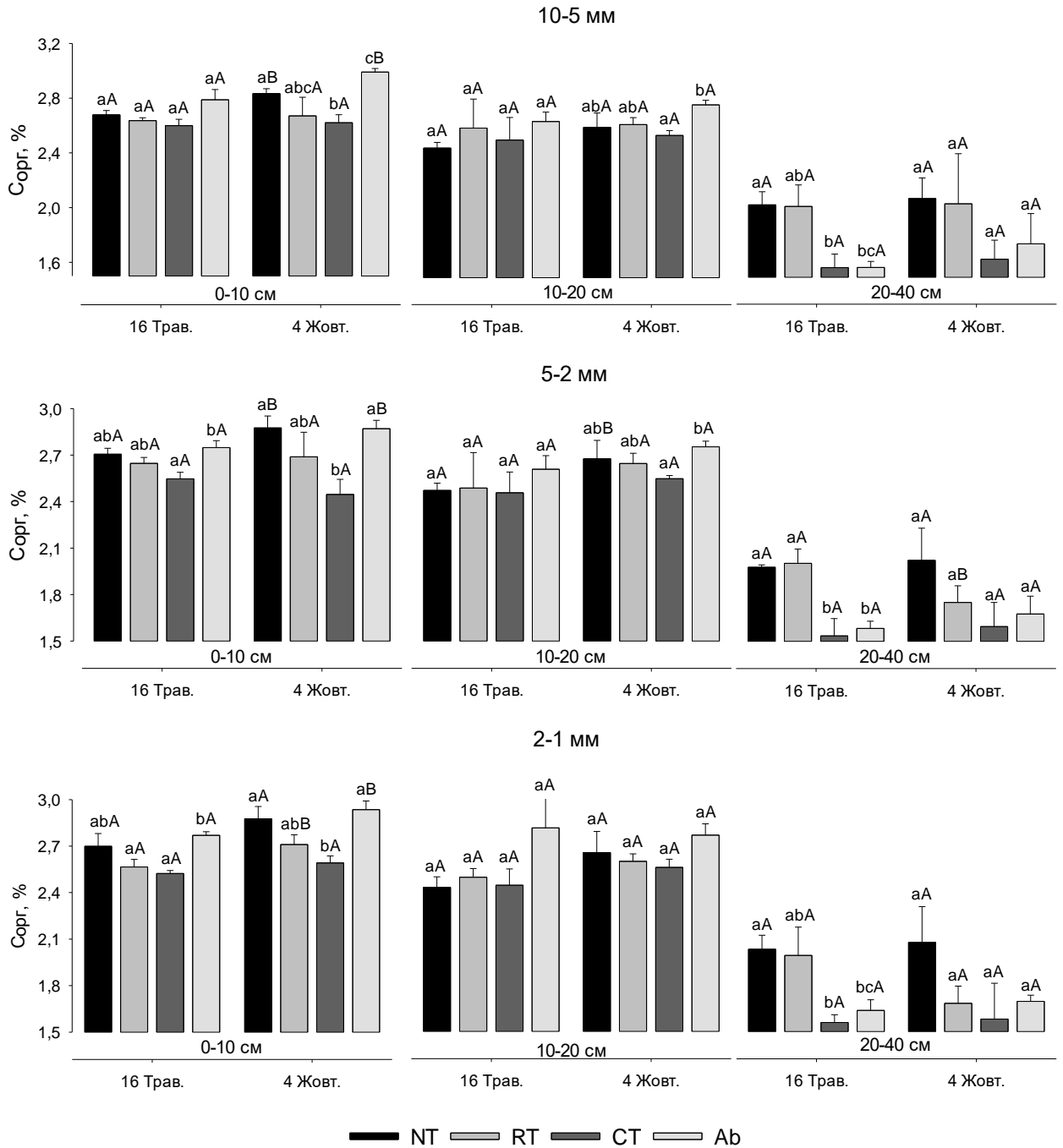


Рис. 5.10. Зміни умісту $C_{орг}$ у 10–1 мм водостійких агрегатів (BAГ) ізогумусолу Гуангронгу за: оранки (CT), по-till (NT), безполицевого обробітку (RT) та перелогу (Ab) (2010–2014 рр., дослід № 3). a^B –різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

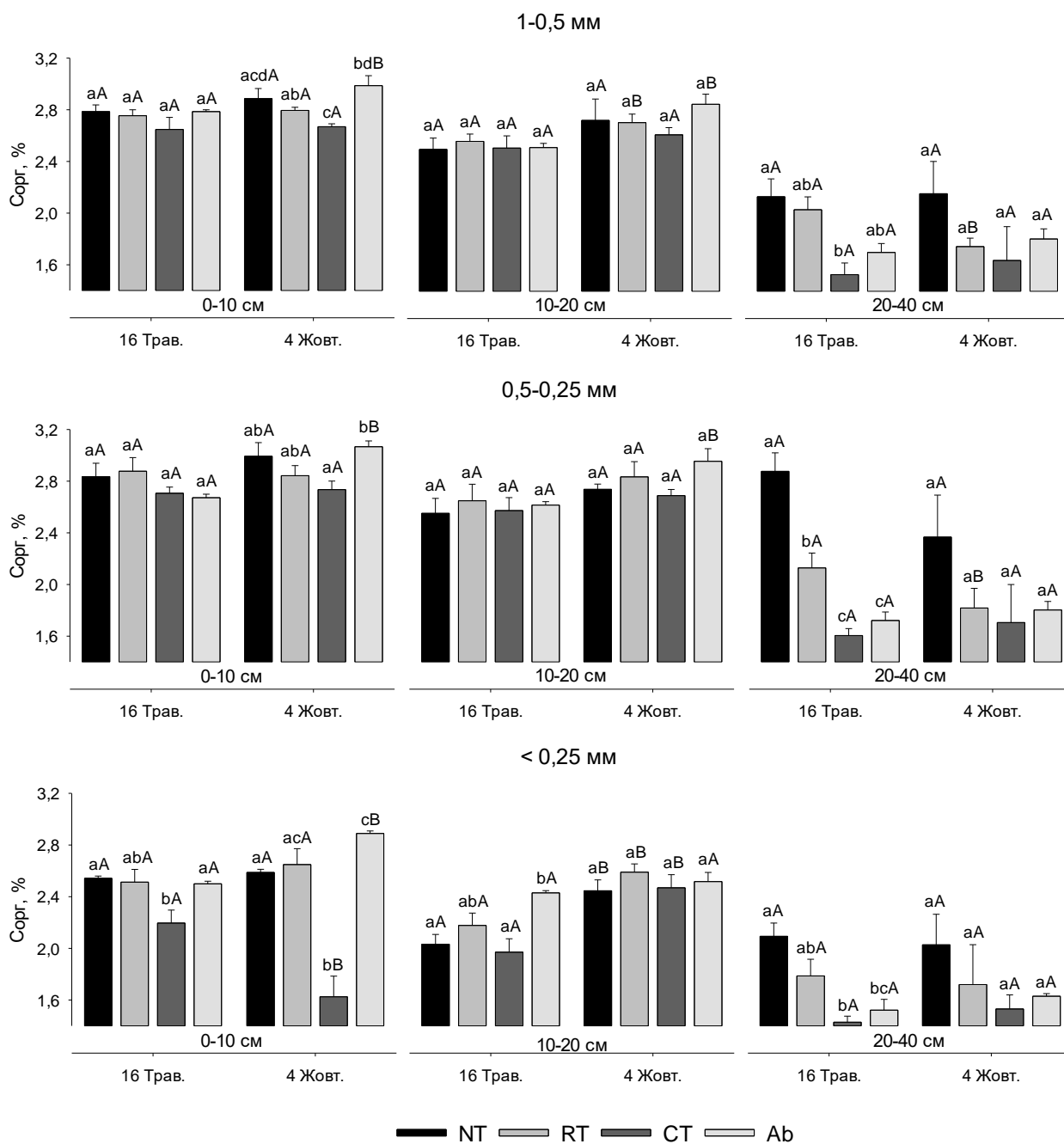


Рис. 5.11. Зміни умісту $C_{орг}$ у 1 – <0,25 мм водостійких агрегатів (ВАІ) ізогумусолі Гуангронгу за: оранки (CT), no-till (NT), безпліцевого обробітку (RT) та перелогу (Ab) (2010–2014 рр., дослід № 3). ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробітком ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

найменший – у $<0,25$ мм фракції. За Ab, на початку вегетації, найбільше $C_{\text{орг}}$ у шарі 0–10 см концентрувалось у 10–5 мм фракції. В цілому за вегетацію варіант із перелогом характеризувався найбільшим умістом $C_{\text{орг}}$ у 0–10 ($2,8\pm 0,3$) % та 10–20 ($2,7\pm 0,2$) % см шарах. Серед варіантів із різними технологіями обробітку ґрунту, найвищим умістом $C_{\text{орг}}$ у 0–10 та 20–40 шарах відзначився варіант із по-till ($2,8\pm 0,2$) і ($2,1\pm 2,2$) %, у 10–20 см шарі – варіант із RT ($2,6\pm 0,2$) %.

Аналізуючи структурно-агрегатний склад ґрунтів дослідники звертають свою увагу переважно на окремі або агрономічно цінні агрегати втрачаючи з поля зору інші фракції, такі як наприклад: >10 мм та $<0,25$ мм. З іншого боку, дуже важко описати фракційний розподіл усіх ґрунтових агрегатів єдиним математичним рівнянням. З метою кількісного відображення статусу усіх фракцій структурних агрегатів ґрунтів, С. Н. М. van Bavel [281] запропонував введення показника середньозваженого діаметру агрегатів (MWD). Майже відразу після опублікованої концепції MWD Ван Бавеля, А. Mazurak [283] висунув гіпотезу, що структурно-агрегатний склад у більшості ґрунтів краще описується логарифмічним ніж нормальним розподілом і, відповідно, ввів показник середньозваженого геометричного діаметру (GMD). Деякі вчені [542] вважають, що GMD більш точно, ніж MWD, відображає зміни фракційного розподілу ґрунтів. F. Schaller та R. Stockinger [543] порівнюючи результати застосування п'яти різних методів при оцінюванні агрегатного складу різних типів ґрунтів прийшли до висновку, що найкращими методами є MWD та GMD. Ступінь кореляційного зв'язку між вищезгаданими показниками виявився дуже високим ($>0,90$). До того ж, G. Stirk [544] запропонував застосовувати показник GMD та стандартне відхилення логарифму у якості стандартних параметрів при оцінюванні агрегатного складу ґрунтів.

Структурні окремоті ґрунтів мають різні геометричні форми (правильні і неправильні) та різну розмірність, а ґрунт може виступати як педфрактал з ієрархічними самоподібними та самоафінними багаторівневими структурами, кожний компонент якого має певну тотожність із компонентом іншої ієрархії

[544]. Дані властивості ґрунтів і агрегатів лежать в основі застосування до них нерегулярних моделей афінної подібності. Ці моделі базуються на теорії хаосу, у них широко застосовуються принципи фрактальної геометрії і фрактальної розмірності (D) [545, 546]. У зв'язку із ступеневою залежністю між масою та розмірами агрегатів, фрактали добре описують динаміку зміни структурних окремоостей ґрунтів [547, 548]. При фрактальному моделюванні враховуються області порядку та безпорядку, кількість ітерацій самоафінної множини, фрактальну розмірність фрагментованої області [546]. Фрактальний підхід є досить чутливим щодо змін фізичного стану ґрунтів і, відповідно, добре описує сезонну динаміку водостійких агрегатів ґрунту, яку ми досліджували на ізогумусолях.

Дослідження стабільності ВАГ методами MWD , GMD та D_{10-5mm} у 0–10, 10–20 та 20–40 см шарах ізогумусолю показало перевагу перелогу та ґрунтозахисних технологій обробітку ґрунту над оранкою у формуванні крупних фракцій водостійких агрегатів (рис. 5.12). Крупність ВАГ за показниками GMD_{mm} , MWD_{mm} та D_{10-5mm} зменшувалась від: Ab (1,9; 2,9; 2,1) до NT (1,8; 2,8; 2,2), RT (1,7; 2,6; 2,3) і CT (1,5; 2,3; 2,4) – у 0–10 см шарі; від Ab (1,9; 3,1; 2,1) до NT (1,7; 2,8; 2,3), RT (1,6; 2,6; 2,3) і CT (1,5; 2,4; 2,4) – у 10–20 см шарі; від RT (1,5; 2,5; 2,4) до NT (1,5; 2,4; 2,5), Ab (1,4; 2,3; 2,5) і CT (1,3; 2,1; 2,6) – у 20–40 см шарі ізогумусоля, відповідно. З 16 травня до 23 серпня відбулось зростання показників GMD_{mm} , MWD_{mm} та D_{10-5mm} (ВАГ) за усіх досліджуваних варіантів. Найкрупніші водостійкі агрегати ізогумусолю у кінці літа утворювались за NT – у шарі 0–20 см і RT – у шарі 20–40 см. У шарі 20–40 см, протягом травня – липня, розміри GMD_{mm} , MWD_{mm} та D_{10-5mm} (ВАГ) достовірно зменшувались за перелогу та усіх досліджуваних технологіях обробітку ґрунту. Найбільша амплітуда сезонних змін GMD_{mm} , MWD_{mm} та D_{10-5mm} (ВАГ) відбулась за: Ab, CT і CT – у шарі 0–10 см; Ab, Ab і CT – у шарі 10–20 см; RT, RT і RT – у шарі 20–40 см відповідно (рис. 5.12).

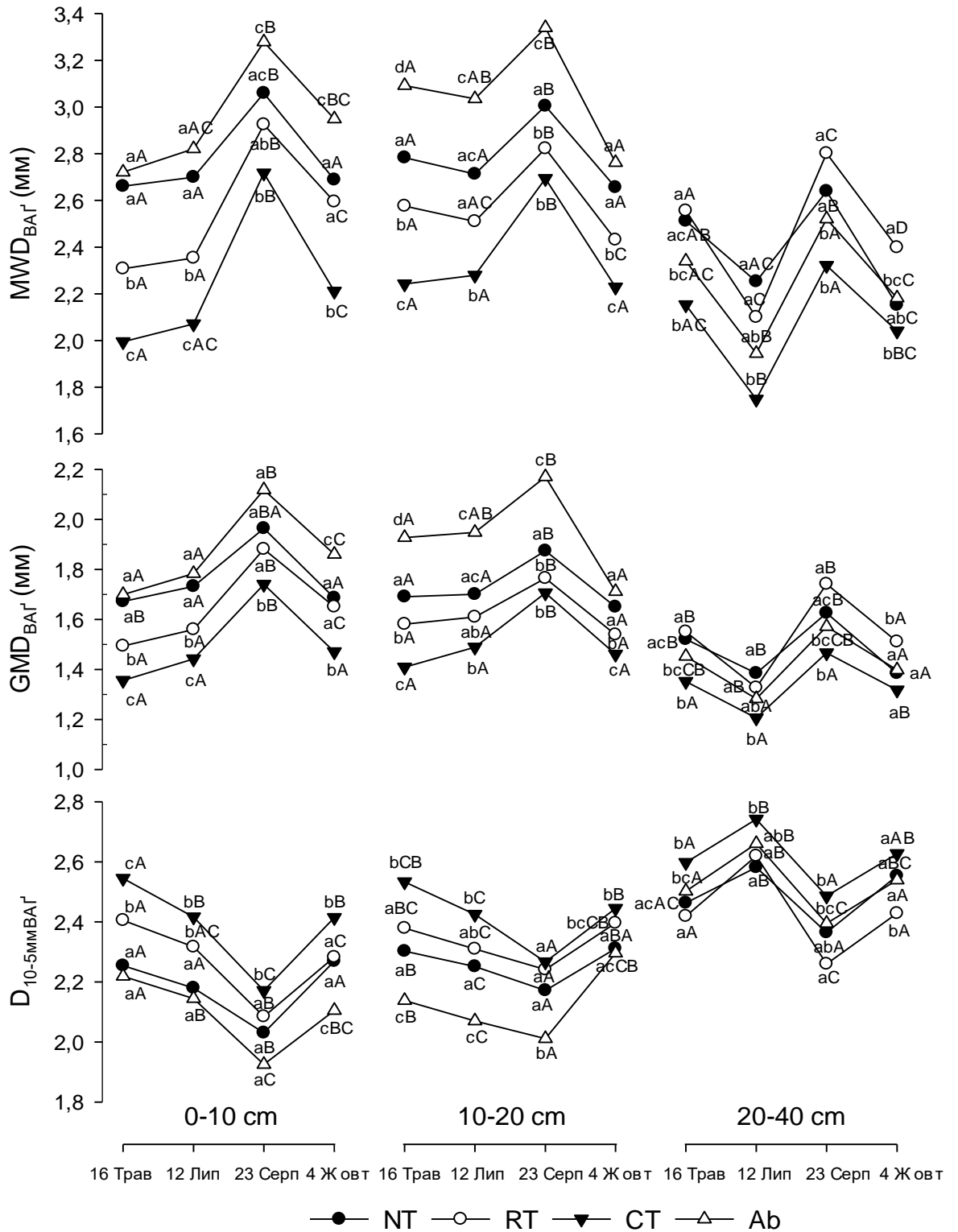


Рис. 5.12. Сезонна динаміка середньозваженого діаметру (MWD), геометричного середньозваженого діаметру (GMD) та фрактальної розмірності (D_{10-5mm}) водостійких агрегатів (BAГ) ізогумусолу Гуангронгу за: оранки (CT), по-тіл (NT), безполицевого обробітку (RT) та перелогу (Ab) (2010–2014 рр., дослід № 3). ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробітком ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

Найбільше зростання показників GMD_{mm} , MWD_{mm} та зменшення D_{10-5mm} (ВАГ) також було відмічене 23 серпня (рис. 5.12). Уміст $C_{орг}$ ґрунту, стабілізованого $C_{орг}$ ВАГ, співвідношення $C : N$ ґрунту та $C : N$ біомаси мікроорганізмів також збільшувались у вищезгаданий період. Усі вищеперераховані вище результати наших досліджень свідчать, що в кінці літнього періоду відбулись процеси, пов'язані із формуванням крупних фракцій ВАГ на фоні найвищих за сезон запасів гумусу та стабілізованих сполук $C_{орг}$. Дуже високий кореляційний зв'язок динаміки $C_{орг}$ із змінами ВАГ був відмічений багатьма авторами [529, 549, 550]. Однак, стабілізаційна дія органічної речовини ґрунту на агрегатоутворення має дворівневий характер [538, 551, 552]. На рівні макроагрегатів, стабілізуючий ефект органічної речовини ґрунту (ОРГ) викликаний впливом кореневої системи і її ексудатів, гіфів, мікоризними грибами, продуктами мікробної трансформації та автолізу (наприклад – важкі фракції карбогідратів) [527]. На рівні мікроагрегатів, ОРГ (поліцукри, поліциклічні і ароматичні гумусові речовини) взаємодіє з колоїдною та передколоїдною фракцією глинистих мінералів через електростатичний та стеричний (просторовий) механізми [552, 553]. Серед глинистих мінералів найкращими структуроутворюючими, на думку W. Emerson [554], є смектити (бейделіт, монтморилоніт, нонтроніт, сапоніт), які характеризуються високими параметрами активної питомої поверхні та високою ємністю катіонного обміну. Уміст та співвідношення мінералів підкласу шаруватих силікатів в ізогумусолях і українських чорноземах суттєво впливає на стабільність ВАГ. Так наприклад, внесення монтморилоніту у ґрунти, що сформувались на елювії каоліну, призводить до фізичного диспергування каолініту [554]. В результаті взаємодії глинистих мінералів, негативно заряджені планарні поверхні кристалічних граней монтморилоніту були адсорбовані негативно-зарядженими гранями каолініту, що призвело до зникнення полярності та неможливості утворення внутрішньо-агрегатних взаємодій між каоліновими флокулянтами. Структурні окремоті ґрунтів за таких умов кришаться і переходять в розряд пилюватих

мікроагрегатів. Дисперсію глинистих мінералів дрібних фракцій ВАГ може викликати збільшення концентрації розчинів електролітів (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , органічні кислоти) на фоні збільшення лужності ґрунтового розчину. Стійкість шаруватих силікатів до диспергування зменшується від каолініту до монтморилоніту, вермикуліту та ілліту [555]. Дисперсію глинистих мінералів викликають також органічні електроліти – аніони (лабільні гумусові речовини, фульвокислоти, оксалати, цитрати, ацетати, лактати та ін.), які інтенсивно утворюються у літній період [538]. Подібне явище ми спостерігали наприкінці літа, коли китайський ізогумусоль характеризувався найбільшим рівнем рН ґрунтового середовища і відповідно найбільшою концентрацією електролітів. В той час відбулось зменшення умісту 0,5 – <0,25 мм (рис.: 5.10–5.11) ВАГ. Основною причиною зменшення умісту дрібних фракцій ВАГ, на нашу думку, сталось через: 1) збільшення концентрації і активності електролітів; 2) дисперсію шаруватих силікатів; 3) диспергування та руйнування молекулярних містків полівалентних катіонів; 4) руйнування внутрішньо-агрегатних водневих та π – π зв'язків; 5) зменшення радіусу та потенціалу міжмолекулярних ван-дер-ваальсових сил взаємодії; 6) збільшення активності ензимів, тощо. Одночасно у цей період відбулось збільшення 1–0,5 мм фракцій ВАГ за рахунок: інтенсивного синтезу власне гумусових речовин і $S_{\text{орг}}$ в цілому; – уламків дисперсної органічної речовини ґрунту; – метаболітів рослин і мікроорганізмів; – активності мікоризних грибів; – наростання та поширення міцелярних гіфів; – утворення гідрофобних мікрозон з дезактивованими екзоензимами; – зменшення умісту ґрунтової вологи; – коагуляції гумусових речовин і гідрозолів металів; – цементування кальцієм і амфотерними багатовалентними оксидами і гідроксидами металів, тощо. Результати наших досліджень вказують на достовірне збільшення умісту фракцій ВАГ, MWD і GMD за мінімального впливу агротехнічних знарядь на ізогумусоль, тобто – за перелогу та безполицевих технологій обробітку ґрунту. Інтенсивна оранка та розпушення ізогумусоллю ротаційними знаряддями (у даній

роботі дані не показані) зменшували уміст крупних і збільшували уміст дрібних водостійких макроагрегатів ґрунту.

5.3. Сезонна динаміка $POM_{>250\text{мкм}}$, $POM_{250-53\text{мкм}}$ і $iPOM_{<53\text{мкм}}$ агрегатів та фракційний розподіл гранул за лазерною дифрактометриєю

Динаміка ґрунтових агрегатів та органічної речовини ґрунту є одними із основних факторів, що забезпечують баланс навколишнього середовища. Цей процес відбувається за ієрархічної зміни фракційного складу агрегатів та тісно пов'язаний із наявністю проміжних (поліцукри, рослинні та мікробні екsudати і продукти їх трансформації), тимчасових (лабільні гумусові речовини, гіфи, гриби, коренева система рослин) і пасивних (конденсовані поліциклічні і ароматичні гумусові речовини, карбонати кальцію, хелатні комплекси полівалентних катіонів металів, шаруваті алюмосилікати, колоїди, копроліти) структуроутворювачів [555, 556]. Найбільш активна і динамічна частина органічних структуроутворювачів трансформується протягом сезонних змін, в результаті чого утворюється високомолекулярний пул біомолекул, зв'язаний із гранулометричними фракціями ґрунту. Даний суспендований органо-мінеральний пул біомолекул виділяється з ґрунту фізичним фракціонуванням у присутності розчину гексаметофосфату натрію і відома як дисперсна органічна речовина ґрунту (РОМ). У складі РОМ було ідентифіковано 200 органічних сполук, серед яких є рештки рослин, тварин і мікроорганізмів, копроліти, пилок, лігнин, феноли, гіфи грибів, детрит, спори, органічні кислоти, *n*-алкени та ін. [557]. Дисперсна органічна речовина ґрунту міститься у вільному та оклюдованому стані і розділяється на «макро» ($POM_{>250\text{ мкм}}$) і «мікро» ($POM_{250-53\text{ мкм}}$) фракції [277]. «Тонка» фракція розміром менше 53 мкм ($iPOM_{<53\text{ мкм}}$) являє собою результат взаємодії гумусових речовин з мінеральною частиною ґрунту і, зазвичай, не відносяться до РОМ. Органічна речовина ґрунту у складі РОМ агрегатів взаємодіє переважно із піщаною фракцією. Загальний уміст даної фракції в ізогумусолі коливається у межах 14–16 %, з якої на фракцію дрібного

піску припадає біля 12–15 %. Ця генетична властивість ізогумусолу вплинула на формування відносно невеликої кількості $\text{POM}_{>250 \text{ мкм}}$ – 10,6–11,8 % і $\text{POM}_{250-53 \text{ мкм}}$ – 24,4–30,6 % проти і $\text{POM}_{<53 \text{ мкм}}$ – 58,2–64,8 % (рис. 5.13). В середньому, співвідношення між: $\text{POM}_{>250 \text{ мкм}}$: $\text{POM}_{250-53 \text{ мкм}}$: і $\text{POM}_{<53 \text{ мкм}}$ складало: 0,2 : 0,5 : 1 – для 0–10 см шару, 0,2 : 0,4 : 1 – для 10–20 см шару і 0,2 : 0,4 : 1 – для 20–40 см шару. Отже, з глибиною масова частка макро- і мікро-агрегатів POM зменшувалась і, відповідно, збільшувалась частка стабілізованих тонких глино-гумусових агрегатів. За ґрунтозахисних технологій утворювалось в середньому за сезон більше: $\text{POM}_{>250 \text{ мкм}}$ (10,8–11,4 % – за NT, 10,9–11,2 % – за RT і 10,8–11,5 % – за Ab проти: 10,6–11,0 % – за СТ), і $\text{POM}_{250-53 \text{ мкм}}$ (24,4–29,9 % – за NT, 25,6–30,6 % – за RT, 25,5–29,9 % – за Ab проти 25,3–27,4 % – за СТ) дисперсних фракцій. Найбільша масова частка макро- і мікро- агрегатів POM утворювалась 12 липня. Перевага Ab, NT і RT над СТ у формуванні більшої кількості POM агрегатів залишилась до кінця вегетаційного періоду. У кінці літнього та початку осіннього сезонів суттєво зростає відносний уміст і $\text{POM}_{<53 \text{ мкм}}$ агрегатів ізогумусолу. Статистично достовірної різниці між процентним умістом POM фракцій у 0–40 см шарі ізогумусолу із серпня по жовтень не відмічалось.

Відповідно до концепції, запропонованою J. Six et al. [541], стабільність $C_{\text{орг}}$ набагато більша у і $\text{POM}_{<53 \text{ мкм}}$, ніж у $\text{POM}_{250-53 \text{ мкм}}$ і $\text{POM}_{>250 \text{ мкм}}$ агрегатах. Наші дослідження підтверджують дане ствердження. Уміст $C_{\text{орг}}$ протягом сезону змінювався до: 38,9 % – у $\text{POM}_{>250 \text{ мкм}}$, 20,8 % – у $\text{POM}_{250-53 \text{ мкм}}$ і 16,2 % – у і $\text{POM}_{<53 \text{ мкм}}$ агрегатах (рис. 5.14). Амплітуда динаміки умісту $C_{\text{орг}}$ зменшувалась від 0–10 до 10–20 і 20–40 см шарів ізогумусолу. E. Elliott [563] вважає, що динаміка органічної речовини в ґрунтах викликана передусім процесами формування та руйнування лабільних POM макроагрегатів.

S. Monreal et al. [558], застосовуючи радіовуглецеве датування з'ясували, що середній вік знаходження $C_{\text{орг}}$ у $\text{POM}_{>250 \text{ мкм}}$, $\text{POM}_{250-53 \text{ мкм}}$ і і $\text{POM}_{<53 \text{ мкм}}$ складає

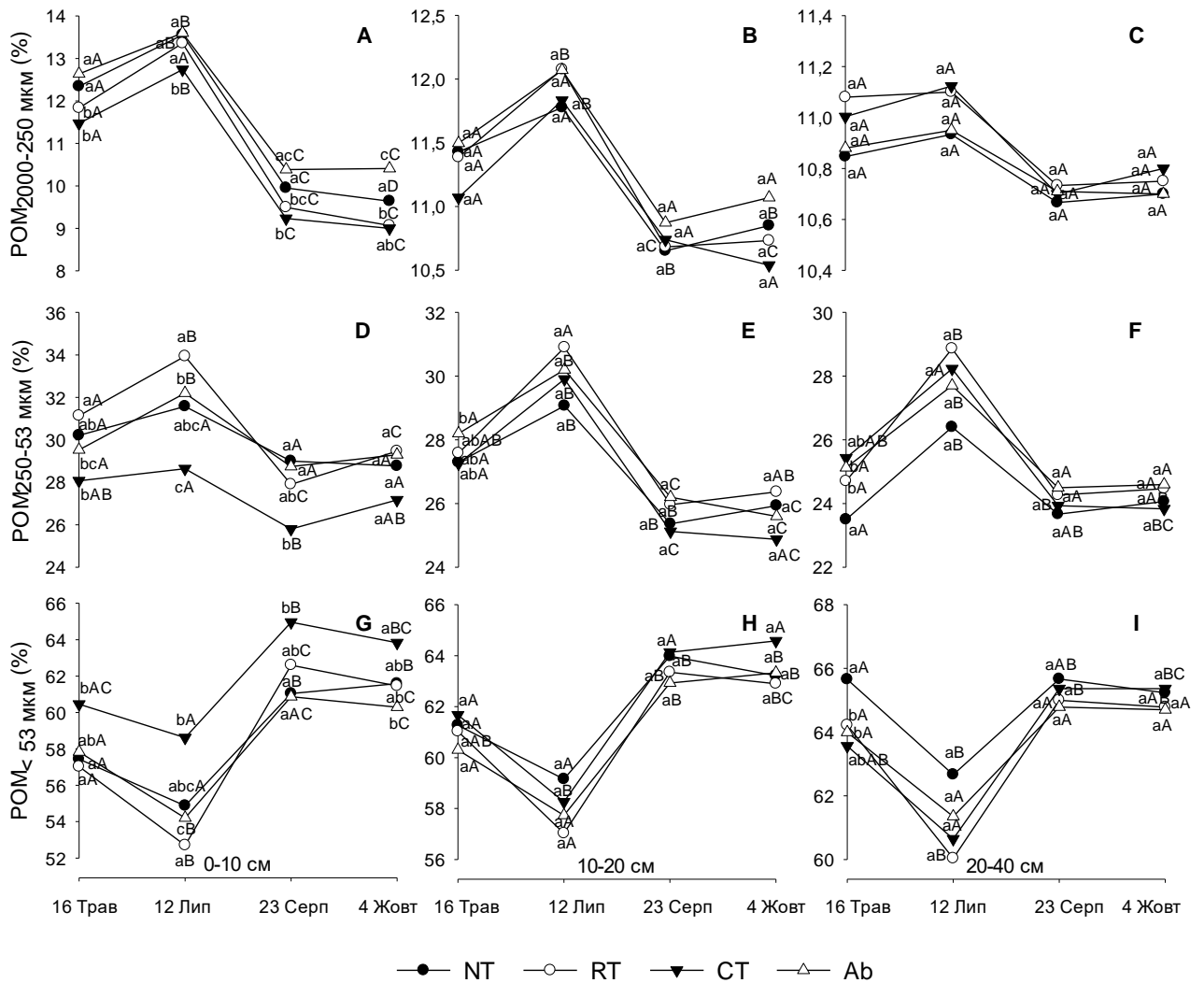


Рис. 5.13. Сезонна динаміка умісту дисперсних фракцій органічної речовини (POM) ізогумусолу Гуангронгу за: оранки (CT), по-тіл (NT), безпліцевого обробітку (RT) та перелогу (Ab) (2010–2014 рр., дослід № 3). ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробітком ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

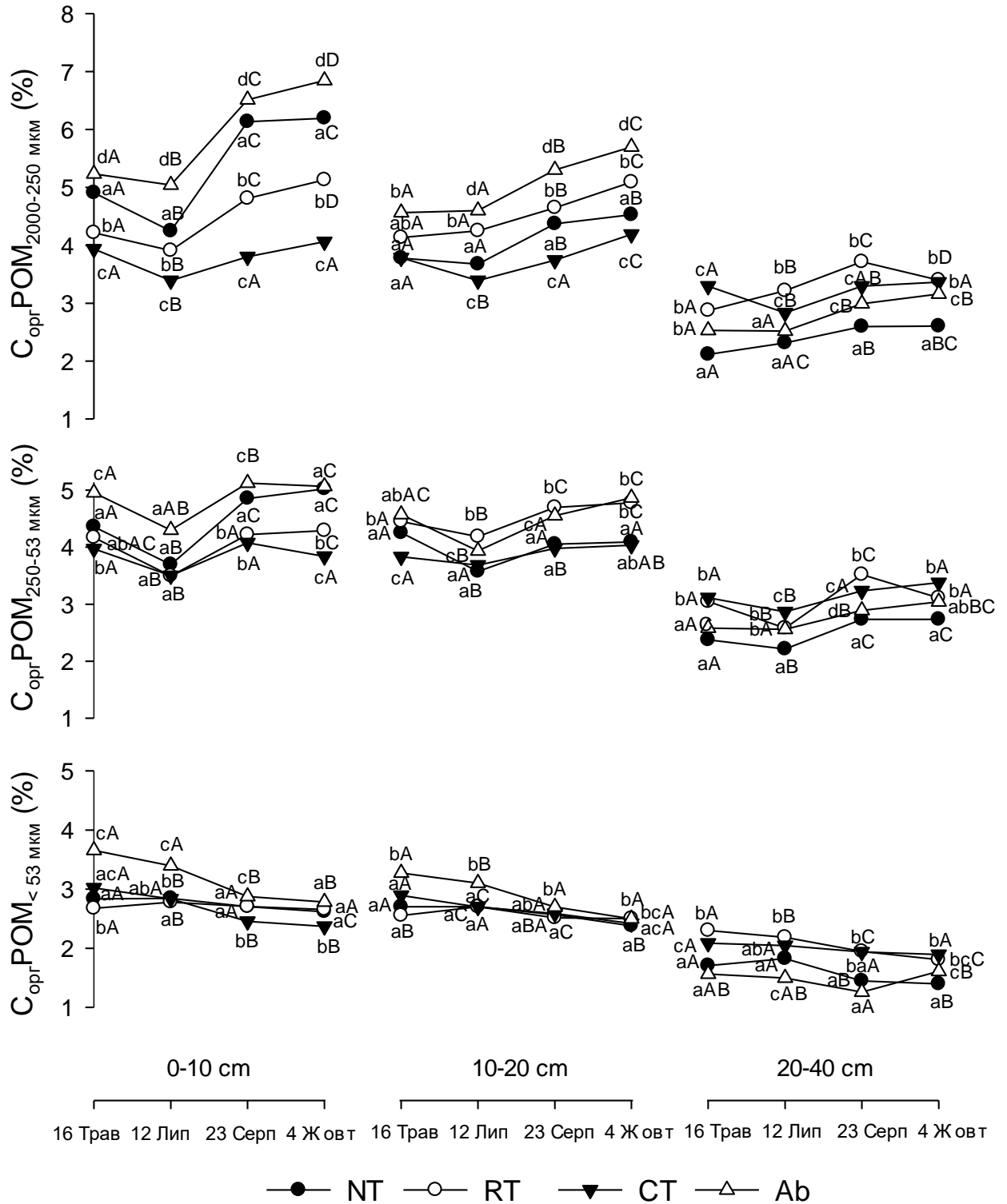


Рис. 5.14. Сезонна динаміка умісту $C_{орг}$ у різних фракціях дисперсних агрегатів органічної речовини ґрунту (POM) ізогумусоллю Гуангронгу за: оранки (CT), потілл (NT), безполицевого обробітку (RT) та перелогу (Ab) (2010–2014 рр., дослід № 3). ^{ab}—різні літери вказують на істотну різницю між обробітком ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

14, 61 і 275 років відповідно. З іншого боку, за розрахунками А. Plante [540], тривалість оборотності $\text{POM}_{>250 \text{ мкм}}$ складає 5–127 діб, а час перебування $\text{POM}_{250-53 \text{ мкм}}$ і $\text{iPOM}_{<53 \text{ мкм}}$ фракцій збільшується у геометричній прогресії, порівняно із макроагрегатами ґрунту [541]. Таким чином виникає розходження між часом існування агрегатів і їх органічною речовиною. Дійсно, кінетика обороту $C_{\text{орг}}$ в агрегатах може відповідати дуже швидким (від декілька секунд до місяців) і тривалим (від десятків до тисячі років) циклам [542, 559, 560, 561]. Вищезгадана дилема вирішується науковцями шляхом вивчення трансформаційних процесів органічної речовини ґрунту і агрегатів ґрунту за їх різного фізичного і хімічного сепарування на фоні застосування методів вуглецевого датування. Серед фізичних методів найбільш популярними є: фракціонування дисперсної органічної речовини ($\text{POC}_{>250 \text{ мкм}}$, $\text{POC}_{250-53 \text{ мкм}}$, $\text{iPOC}_{<53 \text{ мкм}}$, fPOC (вільний $C_{\text{орг}}$), oPOC (оклюдований $C_{\text{орг}}$), денсіометрія (виділення легких, оклюдованих і важких фракцій $C_{\text{орг}}$), водорозчинний $C_{\text{орг}}$. Серед хімічних методів широко застосовують: окиснення (KMnO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$), гідроліз у присутності H_2SO_4 , HCl та NaOH . Найбільш популярними біохімічними методами є: визначення $C_{\text{орг}}$ біомаси мікроорганізмів, базальне мікробне дихання, анаеробна інкубація, манометрія [562]. Свіжа органічна речовина ґрунту є основним компонентом секвестрованого $C_{\text{орг}}$ у складі макроагрегатів [527, 563]. Включення новоутворених органічних сполук до складу POM може відбуватись достатньо швидко. За даними Е. Jasinska et al. [564], на шостий тиждень, після введення ^{13}C до кукурудзяних решток, до складу 5–8 мм агрегатів ґрунту увійшло 12 %, а у 8–12 мм агрегати – 7 % від загального ^{13}C . Причому М. Ashman et al. [565] та V. Gupta and J. Germida [566] вказують на найбільшу концентрацію $C_{\text{орг}}$ у складі $\text{POM}_{2000-250 \text{ мкм}}$ та $\text{POM}_{250-53 \text{ мкм}}$ відповідно як в орних ґрунтах так і за перелогу. Результати наших досліджень підтверджують дані висновки. В середньому за сезон, у 0–40 см шарі ізогумусоллю, уміст $C_{\text{орг}}\text{POM}_{2000-250 \text{ мкм}}$ був більшим за відповідний уміст $C_{\text{орг}}\text{POM}_{250-53 \text{ мкм}}$ та $C_{\text{орг}}\text{iPOM}_{<53 \text{ мкм}}$ у 1,7 та 2,6 рази відповідно (рис. 5.14). На

концентрацію $C_{\text{орг}}$ у складі POM впливали різні технології обробітку ґрунту. Найбільший уміст $C_{\text{орг}}\text{POM}_{2000-250 \text{ мкм}}$ і $C_{\text{орг}}\text{POM}_{250-53 \text{ мкм}}$ у 0–10, 10–20 і 20–40 см шарах ізогумусолу утворювався за: Ab і NT, Ab і RT, RT і СТ відповідно. Збільшення концентрації $C_{\text{орг}}$ у крупних фракціях дисперсної органічної речовини ґрунту за безполицевого обробітку ґрунту і no-till відмічали також J. Six et al. [541] та M. Kasper et al. [567].

Протягом вегетаційного періоду уміст POM падає у зв'язку із збільшенням температур і періодів підсушення ґрунту, переущільненням, послабленням мікробіологічної діяльності, зменшенням надходжень до ґрунту ексудатів рослин та мікроорганізмів, а також продуктів їх трансформації. В результаті, уміст усіх фракцій POM суттєво знижується у період із середини липня по жовтень (рис. 5.13). Суттєво послаблюють стабільність POM агротехнічні заходи і особливо обробіток ґрунту. Застосування оранки посилює руйнування [568] і фрагментацію водостійких та дисперсних агрегатів [485]. За ґрунтозахисних технологій, на відміну від оранки, формується більше водостійких і дисперсних макроагрегатів у шарі 0–10 см [569]. Ряд авторів відмічали відсутність істотної різниці за вмістом макроагрегатів між різними технологіями обробітку ґрунту на глибині 20–30 [570] та 30–40 см [539]. Згідно одержаних нами даних у китайському ізогумусолі, уміст найкрупніших $\text{POM}_{>250-53 \text{ мкм}}$ агрегатів за перелогу та ґрунтозахисних технологій був достовірно більшим тільки у 0–10 см шарі. Натомість, уміст $C_{\text{орг}}$ у дисперсних макроагрегатах був істотно більшим за Ab, NT і RT порівняно із СТ в усіх досліджуваних шарах ізогумусолу, за виключенням 20–40 см шару.

На відміну від крупних макроагрегатів, уміст $C_{\text{орг}}\text{iPOM}_{<53 \text{ мкм}}$ майже не змінювався протягом вегетаційного сезону. У найменшій фракції POM сполуки органічного вуглецю ґрунту начебто інкорпуються у наностабілізовану капсулу складену ароматичними поліциклічними гумусованими речовинами, глинистими мінералами, полівалентними оксидами та гідроксидами металів [571]. Органічний вуглець ґрунту у таких мікрогранулах є захищеним від

мікробного та грибного розкладання, впливу абіотичних і антропогенних деструкторів [572]. На думку R. Grandy та G. Robertson [521], T. Yamashita et al. [573] процеси інкапсуляції та вивільнення $C_{\text{орг}}$ із складу ґрунтових агрегатів визначають динаміку органічної речовини ґрунту і баланс агрегатоутворення в цілому. Результатом даних процесів, відповідно до одержаних нами даних представлених у цьому та попередніх розділах, були динамічні сезонні зміни органічної речовини і структурних окремоностей, які відбувались на макро- (динаміка $C_{\text{орг}}$ і повітряно-сухих агрегатів), мезо- (динаміка ВАГ, $C_{\text{ваг}}$, CO_2 ґрунту) і мікро- (динаміка РОМ, РОС, $C_{\text{мікро}}$, мікробне дихання) рівнях чорнозему типового і ізогумусолу.

Визначення гранулометричних фракцій у складі дисперсних агрегатів ґрунту ми проводили за технологією лазерної дифрактометрії (рис. 5.15). Застосована нами стандартна процедура підготовки ґрунтової проби щодо визначення мінерального складу ґрунту суттєво відрізняється від визначення гранулометричного складу ґрунту методом піпетки у модифікації Н. А. Качинського. При визначенні розмірів мінеральних гранул, відповідно до ДСТУ ISO 11277:2005 [291], ми застосовували окисник – 20 % H_2O_2 і диспергувальний розчин гексаметафосфату натрію з безводним карбонатом натрію, в той же час як при визначенні гранулометричного складу за ДСТУ 4730:2007 [265] використовували розчини гідроокису натрію та кислоти соляної. Отже, одержані нами дані за вищезгаданими методами не можна використовувати для безпосереднього їх порівняння. Більш того, навіть застосовуючи однакові процедури підготовки і аналізування ґрунтових проб, буде виявлена істотна різниця між результатами лазерної дифрактометрії та методом піпетки.

Фракційний розподіл гранул за лазерною дифрактометрією проводять за: довжиною середнього діаметру – $D [2,1]$, об'ємного середнього діаметру – $D [4,3]$, середнього діаметру за площею поверхні – $D [3,2]$, середнього діаметру по відношенню до об'єму – $D [3,0]$, середнього діаметру по відношенню до площі

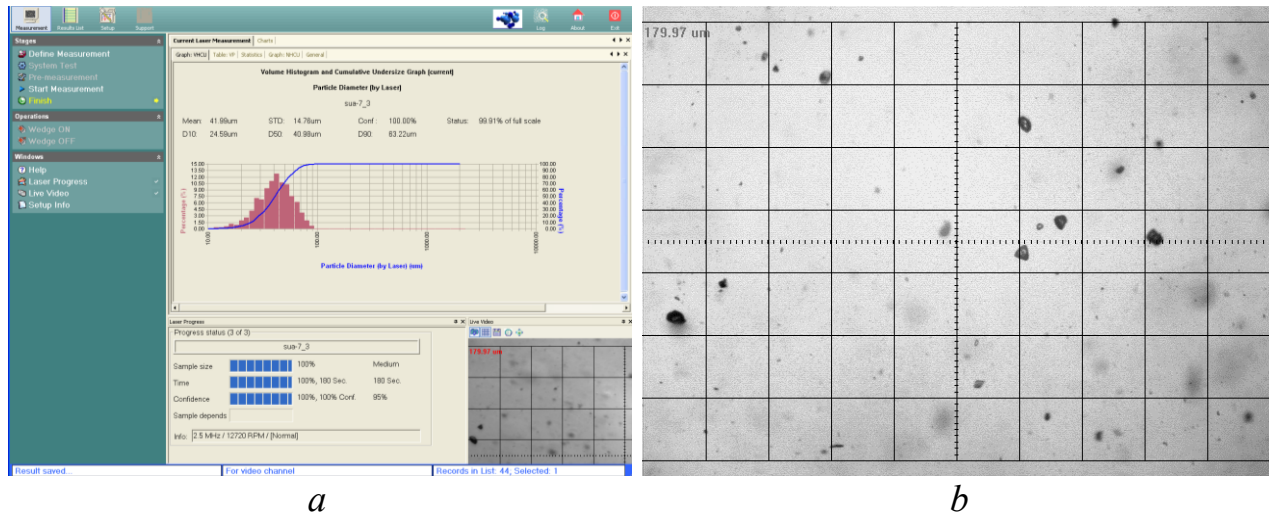


Рис. 5.15. Визначення розмірів мінеральних частинок фракцій агрегатів на аналізаторі EyeTech™ COMBI High-Tech: *a* – графічний результат виконаного дослідження у програмі EyeTech Flow; *b* – фотографія 0,1–300 мкм мінеральних гранул ізогумусолу у диспергувальному розчині

– $D[2,0]$, середнього діаметру по відношенню до довжини – $D[1,0]$. Застосування лазерної дифрактометрії збільшує вихід: 0,002–0,005; 0,002–0,02; 0,005–0,01 мм і 2–53 мкм і зменшує – $>0,02$ мм та <2 мкм мм фракцій [574, 575]. Відповідно до розрахунків А. Макó et al. [576] коефіцієнти кореляції (R^2) між двома методами складають: 0,69 та 0,49 – для фракцій мулу і пилу відповідно.

У наших дослідженнях розподіл мінеральних частинок за розміром у $POM_{>250 \text{ мкм}}$, $POM_{250-53 \text{ мкм}}$ і $POM_{<53 \text{ мкм}}$ агрегатах мав близькі параметри і достовірно майже не відрізнявся у ґрунтових пробах відібраних на різних глибинах та за різних варіантів обробітку ґрунту (табл. 5.5–5.7). Ця властивість характерна для чорноземів зважаючи на їх гумусоаккумулятивний тип профілю, однотипність мінералогічного складу по всьому профілю і відсутність диференційного перерозподілу гранулометричних фракцій з глибиною. Біологічні (органічні), хімічні структуроутворювачі та легковивітрюванні шаруваті (глинисті) алюмосилікати були зруйновані і вимиті під час аналізу і не брали участь у розрахунках. Середній розмір фракцій за довжиною діаметру – $D[2,1]$ зменшувався з глибиною в усіх POM агрегатах (в середньому у шарі 0–40 см): 3,54–2,71 мкм – в $POM_{>250 \text{ мкм}}$, 2,71–2,55 мкм – в $POM_{250-53 \text{ мкм}}$ і 2,88–2,61 мкм

Таблиця 5.5

Розподіл мінеральних фракцій за розміром в РОМ_{>250 мкм}, дослід № 3

Технологія обробітку ґрунту	Глибина, см	Середній розмір фракцій	STD*	D ₁₀ **	D ₅₀ **	D ₉₀ **	D _{mod}
				МКМ			
Середній діаметр за довжиною, D [2,1]; мкм							
NT	0-10	3,87	6,51	0,79	1,89	6,93	0,79
RT		2,64	3,72	0,79	1,58	4,59	0,79
СТ		3,17	5,80	0,63	1,73	5,20	0,63
Ab		4,48	7,89	0,63	1,89	9,30	0,79
NT	10-20	2,91	4,50	0,79	1,73	4,89	0,79
RT		2,28	3,10	0,63	1,42	3,94	0,79
СТ		2,53	3,61	0,63	1,42	4,57	0,63
Ab		3,88	6,58	0,79	2,05	6,62	0,79
NT	20-40	2,91	5,13	0,79	1,58	4,57	0,79
RT		2,55	3,68	0,63	1,58	4,57	0,63
СТ		3,18	4,99	0,63	1,73	5,52	0,79
Ab		2,19	2,98	0,63	1,42	3,94	0,63
Об'ємний середній діаметр, D [4,3]; мкм							
NT	0-10	33,90	20,13	5,99	32,46	64,77	64,77
RT		20,00	13,94	3,17	18,37	42,91	46,07
СТ		39,56	27,14	4,89	36,72	86,99	86,99
Ab		36,61	19,06	9,77	36,25	60,99	67,45
NT	10-20	24,78	15,49	3,78	24,90	48,22	51,22
RT		17,91	12,92	2,52	16,39	36,40	3,62
СТ		18,21	11,88	3,31	17,65	35,93	35,93
Ab		34,24	19,73	5,83	34,04	63,04	63,82
NT	20-40	31,28	17,96	4,25	32,46	53,58	50,27
RT		20,02	13,85	3,31	18,44	40,82	45,54
СТ		24,94	14,56	4,41	25,21	44,76	36,88
Ab		18,29	14,56	2,68	15,44	42,71	3,47
Середній діаметр за площею поверхні, D [3,2]; мкм							
NT	0-10	14,81	16,81	1,58	6,15	40,50	1,58
RT		7,87	9,77	1,11	3,64	22,17	1,58
СТ		13,76	18,84	1,26	4,57	39,55	0,79
Ab		18,40	18,30	1,73	10,72	46,65	0,79
NT	10-20	9,86	12,13	1,26	4,10	29,63	1,58
RT		6,49	8,61	1,10	2,99	18,91	1,58
СТ		7,69	8,99	1,10	3,78	22,22	0,79
Ab		15,05	16,99	1,58	5,99	42,86	3,78
NT	20-40	11,96	15,20	1,26	4,10	37,35	1,58
RT		7,87	9,78	1,10	3,62	22,22	0,79
СТ		11,02	12,39	1,26	4,73	30,41	0,79
Ab		6,25	8,67	0,95	3,15	17,49	0,79

Примітка: *STD - стандартне відхилення, **D₁₀, D₅₀, D₉₀ – 10, 50 і 90 % від всього об'єму частинок займають гранули розміром менше за наведений показник, D_{mod} – діаметр найчисельніших частинок.

Розподіл мінеральних фракцій за розміром в POM₂₅₀₋₅₃ мкм, дослід № 3

Технологія обробітку ґрунту	Глибина, см	Середній розмір фракцій	STD*	D ₁₀ **	D ₅₀ **	D ₉₀ **	D _{mod}
				МКМ			
Середній діаметр за довжиною, D [2,1]; мкм							
NT	0-10	2,72	4,34	0,63	1,42	4,89	0,63
RT		3,35	6,86	0,63	1,42	5,52	0,63
СТ		2,32	4,59	0,63	1,42	3,78	0,79
Ab		2,44	3,72	0,79	1,42	4,10	0,79
NT	10-20	2,62	4,61	0,63	1,42	4,57	0,63
RT		3,01	5,84	0,63	1,42	5,20	0,63
СТ		2,22	3,63	0,79	1,42	3,78	0,79
Ab		2,22	3,25	0,79	1,42	3,78	0,79
NT	20-40	2,65	4,54	0,63	1,42	4,73	0,63
RT		2,75	5,36	0,63	1,42	4,73	0,63
СТ		2,41	4,20	0,79	1,42	3,94	0,79
Ab		2,40	4,15	0,79	1,42	3,94	0,79
Об'ємний середній діаметр, D [4,3]; мкм							
NT	0-10	23,83	15,82	3,94	21,43	46,96	57,68
RT		39,12	19,80	9,30	41,45	61,93	60,67
СТ		37,51	23,47	4,10	41,13	79,42	79,42
Ab		22,07	14,45	3,15	21,59	43,34	41,45
NT	10-20	27,41	16,45	4,25	28,84	48,70	47,28
RT		34,50	19,27	6,62	34,04	63,82	66,03
СТ		24,03	15,78	2,99	24,27	50,59	51,69
Ab		20,25	14,97	2,52	16,39	45,86	46,49
NT	20-40	25,46	14,83	4,25	26,16	44,12	43,97
RT		38,54	25,79	5,36	33,41	79,58	81,79
СТ		28,51	17,21	3,62	31,83	47,59	54,53
Ab		28,59	19,31	3,62	26,63	60,99	61,14
Середній діаметр за площею поверхні, D [3,2]; мкм							
NT	0-10	9,63	11,69	1,10	4,10	27,26	0,79
RT		17,39	19,44	1,26	7,25	51,06	0,79
СТ		11,40	17,25	0,95	3,15	42,08	1,58
Ab		8,12	10,64	1,10	3,15	24,74	1,58
NT	10-20	10,71	13,37	0,95	4,10	34,04	0,79
RT		14,35	17,01	1,10	5,36	43,34	0,79
СТ		8,16	11,38	0,95	2,84	25,69	1,58
Ab		6,98	9,62	0,95	2,84	17,81	1,58
NT	20-40	10,45	12,52	0,95	4,25	31,83	0,79
RT		13,22	18,30	1,10	4,41	40,66	0,79
СТ		9,73	13,52	1,10	3,15	34,20	1,58
Ab		9,57	13,49	1,10	3,31	29,15	1,58

Примітка: *STD - стандартне відхилення, **D₁₀, D₅₀, D₉₀ – 10, 50 і 90 % від всього об'єму частинок займають гранули розміром менше за наведений показник, D_{mod} – діаметр найчисельніших частинок.

Таблиця 5.7

Розподіл мінеральних фракцій за розміром в РОМ_{<53 мкм}, дослід № 3

Технологія обробітку ґрунту	Глибина, см	Середній розмір фракцій, мкм	STD*	D ₁₀ **	D ₅₀ **	D ₉₀ **	D _{mod}
				МКМ			
Середній діаметр за довжиною, D [2,1]; мкм							
NT	0-10	3,76	5,44	0,79	1,90	7,76	0,79
RT		3,28	5,30	0,79	1,58	6,30	0,79
СТ		2,17	2,34	0,79	2,05	2,99	0,79
Ab		2,30	3,46	0,63	1,58	3,31	0,79
NT	10-20	3,64	5,11	0,79	1,89	7,72	0,79
RT		3,20	5,29	0,79	1,58	5,83	0,79
СТ		2,48	2,86	0,79	2,06	3,32	2,85
Ab		2,34	3,05	0,63	1,73	3,31	0,79
NT	20-40	2,95	4,23	0,79	1,58	5,67	0,79
RT		2,76	4,67	0,79	1,42	4,57	0,79
СТ		2,44	3,12	0,63	1,73	3,47	0,79
Ab		2,29	2,71	0,63	1,73	3,31	0,63
Об'ємний середній діаметр, D [4,3]; мкм							
NT	0-10	22,03	11,22	5,22	22,96	36,57	28,97
RT		24,69	12,97	5,36	25,53	41,13	41,13
СТ		16,41	14,86	2,21	11,35	39,87	2,68
Ab		22,21	14,51	2,68	23,95	41,60	2,99
NT	10-20	21,78	12,56	4,89	21,12	39,40	39,24
RT		24,93	12,68	5,36	27,89	40,82	36,88
СТ		16,63	13,22	2,53	14,09	37,21	2,85
Ab		17,98	12,99	2,52	16,86	35,77	2,84
NT	20-40	19,73	11,75	3,78	18,44	35,77	29,94
RT		24,42	12,87	4,41	26,00	39,55	35,62
СТ		17,53	12,62	2,68	16,55	37,19	2,99
Ab		17,04	15,10	2,52	12,92	40,66	2,99
Середній діаметр за площею поверхні, D [3,2]; мкм							
NT	0-10	11,63	11,00	1,42	6,65	29,61	1,58
RT		11,86	12,33	1,26	5,83	32,94	1,58
СТ		4,70	7,42	1,26	2,52	10,09	2,68
Ab		7,51	10,51	1,10	2,84	26,16	2,84
NT	10-20	10,82	10,89	1,42	6,15	28,68	1,58
RT		11,94	12,45	1,26	5,52	32,62	1,58
СТ		5,78	7,92	1,27	2,85	15,99	2,85
Ab		6,32	8,58	1,10	2,84	18,12	2,84
NT	20-40	9,03	9,83	1,26	4,41	26,00	1,58
RT		10,66	12,11	1,10	4,10	32,78	1,58
СТ		6,43	8,45	1,10	2,99	19,23	2,84
Ab		5,49	7,96	1,10	2,84	14,18	2,99

Примітка: *STD - стандартне відхилення, **D₁₀, D₅₀, D₉₀ – 10, 50 і 90 % від всього об'єму частинок займають гранули розміром менше за наведений показник, D_{mod} – діаметр найчисельніших частинок.

– в $POM_{<53 \text{ мкм}}$. Подібна закономірність була виявлена для D [4,3] і D [3,2] фракцій. Об'ємний середній діаметр D [4,3] мінеральних гранул, в середньому між варіантами обробітку ґрунту, достовірно зменшувався від 32,52 до 30,63 і 21,34 мкм у 0–10 см шарі в $POM_{>250 \text{ мкм}}$, $POM_{250-53 \text{ мкм}}$ і $POM_{<53 \text{ мкм}}$ фракціях. Подібний розподіл відмічався також і у D [3,2] фракції. Найбільший уміст D [4,3] був відмічений у 10–40 см шарі за $POM_{250-53 \text{ мкм}}$ фракції. Найкрупніші D_{90} гранули об'єму D [4,3] в 0–10, 10–20 і 20–40 см шарах ізогумусолію утворювались за: СТ (86,99 мкм), Аб (63,04 мкм) і NT (50,58 мкм) – у $POM_{>250 \text{ мкм}}$, СТ (79,42 мкм), RT (63,82 мкм) і RT (79,58 мкм) – у $POM_{250-53 \text{ мкм}}$ і Аб (41,60 мкм), RT (40,82 мкм) і Аб (20,40 мкм) – у $POM_{<53 \text{ мкм}}$ агрегатах відповідно. Середні діаметри за площею поверхні D [3,2] були найбільшими у: $POM_{>250 \text{ мкм}}$ – за Аб і NT – у шарі 0–20 см, NT та СТ – у шарі 20–40 см; $POM_{250-53 \text{ мкм}}$ – за RT і СТ – у шарі 0–10 см, RT і NT – у шарі 10–40 см; $POM_{<53 \text{ мкм}}$ – за RT і NT – у шарі 0–40 см.

Висновки до розділу 5

1. Природні умови ґрунтоутворення Північно-східного регіону Китаю сформували в ізогумусолях значну кількість крупних за розміром (>10 , 10–7 і 7–5 мм) агрономічно цінних водостійких агрегатів із правильною кубічно-розвиненою формою, які ефективно захищають ґрунт від вітрової ерозії, забезпечують оптимальні параметри водо- і повітряно-проникності ізогумусолів протягом мусонного вегетаційного періоду. В умовах Правобережного Лісостепу України сформувалось більше, ніж у Північно-східному регіоні Китаю, дрібніших за розміром (1–0,5 і 0,5–0,25 мм) грудкувато-зернистих агрегатів, що сприяє ефективному вологозбереженню протягом спекотного літа, але погіршує протиерозійні властивості чорнозему типового. Довготривале використання чорнозему типового, порівняно із гумусолем, призвело до значного збільшення умісту $<0,25$ мм пилюватих агрегатів. Структурний стан українських і китайських чорноземів найкраще підтримується ґрунтозахисними

технологіями та відведенням орних земель під переліг. Коефіцієнт водостійкості структурних агрегатів мав найбільші значення за no-till і безполицевого обробітку ґрунту.

2. Підготовка ґрунтової проби із повільним її замочуванням у дистильованій воді у вакуумі сприяє найбільшому виходу фракцій водостійких агрегатів з низькою варіабельністю одержаних даних. Вихід крупних 10–2 мм фракцій водостійких агрегатів зростає із збільшенням вмісту гумусу в ґрунтах.

3. Відмічена дворівнева структуризація сезонної динаміки водостійких агрегатів ґрунту. Протягом вегетаційного періоду збільшується уміст 10–2 мм і зменшується – 2–0,25 мм водостійких агрегатів ґрунту, збільшується їх середньозважений і середньогометричний діаметр, зменшуються фрактальні розміри, підвищується уміст стабілізованого вуглецю ґрунту. Найбільша амплітуда змін умісту водостійких агрегатів ґрунту протягом вегетаційного періоду була за оранки – 7,34–8,93 %, найменша – за no-till – 5,03–5,37 %.

4. В середньому за сезон, за ґрунтозахисних технологій та перелігу утворювалось більше крупних дисперсних фракцій POM і водостійких агрегатів ґрунту ніж за оранки. Розподіл мінеральних частинок у $POM_{>250 \text{ мкм}}$, $POM_{250-53 \text{ мкм}}$ і $POM_{<53 \text{ мкм}}$ агрегатах 0–40 см шару ізогумусолів суттєво не змінюється, що характерно для чорноземів зважаючи на їх гумусоаккумулятивний тип профілю, однотипність мінералогічного складу і відсутність диференційного перерозподілу гранулометричних фракцій в гумусовому горизонті. В той же час середні діаметри гранул за площею, об'ємом і довжиною зменшуються з глибиною, а також від макро- до мікро- і тонкої фракцій POM. Найбільші середні діаметри гранул за площею поверхні були знайдені за перелігу та ґрунтозахисних технологій у 0–10 та 20–40 см шарах, та за оранки – у 10–20 см шарі.

Результати досліджень за даним розділом опубліковані у наступних працях:

1. Kravchenko Y. Aggregate Stability and Size Distribution in Ukrainian and Chinese Mollisols under Different Tillage. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2018. № 294. С. 136–144.
2. Кравченко Ю., Бережняк Є., Матвіїв Г., Джан С., Чен Ю., Сунь Т. Агрофізичні властивості чорнозему типового та ізогумусолу за різних технологій їх обробітку *Вісник аграрної науки*. 2015. № 9 (751). С. 17–23.
3. Sun T., Chen Q., Chen Y., Cruse R., Li X., Song C., Kravchenko Y., Zhang X. A novel soil wetting technique for measuring wet stable aggregates. *Soil & Tillage Research*. 2014. № 141. P. 19–24.
4. Chen Q., Kravchenko Y., Yuan C., Hao Li. Seasonal Variations of Soil Structures under Different Tillage Systems. *Chinese Journal of Soil Science*. 2014. Vol. 46, № 1. P. 184–191.
5. Кравченко Ю. С. Зміни агрофізичних властивостей китайського чорнозему в залежності від технологій обробітку ґрунту. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове ґрунтознавство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2013. № 1. С. 35–38.
6. Кравченко Ю. С. Вміст водостійких агрегатів у Моллісолі Північно–Східного Китаю в залежності від обробітку ґрунту та типу сільськогосподарських угідь. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2012. Вип. 176. С. 173–177.

РОЗДІЛ 6

ВПЛИВ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ, УДОБРЕННЯ ТА УТРИМАННЯ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО ТА ІЗОГУМУСОЛІВ НА ЇХ ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

6.1. Щільність складення чорнозему типового та ізогумусолів за їх різного використання

Утворення і динаміка повітряно-сухих, водостійких, дисперсних агрегатів ґрунту – є первинними природними процесами, які формують щільність складення ґрунтів. Щільність складення у природних термодинамічно рівноважних системах змінюється несуттєво. Основними чинниками, які впливають на динаміку щільності складення ґрунтів природних систем є: температура, волога, атмосферний тиск, коренева система рослин, мезофауна [121]. Найбільш наближеними до природних систем в землеробстві є перелоги. За нашими даними, найменше протягом вегетації змінювалась щільність складення у перелогах, коефіцієнти варіації якої склали: 2,35–0,74 % – в ізогумусолі Гуанґронґу та 2,75–1,57 % – в ізогумусолі Хайлуня (рис.: 6.1–6.2). На думку В. В. Медведєва та ін. [121], у модальних цілинних чорноземах помірних широт, оптимальні параметри щільності складення достовірно не змінюються протягом 9–11 місяців, однак, під впливом агротехнічних знарядь, сезонний діапазон змін щільності складення може досягати $\pm 0,40$ г/см³. Найбільш дієвим агротехнічним заходом, який впливає на даний параметр є обробіток ґрунту. Робочі органи ґрунтообробних знарядь подрібнюють, сепарують, розпушують або ущільнюють структурні агрегати орного шару ґрунтів, формують плужну підшву, порушують систему ґрунтових пор. Зміни щільності складення посилюються на фоні диспергувальної дії на структурно-агрегатний стан ґрунтів мінеральних добрив, хімічних меліорантів, фертигації, органічних ексудатів рослин кислотної природи, впливу H₂CO₃ ґрунтового розчину, тощо.

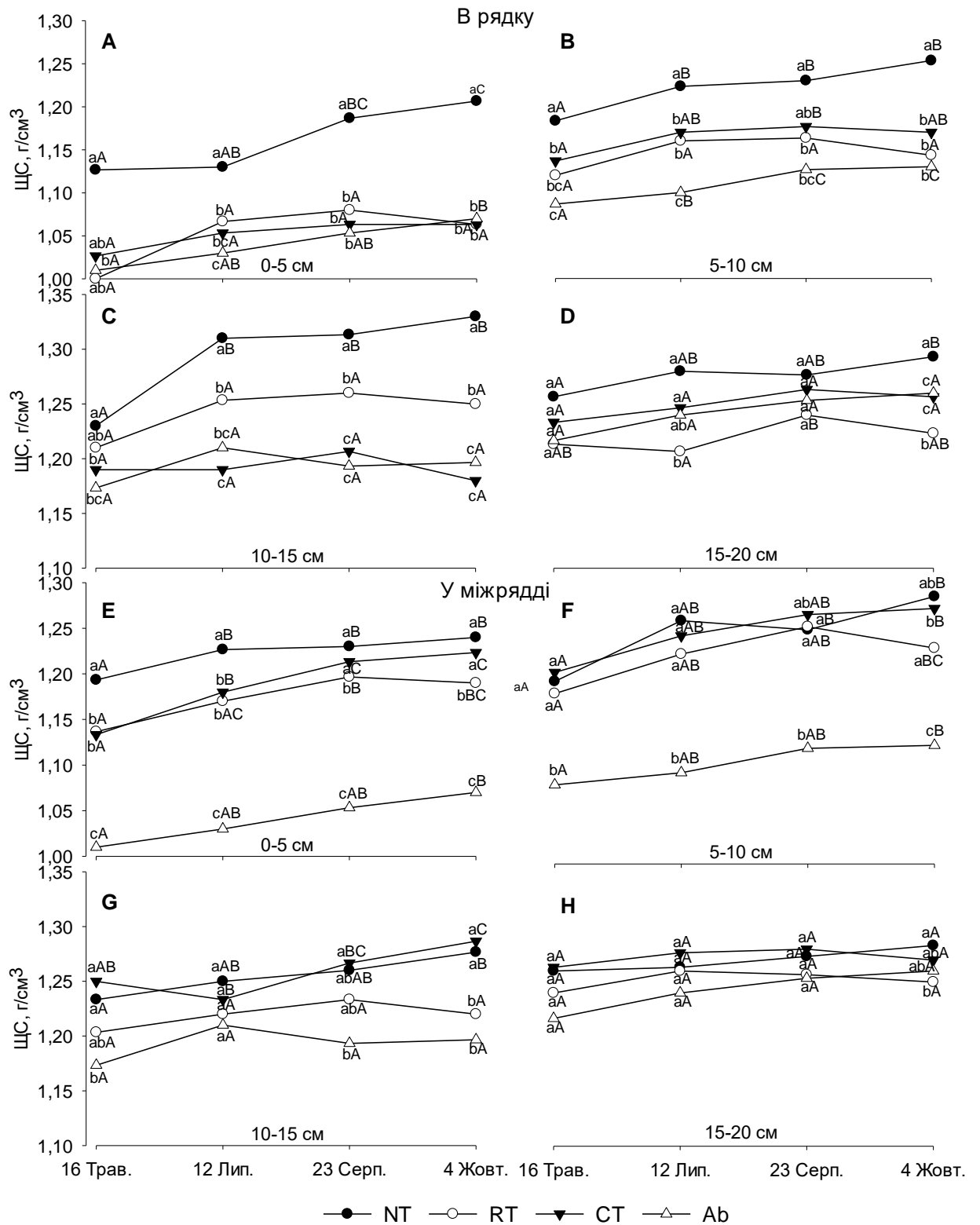


Рис. 6.1. Динаміка щільності складення ізогумусоля Хайлуня за використання: оранки (СТ), по-тіл (NT), безполицевого (RT) і перелогу (Ab, 22 років) (2010–2014 рр., дослід № 2). ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробіткою ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

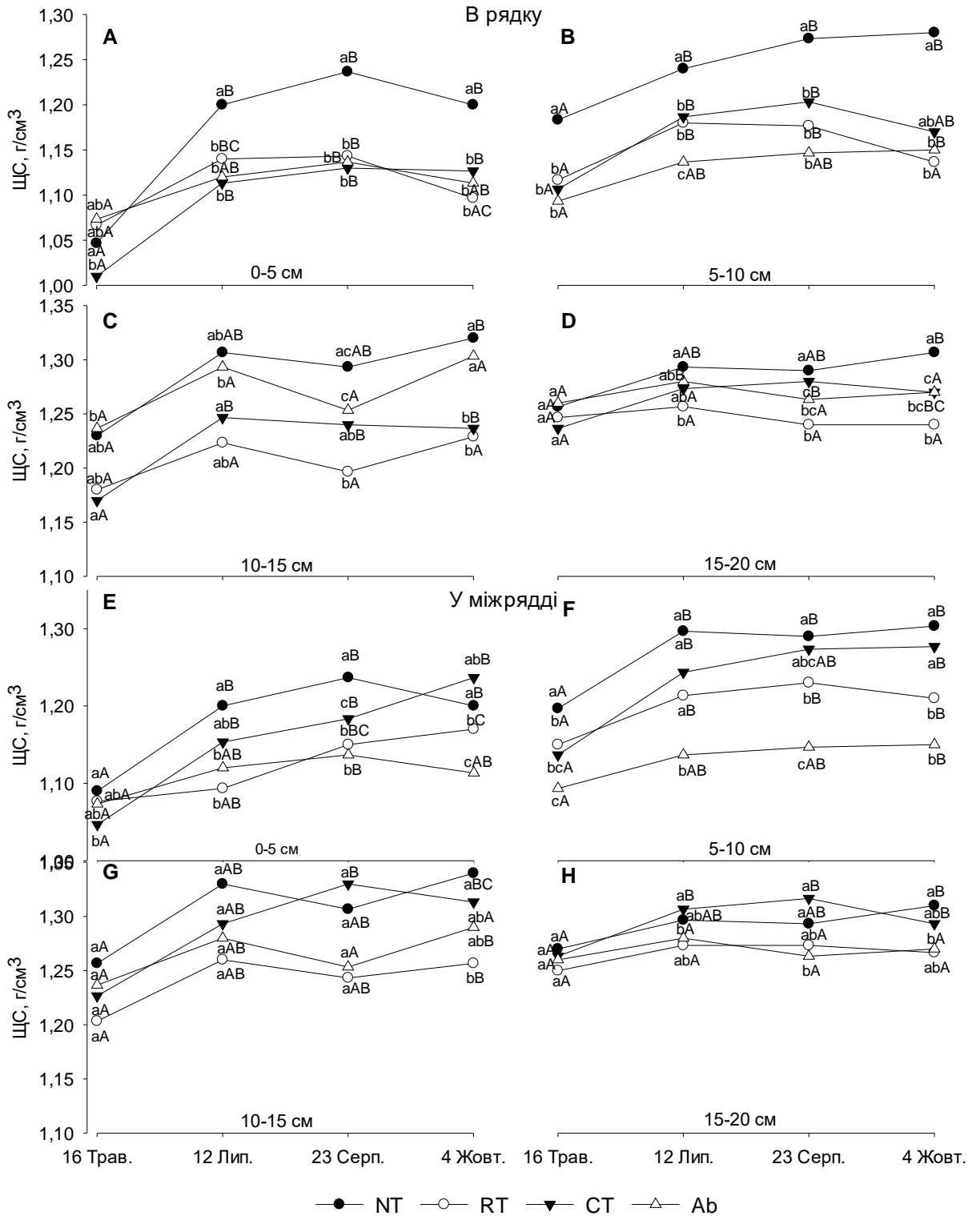


Рис. 6.2. Динаміка щільності складення ізогумусоля Гуангронгу за використання: оранки (СТ), по-till (NT), безполицевого обробітку (RT) і перелогу (Ab, 5 років) (2010–2014 рр., дослід № 3). ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробітком ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

В умовах Північно-східного Китаю, щільність складення істотно залежала від технологій обробітку ґрунту і глибини оброблювального шару ізогумусолів. За no-till сформувався найбільш ущільнений серед ґрунтообробних технологій орний 0–20 см шар: 1,24–1,25 г/см³ – в рядку і 1,25–1,27 г/см³ – у міжрядді (рис.: 6.1–6.2). За оранки відмічалась найменша ущільненість 0–5 см шару ізогумусолів в рядку і найбільша – у 0–20 см міжрядді. Найбільш пухкими в рядку у 0–20 см шарі ізогумусолів виявились варіанти із RT (1,17–1,22 г/см³) та СТ (1,16–1,24 г/см³). У 0–40 см шарі чорнозему типового, варіант з оранкою мав найменше значення щільності складення (1,26 г/см³) порівняно з мілким (1,29 г/см³) та глибоким (1,28 г/см³) безполицевими обробітками ґрунту. Щільність складення 0–5 см шару чорнозему типового істотно не відрізнялась між технологіями обробітку ґрунту (рис. 6.3). Щільність складення за RTu і СТu у 0–10 та 10–20 см шарах відмічалась подібними трендами і значеннями. У 20–40 см шарі, щільність складення була суттєво нижчою за оранки і більшою – за мілкою безполицевою обробітку ґрунту. Коефіцієнт варіації був найбільшим за оранки – 1,91–2,59 % проти 1,59–2,30 % – за RTu і 1,48–2,34 % – за DRTu. Надходження післяжнивних рослинних решток у ґрунт, атмосферні опади, помірно тепла зима – фактори, які сприяли відновленню щільності складення протягом осінньо-зимового періоду до її рівноважного стану. Щільність складення мала мінімальні значення після проведення весняних польових робіт. У літній період ізогумусолі ущільнювались в рядку і міжрядді.

У кінці вегетації, перед збором врожаю, щільність складення ізогумусолів збільшувалась за NT і Ab, достовірно не змінювалась за інших технологій обробітку ґрунту. Щільність складення у чорноземі типовому істотно збільшувалась протягом вегетаційного періоду і набувала максимальних значень у липні-жовтні. В середньому за вегетаційний період, у 0–40 см шарі найменші і найбільші значення щільності складення були за: СТu і RTu – у чорноземі типовому (рис. 6.3), RT (1,18 г/см³) і NT (1,27 г/см³) – в ізогумусолі Гуангронгу (рис. 6.2), Ab (1,15 г/см³) і NT (1,25 г/см³) – в ізогумусолі Хайлуня (рис. 6.1).

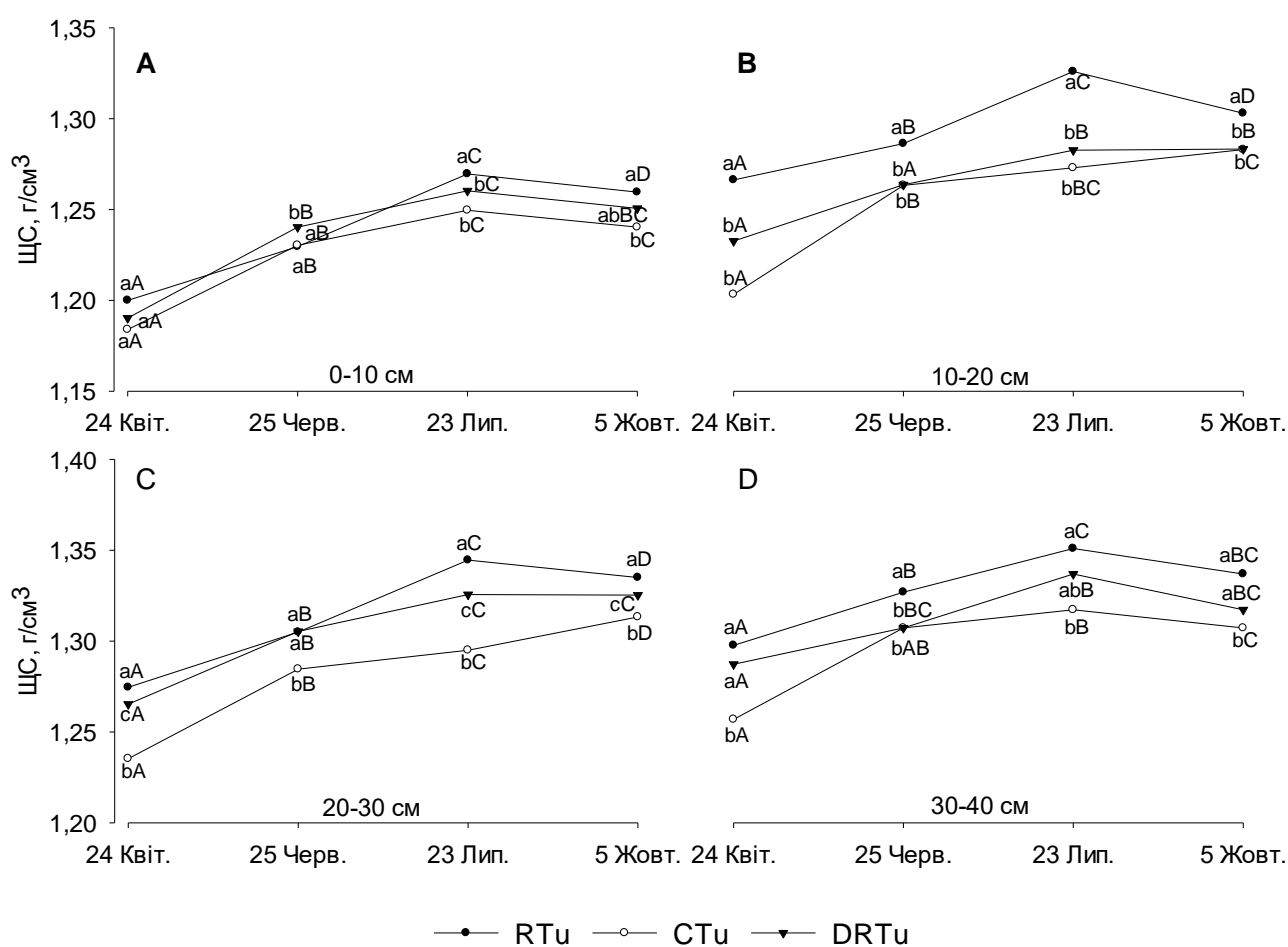


Рис. 6.3. Динаміка щільності складення чорнозему типового за використання мілкого безполицевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu) (2010–2014 рр., дослід № 1). ^{ab}—різні літери вказують на істотну різницю між обробітком ґрунту та строками відбору ґрунтових проб

6.2. Сезонна динаміка водопроникності ґрунтів агроландшафтів України та Китаю

За сільськогосподарського використання ґрунтів значна увага приділяється вологоперенесенню у зоні аерації. Термодинамічний стан води в ґрунтах знаходиться під: 1) одночасним впливом сумарного тиску який виникає при взаємодії між твердою фазою, розчином і повітрям (сорбційні, капілярно-меніскові сили і сили поверхневого натягу), біологічному всмоктуванні вологи, зміни об'єму агрегатів ґрунту, руху води, зміни температури і сили радіаційного випромінювання, затиснення повітря; 2) дією гравітаційного, осмотичного і

атмосферного тиску [577]. При переважанні градієнту зовнішніх сил (гравітаційних) над градієнтом внутрішніх сил (адсорбційні, капілярні і меніскові) утворюється низхідний вектор вологоперенесення або інфільтрації. У ґрунтах інфільтрація відбувається шляхом вільного просочування під дією сил тяжіння із збереженням циркуляції повітря у поровому просторі та нормального просочування, при якому капіляри повністю заповнюються водою, а вільна вода рухається суцільним потоком. Фактично вода рухається у крупних і середніх порах за умови, коли рівень водонасичення складає більше 70 % від повної вологоємності ґрунту [578]. Інфільтраційна здатність ґрунтів залежить як від поверхневого водного тиску (кількості та інтенсивності атмосферних опадів та/або зрошувальних вод) так і від властивостей ґрунтів: агрегатний склад ґрунтів, уміст водостійких агрегатів, шорсткість поверхні ґрунту, пористість, замуленість і кіркоутворення, наявність плужної підшви [579, 580].

За обробітку ґрунту, інфільтраційна здатність ґрунтів може бути збільшена, у зв'язку із тимчасовим зменшенням щільності складення в рядку відразу після обробітку ґрунту, або зменшена – через руйнування вертикально орієнтованих макропор, переущільнення і збільшенням твердості ґрунту під місцем проходу сільськогосподарських машин [581]. Збільшення кількості макропор і водопроникності за no-till порівняно з оранкою відмічав у своїх дослідженнях W. Edwards et al. [582]. B. Kay and Vanden Bygaart [583] визначили, що no-till сприяє утворенню >500 мкм біопор і 100–500 мкм макропор, зменшує об'ємний уміст 30–100 мкм макропор. Результати досліджень інших науковців вказують, що за традиційної оранки кількість макропор і значення водопроникності не поступалося ґрунтозахисним технологіям обробітку ґрунту [584]. За оранки, дискування або фрезерування утворюється, як правило, значна кількість дрібних пилюватих фракцій структурних окремоностей. Після дощу, або в результаті дії тиску сільськогосподарських машин на ґрунт, відбувається руйнування цих агрегатів або їх деформація (зсув, стискання, вигин, розтягнення, кручення). В результаті, у пухкому, щойно обробленому шарі

грунту, замулюються макропори та утворюється кірка при його підсиханні [585]. Отже, незважаючи на більшу об'ємну кількість макропорового простору, інфільтраційна здатність ґрунтів може виявитись невисокою. За ґрунтозахисного обробітку, поверхня ґрунту покривається мульчою, рослинними рештками або зайнята сидеральними культурами. За таких умов, агрегати ґрунту краще захищені від дії падаючих крапель дощу з високою кінетичною енергією, зменшується вірогідність утворення тимчасового поверхневого стоку, ґрунт не «запливає», збільшується швидкість інфільтраційного низхідного водного потоку. G. J. Burch et al. [586] проводячи досліди із симуляцією дії дощу на ґрунт, визначив, що інфільтраційна здатність ґрунтів за ґрунтозахисних технологій збільшується із зменшенням глибини оброблювального шару ґрунту. Зароблені в ґрунт рослинні рештки, поряд з наявною кореневою системою рослин і утвореними черворіями сприяють збереженню оптимальної пористості ґрунтів і покращують їх водопроникність [587].

У наших дослідженнях водопроникність ґрунтів оцінювалась [244] як «надлишково-висока» (581–735 мм/год) – у варіантах із різними технологіями обробітку ґрунту, чорного пару і перелогу та «найкраща» (416–504 мм/год) – у варіанті із молодим лісом проти 309–566 мм за застосування різного обробітку на чорноземі типовому (рис. 6.4–6.6). Найбільші значення водопроникності відмічались на початку вегетації, у першу годину спостережень яких вона складала за: RT (720,3±8,6) мм/год та СТ (697,3±19,9) мм – в ізогумусолі Гуанґрунгу, СТ (741,7±10,9) мм/год, Rot (737,8±4,9) мм/год – в ізогумусолі Хайлуня, СТ_u (566,1±49,9) мм/год – у чорноземі типовому. Водопроникність у міжрядді, порівняно із рядком, була меншою на: 0,8–9,9 %.

Величина водопроникності у китайських ізогумусолях зменшувалась протягом вегетації і частково відновлювалась на початку жовтня. Дана динаміка пов'язана передусім із збільшенням щільності складення ґрунтів, зростанням об'єму кореневої біомаси кукурудзи на зерно та сої, порушенням вертикальної геометрії порового простору, зменшенням активної площі внутрішньої і

зовнішньої питомої поверхні твердої фази ґрунтів [522]. З травня по червень, у рядку та міжрядді, найбільше зниження водопроникності відбулось за Rot (-44,3 мм/год) та RT (-46,2 мм/год) – в ізогумусолі Хайлуня (рис. 6.5), СТ (-63,2 мм/год) та F (-49,9 мм/год) – в ізогумусолі Гуангронгу (рис. 6.4) і СТ_u (-113,1 мм/год) – у чорноземі типовому (рис. 6.6).

У літній період найменше падіння величини водопроникності відбулося за NT, Comb, Ab, СТ і СТ_u (рис.: 6.4–6.6). Одними із факторів більш високих значень водопроникності за даних варіантів є більша частка крупних і менша – дрібних кривих тупикових і замкнених пор, більший рівень вологості ґрунту, висока макроагрегованість ґрунтів. За інтенсивного розорювання ґрунтів збільшується пилуватість агрегатів ґрунту, бімодальний поровий простір зміщується у бік одномодального, в якому дрібні (<30 мм) пори переважають над крупними (>60 мм) порами [588]. У період із червня по серпень водопроникність продовжувала знижуватись з найбільшими величинами за RT (-45,4 мм/год) і СТ (-36,7 мм/год) – у рядку та Fst (-35,3 мм/год) і NT (-32,6 мм/год) – у міжрядді. Найменша водопроникність за мілкою безполицевою обробкою ґрунту у кінці червня ($340,5 \pm 39,0$) мм/год та липня ($286,1 \pm 34,8$) мм/год пов'язана із формуванням водостійкого переущільненого шару та формуванням зцементованих обмінним кальцієм бриластих агрегатів мушлевидної форми. У жовтні, порівняно із серпнем, водопроникність знижувалась за NT, Rot, Ab, Fst і збільшувалась за RT, СТ, Comb, NT, CS і F – у рядку, знижувалась за СТ, Rot і збільшувалась за NT, RT, Comb, СТ, F, CS – у міжрядді ізогумусолів (рис.: 6.4–6.5). За чорнозему типового, значення водопроникності на початку жовтня, порівняно із липнем місяцем, було менше за СТ_u, DR_{Tu} і більшим – за RT_u (рис. 6.6). Коефіцієнти варіацій змін значень водопроникності на чорноземі типовому були більшими за відповідні коефіцієнти ізогумусолів. В середньому за вегетаційний період найбільша водопроникність була за RT (687,2 мм/год) – в ізогумусолі Гуангронгу, СТ

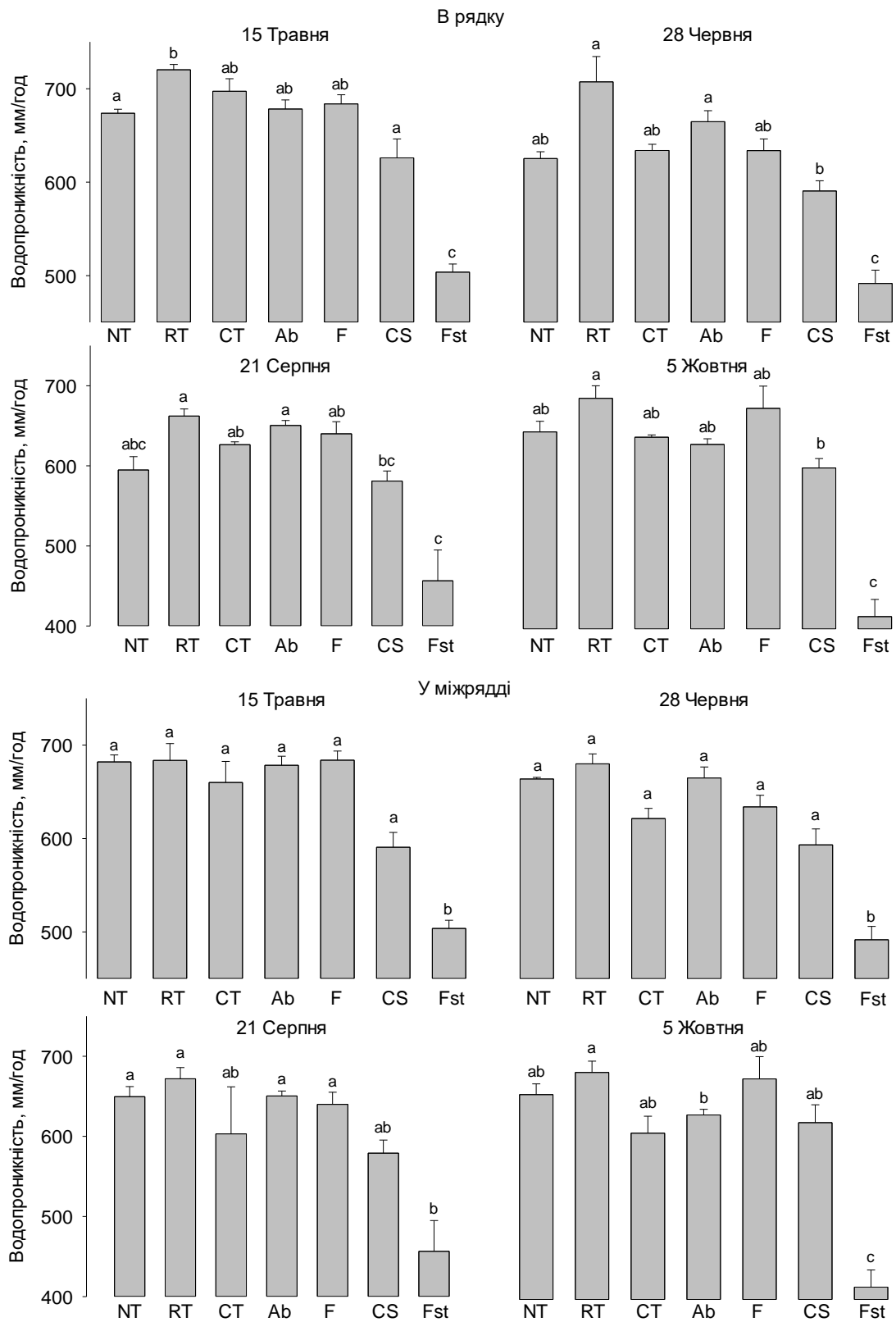


Рис. 6.4. Сезонна динаміка водопроникності ізогумусоля Гуангронгу за використання: оранки (CT), no-till (NT), безполицевого обробітку (RT), обробітку поперек схилу (CS), чорного пару (F), перелогу (Ab) та лісу (Fst) (середні значення за 2010–2014 рр., дослід № 3). ^{ab}–різні літери вказують на істотну різницю між обробітком ґрунту

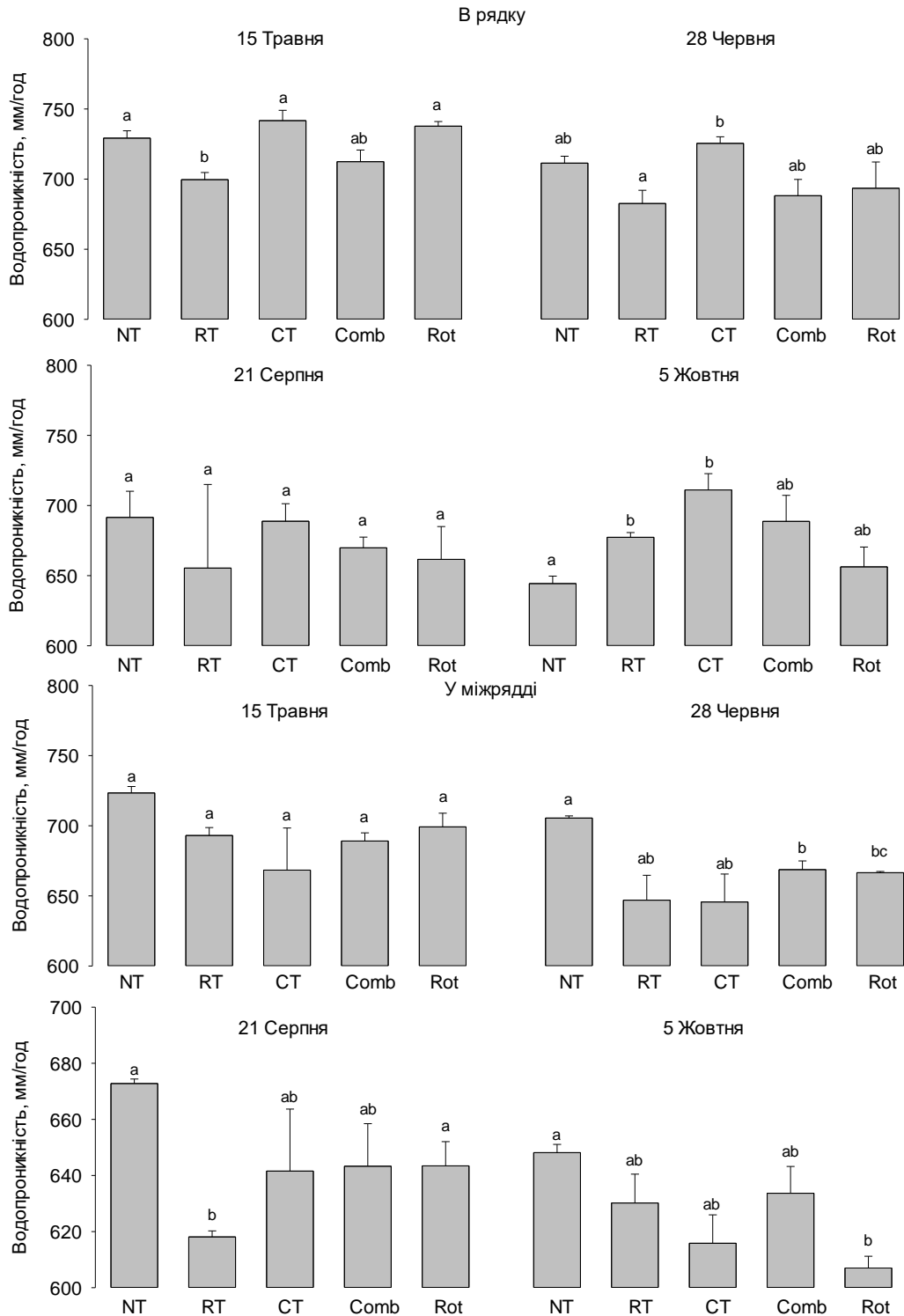


Рис. 6.5. Сезонна динаміка водопроникності ізогумусоля (Хайлунь) за використання: оранки (CT), по-till (NT), роторного (Rot), безполицевого (RT) і комбінованого (Comb) обробітків ґрунту (середні значення за 2010–2014 рр., дослід № 2). ^{aB}—різні літери вказують на істотну різницю між обробітком ґрунту

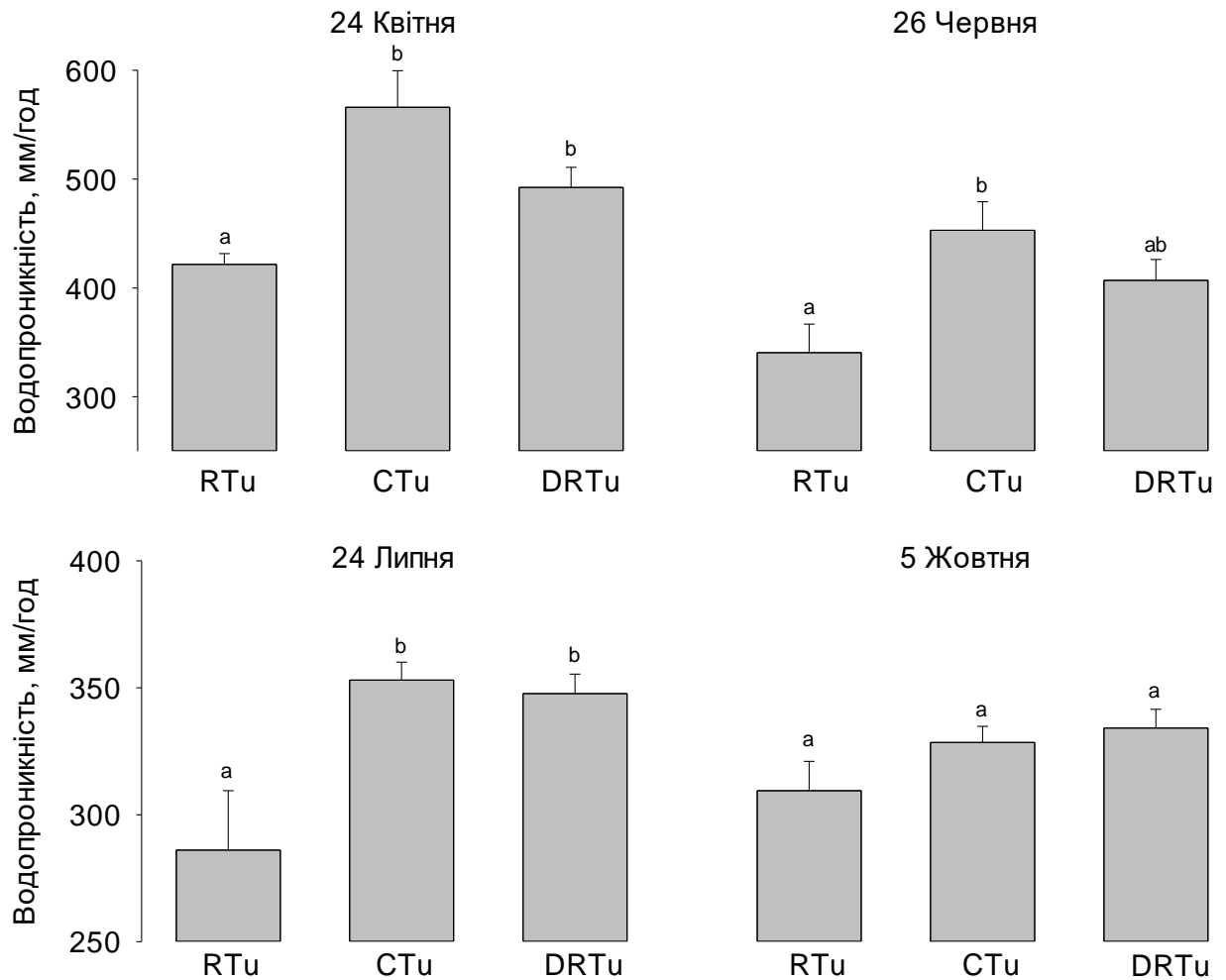


Рис. 6.6. Сезонна динаміка водопроникності чорнозему типового (Україна) за використання мілкового безполицевого обробітку (RTu), оранки (STu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu) (варіант - солома 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈ (середні значення за 2010–2015 рр., дослід № 1). ^{aB}–різні літери вказують на істотну різницю між обробітком ґрунту

(716,8 мм/год) та NT (699,5 мм/год) – в ізогумусолі Хайлуня і STu (425,1 мм/год) – у чорноземі типовому.

6.3. Оцінка динаміки умісту вологи досліджуваних ґрунтів методами розсіювання нейтронів, комплексної електропровідності та гравіметрії

Динаміка вологи в ґрунтах є фундаментальним біофізичним процесом, який впливає на: схожість насіння, наростання надземної і підземної біомаси рослин, доступність елементів живлення, мікробіологічну і фізико-хімічну трансформацію рослинних решток, а також на перенесення тепла та речовин у системі: ґрунт-навколишнє середовище. Кількісне оцінювання умісту вологи в ґрунтах необхідне для калібрування кліматичних моделей, проведення моніторингових досліджень, управління режимом зволоження ґрунтів, оптимізації водопостачання в осушувально-зволожувальних меліоративних системах, тощо.

Технології обробітку ґрунту мають прямий і непрямий вплив на динаміку і запаси вологи в ґрунтах [589]. Збільшення вмісту і запасів вологи за безполицевого обробітку пов'язують із зменшенням випаровування, збільшенням кількості агрономічно цінних і водостійких агрегатів [590], зменшенням щільності складення плужної підшви, збільшенням вмісту гумусу [591], кращою пористістю і інфільтраційною здатністю ґрунтів, ґрунтозахисними властивостями поверхні ґрунту під час сильних злив і прояву водної ерозії [592]. Використання безполицевого обробітку ґрунту підтримує співвідношення між щільністю і пористістю подібно до цілинних ґрунтів [542, 113]. Більший уміст вологи ґрунтів за ґрунтозахисних технологій поліпшує транспорт поживних елементів, кальцію і мікроелементів через кореневу систему рослин [593].

За останні десятиліття відбулось значне розширення методів, які застосовують для кількісної оцінки умісту вологи в ґрунтах. Усі існуючі методи вимірювання умісту вологи можна поділити на прямі і непрямі. Найбільш поширеним методом прямого вимірювання умісту вологи в ґрунтах є гравіметричний. Даний метод передбачає висушування ґрунтової проби до постійної маси у сушильній печі при температурі 105 ± 5 °C. Цей метод є

референтним і застосовувався нами у дослідженнях як чорнозему типового так і ізогумусоля. У китайських ізогумусолях ми також застосовували непрямі методи визначення умісту вологи: метод розсіювання нейтронів (Neutron scattering technique) і метод комплексної електропровідності з використанням Campbell Scientific CR23X Micrologger®.

Одержані нами дані (додатки: В 22 – В 23) вказують на істотно менший об'ємний уміст вологи з червня по серпень за оранки у 0–10 см шарі ізогумусоля Гуангронгу ($0,17\text{--}0,25$ г/см³) порівняно із NT ($0,22\text{--}0,30$ г/см³) та RT ($0,21\text{--}0,29$ г/см³) – за вирощування сої і кукурудзи на зерно: $0,25\text{--}0,34$ г/см³ – за СТ проти $0,24\text{--}1,00$ г/см³ – за NT і $0,26\text{--}0,41$ г/см³ – за RT. У нижніх шарах ізогумусолю об'ємний уміст вологи суттєво не відрізнявся між технологіями. В цілому за травень-вересень, у 0–150 см шарі ізогумусолю об'ємний уміст вологи становив: $(17,23\pm 0,10)$, $(17,16\pm 0,13)$ і $(17,06\pm 0,16)$ г/см³ – за NT, RT СТ за вирощування сої і $(25,44\pm 0,70)$, $(18,99\pm 0,08)$ і $(18,06\pm 0,11)$ г/см³ – за вирощування кукурудзи на зерно відповідно. Отже, найбільший сумарний об'ємний уміст вологи по шарам до глибини 150 см в ізогумусолі спостерігався за NT у грудні і квітні, найменший – у серпні.

Уміст вологи, який визначався за методом комплексної електропровідності в ізогумусолі Хайлуня, збільшувався із початку листопаду до середини травня у 0–20 см шарі, зменшувався із початку листопаду до кінця квітня на глибині 60–150 см і достовірно не змінювався на глибині 270 см (додаток В 24). У середньому за осінньо-весняний період найбільший уміст вологи нагромаджувався за: RT – у шарі 0–20 см і NT – у шарі 20–270 см. Варіант із оранкою мав найменший уміст вологи у шарі 0–10 см.

Тренд динаміки умісту вологи в ізогумусолях протягом вегетаційного періоду більше залежав від надходження атмосферних опадів, втрат від випаровування та водоспоживання рослиною і менше – від способів обробітку ґрунту. Протягом травня-липня, уміст вологи у рядку збільшувався у 5–20 см шарі Гуангронгу (рис. 6.7) і зменшувався в ізогумусолі Хайлуня (рис. 6.8). У

міжрядді, уміст вологи в цей період несуттєво зменшувався в обох ізогумусолях (додатки: В 25 – В 26). Протягом липня – серпня відбулось найбільше зменшення умісту вологи в усіх шарах ізогумусолів, яке становило: 9,7–11,5 % – за NT; 9,5–11,4 % – за RT; 6,4–10,0 % – за СТ і 3,1–4,7 % – за Ab у міжрядді та 9,6–12,3 % – за NT; 9,1–12,0 % – за RT і 6,5–9,4 % – за СТ у рядку ізогумусоля. Зменшення умісту вологи в ізогумусолі Гуангронгу за вищезгаданий період становило: 16,3–17,9 % – за NT; 12,6–16,4 % – за RT; 12,7–17,7 % – за СТ; 1,9–7,4 % – за Ab; 11,2–15,3 % – за F, 10,3–16,5 % – за CS; 3,6–7,2 % – за Fst у міжрядді та 10,3–22,0 % – за NT; 6,1–13,0 % – за RT; 6,0–16,5 % – за СТ; 5,6–18,6 % – за CS – у рядку. Найменша амплітуда зміни умісту вологи з 16 травня по 4 жовтня виявилась за Ab і Fst, а серед технологій обробітку ґрунту – за RT. У середньому за вегетаційний період, у 0–20 см шарі ізогумусолів, найбільший уміст вологи спостерігався за NT, RT і F – в ізогумусолі Гуангронгу та NT і RT – в ізогумусолі Хайлуна, найменший серед варіантів обробітку ґрунту – за СТ в обох досліджуваних ізогумусолях. Уміст вологи в українському чорноземі зменшувався з травня по червень-липень і відновлювався у жовтні. У шарі 0–10 см найбільший уміст вологи в середньому спостерігався за Rtu (15,5–16,4 %) і DRTu (16,0–16,7 %), у 10–30 см шарі – за Ctu (15,2–15,3 %) і DRTu (15,3 %), у шарі 30–40 і 60–100 см – за Rtu і у шарі 40–60 см – за Ctu (рис. 6.9). Ґрунтозахисні технології обробітку ґрунту переважали оранку за умістом вологи у кінці червня на глибині 0–20 і 30–60 см, оранка – у шарі 20–30 і 60–100 см. Динаміка змін умісту вологи у 60–100 см шарі мала меншу амплітуду порівняно із 0–60 см шаром. Краща водопроникність чорнозему за його глибокого безполицевого розпушення сприяли більш інтенсивному нагромадженню умісту вологи в осінньо-зимовий період за DRTu.

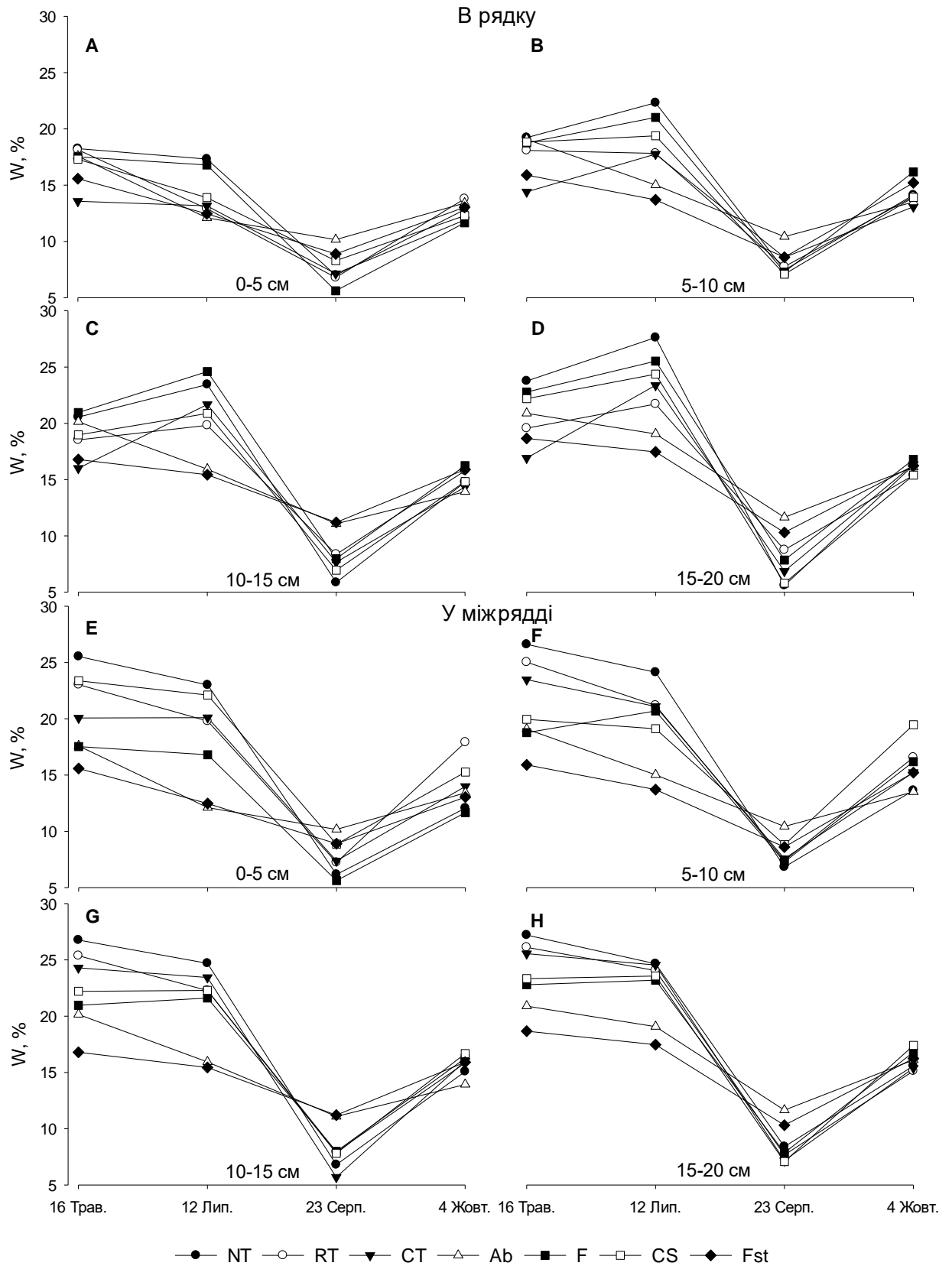


Рис. 6.7. Сезонна динаміка умісту вологи (W, %) в ізогумусолі Гуангронгу за використання: оранки (CT), по-till (NT), безполицевого обробітку (RT), обробітку поперек схилу (CS), чорного пару (F), перелугу (Ab) та лісу (Fst) (2010–2014 рр., дослід № 3). Гравіметричний метод

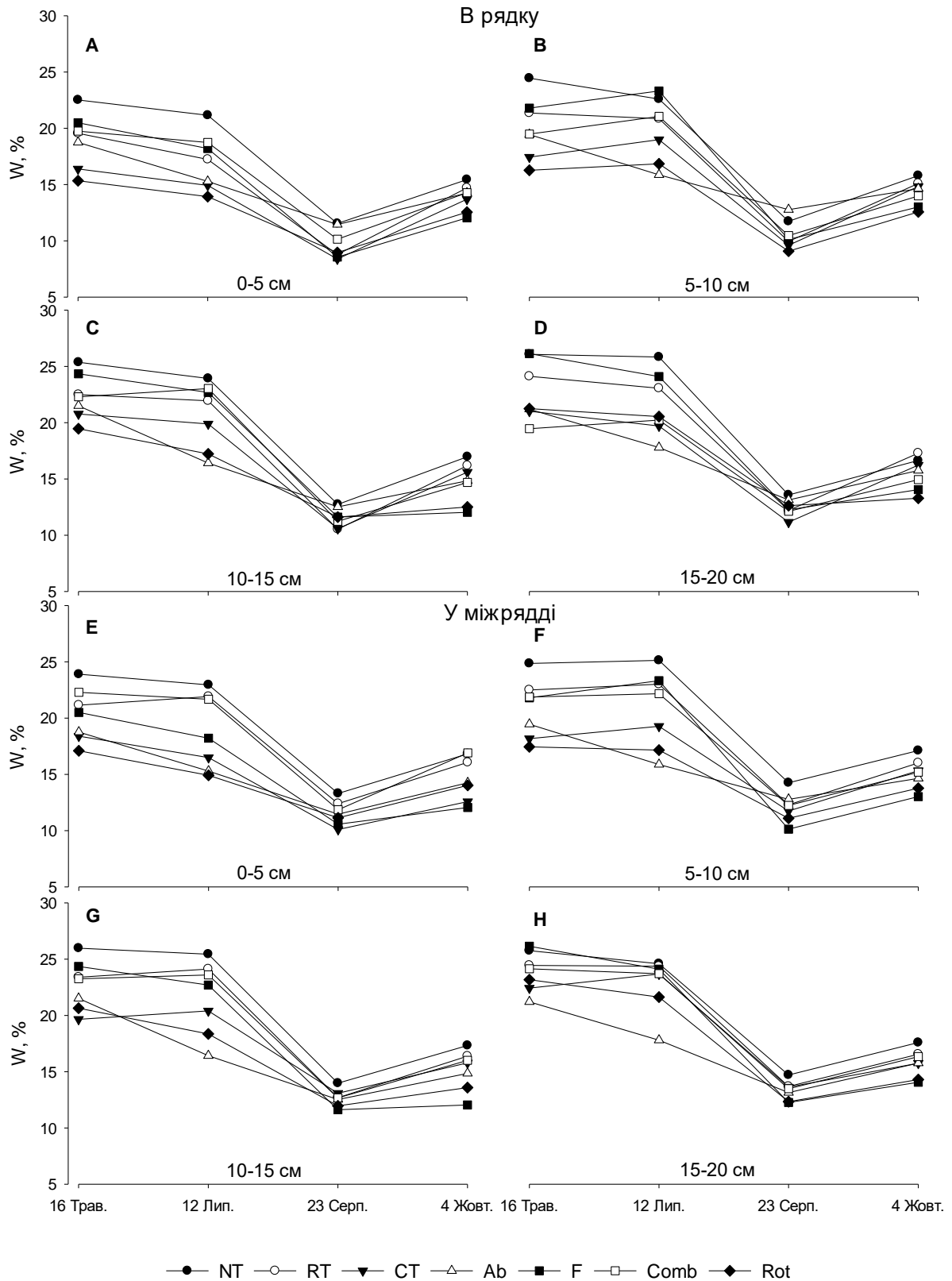


Рис. 6.8. Сезонна динаміка умісту вологи ($W, \%$) в ізогумусолі Хайлуня за використання: по-till (NT), безполицевого обробітку (RT), оранки (CT), перелогу (Ab), чорного пару (F), комбінованого (Comb) та роторного обробітку (Rot) ґрунту (2010–2014 рр., дослід № 2). Гравіметричний метод

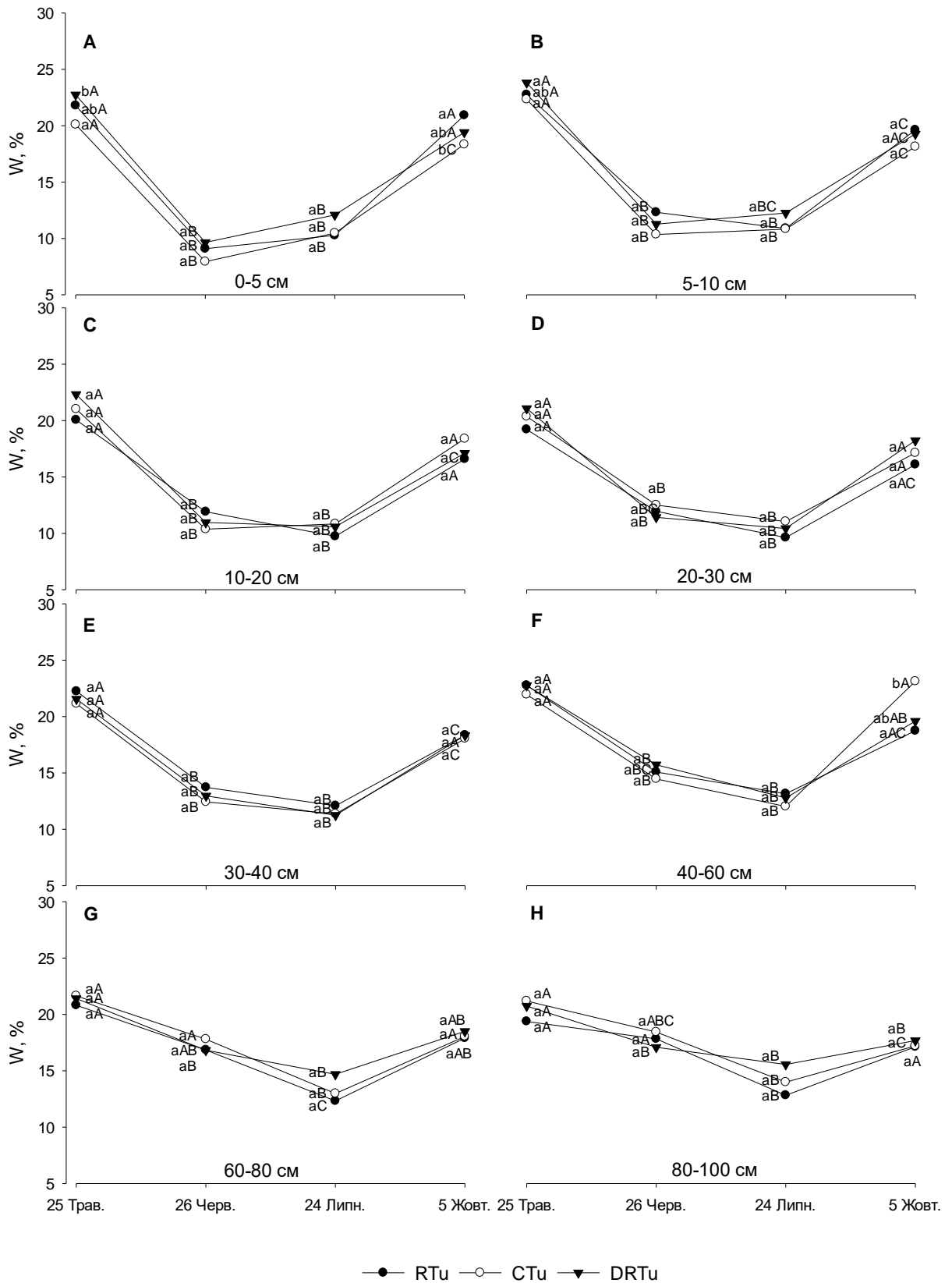


Рис. 6.9. Сезонна динаміка умісту вологи (W, %) у чорноземі типовому) за використання мілкового безполицевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu) (середні значення за 2010–2014 рр., дослід № 1). Гравіметричний метод

6.4. Річна динаміка температури 0-300 см шару ізогумусоля за використання no-till, безполицевого обробітку ґрунту і оранки

Обробіток ґрунту є одним із найважливіших агротехнічних заходів щодо управління тепловими властивостями ґрунтів і тепловими потоками [594]. Температура ґрунту безпосередньо впливає на процеси внутрішньо-ґрунтової (вивітрювання мінералів, мінералізація органічної речовини ґрунту та сполук азоту, деградація забруднювачів) та зовнішньої (газообмін між атмосферою та ґрунтом, наростання біомаси рослин та інтенсивність проростання насіння) динаміки. Теплові режими ґрунтів залишаються важливим компонентом, які визначають систему таксономічних одиниць таких класифікацій ґрунтів, як: USDA, FAO 2014 та WRB [595]. Незважаючи на значущу роль температурних параметрів ґрунтів у біосферних процесах на нашій планеті у сучасній науковій літературі надзвичайно слабо висвітлена тема сільськогосподарського впливу на теплові властивості ґрунтів [596]. Переважна більшість науковців досліджує температуру орного шару ґрунтів і не бере до уваги вертикальні теплові потоки у ґрунтовому профілі. Натомість, ми у своїх дослідженнях протягом 2010–2014 років визначали температуру ізогумусолю і ґрунтоутворюючої породи з поверхні до глибини 300 см 144 рази протягом доби і відповідно 52 560 разів за рік. Одержані нами дані вказують на вплив різних технологій обробітку ґрунту щодо змін температури ізогумусолю у часі та профілі в цілому. З квітня по вересень, орний шар варіанту із застосуванням оранки прогрівався істотно сильніше за відповідні варіанти із застосуванням безполицевого обробітку та no-till: від 0,1 до 20,1 °C – за СТ проти -0,8 до 19,5 °C – за NT і -0,9 до 19,7 °C – за RT – на глибині 5 см, від 0,1 до 20,1 °C – за СТ проти -0,9 до 19,3 °C – за NT і -0,5 до 19,9 °C – за RT – на глибині 10 см, -0,4 до 19,7 °C – за СТ проти -1,0 до 18,8 °C – за NT і -1,1 до 19,3 °C – за RT – на глибині 20 см (додаток Б 57). Середньодобова температура ґрунту з 1 травня (сівба) по 4 жовтня (збирання врожаю) за NT, RT і СТ становила: 17,6; 17,7 і 18,5 °C – на глибині 5 см, 17,2; 17,4 і 18,4 °C – на глибині 10 см, 16,2; 16,9 і 17,4 °C – на глибині 20 см відповідно. Варіант із NT, порівняно із RT та СТ,

характеризувався найбільшою температурою ґрунту протягом грудня-березня і найменшою – у інші періоди року (додатки: Б 57 – Б 58). Найнижча і найвища температура ізогумусолу спостерігалась у 0–5 см шарі 16 січня і 25 червня відповідно, значення якої становили: -8,4 та 24,5 °С – за NT, -10,6 та 24,3 °С – за RT і -11,2 та 25,5 °С – за СТ (рис. 6.10). На глибині 110 см, із 1 січня по 1 квітня, температура ґрунту за NT значно перевищувала за варіанти із RT та СТ і не опускалась нижче -1,5 °С (додаток Б 58). Позитивні температури ґрунту протягом року спостерігались на глибині 200–300 см за NT (0,6–11,2 °С), RT (0,5–11,4 °С) і СТ (0,5–11,5 °С). На глибині 300 см, максимуми найнижчих температур зміщувався на початок червня, а найвищих – на початок жовтня.

Отже, температурний режим ґрунтів протягом 2010–2014 років змінювався залежно від застосування різних технологій обробітку ґрунту. Верхній 0–20 см шар ізогумусолу найшвидше прогрівався за оранки, яка найсильніше розпушувала ґрунт, тверда фаза якого контактувала з прогрітим атмосферним повітрям. Уміст ґрунтової вологи у верхньому шарі ґрунту за СТ також був меншим порівняно із RT та NT. Відсутність рослинного покриву поряд із вищезгаданими причинами вплинуло на більші температури верхнього шару за СТ порівняно з іншими технологіями. За no-till на ґрунт не здійснювався вплив ґрунтообробних знарядь, поверхня ґрунту була покрита рештками кукурудзи на зерно та сої, уміст ґрунтової вологи був найбільшим порівняно з іншими варіантами. За NT, порівняно із RT та СТ, верхній шар ґрунту повільніше прогрівався весною, мав менші показники температури впродовж вегетаційного періоду і більші – у 0–300 см шарі ізогумусолу протягом зимово-весняного періоду.

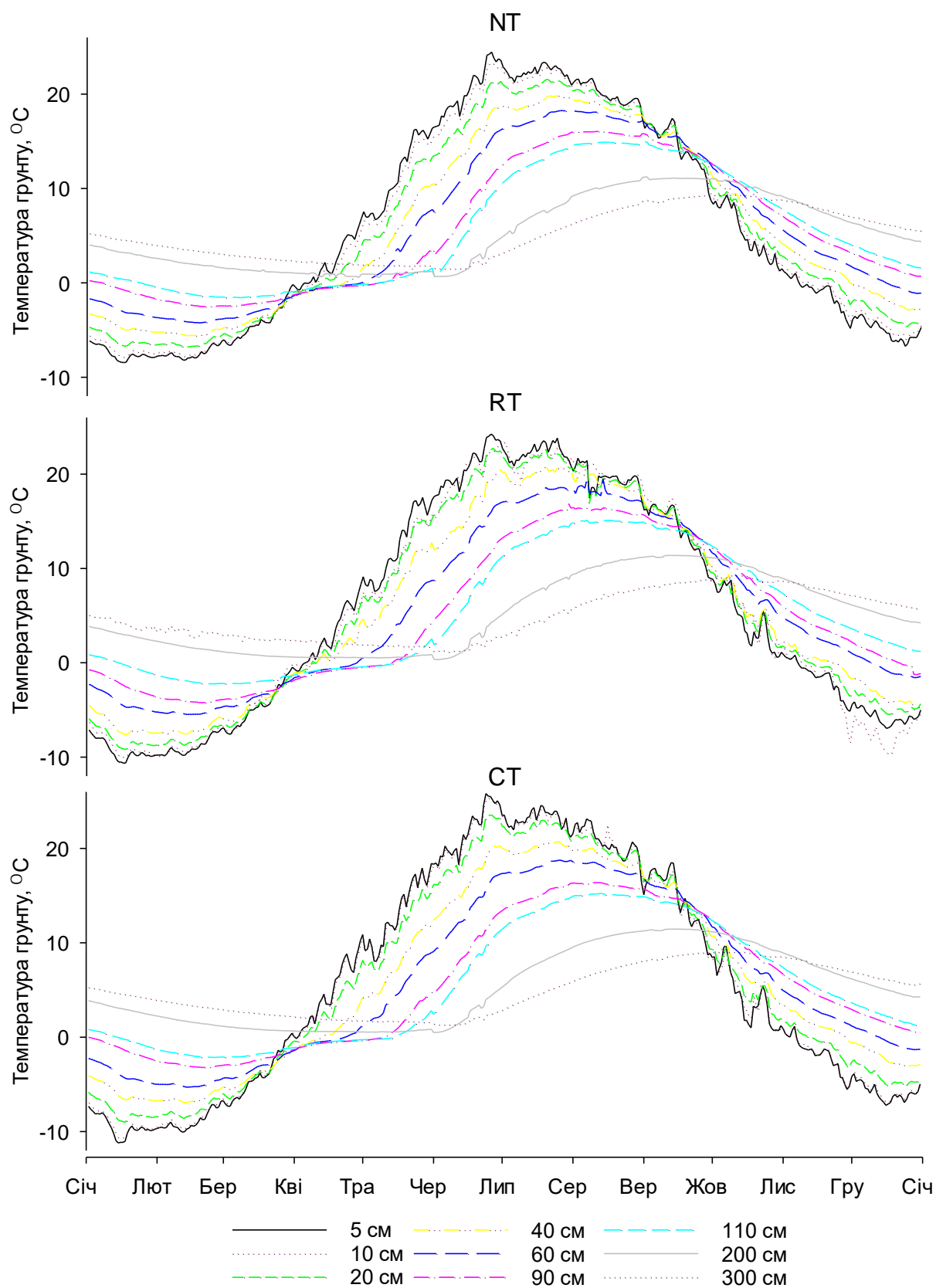


Рис. 6.10. Річна динаміка температури ґрунту (°C) у середньому за 2010–2014 роки у 0–300 см шарі ізогумусоля Хайлуня за використання по-till (NT), безполицевого обробітку ґрунту (RT) та оранки (СТ), дослід № 2

Висновки до розділу 6

1. Досліджувані ґрунти характеризуються оптимальними значеннями щільності складення, надлишково-високими та найкращими рівнями водопроникності. Протягом вегетаційного періоду зростає щільність складення, зменшується водопроникність і уміст вологи в ґрунтах. Найменша амплітуда динаміки змін приведених показників відбувається за no-till та природних ценозів. У середньому за сезон, найбільшу водопроникність і найменшу щільність складення забезпечували технології глибокого безполицевого обробітку ґрунту та оранки. Краща оструктуреність, менша пилюватість і мінімальна деформація агрегатів, зменшення замулення макропор, добре виражена внутрішньо агрегатна та вертикальна міжагрегатна пористість – фізичні наслідки позитивної дії ґрунтозахисних технологій на чорноземі, які сприяють оптимізації режиму зволоження та дозволяють інтегровано управляти фаціальними закономірностями щодо нагромадження доступною для рослин вологою у сівозміні.

2. Сезонна варіабельність умісту вологи в чорноземі типовому та ізогумусолі залежить від агротехнічних і природних факторів. У зв'язку із зростанням мусонних дощів та температур на початку вегетаційного періоду у Північно-східному регіоні Китаї, сільськогосподарські культури мають достатній рівень забезпеченості вологою та ФАР для формування своєї біомаси. В умовах Правобережного Лісостепу України уміст ґрунтової вологи у 0–100 см шарі суттєво зменшується у кінці червня і липня та частково відновлюється восени. Застосування ґрунтозахисного обробітку ґрунту, сидератів та мульчування зменшує випаровування води та температуру орного шару ґрунтів, що впливає на краще вологозбереження, продовження тривалості вегетаційного періоду сільськогосподарських культур і відповідно – збільшення їх врожаю.

3. Температурний режим чорнозему типового відноситься до сезонно-промерзаючого, ізогумусоллю – тривалого сезонно-промерзаючого типів.

Поширення коливань температури у глиб ґрунту описується законом Фур'є з врахуванням рівнянь потоків вологи, солей та тепла. Відсутність рослинного покриву, менший уміст вологи ґрунту, більша кількість пилюватих агрегатів, щільніший контакт із атмосферним повітрям за оранки спричинюють інтенсивну трансформацію сонячної радіації у теплову, що призводить до швидких температурних змін верхнього шару. За використання no-till верхній шар ґрунту повільніше прогрівається весною, має найнижчі показники температури протягом вегетаційного періоду і найвищі – на глибині 110–300 см впродовж року.

Результати досліджень за даним розділом опубліковані у наступних працях:

1. Liu S., Zhang X., Kravchenko Y., Iqbal A. Maize (*Zea mays* L.) yield and soil properties as affected by no tillage in the black soils of China *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2015. Vol. 65. № 6. P. 554–565.
2. Кравченко Ю. С., Матвіїв А. М. Сезонна динаміка запасів вологи чорнозему типового за різних систем обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно. *Наукові доповіді НУБіП України* : електрон. наук. фахове вид. 2015. № 52. URL : http://nd.nubip.edu.ua/2015_3/10.pdf.
3. Кравченко Ю. С. Зміни агрофізичних властивостей китайського чорнозему в залежності від технологій обробітку ґрунту. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове ґрунтознавство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2013. № 1. С. 35–38.
4. Kravchenko Y., Zhang X., Liu X., Song C., Cruse R. Mollisols properties and changes in Ukraine and China. *Chinese Geographical Science*. 2011. Vol. 21. № 3.
5. Лью Шуа, Джан С., Кравченко Ю. С. Динаміка та запаси вологи чорнозему Північно-східного Китаю та урожайність кукурудзи на зерно при використанні різних технологій обробітку ґрунту. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2011. Вип 162 (2). С. 126–131

РОЗДІЛ 7

УПРАВЛІННЯ РОДЮЧІСТЮ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО УКРАЇНИ І ІЗОГУМУСОЛЮ КИТАЮ

Розуміння факторів і процесів, які впливають на формування врожайності сільськогосподарських культур відіграє визначальну роль у продовольчій безпеці кожної країни. Ці фактори можуть бути розділені на три основних категорії: технологічні (сільськогосподарські знаряддя, агротехнічні заходи), біологічні (хвороби, бур'яни, біологічний потенціал рослин), природні (клімат, екологія, родючість ґрунтів). Дія вищезгаданих факторів змінюється залежно від регіону вирощування сільськогосподарських культур і антропогенного навантаження на ґрунти.

До основних показників природних і біологічних факторів, від яких залежить врожайність сільськогосподарських культур, відносять: прихід і розподіл фотоактивної радіації, запаси доступної для рослин вологи в ґрунті, температура ґрунту та повітря, вологість повітря, рівень ураженості рослин хворобами, біомаса і густота рослин у певній фенологічній стадії, уміст доступних для рослин елементів живлення, тощо. Однак, за потепління та тривалого температурного стресу, збільшується кількісний і видовий склад мікроорганізмів, відбувається міграція нових груп мікробів, патогенів і шкідників, з'являються нові та збільшується кількість карантинних видів бур'янів. Ґрунти стають твердішими, збільшується уміст активних водорозчинних солей, змінюється рівень рН, відбувається інтенсивне окиснення та мікробна трансформація органічної речовини ґрунту. Морфологічні ознаки враження рослин виявляються через: хлорозис, некроз, в'янення, затримку наростання біомаси, утворення стрілок, скручене листя, пошкодження квітколожа та ін. Усі ці кризові явища потребують від аграріїв удосконалення засобів прогнозування погоди, розробки пластичних високоврожайних сортів/гібридів рослин, впровадження інтегрованої системи удобрення та захисту рослин, застосування адаптованої до кліматичних змін агротехніки, внесення

антистресових препаратів. У даному розділі представлені результати досліджень впливу ґрунтозахисних технологій обробітку ґрунту та удобрення на реалізацію біологічного потенціалу сільськогосподарських культур, які вирощувались на чорноземах в умовах континентального типу клімату західної теплої (Україна) і східної холодної (Китай) країн Євразії. Результати наших досліджень вказують на суттєвий вплив удобрення і обробітку ґрунту на врожайність сільськогосподарських культур.

7.1. Продуктивність сільськогосподарських культур як індикатор зміни родючості чорнозему типового та ізогумусолою

Обробіток ґрунту і удобрення є одними із основних складових агротехнологій. Обробіток ґрунту готує ґрунт до сівби, контролює бур'яни, подрібнює брилисті агрегати, оптимізує тепловий і водно-повітряний режими ґрунту, перерозподіляє поживні елементи, формує зону розвитку кореневої системи рослин, інтенсифікує життєдіяльність ґрунтових мікроорганізмів, тощо. Заходи механічного обробітку ґрунту корегуються кліматичними умовами і системою землеробства. Оранка формує поглиблений гомогенізований орний шар у зоні розміщення основної маси кореневої системи рослин. Заміна оранки на безполицевий обробіток покращує родючість і протиерозійну стійкість ґрунтів [94].

За відсутності удобрення найбільша урожайність була відмічена: за оранки – при вирощуванні ячменю ярого ($2,5 \pm 0,2$) т/га, за різноглибинного безполицевого – при вирощуванні пшениці озимої ($3,2 \pm 0,2$) т/га і кукурудзи на зерно ($5,6 \pm 0,5$) т/га, за мілкого безполицевого – при вирощуванні сої ($1,7 \pm 0,1$) т/га (табл. 7.1). Найвища врожайність за оранки була одержана за вирощування пшениці озимої і ячменю ярого на фоні соломи $1,2$ т/га + N_{12} + $N_{78}P_{68}K_{68}$ ($5,1 \pm 0,8$) і ($3,8 \pm 0,6$) т/га та за вирощуванні кукурудзи на зерно і сої на фоні $1,2$ т/га + N_{12} + сидерати + $N_{78}P_{68}K_{68}$ ($8,7 \pm 2,7$) і ($3,4 \pm 0,2$) т/га.

**Урожайність зернових культур залежно від удобрення і обробітку ґрунту,
т/га, дослід № 1**

Обробіток ґрунту	Варіанти удобрення	Пшениця озима (1999–2014 рр.)	Кукурудза на зерно (2002–2013 рр.)	Ячмінь ярий (2006–2014 рр.)	Соя (2011–2014 рр.)
Оранка	Контроль (без добрив)	3,1	5,5	2,5	1,5
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + N ₅₅ P ₄₅ K ₄₅	5,0	7,8	3,5	2,2
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + N ₇₈ P ₆₈ K ₆₈	5,1	8,1	3,8	3,3
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + сидерати + N ₅₅ P ₄₅ K ₄₅	4,8	7,8	3,5	2,6
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + сидерати + N ₇₈ P ₆₈ K ₆₈	5,0	8,7	3,8	3,4
Різноглибинний безполицевий	Контроль (без добрив)	3,2	5,6	2,5	1,6
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + N ₅₅ P ₄₅ K ₄₅	5,1	8,1	3,7	2,3
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + N ₇₈ P ₆₈ K ₆₈	5,2	8,7	3,8	3,6
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + сидерати + N ₅₅ P ₄₅ K ₄₅	4,9	8,3	3,8	2,5
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + сидерати + N ₇₈ P ₆₈ K ₆₈	5,3	9,1	3,9	3,5
Мілкий безполицевий	Контроль (без добрив)	3,1	5,3	2,5	1,7
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + N ₅₅ P ₄₅ K ₄₅	5,1	7,5	3,7	2,2
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + N ₇₈ P ₆₈ K ₆₈	5,2	8,3	3,9	3,4
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + сидерати + N ₅₅ P ₄₅ K ₄₅	4,8	7,6	3,7	2,4
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + сидерати + N ₇₈ P ₆₈ K ₆₈	5,2	8,5	3,8	3,3
	<i>α0,01</i>	<i>0,3</i>	<i>0,6</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>
	<i>DEV.S</i>	<i>1,2</i>	<i>1,8</i>	<i>0,7</i>	<i>0,7</i>

Різноглибинний безполицевий обробіток ґрунту найкраще забезпечував біологічний потенціал рослин за вирощування сої на фоні солома 1,2 т/га + N₁₂ + N₇₈P₆₈K₆₈ (3,6±0,2) т/га, за вирощування пшениці озимої, кукурудзи на зерно і ячменю ярого на фоні 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈: (5,3±0,8), (9,1±2,3) і (3,9±0,7) т/га відповідно. За мілкого безполицевого обробітку ґрунту найвищий врожай мала пшениця озима (5,2±0,7) т/га і кукурудза на зерно (8,5±2,7) т/га на фоні 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈, ячмінь ярий (3,9±0,8) т/га і соя (3,4±0,1) т/га на фоні солома 1,2 т/га + N₁₂ + N₇₈P₆₈K₆₈. Найкращим варіантом обробітку ґрунту, який забезпечував найбільшу врожайність усіх досліджуваних сільськогосподарських культур виявився – різноглибинний безполицевий обробіток. Врожайність пшениці озимої, кукурудзи на зерно, ячменю ярого і сої за різноглибинного безполицевого обробітку ґрунту була більшою на: 0,2; 0,4; 0,1 і 0,2 т/га – за варіанту з оранкою і 0,2; 0,6; 0,01 і 0,2 т/га – за варіанту з мілким безполицевим обробітком ґрунту. У цілому, біологічний потенціал рослин найкраще реалізовувався за внесення соломи 1,2 т/га + N₁₂ + N₇₈P₆₈K₆₈ і 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈. Врожайність сільськогосподарських культур за роки проведення досліджень на удобрених варіантах змінювалась у межах: 3,5–7,0 т/га – для пшениці озимої; 2,7–4,9 т/га – для ячменю ярого; 6,2–11,8 т/га – для кукурудзи на зерно і 2,1–3,7 т/га – для сої.

Досліджуваними сільськогосподарськими культурами короткоротаційної сівозміни у Китаї були кукурудза на зерно і соя. Норма удобрення у 2006–2009 роках становила: N_{69,5}P_{51,75}K₁₅ + N_{69,5} – під кукурудзу на зерно і N_{20,25}P_{51,75}K₁₅ – під сою, у 2010–2016 роках: N_{69,5}P_{51,75}K₁₅ + N₁₀₀ – під кукурудзу на зерно і N_{20,25}P_{51,75}K₁₅ – під сою. Соя краще відреагувала на мінімалізацію обробітку ґрунту ніж кукурудза на зерно [245, **Помилка! Джерело посилання не знайдено.**246]. У середньому за 2004–2014 роки, урожайність сої збільшувалась від оранки (2,3 і 2,4 т/га) до безполицевого обробітку ґрунту (2,3 і 2,5 т/га) і по-till (2,5–2,7 т/га) у Хайлуні і Гуангронгу відповідно (табл. 7.2). Кукурудза на зерно краще реагувала на глибоке «рихлення». Врожайність даної культури

зменшувалась від безполицевого обробітку ґрунту (6,1 і 7,8 т/га) до оранки (6,0 і 7,8 т/га) і найменшим була за no-till (5,0–7,1 т/га). Цікавим виявився факт більших врожаїв кукурудзи на зерно (1,7–2,1 т/га) і сої (0,1–0,2 т/га) на слабкоеродованому ізогумусолі Гуангронгу за всіх технологій обробітку ґрунту, що певно пов'язане із меншим терміном його сільськогосподарського використання та динамікою процесів, що відбуваються у профілі за 5° схилу.

Таблиця 7.2

Урожайність сільськогосподарських культур залежно від обробітку ґрунту, т/га, досліді № 2 і 3

Обробіток ґрунту	Хайлуень		Гуангронг	
	Кукурудза на зерно (2005–2015 рр.)	Соя (2004–2014 рр.)	Кукурудза на зерно (2005–2015 рр.)	Соя (2004–2014 рр.)
No-till	5,0	2,5	7,1	2,7
Безполицевий	6,1	2,3	7,8	2,5
Оранка	6,0	2,3	7,8	2,4
<i>α0,01</i>	0,5	0,2	1,0	0,2
<i>DEV.S</i>	0,8	0,3	1,7	0,3

Урожайність є інтегрованим показником продуктивності, яка оцінюється виходом протеїнових, кормових і зернових одиниць, якісними і кількісними показниками основної та побічної продукції з одного гектара сівозмінної площі. Процес формування продуктивності в агроценозах залежить від взаємодії природних (клімат, ґрунт, рослина) і антропогенних чинників. Продуктивність сільськогосподарських рослин реалізується в основній (зерно, ягоди, плоди) і побічній (листя, стебло, квітки, корені) продукції. За продуктивністю сівозмін оцінюють ефективну родючість ґрунтів, яка відображає результат взаємодії усіх чинників, що формують врожай сільськогосподарських культур. М. О. Бублик та ін. [597] встановили математичні залежності потенційної продуктивності рослин від: суми середньодобових показників температури в період вегетації, суми плюсових температур, кількості опадів для різних періодів і фаз розвитку певної культури, норми висіву насіння, сортових властивостей культур, ґрунтово-

кліматичних умов зони вирощування, гідротермічного коефіцієнту, запасів доступної вологи в кореневмісному шарі ґрунту, ширину міжрядь, термінів висіву, тощо. Відповідно до результатів наших досліджень, продуктивність сільськогосподарських культур залежала від: властивостей ґрунтів, обробітку ґрунту, удобрення, сівозміни, кліматичних параметрів.

Середня продуктивність короткоротаційної сівозміни в ізогумусолях складала 3,7–5,1 т/га зернових і 5,0–6,8 т/га кормових одиниць (табл. 7.3). Найменша продуктивність зернових культур у дослідях 2 і 3 відмічалась за no-till, найбільша – за оранки та безполицевого обробітку ґрунту. Незважаючи на найбільші врожаї сої за no-till, продуктивність зернових культур в цілому у сівозміні визначалась передусім урожайністю кукурудзи на зерно, яка була найвищою у варіантах із глибоким розпушенням ґрунту.

Таблиця 7.3

Продуктивність [598] сівозміни (кукурудза на зерно, соя) залежно від обробітку ґрунту, в середньому за 2004–2015 рр., досліди № 2 і 3

Обробіток ґрунту	Хайлунь		Гуангронг	
	Зернові одиниці, т/га	Кормові одиниці, т/га	Зернові одиниці, т/га	Кормові одиниці, т/га
No-till	3,7	5,0	4,9	6,5
Безполицевий	4,2	5,6	5,1	6,8
Оранка	4,1	5,5	5,1	6,8
<i>α0,01</i>	0,8	1,0	1,2	1,6
<i>DEV.S</i>	1,8	2,4	2,8	3,8

Середня продуктивність зернових культур на чорноземі типовому залежала від способу обробітку ґрунту й удобрення (табл. 7.4). Найбільш ефективними виявились варіанти із внесенням соломи 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈ (2010–2016 роки, солома 1,2 т/га + сидерати + N₅₅P₄₅K₄₅ – 1999–2009 роки) та соломи 1,2 т/га + N₁₂ + N₇₈P₆₈K₆₈ (2010–2016 роки, гній 6 т/га + солома 1,2 т/га + N₅₅P₄₅K₄₅ – 1999–2009 роки) за усіх способів обробітку ґрунту.

Продуктивність зернових культур (пшениця озима, кукурудза на зерно, ячмінь ярий, соя) залежно від обробітку й удобрення ґрунту, в середньому за 1999–2014 рр., дослід № 1

Обробіток ґрунту	Варіанти удобрення	Зернові одиниці, т/га	Кормові одиниці, т/га
Оранка	Контроль (без добрив)	3,5	4,0
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + N ₅₅ P ₄₅ K ₄₅	5,1	5,9
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + N ₇₈ P ₆₈ K ₆₈	5,8	6,5
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + сидерати + N ₅₅ P ₄₅ K ₄₅	5,2	6,0
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + сидерати + N ₇₈ P ₆₈ K ₆₈	6,0	6,7
Різноглибинний безполицевий	Контроль (без добрив)	3,5	4,1
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + N ₅₅ P ₄₅ K ₄₅	5,3	6,1
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + N ₇₈ P ₆₈ K ₆₈	6,1	6,8
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + сидерати + N ₅₅ P ₄₅ K ₄₅	5,4	6,2
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + сидерати + N ₇₈ P ₆₈ K ₆₈	6,2	7,0
Мілкий безполицевий	Контроль (без добрив)	3,5	4,0
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + N ₅₅ P ₄₅ K ₄₅	5,1	5,9
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + N ₇₈ P ₆₈ K ₆₈	5,9	6,7
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + сидерати + N ₅₅ P ₄₅ K ₄₅	5,1	5,9
	Солома 1,2 т/га + N ₁₂ + сидерати + N ₇₈ P ₆₈ K ₆₈	5,9	6,7
	<i>α0,01</i>	0,3	0,4
	<i>DEV.S</i>	1,9	2,7

Прирости продуктивності зернових і кормових одиниць від застосування добрив складала: 2,5 і 2,7 т/га – за оранки, 2,7 і 2,9 т/га – за різноглибинного безполицевого обробітку ґрунту, 2,4 і 2,7 т/га – за мілкого безполицевого обробітку ґрунту порівняно із контролем. Найбільша продуктивність сівозмін 1 і 2 була отримана за застосування соломи 1,2 т/га + сидератів + N₁₂ + N₇₈P₆₈K₆₈ (варіант 5) за оранки та різноглибинного безполицевого обробітку. За мілкого безполицевого обробітку ґрунту найбільший вихід зернових і кормових одиниць

спостерігався за застосування соломи 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈ та соломи 1,2 т/га + N₁₂ + N₇₈P₆₈K₆₈ (варіанти 3 і 5). В цілому у ланцюгу сівозмін 1 і 2 сукупна дія системи обробітку і добрив була найбільш ефективною щодо виходу зернових (6,2 т/га) і кормових (7,0 т/га) одиниць за застосування різноглибинного безполицевого обробітку на фоні соломи 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈.

7.2. Урожайність сої і кукурудзи на зерно за водно-ерозійних процесів в ізогумсолі Північно-східного регіону Китаю

Ерозійні процеси надзвичайно поширені на широких, терасованих рівнинах чорноземної зони Північно-східного регіону Китаю із крутизною схилів 1°–5° та висотами 150–400 м і є одними з найістотніших факторів, які загрожують стійкому розвитку сільськогосподарських територій даного регіону. Результати досліджень Tian et al. [599] доводять, що кількісна оцінка водно-ерозійних втрат ґрунту за моніторингу вододілів є точнішою порівняно з традиційними стоковими майданчиками, які мають обмежену площу і не враховують всю динаміку переміщення ерозійного матеріалу на всіх елементах ландшафту. Саме за цієї причини ми проводили порівняльні дослідження водно-ерозійних процесів, як на наукових стокових ділянках, так і у виробничих умовах у межах вододілів.

Моніторинг поверхневого стоку та водно-ерозійні втрати ґрунту досліджували у межах малого (0,13 км², водозбір 1) і великого (1,81 км², водозбір 2) водозбірних басейнів. Водозбірний басейн 2 розділений на 20 зон і включав 16 зон орної землі та 4 зони зайнятих лісами. Кількість втрат ґрунту розраховувалась для кожної зони. Розподіл ґрунтів за крутизною схилів у даному водозборі складав: 5,4 % – схили від 0° до 0,25°; 14 % – від 0,25° до 1,5°; 30,2 % – від 1,5° до 3°; 18,7 % – від 3° до 4°; 14,7 % – від 4° до 5°; 17,1 % – >5° (рис. 7.1). Відповідно до стандартів Міністерства водних ресурсів Китаю MWR [600], інтенсивність прояву водної ерозії на цій території класифікується від дуже слабкої до

надмірної.

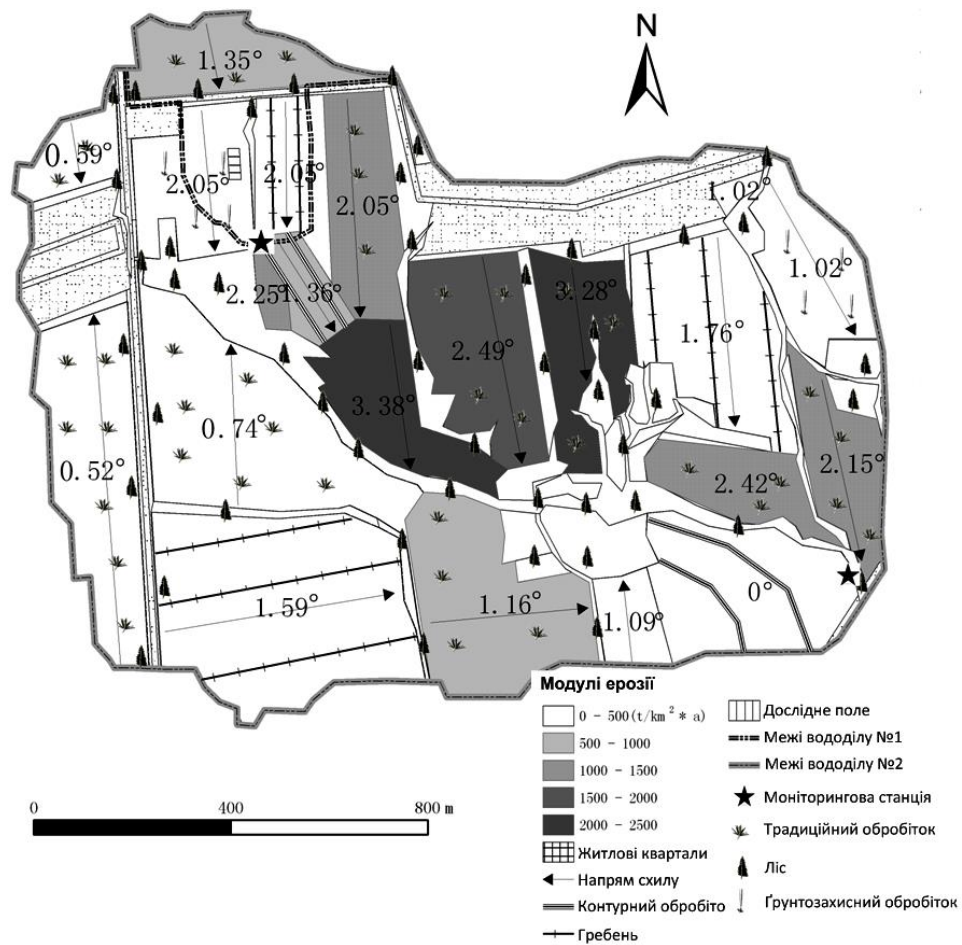


Рис. 7.1. Картограма модулів стоку (ерозії) досліджуваної території

У провінції Хейлунцзян майже весь об'єм річних атмосферних опадів (450–550 мм) припадає на вегетаційний період. Однак найбільш ерозійно-руйнівними вважаються опади, які на даній території випадають із березня по жовтень. У вищезгаданому інтервалі кількість атмосферних опадів склала: 461, 450, 392 і 382 мм у 2009, 2010, 2011 і 2012 роках відповідно. Водно-ерозійний змив ґрунтового матеріалу з водозборів реєструвався моніторинговою станцією встановленої на магістральному каналі. Одержані дані об'єднували за категоріями використання земель і крутизною схилів (рис. 7.1). Для прогнозування впливу ґрунтово-кліматичних чинників і антропогенного менеджменту на рівень ерозійних втрат ґрунтів у наших дослідженнях була використана USLE (Universal Soil Loss Equation) модель. Результати

моделювання свідчать, що за застосування традиційної оранки, порівняно з ґрунтозахисним обробітком, збільшується водно-ерозійний змив ґрунту у 5,7–11,3 разів – станом на 2 липня 2010 року і 5,9–11,2 разів – за 2010 рік у цілому (табл. 7.5). Застосування ґрунтозахисного обробітку ґрунту поперек схилу (контурний обробіток) зменшувало втрати ґрунту до 0–0,04 т/га. Традиційний обробіток ґрунту (роторний + оранка) та ліс (15 річна тополя біла) провокували найбільші втрати ґрунту за рік: 47,8 і 36,1 т/га відповідно.

Таблиця 7.5

Оцінка процесів ерозії ґрунту на основі USLE моделі

Використання	Площа, га	Фактори USLE моделі:					Втрати ґрунту на 2.07.2010, т/га	Втрати ґрунту за 2010 рік, т/га
		LS	K	P	R	C		
Оранка вздовж схилу	18,16	0,40	0,26	0,15	278,3	0,11	8,1	24,6
Традиційний обробіток	14,57	0,14	0,26	1,00	278,3	0,11	15,8	47,8
Ґрунтозахисний обробіток	6,35	0,52	0,26	0,05	278,3	0,11	1,4	4, 2
Ґрунтозахисний обробіток поперек схилу	9,60	0,00	0,26	1,00	278,3	0,11	0,04	0,0
Ліс/Лісосмуга	11,99	0,20	0,26	1,00	278,3	0,06	10,4	36,1

Результати моніторингових досліджень поверхневого стоку у колекторах та магістральному каналі показали, що коефіцієнт подачі осаду (SDR) не перевищував 13,5 % у водозборі 1 і був значно меншим для водозбору 2–5,2 % (табл. 7.6). Даний факт вказує на більшу інтенсивність стічних процесів у межах

Таблиця 7.6

Водно-ерозійні втрати ґрунтів у межах вододілів 1 та 2

Рік	Водозбори	Маса обстежених осадів, тон	Прогнозовані втрати ґрунту, тон	Коефіцієнт подачі осаду (SDR), %	Втрати ґрунту, т/км ²
2009	1	15,7	187,9	8,3	1435
2010	1	5,4	40,2	13,5	307
	2	56,1	1069,1	5,2	575

невеликих за площею водозборів. Основна маса еродованого ґрунтового матеріалу залишається у межах водозбірного басейну [138]. В цілому, модуль стоку (ерозії) на більшій площі досліджуваних вододілів не перевищував 500 т/км² (рис. 7.1). На орних ділянках, залежно від крутизни схилів, модуль стоку складав: 500–1000 т/км² – на (1,16–1,35)° схилах, 1000–1500 т/км² – на (2,05–2,42)° схилах, 1500–2000 т/км² – на схилі 2,49° і 2000–2500 т/км² – на (3,28–3,38)° схилах. За використання контурного обробітку ґрунту і валів-терас, модуль стоку був найменшим і не перевищував 500 т/км².

Дослідження водно-ерозійних процесів на стокових майданчиках показали значні переваги no-till у зменшенні кількості втрат ґрунту, поверхневого стоку і переміщення ґрунтового матеріалу (табл. 7.6). Втрати ґрунту, об'єм поверхневого стоку і коефіцієнт подачі осаду за no-till складали: 27 тон/км², 9,3 мм і 2,02 % – у 2009 році та 10 тон/км², 15,2 мм і 3,38 % – у 2010 році. Втрати ґрунту, виніс поверхневого стоку і коефіцієнт подачі осаду були більшими у 2009 році, порівняно із 2010 роком, у зв'язку із збільшенням на 11 мм кількості атмосферних опадів які випадали із березня по жовтень. Водно-ерозійні втрати ґрунту за оранки і безполицевого обробітку ґрунту були значно більшими за NT, але істотно не відрізнялись між собою.

Урожайність сільськогосподарських культур залежала від ерозійних втрат ґрунту і способів обробітку ґрунту (табл.: 7.7–7.8). У період з 2009 по 2011 роки (з березня по жовтень) кількість опадів зменшилась на 69,5 мм, що вплинуло на зменшення втрат ґрунту від ерозії на: 27,0; 219,8 і 786,3 тон/км² – за NT, RT і СТ на фоні вирощування кукурудзи на зерно. З 2010 по 2012 роки кількість атмосферних опадів зменшилась 67,9 мм. Однак, за вирощування сої, на фоні зменшення атмосферних опадів, відбулось певне збільшення втрат ґрунту на 4,5; 83,3 і 176,7 тон/км² – за NT, RT і СТ. Найбільше винесення ґрунтового матеріалу був відмічений за чорного пару: 19665,6 і 11504,9 тон/км² у 2011 і 2012 роках відповідно. За безполицевого обробітку поперек схилу, у вищезгадані роки, спостерігались мінімальні втрати ґрунту від ерозії 10,0 і 0,1 тон/км², а

Таблиця 7.7

Щорічні втрати ґрунту і поверхневого стоку при застосуванні різних технологій обробітку ґрунту

Рік	Обробіток ґрунту	Рослина	Сума опадів з березня по жовтень, мм	Кількість втрат ґрунту	Втрати ґрунту, тон/км ²	Кількість втрат поверхневого стоку	Поверхневий стік, мм	Коефіцієнт подачі осаду, %	Урожайність, т/га
2009	NT	Кукурудза на зерно	461	5	27	6	9,3	2,0	5,0
	RT			14	1026	17	89,7	19,5	5,9
	CT			14	910	15	89,1	19,3	6,5
2010	NT	Соя	450	1	1	10	15,2	3,4	2,2
	RT			2	78	10	40,0	6,9	2,2
	CT			4	152	11	27,6	6,1	2,1

Таблиця 7.8

Урожайність сільськогосподарських культур за водно-ерозійних втрат ґрунту, дослід № 3

Обробіток ґрунту	Сума опадів за рік, мм	Сума опадів з березня по жовтень, мм	Поверхневий стік, м ³	Втрати ґрунту, кг	Втрати ґрунту, тон/ км ²	Урожайність, т/га
2011 рік, кукурудза на зерно						
NT	524,8	391,5	0,6	0,04	0,4	9,7
RT			3,2	72,6	806,2	9,3
CT			4,0	123,7	1374,5	8,8
Ab			0,0	0,0	0,0	-
F			17,1	1769,9	19665,6	-
CS			0,6	0,9	10,0	10,1
<i>α0,01</i>			3,4	372,2	4135,4	0,7
<i>DEV.S</i>			4,6	500,5	5561,5	0,6
2012 рік, соя						
NT	569,85	382,1	0,0	0,5	5,5	2,5
RT			0,9	23,5	261,3	2,1
CT			0,8	29,6	328,7	2,1
			0,0	0,0	0,0	-
F			10,6	1035,4	11504,9	-
CS			0,01	0,01	0,1	2,4
<i>α0,01</i>			2,2	219,7	2440,9	0,2
<i>DEV.S</i>			3,0	295,4	3282,6	0,2

також найбільший врожай кукурудзи на зерно у 2011 році: 10,1 т/га – за CS проти 9,7; 9,3 і 8,8 т/га за NT, RT і CT відповідно. За вирощування сої найбільший врожай був одержаний за NT (2,5 т/га) і CS (2,4 т/га) – у 2012 і NT (2,2 т/га) та RT (2,2 т/га) – у 2010 роках. За оранки був відмічений найбільший урожай кукурудзи за зерно у 2009 році – 6,5 т/га.

Висновки до підрозділів 7.1–7.2

1. Урожайність сільськогосподарських культур визначається дією обробітку ґрунту, добрив, соломи і сидератів, водно-ерозійними втратами ґрунту. В умовах помірно-континентального типу клімату оранка та глибокий безполицевий обробіток ґрунту є ефективними при вирощуванні кукурудзи на зерно, мілкий безполицевий обробіток – при вирощуванні пшениці озимої і ячменю, no-till – при вирощуванні сої. Краща волого- і тепло- забезпеченість чорнозему типового у роки проведення досліджень, порівняно із середньо-багаторічними показниками, вплинули на одержання більших врожаїв сої та кукурудзи на зерно порівняно із ізогумусолем. В цілому за роки проведення досліджень найбільша продуктивність сільськогосподарських культур була одержана за застосування різноглибинного безполицевого обробітку в Україні і безполицевого обробітку у Китаї.

2. Найвищі показники врожайності відзначено за застосування соломи 1,2 т/га + N₁₂ + N₇₈P₆₈K₆₈ і соломи 1,2 т/га + сидерати + N₁₂ + N₇₈P₆₈K₆₈. За даних варіантів удобрення, порівняно із контролем (без добрив), врожайність сільськогосподарських культур зростала в: 1,6–1,7 рази – для пшениці озимої; 1,5–1,6 рази – для кукурудзи на зерно; 1,55–1,56 рази – для ячменю і 2,13–2,14 рази – для сої відповідно. Система удобрення, яка застосовувалась у наукових досліджах у Китаї, відповідала рекомендованим нормам для даного регіону і була однаковою для усіх варіантів обробітку ґрунту. Врожайність зернових культур на ізогумусолі із 5° схилом, на фоні більшого умісту вологи та вужчого $C_{гк}/C_{фк}$ відношення, за застосування NT, RT і CT була вищою порівняно із модальним ґрунтом в: 0,2; 0,1 і 0,2 рази – для сої і 2,1; 1,8 і 1,7 рази – для кукурудзи на зерно.

7.3. Наукове обґрунтування управління родючістю чорнозему типового України та ізогумусолу Китаю

Природна родючість чорноземів типових сформувалась в умовах лісостепових лесових екосистем на фоні континентального помірно – теплого кліматичного поясу. Протягом останніх десятиліть типовий кліматичний сценарій даного регіону інтенсивно змінювався, що відповідно призвело до змін властивостей, процесів і режимів ґрунтів. У землеробстві виникає нагальна потреба щодо дослідження характеру дії традиційних і ґрунтозахисних агротехнологій на родючість чорноземів у нових ґрунтово-кліматичних реаліях. Для досягнення даної мети закладають натурні польові експерименти в умовах іншої кліматичної області. Таким чином нами був вибраний ізогумусоль, який подібно до чорнозему типового сформувався у лісостеповій зоні на фоні континентального помірного клімату, який у Північно-східному регіоні Китаю має спекотне мусонне літо і холодну суху зиму з невеликою кількістю твердих опадів. Досліджувані ґрунти мають діагностичні морфологічні ознаки, які характерні для генетичного типу чорноземів. В результаті фаціальних особливостей педогенезу китайський ізогумусоль одержав гарну структуру верхнього горизонту, високий уміст макроагрегатів, вилугованість, оглеєність у нижній частині профілю, глибокий гумусовий горизонт, глибоке скипання від карбонатів, зменшення порового простору і збільшення ущільненості вниз по профілю. Український чорнозем має гумусово-аккумулятивний тип профілю, добре виражену мікроагрегованість, високий уміст агрономічно цінних зернистих агрегатів, пухкий верхній горизонт, карбонатні новоутворення у нижній частині профілю, кротовинний лес.

Довготривале використання різних способів обробітку ґрунту змінює морфологічні ознаки генетичних горизонтів і їх властивості. За оранки верхній гумусовий горизонт стає глибоким і гомогенізованим, з'являється більша кількість пилюватих агрегатів, профіль має вищий індекс вилуговування і глибоке скипання від карбонатів у нижньому перехідному горизонті,

збільшується уміст тонкодисперсного глино-гумусового матеріалу у перехідних горизонтах, з'являється глибоке залягання ущільненого шару, вище якого, за $\text{ГТК} > 1,8$ відбуваються процеси спорадичного оглеєння. Заміна відвального плуга на безполицевий обробіток ґрунту сприяє локалізації гумусових горизонтів ближче до поверхні, збільшується уміст агрономічно цінних зернистих агрегатів, зменшується кіркоутворення і «замуленість», з'являються видимі форми карбонатних новоутворень у вигляді прожилок, трубочок і борошнистих вкраплень у перехідних горизонтах. З іншого боку, за безполицевого обробітку ґрунту підорний шар твердішає, має неглибоке залягання, складений масивними плитчасто-брилувато-горіхуватими злитими агрегатами інтенсивно профарбованими карбонатними новоутвореннями. «Плужна підощва» за оранки залягала глибше, порівняно з безполицевими технологіями, вона була насичена дрібнопилуватими агрегатами, на поверхнях яких були відсутні видимі карбонатні новоутворення і характеризувалась меншою щільністю складення. Найбільш ефективним щодо розщільнення «плужної підощви» виявились варіанти із застосуванням соломи та сидератів. Таким чином, довготривале використання різних технологій обробітку ґрунту не позбавило підорний шар «плужної підощви», яка суттєво знижує врожайність сільськогосподарських культур. Рекомендованими заходами по розщільненню твердого підорного горизонту можуть бути: 1. Використання глибокорозпушувачів у якості основного обробітку ґрунту або тимчасового заходу – один раз на 3–4 роки; 2. Використання різнотрав'я у якості підсівних або покривних культур; 3. Внесення гною.

Гумусовий профіль чорноземів трансформується під дією агротехнічних знарядь, змінюється кількісний і якісний склад гумусу, що безпосередньо впливає на родючість чорноземів. Запаси гумусу у метровому шарі є одними із п'яти основних критеріїв, які визначають потенційну родючість ґрунтів. За нашими даними, найбільші запаси гумусу у верхньому 0–20 см шарі

нагромаджуються за перелогу, no-till, безполицевого обробітку ґрунту і ґрунтозахисного обробітку ґрунту поперек схилу. Даний ефект пов'язаний передусім із більшим умістом гумусу і щільністю складення та меншими втратами від ерозії за вищезгаданих технологій. Восьмирічний переліг без штучного залуження показав свою ефективність щодо нагромадження органічного вуглецю ґрунту тільки у 0–10 см шарі ґрунту, але поступався іншим ґрунтозахисним технологіям у нижніх шарах. Натомість, 25 річне залуження багаторічними травами призвело до найбільшого нагромадження умісту $C_{\text{орг}}$ в усьому профілі. Таким чином, відведення орного чорнозему під природне залуження без висівання багаторічних трав та внесення добрив призводить до тривалого процесу відновлення умісту $C_{\text{орг}}$ у профілі ґрунту. В ізогумусолі, застосування no-till та молодого лісу, на фоні спорадичної мусонності під час вегетаційного періоду, формує більші запаси гумусу у 60–100 см шарі. За глибокого безполицевого обробітку ґрунту і оранки відбувається збільшення запасів гумусу у нижній частині орного шару ґрунту у зв'язку із глибоким зароблянням рослинних решток, мінеральних добрив, здійснення і обертання скиби верхнього шару ґрунту, створення кращих умов для гуміфікації, яка протікає на фоні меншої щільності складення. У перехідних горизонтах більше гумусу нагромаджується за глибокого безполицевого обробітку, оранки та ротаційного обробітку ґрунту, що пов'язано передусім із більшою вилугованістю від карбонатів за вищезгаданих технологій. За оранки, порівняно із іншими технологіями обробітку ґрунту, не спостерігалась достовірна відмінність за показниками запасів гумусу у метровому шарі ґрунту в цілому. Проведення органо-мінерального удобрення збільшує запаси гумусу по всьому профілі. Масова частка 0–20 см запасів гумусу у метровому шарі ґрунтів є найбільшою за мілкого безполицевого обробітку на чорноземі типовому, перелогу і no-till – в ізогумусолях.

Стратиграфія профільного розподілу гумусу пов'язана із вертикальною динамікою груп і фракцій гумусових речовин, регулювання яких в агроценозах

є інтегральним компонентом сучасного управління ґрунтами. Груповий та фракційний склад гумусу формується протягом педогенезу і змінюється за антропогенезу. На думку багатьох вчених [387, 391, 392], ефективна родючість ґрунтів визначається передусім умістом лабільних гумусових речовин. Інтенсивність утворення лабільних фракцій гумусових речовин, згідно наших даних, є вищою за застосування no-till та безполицевого обробітку у 0–20 см шарі. Уміст фракцій 1a та 1 ГК і ФК в ізогумусолях значно переважає їх уміст у чорноземі типовому, що свідчить про добрий стан окультуреності ґрунту і високу інтенсивність першої стадії гуміфікації. Якщо розглядати лабільний і фульвокислотний пул як джерело та попередник утворення гумінових кислот, то ґрунтозахисні технології і природні екосистеми є найбільшими донорами цих речовин. Зважаючи на представлені у роботі результати, найбільша інтенсивність утворення рухомих фракцій гумусових речовин у верхній частині профілю була найвищою за безполицевого обробітку ґрунту і перелогу. За глибокого обробітку ґрунту інтенсивність утворення лабільних гумусових речовин виявляється найвищою у нижній частині орного шару. У цьому шарі послаблюються процеси окиснення, збільшується уміст вологи, температура ґрунту зменшується, гетеротрофні мікроорганізми, гриби і актиноміцети повільно розкладають органічну речовину ґрунту і синтезують лабільні гумусові сполуки [104, 349, 367, 477]. З глибини 50 см найбільша частка лабільних фракцій створюється за оранки, перелогу і молодого лісу. Використання оранки та чорного пару формує найменшу кількість доступного для глибокої гуміфікації пулу лабільних речовин, про що свідчить найбільша частка другої фракції у складі гумінових кислот за даних технологій. Менший уміст важко – мінералізованих фракцій за вищезгаданого використання ґрунтів засвідчує однорідність пулу органічної речовини ґрунту, втрату її аліфатичних угруповань, деструкцію високомолекулярних компонентів, що погіршує в цілому якість системи гумусових речовин на інших рівнях їх організації.

Органічна речовинна чорнозему типового характеризується високою гетерогенністю, яка збільшується на фоні використання безполицевого обробітку ґрунту. За результатами термогравіметрії і диференційної скануючої калориметрії спостерігались багаточисельні екзотермічні реакції пов'язані із окисненням: – глюкози, мальтози, глютамінової кислоти, лізину, аспарагіну, ксилози, арабінози, рамнози, целобіози, аспарагінової кислоти, цукрози, крохмалю – за 112–270 °С; – вуглецю, азоту, функціональних груп лабільних структур ГК і ФК – за 270–350 °С; – карбоксильних, метиленових, спиртових, альдегідних, амідних, амінних та фенольних груп гумінових і фульвокислот, поліцукрів, простих ароматичних структур – за 320–400 °С; – ароматичних сполук лігніну та поліфенолів – за 400–500 °С; – стабілізованої органічної речовини ґрунту, поліциклічних і поліароматичних сполук, складних довголанцюгових вуглеводів, термостійких орґано-мінеральних сполук, «ядерної» частини гумусових речовин – за 490–580 °С; – усієї органічної речовини ґрунту – за 650–700 °С. Похідна зміни маси ґрунтової проби і екзотермічних ефектів зменшувалась одночасно із зменшенням умісту гумусу у ґрунтових пробах. В цілому по профілю, найбільша площа екзотермічних ефектів спостерігалась у ґрунтових пробах з безполицевих варіантів обробітку ґрунту за винятком 10–20 см шару, у якому терморозкладення органічної речовини ґрунту було більш інтенсивним у пробах варіанту із оранкою. Сильніший екзотермічний ефект органічної речовини ґрунту за безполицевих технологій пов'язаний із більшою кількістю багатокомпонентних фракцій гумусових речовин, які мають легкі та помірні константи швидкості їх мінералізації. У складі гумусу варіанту оранки, за винятком гумусу з 10–20 см шару ґрунту, органічні фракції представлені захищеними до розкладу органічними компонентами з невеликим умістом аліфатичних ланцюгів. Зв'язок між температурними максимумами, аліфатичними та ароматичними компонентами визначається відношеннями вуглецю, азоту, водню, сірки у складі гумусу. Нами було відмічено вузьке $C_{\text{орг}} : S_{\text{орг}}$, $N_{\text{заг}} : S_{\text{орг}}$ і $C_{\text{орг}} : H_{\text{заг}}$ відношення

органічної речовини ґрунту за безполицевих технологій, що вказує на більший уміст біофільних елементів, простих і ароматичних вуглеводів та альдегідів, азотовмісних гетероциклів, аліфатичних ланцюгів, амінокислот, речовин білкової природи і функціональних груп із C-S, C-N, C-H та S-H зв'язками. Надходження у ґрунт рослинного субстрату із співвідношенням C : N < 20 (соя, багаторічні трави перелогу) ініціює мінералізацію і вивільнення лабільних азотовмісних органічних речовин кислотної природи. Протилежний процес – іммобілізація речовин мікроорганізмами шляхом: дифузії NH₃ крізь цитоплазматичні мембрани, перенесення NH₄⁺ транспортними білками, безпосереднього вбирання NO₃⁻ – відбувається за внесення у ґрунт субстрату із злаків із C : N > 20. У наших дослідженнях, в якості субстратів застосовували солому пшениці озимої у нормі 1,2 т/га та сидерати. Найбільша збагаченість азотом гумусу по всьому профілю була сформована за мілкого безполицевого обробітку ґрунту, за якого C_{орг} : N_{заг} відношення змінювалось від 10,1±0,8 у 0–5 см шарі до 9,7±0,3 у 80–100 см шарі. Варіант із оранкою мав перевагу над всіма іншими варіантами за рівнем C_{орг} : N_{заг} до глибини 40 см. Варіант із глибоким безполицевим обробітком переважав усі інші варіанти за рівнем C_{орг} : N_{заг} у шарі 60–100 см – 10,36±0,82.

Таким чином, уміст, запаси гумусу і його якісний склад регулюються системами: обробітку ґрунту, удобрення і сівозмін. В результаті впливу мілкого безполицевого обробітку ґрунту та no-till, більше нагромаджується умісту гумусу, збагаченого на азот і біофільні елементи, у верхній частині профілю. За глибокого безполицевого, роторного обробітку ґрунту і оранки більші запаси гумусу формуються у нижній частині орного та перехідних горизонтах чорноземів. Внесення соломи злакових культур прискорює іммобілізацію вуглецю органічних сполук та азоту. В той же час, застосування повного мінерального удобрення з азотною компенсацією та висів сидератів – сприяє утворенню лабільних гумусових речовин, з розвиненою аліфатичною системою збагаченою на органічний азот, сірку і функціональні групи. Враховуючи

результати наших досліджень, рекомендується застосовувати повне мінеральне удобрення із азотною компенсацією, соломою та сидератами на фоні мілкого безполицевого обробітку ґрунту та no-till (для Китаю) – для вирощування злакових сільськогосподарських культур і глибокого безполицевого обробітку ґрунту – для вирощування просапних сільськогосподарських культур.

Фізичні фактори середовища мають безпосередній вплив на фізіологічні процеси в рослині, формуючи таким чином продуктивність сільськогосподарських культур на рівні агроценозів. Співвідношення різних за розміром і формою агрегатів визначає об'єми твердої, рідкої і газоподібної фаз, обумовлює енергетику і поведінку речовин у ґрунтового середовищі. Нашими дослідженнями було встановлено, що в ізогумусолі масова частка $\Sigma >10-7$ мм агрегатів була на 2,1–63,6 % більше, ніж у чорноземі типовому. Уміст водостійких 10–0,25 мм макроагрегатів в ізогумусолі був також значно більшим, ніж у чорноземі типовому. Даний факт можна пояснити різними умовами формування агрегатів в Україні і Китаї. У різкоконтинентальній кліматичній зоні, на важкосуглинковому лесі, у результаті природнього педогенезу формувались крупні за розміром агрегати, які забезпечують за спорадичного мусонного клімату добру водопроникність, оптимальні параметри повітряних властивостей ґрунтів та ефективно захищають ґрунти від ерозії. В Україні навпаки сформувалось більше $\Sigma <5$ мм агрегатів, які за спекотного літа сприяють кращому вологозбереженню, але з іншого боку, більший уміст дрібних фракцій ініціює ущільнення, злітизацію, утворення плужної підшви та погіршує протиерозійні властивості ґрунтів. За нашими дослідженнями, уміст пилюватих мікроагрегатів у чорноземі типовому був більшим за ізогумусоль у середньому у 1,6 рази у 0–20 см шарі і 1,9 рази – у шарі 20–40 см. За оранки, дискування або фрезерування відбувається інтенсивне руйнування агрегатів або їх деформація (зсув, стискання, вигин, розтягнення, кручення). В результаті, у пухкому, щойно обробленому шарі ґрунту, замулюються макропори та утворюється кірка при його підсиханні. Незважаючи на більшу об'ємну кількість макропорового

простору, інфільтраційна здатність ґрунтів може виявитись невисокою. У наших дослідженнях водопроникність ґрунтів у першу годину оцінювалась як «надлишково-висока» (581–735 мм/год) – у варіантах із різними технологіями обробітку ґрунту, чорного пару і перелогу, «найкраща» (416–504 мм/год) – у варіанті із молодим лісом – в ізогумусолі та «найкраща» (309–566 мм/год) – в чорноземі типовому. Протягом вегетаційного періоду найменше падіння величини водопроникності відбулось за no-till, перелогу, оранки і комбінованого обробітку ґрунту. Одними із факторів більш високих значень водопроникності за даних варіантів є більша кількість крупних та менша кількість дрібних пор, більший рівень вологості ґрунту, висока макроагрегованість ґрунтів. Найбільші коефіцієнти варіації водопроникності спостерігались за оранки, no-till і ротаційного обробітку ґрунту.

Структурні окремоті ґрунтів – є первинними природними факторами, які формують щільність складення ґрунтів. У природних термодинамічно рівноважних системах щільність складення змінюється під впливом температури, вологи, атмосферного тиску, кореневої системи рослин, мезофауни, тощо. Найбільш наближеними до природних систем в землеробстві є перелоги. Коефіцієнти варіації щільності складення у перелогах ізогумусолів варіювались від 0,7 до 2,8 %. Під впливом агротехнічних заходів, структурні агрегати подрібнюються, сепаруються, розпушуються або ущільнюються, формується плужна підшва, порушується система ґрунтових пор. Зміни щільності складення посилюються на фоні диспергувальної дії внесених у ґрунт мінеральних добрив. В умовах Північно-східного регіону Китаю, за no-till сформувався найбільш ущільнений серед ґрунтооброблювальних технологій орний 0–20 см шар: 1,24–1,25 г/см³ – в рядку і 1,25–1,27 г/см³ – у міжрядді. За оранки відмічалась найменша ущільненість 0–5 см шару ізогумусолів в рядку і найбільша – у міжрядді. У чорноземі типовому, щільність складення 0–5 см шару істотно не відрізнялась між різними варіантами обробітку ґрунту. В середньому за вегетаційний період, найбільш і найменш ущільненим 0–40 см шар чорнозему

типового був за варіантів із мілким безполицевим обробітком ґрунту та оранкою відповідно.

Щільність складення істотно збільшується протягом вегетаційного періоду і набуває максимальних значень у липні-серпні. Це явище можна пояснити: – збільшенням об'єму кореневої системи рослин; – зменшенням умісту об'ємної вологи в ґрунті в результаті високого рівня водоспоживання ярих культур (ячмінь, кукурудза на зерно, соя) та евапотранспірації [348]; – злітизацією пилюватих мікроагрегатів та гранулометричних фракцій мікроагрегатів [539, 540]; – збільшенням частки крупних фракцій агрегатів ґрунту, які були виділені за: «мокрого» і повітряно-сухого просіювання. Крім фізичного руйнування агрегатів у чорноземах негативно заряджені планарні поверхні кристалічних граней монтморилоніту можуть адсорбуватись відповідними гранями каолініту, що призводить до зникнення полярності, неможливості утворення внутрішньо-агрегатних взаємодій між флокулянтами, структурні окремоті кришаться і переходять в розряд пилюватих фракцій шаруватих силікатів. Даний процес прискорюється із збільшенням концентрації розчинів електролітів на фоні збільшення лужності ґрунтового розчину. Вищенаведені явища найбільш інтенсивно протікають у літній період і виявляються у кіркоутворенні, злітизації, утворенні брилистих агрегатів підорного шару. З іншого боку, наявність в чорноземах триоктаедричних хлоритових, вермикулітових і смектитових (монтморилоніт та нонтроніт) шарів з високими параметрами активної питомої поверхні та ємністю катіонного обміну у складі виявлених нами алюмосилікатів (14,000 Å, 7,080 Å, 3,530 Å) – сприяє ілітизації і відповідно – структуроутворенню. Уміст водостійких і агрономічно цінних агрегатів поступово відновлюється по завершенню механічного впливу сільськогосподарських знарядь на ґрунт на фоні надходження у ґрунт органічних решток і сполук (органічні кислоти і амінокислоти, ферменти і вітаміни, поліцукри, продукти мікробного синтезу, везикулярно-арбускулярні мікоризні гіфи та ін.). Максимальне збільшення умісту крупних 10–2 мм фракцій водостійких агрегатів спостерігалось нами у

кінці серпня. В цей час зростали показники GMD_{mm} , MWD_{mm} , дисперсної органічної речовини ґрунту, умісту органічного вуглецю у складі 10–2 мм ВАГ і $C_{org250-53\text{ мм}}$ РОМ. Стабілізація органічної речовини ґрунту у складі мікроагрегатів відбувається за взаємодії поліцукрів, поліциклічних і ароматичних гумусових речовин з колоїдною та передколоїдною фракцією глинистих мінералів через електростатичний та стеричний (просторовий) механізми. З іншого боку, часті приповерхневі зміни температури, вологи, аерації, ОБП режиму призводять до відмирання та лізису мікробної біомаси, деполімеризації азотовмісних полімерів, асиміляції мономерів мікробами, споживання амонію, нітритів і нітратів рослинами, їх міграція у нижні шари ґрунту [364, 367, 368]. В результаті цих процесів збільшується співвідношення $C_{org} : N_{заг}$ ґрунту та $C : N$ біомаси мікроорганізмів. Низькомолекулярні азотовмісні сполуки стабілізовані різними механізмами у супермолекулярну асоціацію гідрофобних біомолекул у вигляді багатокомпонентного рекальцитранту міцелярної будови, беруть участь в ізоляції органічного вуглецю та азоту від мінералізації, що призводить до зменшення умісту доступних для рослин форм азоту, а вуглецево-азотний баланс зміщується у бік іммобілізації останнього. Таким чином, під час вегетаційного періоду виникає потреба додаткового азотного підживлення. За застосування аміачної селітри відбувається інтенсивна нітрифікація і мінералізація рослинних решток, в той же час як амідний азот сечовини тимчасово пригнічує нітрифікацію і сприяє іммобілізації азоту рослинами, мікроорганізмами та гумусовими речовинами. За застосування сидератів на фоні азотного підживлення нагромаджується свіжий зелений рослинний прижиттєвий опад та кореневі виділення, пригнічується деструкція органічної речовини ґрунту, зменшується емісія CO_2 і молекулярного азоту, покращується процес входження органічних неспецифічних речовин до складу гумусових речовин, прискорюється колообіг азоту в ґрунтах [208, 448, 459]. Новоутворені продукти свіжерозкладеної органічної речовини надходять до складу дисперсних органічних макро ($РОМ_{>250\text{ мкм}}$) і мікроагрегатів ($РОМ_{250-53\text{ мкм}}$) ґрунту і відповідно

збільшують їх діаметр [563]. В середньому за сезон, за ґрунтозахисних технологій обробітку ґрунту, утворюється більше РОМ дисперсних агрегатів, уміст яких суттєво збільшується із травня по липень і зменшується у серпні. Суспендований органо-мінеральний пул біомолекул є високоенергетичним і найбільш активним компонентом органічної речовини ґрунту, який швидко мінералізується, споживається мікроорганізмами і кореневою системою рослин після деструкції. Таким чином, за ґрунтозахисних технологій нагромаджується більша кількість лабільних фізично оклюдованих фракцій органічної речовини ґрунту, які є донорами поживних елементів для рослин і мікроорганізмів та виконують роль структуроутворювачів ґрунту.

Усі вищеперераховані вище результати наших досліджень свідчать про безпосередній вплив природних і антропогенних факторів на антропогенез чорноземів. Родючі ґрунти є дефіцитним природним ресурсом нашої планети, від якого виробничники вимагають забезпечення реалізації зростаючих врожаїв сільськогосподарських культур. Вирішення даної проблеми неможливе без впровадження наукового «стійкого» управління родючості ґрунтами, яке базується на застосуванні адаптованих до локальних ґрунтово-кліматичних умов: сівозмін, сортів с.-г. культур, обробітку ґрунту, удобрення, засобів захисту рослин, протиерозійних заходів, тощо. Дані заходи мають забезпечувати підтримуючі, регулюючі, ресурсозберігаючі та культурні послуги ґрунтів для майбутнього покоління [601]. У представленому науковому дослідженні наведені різні підходи щодо вирішення даної проблеми, основними з яких є застосуванням ґрунтозахисного обробітку ґрунту, оптимальної системи удобрення, сидератів, гною, залуження багаторічними травами переліжних земель, тощо. Позитивний ефект від запропонованих технологічних заходів спостерігався нами на всьому Євразійському просторі чорноземного регіону.

Результати досліджень за даним розділом опубліковані у наступних працях:

1. Kravchenko Y. Ukrainian Chernozem: monograph. Kyiv : NUBiP of Ukraine Press, 2017. 182 p.
2. Liu S., Zhang X., Kravchenko Y., Iqbal A. Maize (*Zea mays* L.) yield and soil properties as affected by no tillage in the black soils of China *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2015. Vol. 65. № 6. P. 554–565.
3. Лі Х., Кравченко Ю. С., Джан С. Оцінка водно-ерозійних процесів і втрат чорноземних ґрунтів Північно-східного Китаю. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове ґрунтознавство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2011. № 1. С. 56–60.
4. Лі Х., Джан С., Кравченко Ю. С. Водно-ерозійні процеси на лесовидних вододілах Північно-східного Китаю. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2011. Вип 162 (2). С. 131–137.
5. Li H., Zhang X., Liu S., Kravchenko Y., Ivanova K., Li X., Chen Q. Evolvement of gully erosion in village scale in the typical black soil area. *Science of Soil and Water Conservation*. 2012. Vol. 10 (2). P. 21–28.
6. Кравченко Ю. С. Оцінка ерозійних процесів на чорноземних ґрунтах лесових водозборів Північно-східного Китаю. *Фізична географія та геоморфологія. Міжвідомчий науковий збірник*. Київ. ВГЛ «Обрії», 2012. Вип. 2, № 66. С. 182–187.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розроблено наукове обґрунтування з управління властивостями чорноземів та вирішується проблема відновлення їх родючості за різних сценаріїв їх господарського використання з урахуванням фаціальних ґрунтово-генетичних особливостей ґрунтів, шляхом застосування: ґрунтозахисного обробітку ґрунту, короткоротаційних сівозмін, соломи, сидератів, інтегрованої системи удобрення і залуженого перелогу. Результати багаторічних досліджень надають підстави для формування наступних висновків:

1. Встановлено, що чорноземи типові та ізогумусолі мають фаціальні особливості морфолого-генетичних ознак гумусо-акумулятивного типу профілю. За умов східно-євразійської кліматичної фації мусонного типу із ГТК 1,7–1,8, профіль ізогумусолу набув ознак спорадичного оглеєння, буруватого відтінку, грубогрудкуватості, глибокого скипання від карбонатів, наявністю зон виснаження і акумуляції. За помірно-теплого клімату України із ГТК 1,3–1,5 сформувався чорнозем типовий із глибоким гумусовим профілем, дрібногрудкуватими агрономічно цінними агрегатами, видимими формами карбонатних новоутворень, кротовиним натічним прогумушеним лесом.

2. Визначені пошарово профільні зміни властивостей чорнозему типового і ізогумусолів за їх тривалого використання. За оранки утворюється глибокий гумусовий горизонт, який набуває ознак: пилуватості, гомогенного розподілу органічної речовини ґрунту і елементів живлення в орному шарі, підвищеної концентрації обмінного водню у ґрунтово-вбирному комплексі. За застосування безполицевого обробітку ґрунту і no-till збільшується концентрація гумусу, елементів живлення, обмінних кальцію і магнію у приповерхневому шарі чорноземів. Тверда фаза і органічна речовина чорнозему типового за безполицевого обробітку ґрунту характеризується розвиненою полімінеральністю, в той же час як дифрактограми ґрунтових проб варіанту з

оранки мають найменшу кількість і інтенсивність піків. Застосування оранки та чорного пару прискорює нагромадження піщаної фракції у профілях чорнозему типового та ізогумусолів. Ізогумусоль, порівняно із чорноземом типовим, має більший уміст фізичної глини і мулу, чорнозем типовий – піщаної фракції, «фізичного піску» і крупного пилу.

3. Показано стратиграфічний розподіл умісту біофільних макроелементів у профілях чорнозему типового та ізогумусолу: уміст загального вуглецю, загального водню, органічних сполук вуглецю, азоту та сірки поступово з глибиною – зменшується, в той же час як уміст вуглецю неорганічних сполук – підвищується, масова частка якого збільшується від 40,8 % – за оранки до 42,8 % – за глибокого і 54,5 % – за мілкого безполицевого обробітку ґрунту. Мольна частка водню у чорноземі типовому переважає концентрацію вуглецю, азоту і сірки у 11,9, 13,9 та 31,7 разів.

4. Встановлено, що стабілізація умісту і запасів гумусу забезпечується застосуванням ґрунтозахисного обробітку ґрунту, внесенням соломи 1,2 т/га + сидерати + $N_{12} + N_{78}P_{68}K_{68}$, залуженням перелогу багаторічними травами. Досліджено, що система основного обробітку ґрунту визначає стратиграфію розподілу органічної речовини в профілі ґрунтів. Найбільшу масову частку умісту і запасів гумусу у 0–20 см шарі ґрунтів забезпечують: переліг, no-till, безполицевий обробіток ґрунту, найменшу – оранка і чорний пар.

5. Відмічені фаціальні ознаки гумусоутворення досліджуваних ґрунтів. В ізогумусолях, порівняно із чорноземами типовими, система гумусових речовин сформувалась за підвищеного сезонного гідроморфізму, кріогенних умов, сприятливого водно-повітряного і теплового режимів у літній період. У складі органічної речовини ізогумусолів більше: лабільних гумусових речовин, високомолекулярних азотовмісних компонентів із розвиненими функціональними групами, фракцій GK_1 і FK_{1a+1} , що свідчить про активну стадію еволюції даних ґрунтів. В ізогумусолях, з глибиною збільшується частка FK_{1a} , GK_2 , FK_{2-3} та зменшується – FK_1 і $GK_{1,3}$ фракцій. Натомість, у чорноземі

типовому масова частка GK_1 і FK_{1a+1} фракцій зменшується, GK_2 та FK_2 – збільшується, а GK_3 та FK_3 фракцій – достовірно не змінюється з глибиною. Найбільший уміст лабільних фракцій гумусових речовин утворюється за: – перелогу та ґрунтозахисного обробітку ґрунту у 0–20 см шарі; – оранки, глибокого безполицевого обробітку ґрунту та перелогу – у 20–100 см шарі чорноземів. За ґрунтозахисних технологій значно зростає інтенсивність утворення першої та другої стадій гуміфікації, процеси полімеризації і акумуляції гумусових речовин гуматного типу. Технології обробітку ґрунту змінюють тип гумусу у чорноземі типовому та ізогумусолях із гуматного – за оранки і чорного пару на фульватно-гуматний – за ґрунтозахисного обробітку і перелогу у шарі 0–5 см. В цілому по профілю, найбільша частка карбону фульвокислот спостерігалась за ґрунтозахисного обробітку.

6. За результатами термогравіметрії встановлено, що найбільш гетерогенна система органічних сполук чорнозему типового сформувалась за глибокого безполицевого обробітку ґрунту, яка характеризувалась багаточисельними піками падіння маси ґрунтової проби та найбільшою амплітудою площинних екзотермічних ефектів.

7. Уперше визначено індекс гуміфікації ($I_{GK\Delta M}$), на основі екзотермічних ефектів (E_{x0}), за співвідношенням зміни маси ґрунтової проби (ΔM) в інтервалі 200–396 °C ($\sum E_{x0_{1-2}}$) до ΔM в інтервалі 396–610 °C ($\sum E_{x0_{3-5}}$). Більші значення індексу гуміфікації свідчать про більшу частку лабільних фракцій у складі гумусу. Індекс гуміфікації у ґрунтових пробах за ґрунтозахисного обробітку ґрунту зменшується із глибиною, за оранки – зростає до глибини 10–20 см і поступово зменшується до 100 см шару. У ґрунтових пробах нижніх шарів ґрунту зростає площа екзотермічного «плеча» ароматичної поліконденсованої частини органічної речовини ґрунту (E_{x0_5}), що свідчить про збільшення частки органо-мінеральних гумусових речовин із глибиною.

8. Встановлено відновлення природного процесу гумусоутворення за сезонними коливаннями вуглецю органічних сполук та загального азоту у

профілях чорноземів, з найбільшою амплітудою змін у верхніх і нижніх шарах ґрунту – за безполицевого обробітку ґрунту, no-till, перелогу та молодого лісу, у нижній частині орного шару і верхнього перехідного гумусового горизонту – за оранки. Напрям сезонних змін $C_{\text{орг}} : N_{\text{заг}}$ відношення відрізнявся від тренду загального азоту ґрунту і відповідав тренду кривої органічного вуглецю ґрунту. Уміст вуглецю органічних сполук зменшувався на початку вегетації, збільшувався у літній період, зменшувався наприкінці літа і відновлювався протягом холодного осінньо-зимово-весняного періоду.

9. Доведено, що застосування ґрунтозахисного обробітку ґрунту сприяє: оптимізації мікробних процесів у чорноземах, нагромадженню вуглецю та азоту біомаси мікроорганізмів, мінімальному кuartильному розмаху в інтервалі $IQR_{0,25-0,75}$ протягом сезону. Відновлення органічної речовини чорноземів за ґрунтозахисного обробітку ґрунту виявляється у більших значеннях мікробного індексу ґрунтів, який відображає активну конверсію органічної речовини ґрунту ґрунтовими мікроорганізмами.

10. Досліджено, що флуктаційні сезонні коливання CO_2-C ґрунтів в ізогумусолях набували максимальні значення у середині липня і мінімальні – на початку та кінці вегетаційного періоду. За природних ценозів і no-till емісія вуглецевого газу набуває максимальної інтенсивності з мінімальною амплітудою. За чорного пару продукується найменша кількість CO_2 ґрунту, що засвідчує про поступову деградацію мікробіологічних властивостей чорноземів за даного заходу. Встановлений дуже високий рівень щільності лінійного кореляційного відношення K . Пірсона між кількістю емітованого мікроорганізмами CO_2 ґрунтової проби і умістом органічного вуглецю ґрунту.

11. Встановлені фаціальні ознаки структуроутворення чорноземів. В результаті педогенезу в умовах тривалого сезоннопромерзлого теплового режиму різко-континентального клімату Північно-східного регіону Китаю сформувались крупні за розміром, тверді водотривкі агрегати округло-кубовидної форми, які за спорадичної мусонності сприяють кращій повітро- і

водо- проникності ґрунтів, захисту ґрунтів від повітряної і водної ерозії, акумуляції гумусових речовин і поживних елементів навколо дрібних гранулометричних фракцій агрегатів. В умовах сезоннопромерзлого теплового режиму помірно-континентального клімату Правобережного Лісостепу України утворились дрібніші за розміром грудкувато-зернисті агрегати, частина з яких за довготривалого використання чорноземів перетворилась у пилюваті окремоті, які погіршують протиерозійні властивості ґрунтів. Структурний стан досліджуваних ґрунтів характеризувався як «хороший» – для чорнозему типового та «задовільний» – для ізогумусолів та найкраще підтримується ґрунтозахисними технологіями та відведенням орних земель під переліг. Ізогумусоль характеризується більшим умістом $\Sigma > 10-7$ мм і меншим – $< 0,25$ мм структурних окремотей, ніж чорнозем типовий. За ґрунтозахисного обробітку утворюється більша кількість 10–0,5 мм, за оранки – $< 0,5$ мм фракцій водостійких агрегатів чорноземів.

12. Удосконалені методичні підходи щодо визначення водотривких агрегатів ґрунту шляхом повільного замочування ґрунтової проби у дистильованій воді у вакуумі. За даної методики був одержаний найбільший вихід фракцій водотривких агрегатів ґрунту та найменший коефіцієнт варіабельності даних. Частка виходу крупних фракцій водостійких агрегатів зростає із збільшенням умісту гумусу в ґрунтах.

13. Виявлені різні напрями сезонних змін умісту водостійких агрегатів залежно від їх розміру та стратиграфічного місцезонашування у профілі. Масова частка 10–5 мм агрегатів збільшувалась з середини травня до кінця серпня і зменшувалась на початку жовтня, 5–2 мм агрегатів – зменшувалась з травня по липень, збільшувалась у кінці серпня і зменшувалась на початку жовтня, 2–0,5 мм агрегатів – зменшувалась з травня по серпень і збільшувалась у жовтні, $< 0,5$ мм агрегатів – збільшувалась з травня по липень, зменшувалась у серпні і збільшувалась у жовтні. Уміст 10–5 і 1–0,5 мм водостійких агрегатів на глибині 20–40 см протягом сезону змінювався відмінно від подібних агрегатів

верхніх 0–10 і 10–20 см шарів. Обробіток ґрунту не змінював напрям тренду динаміки водостійких агрегатів протягом вегетаційного періоду. В той же час за застосування оранки була виявлена найбільша амплітуда змін умісту водостійких агрегатів ґрунту протягом сезону і найменша – за no-till.

14. Проведено комплексне оцінювання стабільності водостійких агрегатів ґрунту. За ґрунтозахисного обробітку ґрунту, порівняно з оранкою та чорним паром, утворюється більша кількість водостійких агрегатів з більшим середньозваженим і середньогеометричним діаметрами, меншим фрактальним розміром, вищим умістом органічного вуглецю ґрунту. Найбільший уміст $C_{\text{орг}}$ концентрується у 0,5–0,25, найменший – у $<0,25$ мм водостійких фракціях. З травня по жовтень уміст $C_{\text{орг}}$ збільшується у 0–20 см шарі і суттєво не змінюється у 20–40 см шарі ізогумусоля. Коефіцієнт водостійкості структурних агрегатів підвищується за мінімалізації обробітку ґрунту і мав найбільші значення за no-till.

15. Встановлений багаторівневий характер дії органічної речовини ґрунту на утворення агрегатів дисперсної органічної речовини чорноземів протягом вегетаційного сезону. На початку вегетаційного періоду збільшується уміст макро- і мікро- фракцій дисперсної органічної речовини з одночасним зменшенням частки органічного вуглецю в даних агрегатах. У кінці літнього періоду збільшується уміст тонкої органо-мінеральної фракції агрегатів, частка вуглецю у складі макро- і мікро- фракцій дисперсної органічної речовини. З глибиною збільшується частка тонких, зменшується кількість макро- і мікро- фракцій дисперсної органічної речовини. В середньому за сезон, за ґрунтозахисного обробітку ґрунту і перелогу утворювалось більше крупних фракцій дисперсної органічної речовини і найбільша кількість органічного вуглецю в них. В цілому, співвідношення між умістом $\text{POM}_{>250 \text{ мкм}}$, $\text{POM}_{250-53 \text{ мкм}}$ і $\text{iPOM}_{<53 \text{ мкм}}$ дисперсних фракцій у 0–40 см шарі ізогумусоля складало – 0,18 : 0,43 : 1.

16. Визначений розподіл мінеральних частинок у фракціях дисперсної органічної речовини за технологією лазерної дифрактометрії. Середній розмір фракцій за довжиною та об'ємним середнім діаметром зменшуються з глибиною, а також від макро- до мікро- і тонкої фракцій РОМ. Найбільший вихід найкрупніших D_{90} гранул за об'ємом відбувся за оранки – у РОМ $_{>250 \text{ мкм}}$ та РОМ $_{250-53 \text{ мкм}}$ фракціях і перелогу – у РОМ $_{<53 \text{ мкм}}$ агрегатах. Середні діаметри за площею поверхні були найбільшими у складі дисперсної органічної речовини за перелогу та ґрунтозахисних технологій.

17. Проведено оцінювання кількісних і якісних змін фізичних властивостей чорноземів протягом календарного та вегетаційного року. Ізогумусоль, порівняно із чорноземом типовим, має меншу щільність складення, надлишково-високу водопроникність, більший уміст вологи, що забезпечується наявністю крупних фракцій повітряно-сухих, водостійких і дисперсних агрегатів, більшою кількістю атмосферних опадів. Найменша амплітуда динаміки водопроникності і щільності складення відбувається за no-till та природних ценозів. Найбільший сумарний уміст вологи спостерігався за no-till, глибокого безполицевого обробітку ґрунту і перелогу.

18. Встановлена просторова і часова неоднорідність ізогумусолів за показниками температури, яка описується законом Фур'є з врахуванням рівнянь потоків вологи, солей та тепла та залежить від радіаційного балансу. Під час вегетаційного сезону потоки тепла переміщуються від верхніх шарів ґрунту до нижніх, у зимовий період – навпаки. Середньодобова температура ізогумусолію з травня по жовтень у 0–20 см шарі зменшувалась від оранки (18,1 °С) до безполицевого обробітку ґрунту (17,3 °С) і no-till (17,0 °С). Найвищі показники температури на глибині 110–300 см протягом року були за no-till, найнижчі – за оранки. Температура ізогумусолію протягом року не опускалась нижче 0 °С на глибині 200–300 см.

19. Урожайність сільськогосподарських культур визначалась властивостями ґрунтів, погодними умовами, агротехнічними заходами і водно-

ерозійними втратами ґрунту. В умовах Північно-східного регіону Китаю, ярі культури мають достатній рівень забезпеченості вологою та ФАР для формування своєї біомаси і врожаю. Мезоклімат лісостепової зони Київської області, під впливом семіаридного клімату помірних широт протягом останніх десятиліть, характеризується жарким літом та нестійким типом зволоження, що створює короткотерміновий температурний та водний стрес у сільськогосподарських культур протягом вегетаційного сезону. В цілому за роки проведення досліджень, застосування різноглибинного безполицевого обробітку ґрунту виявилось найбільш ефективним щодо одержання найбільшої урожайності сільськогосподарських культур в Україні і Китаї. Оранка виявляла свою ефективність при вирощуванні просапних культур, мілкий безполицевий обробіток – пшениці озимої і ячменю, no-till – сої. Найбільші врожаї сільськогосподарських культур забезпечувало внесення соломи 1,2 т/га + N_{12} + $N_{78}P_{68}K_{68}$ та соломи 1,2 т/га + сидерати + N_{12} + $N_{78}P_{68}K_{68}$. Урожайність сільськогосподарських культур на еродованому ізогумусолі була вищою порівняно із модальним ґрунтом, у зв'язку із менш тривалим антропогенним впливом на даний ґрунт, більшою кількістю лабільних гумусових речовин, кращою вологозабезпеченістю.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

За результатами дисертаційного дослідження в галузі ґрунтозахисного землеробства з метою управління родючістю орних шарів чорноземів типових та ізогумусолів, стабілізації їх структурно-агрегатного стану, збільшення частки лабільних компонентів гумусу і дисперсної органічної речовини ґрунту, формування протягом вегетаційного періоду оптимальних агрофізичних, агрохімічних і біологічних властивостей ґрунтів, одержання на фоні континентального східно-євразійського мусонного та помірно-теплого континентального типу клімату стабільно високих врожаїв сільськогосподарських культур, рекомендовано:

1. Проводити різноглибинний безполицевий обробіток ґрунту на чорноземах типових з внесенням соломи 1,2 т/га + N_{12} + сидерати + $N_{78}P_{68}K_{68}$ на 1 га сівозмінної площі у короткоротаційних сівозмінах Правобережного Лісостепу України;

2. Застосовувати чизелювання ізогумусолів для формування гребнів у поєднанні з періодичним щільюванням на глибину 40–50 см і мульчуванням на 40–60 % поверхні поля рослинними рештками від попередньої культури із додаванням компенсаційної дози азоту (10 кг/га азоту або 6 т гною на 1 т рослинних решток). Змінити традиційну для Північно-Східного регіону Китаю норму удобрення із $N_{95}P_{52}K_{15}$ на $N_{95}P_{52}K_{52}$ на 1 га сівозмінної площі у зв'язку із недостатньою компенсацією обмінного калію який надходить із мінеральними добривами. Ввести у систему удобрення: гній (6–8 т/га), солону (2–4 т/га) та зелене добриво (сидеральні культури);

3. Для збереження родючості ґрунтів, доцільно використовувати під основний обробіток ґрунту: мілкий безполицевий обробіток ґрунту – під зернові культури, глибокий безполицевий обробіток ґрунту – під просапні культури – на чорноземах типових Правобережного Лісостепу України; no-till – під сою, глибокий безполицевий обробіток ґрунту – під кукурудзу на зерно, чизелювання міжрядь посівів сільськогосподарських культур – на ізогумусолях Північно-

східного регіону Китаю; ґрунтозахисний обробіток ґрунту поперек схилу та залуження перелогу багаторічними травами – на еродованих чорноземах.

4. Науковим установам НААН України, обласним відділенням ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», вищим навчальним закладам аграрного, екологічного і географічного спрямування, з метою діагностики властивостей ґрунтів під час проведення науково-дослідних робіт рекомендовано:

а) при оцінюванні якісного складу органічної речовини ґрунту застосовувати індекс гуміфікації ($I_{гк_с}$), який розраховується за співвідношенням сумарних втрат маси ґрунтової проби за температурного інтервалу 200–396 °С (окиснення лабільних фракцій гумусових речовин) до сумарних втрат маси ґрунтової проби за температурного інтервалу 396–610 °С (окиснення стабільних фракцій гумусових речовин) одержаних методами термогравіметрії та диференційної скануючої калориметрії;

б) при визначенні умісту водостійких агрегатів ґрунту за ситовим методом Н. І. Саввінова (ДСТУ 4744:2007), при замочуванні середнього зразка № 2 у воді, з метою одержання більшого виходу водостійких агрегатів ґрунту з найменшою варіабельністю даних, доцільно проводити повільне насичення агрегатів ґрунту дистильованою водою на предметному склі із кутом нахилу 0,5°, у вакуумі, під тиском 1–2 см ртутного стовпчика.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Словник української мови : в 11 т. / ред. кол.: І. К. Білодід (голова) та ін. АН УРСР, Ін-т мовознавства імені О. О. Потебні. Київ : Наук. думка, 1970–1980. Т. 2 : Г-Ж. / ред. тому: П. П. Доценко, Л. А. Юрчук. 1971. 550 с.
2. Словник іншомовних слів за ред. О. С. Мельничука. 1-е видання, Київ: Головна редакція «Українська радянська енциклопедія» (УРЕ), 1974. 776 с.
3. Булигін С. Ю. Величко В. А., Демиденко О. В. Агрогенез чорнозему. К.: Аграрна наука, 2016. 356 с.
4. Liu X., Burras C., Kravchenko Y., Duran A., Huffman T., Morrás H., Studdert G., Zhang X., Cruse R., Yuan X. Overview of Mollisols in the world: Distribution, land use and management. *Canadian Journal of Soil Science*. 2012. V.92 (3). P. 383–402.
5. Фридланд В. М. Черноземы СССР. Т. 1, М., Колос, 1974. 560 с.
6. Прасолов Л. Почвенные области Европейской России. Пг., Госиздат, 1922. 66 с.
7. Позняк С. Черноземи України: географія, генеза і сучасний стан. *Український географічний журнал*. 2016. № 1. С. 9–13.
8. Балюк С., Носко Б., Скрильник Є. Сучасні проблеми біологічної деградації чорноземів і способи збереження їх родючості. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 1. С. 11–17.
9. Балюк С., Медведєв В., Мірошніченко М., Скрильник Є., Тимченко Д., Фатєєв А., Христенко А., Цапко Ю. Екологічний стан ґрунтів України *Український географічний журнал*. 2012. № 2. С. 38–42.
10. Солов'яненко Н. Ґрунтовий покрив – складова природних ресурсів України. *Землевпорядний вісник*. 2012. № 2. С. 44–48.
11. Kravchenko Y., Zhang X., Liu X., Song C., Cruse R. Mollisols properties and changes in Ukraine and China. *Chinese Geographical Science*. 2011. Vol. 21. P. 257–266.

12. Броцак І. С., Венглінський М. О., Гаврилюк В. Б., Глущенко М. К. Періодична доповідь : «Про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України» за результатами 9 туру (2006 – 2010 роки) агрохімічного обстеження земель. За ред. Яцука І. П. К. : ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», 2015. 108 с.
13. Герасимов И. П. О почвенно-климатических фациях равнин СССР и прилегающих стран. *Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева АН СССР*. Л.: Изд-во АН СССР, 1933. Т. 8. Вып. 5. 38 с.
14. Прасолов Л. И. Генетические типы почв и почвенные области Европейской части СССР. *Почвы СССР*. М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1939. 272 с.
15. Волобуев В. Р. Почвы и климат. Баку: Изд-во АН АЗССР, 1953. 305 с.
16. Глазовская М. А. Почвы мира. М.: Изд-во МГУ, 1972. Т. 1. 234 с.
17. Герасимов И. П. Генетические, географические и исторические проблемы современного почвоведения. М.: Наука, 1976. 298 с.
18. Папіш І. Я., Позняк С. П. Ґрунтово-географічне районування: становлення, нові підходи. *Український географічний журнал*. 2012. № 2. С. 18–22.
19. Шевченко О., Сніжко С. Зміна клімату та українські міста: прояви та проєкції до кінця ХХІ століття на основі RCP-сценаріїв. *Географія*. 2019. № 2 (75). С. 11–18.
20. Балабух В. Регіональні прояви глобальної зміни клімату в Тернопільській області та можливі їх зміни до середини ХХІ ст. *Фізична географія. Наукові записки*. 2014. № 1. С. 43–54.
21. Цицюра Я. Г. Адаптивна стратегія землеробства правобережного Лісостепу України за зміни клімату. *Сільське господарство та лісівництво*. 2017. № 5. С. 25–33.
22. Cotrufo M. F. Conant R. T. Paustian K. Soil organic matter dynamics: land use, management and global change. *Plant and Soil*. 2011. № 338. P. 1–3.

23. Smith P., Bhogal A., Eddington P., Black H. Consequences of feasible future agricultural land-use change on soil organic carbon stocks and greenhouse gas emissions in Great Britain. *Soil Use and Management*. 2010. № 26. P. 381–398.
24. Liaudanskiene I., Slepetiene A., Velykis A., Satkus A. Distribution of organic carbon in humic and granulodensimetric fractions of soil as influenced by tillage and crop rotation. *Estonian Journal of Ecology*. 2013. № 62. P. 1–17.
25. Weil R. R., Islam K. R., Stine M. A., Gruver J. B. & Samson-Liebig S. E. Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*. 2003. № 18. P. 3–17.
26. Балюк С., Медведєв В., Кучер А. Управління органічним вуглецем ґрунту в контексті продовольчої безпеки й змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2017. Вип. 9. С. 11–18.
27. Chorny S., Pismenny O. Wind erosion resistance of steppe soils of Ukraine. *Agricultural science and practice*. 2014. V.3. P. 43–49.
28. Han P., Zhang W., Wang G. Changes in soil organic carbon in croplands subjected to fertilizer management: a global metanalysis. *Scientific Reports*. 2016. V.6 (27199). P. 1–12.
29. Madarász B., Juhos K., Ruzkiczay-Rüdiger Z. Conservation tillage vs. conventional tillage: long-term effects on yields in continental, sub-humid Central Europe, Hungary. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 2016. V.14 (4). P. 408–427.
30. Janzen H. The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it? *Soil Biol Biochem*. 2006. № 38. P. 419–424.
31. Hartemink F., McSweeney K. Soil Carbon. *Progress in Soil Science series*, Springer, 2014. 506 p.
32. Li N., Zhang Y., Han X., You M., Hao X. Effects of long-term vegetation cover changes on the organic carbon fractions in soil aggregates of mollisols. *Chinese Journal of Plant Ecology*. 2019. № 43 (7). P. 624–634.

33. Hao X., Han X., Zou W., Wang S., Kwaw-Mensah D. Changes in soil organic carbon and its fractions after 13 years of continuous straw return in a soybean-maize cropping System. *Applied ecology and environmental research*. 2020. № 18 (6). P. 8267–8284.

34. Танчик С. П., Цюк О. А., Центило Л. В. Наукові основи систем землеробства: монографія. Вінниця: Нілан-ЛТД, 2015. 314 с.

35. Примак І. Д., Панченко О. В., Войтовик М. В., Ображій С. В., Панченко І.А. Баланс гумусу в короткоротаційній сівозміні Правобережного Лісостепу України залежно від систем удобрення чорнозему типового. *Збірник наукових праць «Агробіологія»*, 2020. № 1. С. 151–159.

36. Дегтярьов В. В. Вплив способів основного обробітку ґрунту на груповий і фракційний склад гумусу чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України. *Вісник ХНАУ. Сер. «ґрунтознавство, агрохімія і землеробство, лісове господарство»*. Харків. 2004. № 1. С. 69–73.

37. Овчинникова М. Ф. Особенности трансформации гумусовых веществ дерново-подзолистых почв при агрогенных воздействиях. *Вестник Московского университета, серия 17 почвоведение*. 2009. № 1. С. 12–18.

38. MacHado P., Gerzahck M. H. Tillage and crop-rotation interactions on humic substances of a Typic Haplorthox from southern Brazil. *Soil Till. Res*. 1993. № 26. P. 227–236.

39. Szajdak L., Jezierski A., Cabrera M. L. Impact of conventional and no-tillage management on soil amino acids, stable and transient radicals and properties of humic and fulvic acids. *Org. Geochem*. 2003. № 34. P. 693–700.

40. Rosset J. S., Lana M. C., Pereira M. G., Schiavo J. A. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. *Pesq Agropec Bras*. 2016. № 51. P. 29–38 (португальською).

41. Olivas J. Where Does Humic Acid Come From? *BioScientific*. 2010. URL : <https://www.soilbiotics.com/files/7373-soilbiotics-humicacid.pdf> (дата звернення: 16.10.2015).

42. Trevisan S., Francioso O., Quaggiotti S., Nardi S. Humic substances biological activity at the plant-soil interface. From environmental aspects to molecular factors. *Plant Signaling & Behavior*. 2010. № 5 (6). P. 635–643.
43. Albayrak S., Camas N. Effects of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield components of forage turnip (*Brassica rapa* L.). *J. Agron.* 2005. № 4 (2). P. 130–133.
44. Weber J. H. Humic Substances and their Role in the Environment. *EC Agriculture*. 2020. № 6 (3). P. 3–8.
45. Olk D., Dinnes D., Scoresby J. Humic products in agriculture: potential benefits and research challenges – a review. *Journal of Soils and Sediments*. 2018. № 18. P. 2881–2891.
46. Malik K.A., Azam F. Effect of humic acid on wheat (*Triticum aestivum* L.) seedling growth. *Environ. Exp. Bot.* 1985. № (25). P. 245–252.
47. Brannon A., Sommers L. Stability and mineralization of organic phosphorus incorporated into model humic polymers. *Soil Biology and Biochemistry*. 1985. Vol. 17 (2). P. 221–227.
48. Olk D., Brunetti G., Senesi N. Decrease in humification of organic matter with intensified lowland rice cropping: A wet chemical and spectroscopic investigation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2000. № 64. P. 1337–1347.
49. Ding G., Lie X., Herbert S., Novak J. Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma*. 2006. № 130. P. 229–239.
50. Wander M. M. and Traina S. J. Organic matter fractions from organically and conventionally managed soils: II. DR-FTIR characterization Composition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1996. № 60. P. 1087–1094.
51. Zaiba P., Quiroga A. R. Fulvic acid carbon as a diagnostic feature for agricultural soil evaluation. *Soil Sci.* 1999. № 164. P. 57–61.
52. Liaudanskienė I., Slepėtienė A., Vėlykis A. Changes in soil humified carbon content as influenced by tillage and crop rotation. *Zemdirbystė=Agriculture*. 2011. Vol. 98 (3). P. 227–234.

53. Bayer C. Martin-Neto L., Mielniczuk J. Tillage and cropping system effects on soil humic acid characteristics as determined by electron spin resonance and fluorescence spectroscopies. *Geoderma*. 2002. № 105. P. 81–92.
54. Ding G., Novak J., Amarasiriwardena D., Hunt P., Xing B. Soil organic matter characteristics as affected by tillage management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2002. № 66. P. 421–429.
55. Murage E., Voroney P. Distribution of organic carbon in the stable soil humic fractions as affected by tillage management. *Canadian Journal of Soil Science*. 2008. Vol. 88 (1). P. 99–106.
56. Смішна-Старинська Л. В. Кількісні і якісні зміни гумусу при застосуванні органічних систем удобрення у сірому лісовому ґрунті. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 1. С. 74–77.
57. Цвей Я. П., Бондар С. О., Кісілевська М. О. Склад гумусу чорноземів залежно від системи удобрення в короткоротаційних сівозмінах. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 9. С. 5–9.
58. Недбаєв В. Н., Дегтярьов В. В., Жернова О. С., Трутаєва Н. М. Органічна речовина як показник еволюції темно-сірого опідзоленого ґрунту центральної чорноземної зони Росії. *Вісник ХНАУ, Ґрунтознавство*. 2017. № 2. С. 41–53.
59. Zhou M., Wang C., Xie Z., Li Y., Zhang H. Humic substances and distribution in Mollisols affected by six-year organic amendments. *Agronomy Journal*. 2020. Vol. 112. № 6. P. 4723–4740.
60. Purwanto B., Alam S. Impact of intensive agricultural management on carbon and nitrogen dynamics in the humid tropics. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2020. V. 66. № 1. P. 50–59.
61. Schimel D. S., Coleman D. C., Horton K. A. Soil organic matter dynamics in paired rangeland and crop toposequences in North Dakota. *Geoderma*. 1985. № 36. P. 201–214.
62. Srivastava S. C. Microbial C, N, and P in dry tropical soils: Seasonal changes and influence of soil moisture. *Soil Biol Biochem*. 1992. № 24. P. 711–714.

63. Schulten H–R., Hempfling R. Influence of agricultural soil management on humus composition and dynamics: Classical and modern analytical techniques. *Plant and Soil*. 1992. № 142. P. 259–271.

64. Franzluebbers A. J., Hons F. M., Zuberer D. A. Tillage and crop effects on seasonal soil carbon and nitrogen dynamics. *Soil Sci Soc Am J*. 1995. № 59. P. 1618–1624.

65. Duxbury J. M., Smith M. S., Doran J. W. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: Coleman DC, Oades JM, Uehara G (eds) *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. University of Hawaii Press, Honolulu, 1989. P. 33–68.

66. Doran J. W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J*. 1980. № 44. P. 765–771.

67. Strong D. T., Sale P. W. G., Helyar K. R. The influence of the soil matrix on nitrogen mineralisation and nitrification. II. The pore system as a framework for mapping the organisation of the soil matrix. *Australian Journal of Soil Research*. 1998. № 36. P. 855–872.

68. Cookson W., Abaye D., Marschner P., Murphy V. The contribution of soil organic matter fractions to carbon and nitrogen mineralization and microbial community size and structure. *Soil Biology & Biochemistry*. 2005. № 37. P. 1726–1737.

69. Bruce R. R., Langdale G. W., West L. T., Miller W. P. Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance. *Soil Sci. Soc. Am. J*. 1995. № 59. P. 654–660.

70. Schomberg H. H., Steiner J. L., Schomberg P. W. Unger Decomposition and nitrogen dynamics of crop residues: residue quality and water effects. *Soil Sci. Soc. Am. J*. 1994. № 58. P. 372–381.

71. Paul A. The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization. *Soil Biology & Biochemistry*. 2016. № 98. P. 109–126.

72. Lunquist E. J., Scow K. M., Jackson L. E., Uesugi S. L. Rapid response of soil microbial communities from conventional, low input, and organic farming systems to a wet/dry cycle. *Soil Biology & Biochemistry*. 1999. № 31. P. 1661–1675.

73. Бондаренко В. М., Шикирява О. В., Сінчук Г. А. Сезонна динаміка вуглецю основних груп гумусу в орному шарі ґрунту під цукровими буряками за використання соломи як органічного добрива. *Збірник наукових праць Інституту цукрових буряків УААН*. 2008. № 10. С. 259–265.

74. Піковська О. В. Вплив різних систем обробітку ґрунту на вміст і динаміку гумусу чорнозему звичайного. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. : Агронія*. 2012. № 176. С. 170–173.

75. Танчик С. П., Павлов О. С. Відтворення родючості ґрунту за різних систем землеробства. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Агронія*. 2013. Вип. 183(2). С. 135–143.

76. Шихова Л. Н., Зубкова О. А., Русских Е. А., Корякина Е. В. Динамика запасов углерода в почвенном ярусе лесной таежной экосистемы. *Биология. Науки о земле*. 2011. № 4. С. 31–39.

77. Emran M., Naeim H., Rashad M., Gispert M. Seasonal changes in soil carbon storage capacity and glomalin-related soil protein under different agricultural activities, abandonment, and wildfire occurrence in Mediterranean region. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2022. № 21. P. 359–371.

78. Wuest S. Seasonal Variation in Soil Organic Carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2014. № 78. P. 442–1447.

79. Борисюк Б. В., Швайка О. В., Ворона Л. І. Еколого-функціональна роль актиноміцетів у процесі трансформації органічної речовини дерново-підзолистого ґрунту. *Загальна екологія та радіоекологія*. 2009. № 1. С. 100–106.

80. Janzen H. H., Campbell C. A., Brandt S. A., Lafond G. P. Townley-Smith Light fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1992. № 56. P. 1799–1806.

81. MacCarthy P. The principles of humic substances. *Soil Science*. 2001. № 166. P. 738–751.
82. Kleber M., Sollins P., Sutton R. Conceptual model of organo-mineral interactions in soils: self-assembly of organic molecular fragments into zonal structures on mineral surfaces. *Biogeochemistry*. 2007. № 85. P. 9–24.
83. Piccolo A. The supramolecular structure of humic substances. *Soil Science*. 2001. № 166. P. 810–832.
84. Sutton R., Sposito G. Molecular structure in soil humic substances: The new view. *Environmental Science & Technology*. 2005. № 39. P. 9009–9015.
85. Sanderman J., Farquharson R., Baldock J. Soil Carbon Sequestration Potential: A review for Australian agriculture. A report prepared for Department of Climate Change and Energy Efficiency, CSIRO Land and Water, 2010. 90 p.
86. Christensen B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.* 1992. № 20. P. 1–90.
87. Nelson P. N., Baldock J. A. Estimating the molecular composition of a diverse range of natural organic materials from solid-state ^{13}C NMR and elemental analyses. *Biogeochemistry*. 2005. № 72. P. 1–34.
88. Schnitzer M. A lifetime perspective on the chemistry of soil organic matter. *Advances in Agronomy*. 2000. V. 68. P. 1–58.
89. Von Wandruszka R., Engebretson R. R., Yates L. M. Humic acid pseudomicelles in dilute aqueous solution: Fluorescence and surface tension measurements. In *Understanding Humic Substances: Advanced Methods, Properties and Applications*; Ghabbour, E. A., Davies, G., Eds.; Royal Society of Chemistry: Cambridge, U.K., 1999. P. 79–85.
90. Golchin A., Oades J., Skjemstad J., Clarke P. Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by ^{13}C natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid state ^{13}C NMR spectroscopy in density fractions of an Oxisol under forest and pasture. *Aust. J. Soil Res.* 1995. № 3 (3). P. 59–76.

91. Besnard E., Chenu C., Balesdent J., Puget P., Arrouays D. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. *Eur. J. Soil Sci.* 1996. № 4 (7). P. 495–503.
92. John B., Yamashita T., Ludwig B., Flessa H. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma*. 2005. № 128. P. 63–79.
93. Nabuurs G. J., B van Putten, Knippers T. S., Mohren G. M. J. Comparison of uncertainties in carbon sequestration estimates for a tropical and a temperate forest. *Forest Ecol. Manag.* 2008. № 256. P. 237–245.
94. Kravchenko Y. Ukrainian Chernozem. Monograph. NUBiP of Ukraine Press, Kyiv. 2017. 182 p.
95. Lee J., Laca E., van Kessel K., Rolston D., Hopmans J., Six J. Tillage Effects on Spatiotemporal Variability of Particulate Organic Matter. *Applied and Environmental Soil Science*. 2009. Vol. 2009, 219379.
96. Zhou M., Xiao Y., Zhang X., Xiao L., Ding G., Cruse R., Liu X. Fifteen years of conservation tillage increases soil aggregate stability by altering the contents and chemical composition of organic carbon fractions in Mollisols. *Land Degradation & Development*. 2022. Vol. 33. Issue15. P. 2932–2944.
97. Aziz I., Mahmood T., Islam R. Impact of long-term tillage and crop rotation on concentration of soil particulate organic matter associated carbon and nitrogen. *Pak. J. Agri. Sci.* 2014. Vol. 51 (4). P. 827–834.
98. Yang X. M., Kay B. D. Impacts of tillage practices on total, loose- and occluded-particulate, and humified organic carbon fractions in soils within a field in southern Ontario. *Can. J. Soil Sci.* 2001. № 81. P. 149–156.
99. Jin V., Wienhold B., Mikha M., Schmer M. Cropping system partially offsets tillage-related degradation of soil organic carbon and aggregate properties in a 30-yr rainfed agroecosystem. *Soil & Tillage Research*. 2021. № 209. P. 104968.
100. Shi Y., Chen X., Shen S. Light fraction carbon and water-stable aggregates in black soils. *Pedosphere*. 2007. № 17 (1). P. 97–100.

101. Dou X., He P., Zhu P., Zhou W. Soil organic carbon dynamics under long-term fertilization in a black soil of China: Evidence from stable C isotopes. 2016. *Sci. Rep.* 6. 21488.
102. Shao X., Yang W., Wu M. Seasonal Dynamics of Soil Labile Organic Carbon and Enzyme Activities in Relation to Vegetation Types in Hangzhou Bay Tidal Flat Wetland. *PLOS ONE*. 2015. 10(11) : e0142677. doi:10.1371/journal.pone.0142677.
103. Feng Y., Ning T., Li Z., Han B., Han H., Li Y., Sun T., Zhang X. Effects of tillage practices and rate of nitrogen fertilization on crop yield and soil carbon and nitrogen. *Plant Soil Environ.* 2014. V. 60 (3). P. 100–104.
104. Kravchenko Y., Yarosh A., Chen Y. Profile Soil Carbon and Nitrogen Dynamics in Typical Chernozem under Long-Term Tillage Use. *Land*. 2022. № 11. 1165.
105. Bamberg A. Cornelis W., Timm L. Temporal changes of soil physical and hydraulic properties in strawberry fields. *Soil Use and Management*. 2011. V. 27. P. 385–394.
106. Josa R. Ginovart M., Solé A. Effects of two tillage techniques on soil macroporosity in subhumid environment. *Agrophysics*. 2010. V. 24. P. 139–147.
107. Grandy A., Robertson G. Aggregation and Organic Matter Protection Following Tillage of a Previously Uncultivated Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2006. V. 70. P. 1398–1406.
108. Unger P. W., Parker J. J. Residue placement effects on decomposition, evaporation, and soil moisture distribution. *Agron. J.* 1968. V. 60. P. 469–472.
109. Balota E. Colozzi-Filho A., Andrade D. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. *Biol. Fertil Soil*. 2003. V. 38. P. 15–20.
110. Sprague M. A. Overview. In: M.A. Sprague and G.B. Triplett [ed.]. No-tillage and surface-tillage agriculture. Wiley, New York, 1986. P. 1–18.
111. Griffith D. R., Mannering J. V., Box J. E. Soil and moisture management with reduced tillage. In M.A. Sprague and G.B. Triplett [ed.]. No-tillage and surface-tillage agriculture. Wiley, New York, 1986. P. 19–55.

112. Robbins G. R., Voss R.D. Phosphorus and potassium stratification in conservation tillage systems. *J. Soil & Water Cons.* 1991. V. 46. P. 298–300.

113. Mestelan S. A., Smeck N. E., Durkalski J. T., Dick W.A. Changes in soil profile properties as affected by 44 years of continuous no-tillage. *Proc. 17th ISTRO Conf., 28 August – 3 September*. Kiel, Germany, 2006. P. 1135–1140.

114. Six J., Elliott E., Paustian K. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1998. V. 62. P. 1367–1377.

115. Haynes R. J., Swift R. S. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *J. Soil. Sci.* 1990. V. 41. P. 73–83.

116. Pelgrin F., Moreno F., Martin-Aranda J., Camps M. The influence of tillage methods on soil physical properties and water balance for a typical crop rotation in SW Spain. *Soil and Tillage Res.* 1990. V. 16. P. 345–358.

117. Yu T. Y., Zhang X. Y. Effects of different soil tillage systems on soil water in the black farmland. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*. 2007. V. 29. P. 121–124.

118. Six J., Paustian K., Elliott E., Combrink C. Soil structure and organic matter: Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2000. V. 64. P. 681–689.

119. Chan K. Y., Heenan D. P., So H. B. Sequestration of carbon and changes in soil quality under conservation tillage on light textured soils in Australia: a review. *Aust. J. Exp. Agric.* 2003. № 43. P. 325–334.

120. Gilley J., Doran J. Tillage effects on soil erosion potential and soil quality of a former Conservation Reserve Program site. *Soil and Water Conservation*. 1997. V. 52. P. 184–188.

121. Медведєв В. В., Линдина Т. Е., Лактионова Т. Н. Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты). Харків: 13 типографія, 2004. 244 с.

122. Балаєв А. Д., Борисенко Ю. А. Вплив різних систем обробітку ґрунту на водно-фізичні властивості темно-сірого опідзоленого ґрунту та врожайність

пшениці ярої в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. № 21. С. 17–20.

123.Вожегова Р. А., Малярчук М. П., Біляєва І. М., Марковська О. Є. Агрофізичні властивості темно-каштанового ґрунту за різних систем основного обробітку та удобрення на зрошуваних землях. *Агроекологія, радіологія, меліорація*. 2017. С. 64–70.

124.Центилю Л. В., Шило С. Л. Агрофізичні показники чорнозему типового в агроценозі пшениці озимої (*Triticum vulgare*) в Правобережному Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 4. С. 76–83.

125.Рудь А. В., Мошенко І. О., Бурдега В. Ю., Іліяшик В. В., Михайлова Л. М. Дослідження переущільнення ґрунту та засоби механізації для його розущільнення. *Збірник наукових праць. Технічні науки*. 2014. № 22. С. 376–384.

126.Batey T. Soil compaction and soil management – a review. *Soil Use and Management*. 2009. № 25. P. 335–345.

127.Медведев В., Словинська-Юркевич А., Брик М. Физическая деградация почв, её диагностика, ареалы распространения и способы предотвращения. *Грунтознавство*. 2012. Т. 13. № 1–2. С. 5–22.

128.Постанова Кабінету Міністрів України № 164 від 11.02.2010. Про затвердження нормативів оптимального співвідношення культур у сівозмінах в різних природно-сільськогосподарських регіонах. *Урядовий кур'єр, офіційне видання від 10.03.2010*. № 44. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/164-2010-ц> (дата звернення: 13.08.2023).

129.Nazeer S. Malik A. Effect of Tillage Systems and Farm Manure on Various Properties of Soil and Nutrient's Concentration. *Russian Agricultural Sciences*. 2011. № 37. P. 232–238.

130.Прес-служба Мінагрополітики. Підсумки роботи аграрної галузі в 2018 році (інфографіка). 20.12.2018 16:16, 2018. URL : <http://minagro.gov.ua/uk/node/26663> (дата звернення: 07.01.2023).

131. Sutton W., Whitford P., Stephens E., Galinato S., Nevel B. Integrating Environment into Agriculture and Forestry Progress and Prospects in Eastern Europe and Central Asia. *Volume II, Country Review*. World Bank, Washington, DC, 2007. 20 pp.

132. Зось-Кіор М. В. Теоретичні аспекти удосконалення земельних відносин у сучасних умовах господарювання. *Економіка АПК*. 2013. № 3. С. 88–93.

133. Зубец М. Ерозія ґрунтів – угроза їх плодородию. *Ґрунтознавство*. 2008. Т. 9, №. 1–2. С. 5–8.

134. Яцук І. П., Брошак І. С., Венглінський М. О., Годинчук Н. В. Наукові дослідження з моніторингу та обстеження сільськогосподарських угідь України за результатами X туру (2011–2015 рр.). За ред. Яцука І. П. К. : ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», 2018. 66 с.

135. Балаєв А. Д., Тонха О. Л. Збереження і відновлення родючості чорноземів України у сучасному землеробстві. *Охорона ґрунтів*. 2014. № 1. С. 9–12.

136. Булигін С. Ю. Формування екологічно сталих агроландшафтів. Х.: ХДАУ, 2001. 113 с.

137. Волощук М. Ерозійна деградація чорноземів південно-західної частини України і республіки Молдова. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2016. № 4 (42). С. 41–51.

138. Волощук М. Деградаційні процеси та їхній вплив на екологічний стан земельних ресурсів України. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2013. № 44. С. 55–61.

139. Балюк С., Медведєв В., Воротинцева Л., Шимель В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 8. С. 5–11.

140. Вахняк В. С., Кожевнікова В. Л. Деградаційні процеси у чорноземах Хмельницької області. *Збірник наукових праць Охорона ґрунтів*. 2014. № 1. С. 205–208.

- 141.Балюк С. А. Ґрунтові ресурси України: стан і заходи їх поліпшення. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 6. С. 6–7.
- 142.Балюк С. А., Медведєв В. В., Тараріко О. Г. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України. К.: ТОВ «ВИК-ПРИНТ», 2010. 111 с.
- 143.Держаналітінформ. Сільське господарство України за 2016 рік. *Статистичний збірник*. Державна служба статистики України. Київ, 2017. 246 с.
- 144.Інформація до парламентських слухань 13.09.2005 року «Сучасний стан та перспективи розвитку земельних відносин в Україні». К.: Кабінет Міністрів України, 2005. С. 18–19.
- 145.Anisimova L., Grytsan N., Kharytonov M. Land Distribution and Assessment in the Ukrainian Steppe Within the Dnepropetrovsk Region. *Regional Aspects of Climate-Terrestrial-Hydrologic Interactions in Non-boreal Eastern Europe*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Springer, Dordrecht, 2009. P. 201–210.
- 146.Держгеонадри: Екзогенні геологічні процеси. Офіційний сайт державної служби геології та надр України, 2018. URL : <http://www.geo.gov.ua/ekzogenni-geologichni-procesi> (дата звернення: 07.01.2023).
- 147.Wang J., Liu H., Meng K. Integrated study on agroecosystem structure and function as well as high productive approach in Songhuajiang–Nenjiang Plain of Northeast China. *Studies on Agroecosystems in Songhuajiang–Nenjiang Plain*. Harbin, Harbin Engineering University Press, 1996. P. 1–38.
- 148.Lal R. Sustainable intensification of China's agroecosystems by conservation agriculture. *International Soil and Water Conservation Research*. 2018. № 6 (1). P. 1– 12.
- 149.FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). FAOSTAT, Database. Rome, Italy. 2016. URL : <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL> (дата звернення: 07.01.2023).

- 150.Xie J. The harmfulness of soil and water erosion and its controlling approaches in black soil region of Heilongjiang province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*. 1991. № 11 (5). P. 61–64.
- 151.Qiu S., Zhang B., Wang Z. Status, features and management practices of land desertification in the west of Jilin Province. *Scientia Geographica Sinica*. 2003. № 23. P. 188–192.
- 152.Hao F., Chang Y., Ning D. Assessment of China's economic loss resulting from the degradation of agricultural land in the end of 20th century. *Journal of Environmental Sciences*. 2004. № 16 (2). P. 199-203.
- 153.Chen J., Sun B., Chen D., Wu X. Land Use Changes and Their Effects on the Value of Ecosystem Services in the Small Sanjiang Plain in China. *Scientific World Journal*. 2014. P. 1–7.
- 154.He W. Soils in Heilongjiang Province. Beijing, Agriculture Press, 1992. 845 p.
- 155.Zhao W., Xiao H., Liu Z. & Li J. Soil degradation and restoration as affected by land use change in the semiarid Bashang area, northern China. *Catena*. 2005. № 59. P. 173–186.
- 156.Huang J., Rozelle S. Environment Stress and Grain Yields in China. *American Journal of Agriculture Economics*. 1995. № 77. P. 54–62.
- 157.Liu X. B., Zhang X. Y., Wang Y. X. Soil degradation: a problem threatening the sustainable development of agriculture in Northeast China. *Plant Soil Environment*. 2010. № 56 (2). P. 87–97.
- 158.Yan B., Yang X., Liu S. Present status of soil erosion and evolution tendency of black soil region of Northeast. *Soil and Water Conservation in China*. 2008. № 12. P. 26–30.
- 159.Zhang X., Sui Y., Zhang X., Meng K., Herbert S. Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China. *Pedosphere*. 2007. № 17. P. 19– 29.
- 160.Zhen L. The national census for soil erosion and dynamic analysis in China. *International Soil and Water Conservation Research*. 2013. № 2 (1). P. 12–18.

161. Xu X., Xu Y., Chen S., Xu S., Zhang H. Soil loss and conservation in the black soil region of Northeast China: a retrospective study. *Environmental science & policy*. 2010. № 13. P. 793–800.

162. Chen G. Modes and benefits of integrated engineering management of pilot areas in black earth region in the Northeast China. *Soil and Water Conservation in China*. 2007. № 12. P. 2–3.

163. Berry L. Land Degradation in China: Its Extent and Impact. Commissioned by Global Mechanism with Support from the World Bank, 2003. 27 p.

164. Wang T., Xue X., Luo Y., Zhou X. Human causes of aeolian desertification in Northern China. *Science Cold Arid Regions*. 2008. № 1. P. 1–13.

165. Wang Tao. Aeolian desertification and its control in Northern China. *International Soil and Water Conservation Research*. 2014. № 4 (2). P. 34–41.

166. Zhu Z. The status and trend of desertification in Northern China. *Journal of Desert Research*. 1985. № 5 (8). P. 3–11.

167. Бойко П. І., Мартинюк І. В., Цимбал Я. С. Становлення сівозмінних принципів у системах землеробства. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 5. С. 5–13.

168. Cui M., Cai Q., Fan H., Cui M. Research progress on the soil erosion in black soil region of Northeast China. *Research of Soil and Water Conservation*. 2007. № 14 (5). P. 29–34.

169. УП (Урядовий портал). Уряд вдосконалив механізм збереження та відтворення родючості ґрунтів [Електронний ресурс]. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Опубліковано 22 листопада 2017 року о 13:01, 2017. URL : <https://www.kmu.gov.ua/ua/news/250443252> (дата звернення: 08.01.2023).

170. Reicosky D., Allmaras R. Advances in Tillage Research in North American Cropping Systems. *Crop Production*. 2003. V. 8. № 1–2. С. 75–125.

171. Примак І. Д., Панченко О. Б., Войтовик М. В., Карпенко В. Г. Вплив систем основного обробітку і удобрення культур коротко ротаційної сівозміни на агрохімічні властивості ґрунту. *Агробіологія*. 2019. №1. С. 20–30.

172.Войтюк Д., Вергунов В. А., Мудрук О. С., Шквира З. А. Історія розвитку теорії і конструкції плуга (XIX - початок XX ст.). Київ : НАУ, 2006. 136 с.

173.Вильямс В. Р. Почвоведение. Земледелие с основами почвоведения. М.: Сельхозгиз, 1939. 447 с.

174.Надикто В. Т., Аюбов А. М. Аргументи на захист плуга. *Farmer*. 2018. № 9 (105). С. 64–66.

175.Василенко В. В. Коржов С.И., Василенко С.И., Хахулин А.Н. Способы повышения качества отвальной вспашки. *Вестник ВГАУ: Теоретический и научно-практический журнал*. Воронеж: Воронежский гос. аграр. Ун-т. 2014. № 3 (42). С. 118–122.

176.Примак І. Д., Войтовик М. В., Горновська С. В., Покотило І. А., Федорук Ю. В. Ефективність різних систем обробітку ґрунту, удобрення в короткоротаційній сівоzmіні та вплив на фітосанітарний стан агроценозів. 2023. *Агроекологічний журнал*. №. 2. С. 150–163.

177.Ткаліч Ю. І., Шевченко О. М., Матюха В. Л. Забур'яненість та врожайність соняшнику при різних способах обробітку ґрунту і внесенні гербіцидів. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2013. № 4. С. 29–33.

178.Курдюкова О. М. Засміченість посівів сівоzmіни в залежності від обробітку ґрунту. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2011. № 1. С. 51– 54.

179.Дегтярьов В. В. Гумус чорноземів Лівобережного Лісостепу і Степу України: монографія. Харків: Майдан, 2011. 360 с.

180.Prager K., Schuler J., Helming K., Zander P., Ratering T., Hagedorn K. Soil Degradation, Farming Practices, Institutions and Policy Responses: an Analytical Framework. *Land Degradation & Development*. 2010. № 22. P. 32–46.

181.Демиденко О. В., Тонха О. Л., Величко В. А. Біогенність чорнозему типового за різного обробітку ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 1. С. 20– 24.

182. Давиденко Г. А. Порівняльна оцінка технологій прямого висіву і стрип-тіллу при вирощуванні кукурудзи на зерно в умовах СТОВ "Дружба-Нова" Варвинського району Чернігівської області. *Вісник Сумського національного аграрного університету : наук.-метод. журнал*. Суми. Серія, Агрономія і біологія. 2017. № 9 (34). С. 32–38.

183. Коваленко О. Д., Каражбей С. П., Мережко О. П. Вплив способів обробітку на протиерозійну стійкість ґрунту. *Збірник наукових праць Інституту землеробства УААН (випуск 1 - 2)*. Київ: Фітосоціоцентр, 2001. С. 17–20.

184. Нетробчук І. М., Боярин М. В. Вплив ерозійних процесів та фільтраційних властивостей ґрунтів на формування якості води басейну річки Західний Буг. *Науковий вісник Волинського державного університету ім. Лесі Українки*. Луцьк: ВДУ Нау. 2006. С. 23–28.

185. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Нікітіна О. В. Ефективність тривалого застосування органічної системи удобрення в польовій сівозміні. *Органічне виробництво і продовольча безпека : зб. матеріалів доп. учасн. IV Міжнар. наук.-практ. конф. Житомир, 2016. С. 38–43.*

186. Балюк С. А., Медведєв В. В., Захарова М. А. Стан ґрунтів України та шляхи підвищення їх родючості в умовах оптимізації земельних ресурсів України. *Землеробство*. 2013. Вип. 85. С. 14–24.

187. Зубець М. В., Балюк С. А., Медведєв В. В., Греков В. О. Сучасний стан ґрунтового покриву України і невідкладні заходи з його охорони. *Агрохімія і ґрунтознавство. Спец. випуск до VIII з'їзду УТГА*. Кн. перша. Харків, 2010. С. 7–17.

188. Технологія відтворення родючості ґрунтів у сучасних умовах. За ред. С. М. Рижуга і В. В. Медведєва. Харків, 2003. 214 с.

189. Кравченко Ю. С. Відтворення родючості чорноземів України за ґрунтозахисного землеробства. *Збірник наукових праць «Агробіологія»*. 2020. № 1. С. 67–79.

190. Носко Б. С., Христенко А. О., Лісовий М. В. Довідник працівника агрохімслужби. За ред. Б. С. Носка. К.: Урожай, 1991. 264 с.

191. Ходаківська О. В., Корчинська С. Г. Ефективність застосування мінеральних і органічних добрив у сільському господарстві. *Економіка АПК*. 2016. № 4. С. 21–27.

192. Камінський В. Ф. Сівозміна як основа сталого землекористування та продовольчої безпеки України. *Збірник наукових праць Національного наукового центру "Інститут землеробства НААН"*. 2015. Вип. 2. С. 3–14.

193. Бойко П. І., Мартинюк І. В., Цимбал Я. С. Становлення сівозмінних принципів у системах землеробства. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 3 (816). С. 5–13.

194. FAO (Food and Agriculture Organization), 2013. Permanent crops by country. Official site. [Cited 2013 Jan. 10]. URL : http://www.nationmaster.com/graph/agr_per_cro-agriculture-permanent-crops (дата звернення: 08.01.2023).

195. Патица В. П., Захарова О. М. Ріпак і його фітосанітарні властивості. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 7. С. 22–26.

196. Карпенко О. Ю., Рожко В. М. Вплив попередників на фітотоксичність ґрунту в посівах кукурудзи на зерно. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2015. № 4. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2015_4_15 (дата звернення: 15.07.2020).

197. Глущенко Л. Д., Кохан А. В., Гангур В. В., Олєпір Р. В. Продуктивність жита озимого за беззмінного вирощування. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 2. С. 61–67.

198. Полякова І. О., Топчій М. А. Вплив беззмінного вирощування соняшнику на показники родючості ґрунту. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2013. Вип. 19. С. 96–101.

199.Циліорик О. І. Вплив способів основного обробітку ґрунту чистого пару на агрофізичні властивості та агрофізичні властивості та водний режим ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2009. № 71. С. 31–36.

200.Барановський В. Д. Оптимізація структури посівних площ сівозмін із цукровими буряками в умовах нестійкого зволоження на чорноземі типовому : автореф. дис. на здобуття канд. с.-г. наук: 06.01.01. Національний аграрний ун- т., Київ, 2002. 19 с.

201.Демиденко О. В. Рециркуляційне відновлення фізико-хімічних і агрофізичних властивостей у процесі ґрунтоутворення чорнозему типового Лівобережного Лісостепу. *Збірник наукових праць Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН»*. 2013. № 1–2. С. 26–37.

202.FAO (Food and Agriculture Organization). Manual on integrated soil management and conservation practices. *FAO Land and Water Bulletin*. 2000. № 8. URL : <https://www.fao.org/3/x4799e/x4799e.pdf> (дата звернення: 20.10.2021).

203.Грановська Л. М., Резніченко Н. Д., Рой С. С. Забур'яненість посівів сої (*Glycine max*) за різних систем основного обробітку ґрунту та сидерації. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 1. С. 127–135.

204.Дацько Л. В., Дацько М. О. Підбір сидератів для різних ґрунтово–кліматичних зон. *Зб. наукових праць ННЦ «Інститут землеробства УААН» (спецвипуск)*. К., 2009. С. 58–66.

205.Льотка Г. І., Ткачук О. П. Бобові багаторічні трави у кормовиробництві та агроекології: Монографія. Видавництво ТОВ «Друк» 2021. 256 с.

206.Дацько Л., Щербатенко О. Підбір сидератів у сівозмінах для різних ґрунтово-кліматичних зон України. *Екологія: Проблеми адаптивно-ландшафтного землеробства* : доповіді учасників II міжнародної науково-практичної конференції 20–22 червня 2006 року. Івано-Франківськ, 2006. С. 84.

207.Гудзь В. П., Міщенко Ю. Г., Прасол В. І., Муха Л. В. Вплив сидерату і способів основного обробітку ґрунту на об'ємну масу та водоспоживання посівів картоплі. *Наукові доповіді Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування*

України: електрон. журн. 2011. № 1 (23). URL : <https://nd.nubip.edu.ua/2011-1/11krbcsp.pdf> (дата звернення: 12.11.2019).

208.Трембіцька О. І. Біологічна активність ґрунту в залежності від систем добрив в короткоротаційній сівозміні. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2011. Т. 1. № 1. С. 441–449.

209.Kravchenko Y., Petrenko L., Zhang X. Ukrainian Chernozems: genesis, properties and amendment. *Proceedings of the International Symposium on Soil Quality and Management of World Mollisols*. Northeast Forestry University Press, Harbin, 2010. P. 3–24.

210.Lal R. A system approach to conservation agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2015. № 70 (4). P. 82–88.

211.Zhang F., Cui Z., Fan M., Zhang W., Chen X., Jiang R. Integrated soil-crop system management: reducing environmental risk while increasing crop productivity and improving nutrient use efficiency in China. *Journal of Environmental Quality*. 2011. № 40. P. 1051–1057.

212.Zhang S., Zhang X., Huffman T., Liu X., Yang J. Soil loss, crop growth, and economic margins under different management systems on a sloping field in the Black soil area of Northeast China. *Journal of Sustainable Agriculture*. 2011. № 35 (3). P. 293–311.

213.Zhang S. L. Processes of runoff/soil loss and efficacy evaluation as affected by water and soil conservation in Chinese Mollisols. PhD Dissertation, Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, China. 2010. 165 p.

214.Yang X., Zhang X., Deng W., Fang H. Black soil degradation by rainfall erosion in Jilin China. *Land Degradation & Development*. 2003. № 14. P. 409–420.

215.Knörzer H., Graeff-Hönninger S., Guo B., Wang P., Claupein W. The rediscovery of intercropping in China: a traditional cropping system for future Chinese agriculture – a review. *Climate change, intercropping, pest control and beneficial microorganisms*. Springer, Netherlands, 2009. P. 13–44.

- 216.Li Y. A discussion on terrace construction in hilly area of Heilongjiang Province. *Mountain Research*. 1983. № 1 (4). P. 86–91.
- 217.Xu B., Li F., Shan L. Switchgrass and milkvetch intercropping under 2:1 row-replacement in semiarid region, northwest China: Aboveground biomass and water use efficiency. *European Journal Agronomy*. 2008. № 28. P. 485–492.
- 218.Wen D., Tang Y., Zheng X., He Y. Sustainable and productive agricultural development in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 1992. № 39. P. 55–70.
- 219.Xin Q., Zang H., Xu H., Hu Y. Relay strip intercropping of oat with maize, sunflower and mung bean in semi-arid regions of Northeast China: Yield advantages and economic benefits. *Field Crops Research*. 2018. № 223. P. 33–40.
- 220.Feike T., Doluschitz R., Chen Q., Graeff-Hönninger S., Claupein W. How to overcome the slow death of intercropping in the North China Plain. *Sustainability*. 2012. № 4. P. 2550–2565.
- 221.Liu W., He X. Current Situation and Countermeasure of Modern Agriculture Development in Northeast China. *Open Access Library Journal*. 2018. № 5 (e4922). P. 1–12.
- 222.Yin X., Olesen J. E., Wang M., Öztürk I., Chen F. Climate effects on crop yields in the Northeast Farming Region of China during 1961–2010. *Journal of Agricultural Science*. 2016. № 154. P. 1190–1208.
- 223.Yin W., Yu A., Chai Q., Hu F., Feng F., Gan Y. Wheat and maize relay-planting with straw covering increases water use efficiency up to 46%. *Agronomy for Sustainable Development*. 2015. № 35. P. 815–825.
- 224.Liu X., Han X., Herbert S., Xing B. Dynamics of soil organic carbon under different agricultural management system in the black soil of China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2003. № 34. P. 973–984.
- 225.Fang H., Yang X., Zhang X., Liang A. Using ^{137}Cs tracer technique to evaluate soil erosion and deposition of a black soil in northeast China. *Journal of Applied Ecology*. 2005. № 16. P. 464–468.

226.Liu Z., Liu J., Yu Z., Yu Z. Show all 11 authors Long-term continuous cropping of soybean is comparable to crop rotation in mediating microbial abundance, diversity and community composition. *Soil and Tillage Research*. 2020. V. 197. 104503.

227.Cui Z., Chen X., Jiang R., Zhang F. Integrated nutrient management for improving crop yields and nutrient utilization efficiencies in China. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2008. № 63. P. 126–128.

228.Chen X., Cui Z., Li F., Li J. Optimizing soil nitrogen supply in the root zone to improve maize management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2010. № 74. P. 1367–1373.

229.FAO. Fertilizers by Nutrient. *FAOSTAT*, 2010. URL : <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> (дата звернення: 12.11.2019).

230.Zhang W., Gao L., Ma J., Ma W., Xu X., Zhang F. Evaluation on the reform effectiveness of fertilizer industry policy in China. *Phosphate & Compound Fertilizer*. 2007. № 22 (1). P. 5–9.

231.Ma L., Velthof G., Wang F., Qin W., Zhang W., Liu Z., Zhang Y. Nitrogen and phosphorus use efficiencies and losses in the food chain in China at regional scales in 1980 and 2005. *Science Total Environmental*. 2012. № 434. P. 51–61.

232.Huang P., Li Y., Malcolm E. Sumner. Properties and Processes : Handbook of Soil Sciences, 2nd ed. CRC Press, 2011. 1442 p.

233.Hseung Y. General aspects of the soils in China : Soil Research Report N 1. Nanjing: Institute of Soil Science, 1980. 10 p.

234. Shishkov T. Bulgarian soil classification issues of correlation and harmonization with the international soil classification systems. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019. Vol. 25. № 4. 795–803.

235.Eswaran H., Ahrens R., J. Rice T., Stewart B. A. Soil Classification: A Global Desk Reference. CRC Press, 2002. 280 p.

236.Soil Survey Staff. Illustrated guide to soil taxonomy: version 1.1. Lincoln, Nebraska : USDA-NRCS, 2015. 552 p.

237.Duran A. An overview of South American Mollisols: soil formation, classification, suitability and environmental challenges. New advances in research and

management of world Mollisols. Northeast Forestry University Press, Harbin, 2010. С. 31–45.

238. Krasilnikov P., Ibanez J., Richard A., Shoba S. Handbook of Soil Terminology, Correlation and Classification, 1st ed. Earthscan, 2009. 448 p.

239. Балаєв А. Д., Наумовська О. І., Надточій П. П. Продуктивність зерно-бурякової сівозміни Лісостепу при застосуванні ґрунто-захисних. *Вісн. аграр. науки*. 2005. № 10. С. 2–24.

240. Наумовська О. В. Зміни показників фізико-хімічних та біологічних властивостей чорнозему типового Правобережного Лісостепу в умовах застосування ґрунтозахисних технологій : автореф. дис. на здобуття канд. с.-г. наук: 06.01.03. Національний аграрний ун-т. К., 2003. 20 с.

241. Наумовська О. І., Бережняк Є. М. Біохімічні показники родючості чорнозему типового при різних технологіях вирощування цукрових буряків. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2000. № 32. С. 353–357.

242. Агроэкологическая оценка земель Украины и размещение сельскохозяйственных культур. За ред. В. В. Медведева. К.: Аграрная наука, 1997. 162 с.

243. Гришина Л. А., Орлов Д. С. Система показателей гумусного состояния почв. *Проблемы почвоведения*. М.: Наука, 1978. С. 42–47.

244. Качинский Н. А. Физика почвы. В. 2 ч., ч 1. М. : Высш. шк., 1965. 358 с.

245. Liu S., Yang J., Zhang X., Drury C., Reynolds W. Modelling crop yield, soil water content and soil temperature for a soybean–maize rotation under conventional and conservation tillage systems in Northeast China. *Agricultural Water Management*. 2013. № 123. P. 32–44.

246. Chen Y., Liu S., Li H., Li X. Effects of conservation tillage on corn and soybean yield in the humid continental climate region of Northeast China. *Soil & Tillage Research*. 2011. № 115–116. P. 56–61.

247.ДСТУ ISO 10381–1:2004. «Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо складання програм відбирання проб», ISO 10381–1:2002, IDT. Чинний від 2006-04-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2006. 62 с.

248.ДСТУ ISO 10381–2:2004. «Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб», ISO 10381–2:2002, IDT. Чинний від 2006-04-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2006. 24 с.

249.ДСТУ ISO 10381–3:2004. «Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 3. Настанови з безпеки», ISO 10381-3:2001, IDT. Чинний від 2006-04-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2006. 46 с.

250.ДСТУ ISO 10381–4:2005. «Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 4. Настанови щодо процедури дослідження природних, майже природних та оброблюваних ділянок», ISO 103814:2003, IDT. Чинний від 2006-04-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2006. 46 с.

251.ДСТУ 7030:2009. «Рослинництво. Правила відбирання проб ґрунту та рослинних зразків на хмелеплантаціях». Чинний від 2011-01-07. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2009. 9 с.

252.ДСТУ 4744:2007. Якість ґрунту. Визначання структурно-агрегатного складу ситовим методом у модифікації Н. І. Саввінова. Чинний від 2008-01-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2007. 15 с.

253.ДСТУ ISO 10381-6-2001. Якість ґрунту. Відбір проб. Частина 6. Настанови щодо відбору, оброблення та зберігання ґрунту для дослідження аеробних мікробіологічних процесів у лабораторії (ISO 10381-6:1993, IDT). Чинний від 2002-07-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2002. 10 с.

254.ДСТУ ISO 18512:2014. Якість ґрунту. Настанови щодо довго- та короткострокового зберігання зразків ґрунту (ISO 18512:2007, IDT). Чинний від 2015-07-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 24 с.

255.Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур. Вип. 1. Загальна частина / за ред.: В. В. Волкодава; Держ. коміс. України по випробуванню та охороні сортів рослин. К.: Алефа, 2000. 100 с.

256.ДСТУ ISO 11465:2001. Якість ґрунту. Якість ґрунту визначання сухої речовини та вологості за масою. гравіметричний метод (ISO 11465:1993, IDT). Чинний від 2003-01-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2002. 7 с.

257.ДСТУ ISO 11272:2001. Якість ґрунту. Визначання щільності складення на суху масу (ISO 11272:1998, IDT). Чинний від 2003-07-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2003. 15 с.

258.ДСТУ 4745:2007. Якість ґрунту. Визначання щільності твердої фази пікнометричним методом. Чинний від 2008-01-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2008. 8 с.

259.ДСТУ 7456:2013. Якість ґрунту. Польові методи визначення водопроникності ґрунту. Чинний від 2014-09-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2014. 11 с.

260.ДСТУ 7403:2013. Якість ґрунту. Методи визначення змиву ґрунту в результаті водної ерозії. Чинний від 2014-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. III, 5 с.

261.Лі Х., Сінґі Д., Кравченко Ю. Водно-ерозійні процеси на лесовидних вододілах Північно-східного Китаю. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України, серія «Агрономія»*. 2011. № 162 (2). С. 131–137.

262.ДСТУ 7535:2014. Якість ґрунту. Морфолого-генетичний профіль. Правила та порядок описування. Чинний від 2015-04-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 14 с.

263.ДСТУ 7828:2015. Якість ґрунту. Визначення групового та фракційного складу гумусу за методом Тюріна у модифікації Пономарьової та Плотникової. Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2012. 11 с.

264.ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення рН (ISO 10390:2005, IDT). Чинний від 2009-10-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 4 с.

265.ДСТУ 4730:2007. Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського. Чинний від 2008-01-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2005. 18 с.

266.ДСТУ 7861:2015. Якість ґрунту. Визначення обмінних кальцію, магнію, натрію і калію в ґрунті за Шолленбергером у модифікації ННЦ ІГА імені О. Н. Соколовського. Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 12 с.

267.ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. Чинний від 2005-07-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2005. 14 с.

268.Dhaliwal G. Gupta N., Kukal S., and Kaur M. Standardization of Automated Vario EL III CHNS Analyzer for Total Carbon and Nitrogen Determination in Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2011. № 42. P. 971–979.

269.Matejovic I. 1996. The application of Dumas method for determination of carbon, nitrogen, and sulphur in plant samples. *Rostlinna Vyroba*. № 42. P. 313–316.

270.CE Instruments. Instruction manual, EA1110 CHNSO Elemental Analyzer. P/N 317.082.10, Rev. W06 0596mv. CE Instruments (Thermo Fisher Scientific), Strada Rivoltana, 20090 Rodano, Milan, Italy, 1996. 26 p.

271.Vance E. D., Brookes P. C., Jenkinson D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*. 1987. Vol. 19. P. 703–707.

272.Voroney R., Winter J., Beyaert R. Soil microbial biomass C and N. In: Carter MR (ed): Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science, Lewis, Chelsea. 1993. P. 277–286.

273.Wu J., Joergensen R., Pommerening B., Chaussod R. Brookes Measurement of soil microbial biomass C – an automated procedure. *Soil Biology Biochemistry*. 1990. № 22. P. 1167–1169.

274.Brookes P., Landman A., Pruden G., Jenkinson D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology Biochemistry*. 1985. № 17. P. 837– 842.

275. Jenkinson D.S. The determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. In: Wilson J. R. (ed.): *Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystems*, CAB International, Wallingford. 1988. P. 368–386.

276. Mueller T., Jensen L., Nielsen N., Magid J. Turnover of carbon and nitrogen in a sandy loam soil following incorporation of chopped maize plants, barley straw and blue grass in the field *Soil Biology Biochemistry*. 1998. № 30. P. 561–571.

277. Cambardella C., Elliott E. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society American Journal*. 1992. № 56. P. 777–783.

278. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

279. Sun T., Chen Q., Chen Y., Cruse R., Li X., Kravchenko Y. A novel soil wetting technique for measuring wet stable aggregates. *Soil and Tillage Research*. 2014. № 141. P. 19–24.

280. Dickson E., Rasiah V., Groenevelt P. Comparison of four prewetting techniques in wet aggregate stability determination. *Can. J. Soil Sci.* 1991. № 71. P. 67–72.

281. Van Bavel. Mean-weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1949. № 14. P. 20–23.

282. Kemper W. D., Rosenau R. C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. ASA-SSSA, Madison, WI, 1986. P. 425–440.

283. Mazurak A. P. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. *Soil Science*. 1950. № 69. P. 135–148.

284. Kemper W. D., Chepil W. S. Size distribution of aggregates. In: Black, C.A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling*. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI. 1965. P. 499–510.

285. Tyler S. W. Wheatcraft S. W. Fractal scaling of soil particle-size distributions: analysis and limitations. *Soil Sci Soc Am J.* 1992. № 56. P. 362–369.

286. Yang P., Luo Y., Shi Y. Use the weight-size distribution to characterize the soil fractal features. *Chinese Science Bulletin.* 1993. № 38. P. 1896–1899.

287. ДСТУ 4114:2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна. Чинний від 2003-01-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2002. 11 с.

288. ДСТУ 4729:2007. Якість ґрунту. Визначання нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н.Соколовського. Чинний від 2008-01-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2008. 15 с.

289. ДСТУ 7863:2015. Якість ґрунту. Визначення легкогідролізного азоту методом Корнфілда. Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 6 с.

290. ДСТУ 4290:2004. Якість ґрунту. Методи визначання валового фосфору і валового калію в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н.Соколовського. Чинний від 2005-07-01 Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2005. 13 с.

291. ДСТУ ISO 11277:2005. Якість ґрунту. Визначення гранулометричного складу мінерального матеріалу ґрунту. Метод просіювання та седиментації. Чинний від 2006-07-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2006. 34 с.

292. ДСТУ ISO 16072:2005. Якість ґрунту. Лабораторні методи визначення мікробного дихання ґрунту (ISO 16072:2002, IDT). Чинний від 2006-07-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2006. 27 с.

293. МВВ 31-497058-004-2001. Ґрунти. Визначення вмісту та якісного складу високодисперсних глинистих мінералів в ґрунтах рентген-дифрактометричним методом за М.І.Горбуновим в модифікації ННЦ ІГА. 2001. С. 16–28.

294. ДСТУ Б А.1.1-8-94. Метод рентгеноструктурного аналізу матеріалів. Апаратурне оформлення. Терміни та визначення. Чинний від 1994-10-01. Вид. офіц. Київ : Держкоммістобудування України, 1994. 28 с.

295.Архів погоди у Фастові [Електронний ресурс]. ТОВ «Розклад Погоди», 2004–2020, 2020. URL : https://rp5.ua/Архів_погоди_у_Фастові (дата звернення: 24.02.2020).

296.Архів погоди у Хейлунцзяні [Електронний ресурс]. ТОВ «Розклад Погоди», 2004–2020, 2020. URL : https://rp5.ua/Погода_в_Хейлунцзяні (дата звернення: 24.02.2020).

297.The State council of the people's republic of China. 2012. URL : <http://www.gov.cn/test/2005-06/15> (дата звернення: 05.06.2013).

298.McColl R. W. Understanding the Geographies of China: An Assemblage of Pieces. *Education about Asia*. 1999. V. 4 (2). P. 3–12.

299.Goldfarb R., Hart C., Davis G. and Groves D. East Asian Gold: Deciphering the Anomaly of Phanerozoic Gold in Precambrian Cratons. *Economic Geology*. 2007. V. 102(3). P. 341–345.

300.Мала гірнича енциклопедія : [в 3-х т.] / за ред. В. С. Білецького. Донецьк: Донбас, 2004. 640 с.

301.Yan B., Tang J. Study on black soil erosion rate and the transformation of soil quality influenced by erosion. *Geographical Research*. 2005. № 24 (4). P. 499– 506.

302.Tang K. Soil and Water Conservation in China. Science Press, Beijing, 2004. P. 4–9.

303.Общие знания по географии Китая. Под ред. Лю Цзепена. Пекин: Sinolingua Beijing, 2007. 236 с.

304.van Loon A. J. Lost loesses. *Earth-Science Reviews*. 2006. № 74. P. 309– 316.

305.Палієнко В. П., Матошко А. В, Барщевський М. Є., Спиця Р. О., Вахрушев Б. О. Сучасна динаміка рельєфу України. Ін-т географії НАН України. К. : Наук. думка, 2005. 268 с.

306.Засульська Т. М., Захарченко І. Г. Ґрунти Київської області. К. : Урожай, 1969. 60 с.

307.Liu Y. L., Yao S. H., Han X. Z., Zhang B., Banwart S. A. Soil Mineralogy Changes with Different Agricultural Practices During 8-Year Soil Development from the Parent Material of a Mollisol. *Advances in Agronomy*. 2017. V. 142. P. 143–179.

308. Пивоваров С. С. Відкриття рентгенівського випромінювання і його застосування для дослідження твердих тіл. *Наукові та методичні засади фізичної освіти*. 2014. № 1(6). С. 156–163.

309. Джеймс Р. Оптические принципы дифракции рентгеновских лучей: Пер. с англ. М.: Изд- во иностр. лит., 1950. 572 с.

310. Махровський В. М., Дінжос Р. В., Лисенков Е. А. Рентгеноструктурний аналіз. Іліон, 2019. 150 с.

311. Горбунов Н. М. Минералогия и коллоидная химия почв. М. : Наука, 1974. 231 с.

312. Гаєвська Ю. Про мінералогію глинистої фракції теригенних порід еоцену Скибової зони Українських Карпат. *Мінералогічний збірник*. 2009. № 59. Вип. 1. С. 105–115.

313. Apps J. A., Neil J. M., Jun C. H. Thermochemical properties of gibbsite, bayerite, boehmite, diaspore, and the aluminate ion between 0 and 350/degree/C. Technical Report, NUREG/CR-5271, LBL-21482, ON: TI89006046, United States, 1989. 350 p.

314. Лысенко М. П. Лёссовые породы. (Состав и инженерно-геологические особенности). Л., «Недра», 1978. 208 с.

315. Зуєвська Н. В. Інтенсифікація процесу просідання лесових ґрунтів з урахуванням гідротермального фактора. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2012. №: 1(30)–2(31). С. 469–474. с.

316. Папіш І. Чорноземи на лесових породах Західноукраїнського краю. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. 326 с.

317. NEH (National Engineering Handbook). Chapter 3. Engineering Classification of Earth Materials in : Part 631. USDA, Natural Resources Conservation Service, 2012. 35 p.

318.Dierickx W. Soil physics in : Soils and Soil Sciences (Part 1), Land use, land cover and soil sciences. Vol. VI. Oxford, UK, Eolss Publishers Co. Ltd., 2009. P. 126–153.

319.Gee G. and Bauder J. Particle-size analysis in : Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy. Monograph No. 9 (2ed). [A. Klute (ed.)]. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, 1986. P. 383–411.

320.Гамаюнова В. В., Дворецький В. Ф., Касаткіна Т. О., Глушко Т. В. Формування поживного режиму чорнозему південного під впливом мінеральних добрив за вирощування ярих зернових культур. *Наукові горизонти*. 2019. № 1. С. 18–24.

321.Шевченко О. М., Приходько В. І., Шевченко С. М., Швець Н. В. Технологічні прийоми підвищення ефективності регулювання поживного режиму при вирощуванні кукурудзи. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони*. 2011. № 1. С. 46–50.

322.Примак І. Д., Панченко О. Б., Войтовик М. В., Панченко І. А., Карпенко В. Г. Вплив систем основного обробітку і удобрення під культури короткоротаційної сівозміни на агрохімічні властивості ґрунту. *Агробіологія*. 2019. № 1. С. 20–30.

323.Гангур В. В., Лень О. І., Гангур М. В. Вплив різних систем обробітку на поживний режим ґрунту під пшеницею озимою та ячменем ярим в зоні Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2022. № 1. С. 38–44.

324.Malhi S., Legere A., Vanasse A. Parent Effects of long-term tillage, terminating no-till and cropping system on organic C and N, and available nutrients in a Gleysolic soil in Quebec. *Canada J. Agricult. Sci.* 2018. V. 156. P. 472–480.

325.Didenko N. O., Kolomiets S. S., Sardak A. S., Islam K. R., Reeder R. C. Tillage effects on soil functional properties: a review. *Land Reclamation and Water Management*. 2023. № 1. P. 85–93.

326. Halvorson A. D., Mosier A. R., Reule C. A., Bausch W. C. Nitrogen and tillage effects on irrigated continuous corn yields. *Agron. J.* 2006. № 98 (1). P. 63–71.

327. Archer D. W., Reicosky D. C. Economic performance of alternative tillage systems in the northern Corn Belt. *Agron. J.* 2009. Vol. 101 (2). P. 296–304.

328. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. Чинний від 2016-01-01. К.: «Держаспоживстандарт», 2015. 36 с.

329. Колос М. О. Дослідження азотного режиму та гумусового стану чорноземів звичайних залежно від технологій обробітку ґрунту. *Scientific Journal Science Rise.* 2017. № 12 (41). P. 26–29.

330. Cross A. F., Svchlesinger W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma.* 1995. № 64. P. 197–214.

331. Tate K. R., Salcedo I. Phosphorus control of soil organic matter accumulation and cycling. *Biogeochemistry.* 1988. № 5. P. 99–107.

332. Ohno T., Erich S. Inhibitory effects of crop residue-derived organic ligands on phosphate adsorption kinetics. *J. Environ. Qual.* 1997. № 26. P. 889–895.

333. Лопушняк В. І. Вплив різних систем удобрення на калійний режим темно-сірого опідзоленого ґрунту. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування.* 2013. Вип. 2 (62). С. 215–223.

334. Центило Л. В. Калійний режим чорнозему типового за різного удобрення та обробітку ґрунту. *Наукові доповіді НУБіП України.* 2019. № 3 (79). URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2019_2_19 (дата звернення: 02.09.2020).

335. Кучер Л. І. Обмінний калій та ступінь його рухомості за ґрунтозахисних технологій. *Наукові доповіді НУБіП.* 2012-3. № 32. URL : http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nd/2012_3/12kli.pdf (дата звернення: 10.01.2014).

336. Полупан Н. И. Почвы Украины и повышение их плодородия. Том 1. Экология, режимы и процессы, классификация и генетико-производственные аспекты. Под ред. Н. И. Полупана. К.: Урожай, 1988. 296 с.

337.de Mello Prado R. Introduction to Plant Nutrition. In: Mineral nutrition of tropical plants. Springer Cham, 2021. P. 1–38.

338.Шикула М. К., Тонха О. Л., Піковська О. В. Вміст гумусу та азоту в чорноземі звичайному під впливом мінімалізації обробітку. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія : Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія.* 2000. № 6. С. 21–25.

339.Ćirić V., Manojlović M., Nešić L., Belić M. Depth distribution of organic matter concentration and stocks in soils of Vojvodina. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke.* 2020. № 138. P. 19–29.

340.Mikhailova E. A., Bryant R. B., Vassenev I. I., Schwager S. J., Post C. J. Cultivation effects on soil carbon and nitrogen contents at depth in the Russian Chernozem. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 2000. № 64. P. 738–745.

341.Robert M. Soil Carbon Sequestration for Improved Land Management. *World Soil Resources Report 96.* Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001. 75 p.

342.Paustian K., Elliot E., Carter M. Tillage and crop management impacts on soil C storage: use of long-term experimental data. *Soil & Tillage Research.* 1998. № 47. P. 7–12.

343.European network of long-term sites for studies on soil organic matter / D. S. Powlson et al. *Soil & Tillage Research.* 1998. № 47. P. 263–274.

344.Dick W. A., Blevins R. L., Frye W. W., Peters S. E. Impacts of agricultural management practices on C sequestration in forest-derived soils of the eastern Corn Belt. *Soil & Tillage Research.* 1998. № 47. P. 235–244.

345.Logan T., Lal R., Dick W. Tillage systems and soil properties in North America. *Soil and Tillage Research.* 1991. № 20. P. 241–270.

346.Martino D. L., Shaykewich C. F. Root penetration profiles of wheat and barley as affected by soil penetration resistance in field conditions. *Can J Soil Sci.* 1994. № 74. P. 193–200.

347.Powlson D. S., Gregory P. J., Whalley W. R., Quinton J. N., Hopkins D. W., Whitmore A. P., Hirsch P. R., Goulding K. W. T. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy*. 2011. № 36. P. 72–87.

348.Ehlers W., Köpke U., Hesse F., Böhm W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil and Tillage Resource*. 1983. № 3. P. 261–275.

349.Franzluebbers K., Weaver R., Juo A., Franzluebbers A. Carbon and nitrogen mineralization from cowpea plant parts decomposing in moist and in repeatedly dried and wetted soil. *Soil Biol. Biochem*. 1994. № 26. P. 1379–1387.

350.Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*. 2004. № 123. P. 1–22.

351.Lamb J. A., Peterson G. A., Fenster C. R. Wheat fallow tillage systems' effect on a newly cultivated grassland soils' N budget. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1985. № 49. P. 352–356.

352.Studdert G. A., Echeverri'a H. E., Casanovas E. M. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1997. № 61. P. 1466–1472.

353.Zibilske L. M., Bradford J. M., Smart J. R. Conservation tillage induced changes in organic carbon, total nitrogen and available phosphorus in a semi-arid alkaline subtropical soil. *Soil & Tillage Research*. 2002. № 66. P. 153–163.

354.Rhoton F. E. Influence of time on soil responses to no-till practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2000. № 64. P. 700–709.

355.Mann L. K. Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Sci.* 1986. № 142. P. 279–288.

356.Ellis F. B., Barnes B. T. Growth and development of root systems of winter cereals grown after different tillage methods including direct drilling. *Plant and Soil*. 1980. № 55. P. 283–295.

357. Vars E. C., Chong S. K., Abolagi J. O., Farquhar A. J., Olsen F. J. Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn root growth and productions. *Cab Abstract Soil and Fertilizers*. 1998. № 61. P. 816–817.

358. Beare M. H., Pohland B. R., Wright D. H., Coleman D. C. Residue placement and fungicide effects on fungal communities in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1993. № 57. P. 392–399.

359. Menelik G. G., Reneau R. B., Martens D. C. Effects of Tillage and Nitrogen Fertilization on Nitrogen Losses from Soils Used for Corn Production. *VPI-VWRRC-BULL.* 1990. № 167. 97 p.

360. Господаренко Г. М. Основи інтегрованого застосування добрив. М.: ЗАТ НІЧЛАВА, 2002. 344 с.

361. Huang C. Y. Soil science. China Agriculture Press: Beijing, 2000. P. 197–198.

362. Van Leeuwen J. P., Lehtinen T., Lair G. J., Bloem J., Hemerik L., Ragnarsdóttir K. V. An ecosystem approach to assess soil quality in organically and conventionally managed farms in Iceland and Austria. *The Soil discussion*. 2015. № 1. P. 83–101.

363. Gundersen P., Emmett B. A., Kjnaas O. J. Impact of nitrogen deposition on nitrogen cycling in forests: a synthesis of NITREX data. *Forest Ecology and Management*. 1998. № 101. P. 37–55.

364. Ollinger S. V., Smith M. L., Martin M. E. Regional variation in foliar chemistry and N cycling among forests of diverse history and composition. *Ecology*. 2002. № 83. P. 339–355.

365. Johnson M., Levine E., Kern J. Soil organic matter: Distribution, genesis, and management to reduce greenhouse gas emissions. *Water, Air, and Soil Pollution*. 1995. Vol. 82. P. 593–615.

366. Geisseler D., Horwath W. R., Joergensen R. G., Ludwig B. Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms – A review. *Soil Biol. Biochem.* 2010. V. 42. P. 2058–2067.

367.Booth M. S., Stark J. M., Rastetter E. Controls on nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: a synthetic analysis of literature data. *Ecol. Monographs*. 2005. V. 75 (2). P. 139–157.

368.Chen J., Stark J. M. Plant species effects and carbon and nitrogen cycling in a sagebrush-crested wheatgrass soil. *Soil Biol. Biochem.* 2000. V. 32 (1). P. 47–57.

369.Zhang S., Yan L., Jing H., Mu L. Spatial Heterogeneity of Soil C:N Ratio in a Mollisol Watershed of Northeast China. *Land Degradation Development*. 2016. № 27. P. 295– 304.

370.Brady N. C., Weil R. R. Nature and properties of soils. Macmillan publishing company: New York, 2000. P. 392–393.

371. Лопушняк В. Динаміка вмісту рухомих форм сірки у темно-сірому опідзоленому ґрунті під впливом різних систем удобрення. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія*. 2013. № 17 (1). С. 154–157.

372.Голубченко В. Ф., Куліджанов Е. В. Вплив сірки на якість зерна пшениці озимої. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 3. С. 51–54.

373.Randall P. J., Spencer K., Freney J. R. Sulphur and nitrogen fertilizer effects on wheat. *Australian journal of Agric. Research*. 1981. V. 32. P. 203–212.

374.Недільська У. І. Вплив мікроелементів на життєдіяльність рослин. *Сучасний стан науки в сільському господарстві та природокористуванні: теорія і практика, випуск II Міжнародної наукової Інтернет-конференції, Кам'янець-Подільський, листопад 2020. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2020. С. 124–125.*

375.Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т. Значение серы в питании растений. *Питание растений*. 2014. № 3. С. 2–5.

376.Suran P., Balík J., Kulhánek M., Sedlář O., Černý J. Influence of Long-Term Organic Fertilization on Changes in the Content of Various Forms of Sulfur in the Soil under Maize Monoculture. *Agronomy*. 2023. № 13(4), 957.

377.Генгало О. М., Генгало Н. О., Білоцерківець Т. І. Агрохімічні аспекти застосування сірковмісних добрив на різних типах ґрунтів (аналітичний огляд).

Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Агронімія. 2014. Вип. 195(1). С. 41–48.

378. Лопушняк В. І. Баланс сірки за різних систем удобрення культур у зерно-просапній плодозмінній сівозміні західного Лісостепу України [Електронний ресурс]. *Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2014. № 2. С. 55–57.*

379. Schroth A. W., Bostick B. C., Graham M., Kaste J. M., Mitchell M. J., Friedland A. J. Sulfur species behavior in soil organic matter during decomposition. *J. Geophys. Res.* 2007. Vol 112. G04011.

380. West T. O., Six J. Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity. *Climatic Change.* 2007. V. 80. P. 25–41.

381. Лактіонов М. І., Дегтярьов В. В., Крохін С. В. Тривалість антропогенної дії та темпи дегуміфікації чорноземів. *Вісн. ХДАУ: Сер. “Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство”.* 1999. № 1. С. 18–21.

382. Harrison R. B., Paul W. F., Strahm B. D. Deep soil horizons: contribution and importance to soil carbon pools and in assessing whole-ecosystem response to management and global change. *Forest Science.* 2011. V. 57. P. 67–76.

383. Jobbágy E. G., Jackson R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological applications.* 2000. V. 10. P. 423–436.

384. Hiederer R. Distribution of organic carbon in soil profile data. EUR 23980 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2009. 126 p.

385. Семенов В. М., Тулина А. С. Сравнительная характеристика минерализуемого пула органического вещества в почвах природных и сельскохозяйственных экосистем. *Агрохимия.* 2011. № 12. С. 53–63.

386. McCallister D. L., Chien W. L. Organic carbon quantity and forms as influenced by tillage and cropping sequence. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 2000. Vol. 31. № 3–4. P. 465–479.

387. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование. Л. : Наука, 1980. С. 100–104.

388. Moraes G., Xavier F., Mendonca E. Chemical and structural characterization of soil humic substances under agroforestry and conventional systems. *Brazilian Journal of Soil Science*. 2011. № 35. 1597–1608.

389. Gonzalez-Perez M., Martin L., Saab S, Knicker H. Characterization of humic acids from a Brazilian Oxisol under different tillage systems by EPR, ^{13}C NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy. *Geoderma*. 2004. № 118. P. 181–190.

390. Ohno T., He Z., Tazisong I., Senwo Z. Influence of Tillage, Cropping, and Nitrogen Source on the Chemical Characteristics of Humic Acid, Fulvic Acid, and Water-Soluble Soil Organic Matter Fractions of a Long-Term Cropping System Study. *Soil Science*. 2009. Vol. 174. P. 652–660.

391. Балаєв А. Д., Богданович Р. П., Олійник В. С. Сезонна динаміка органічних речовин чорнозему типового Лісостепу Правобережного залежно від рівня удобрення. *Вісн. аграр. науки : наук.-теорет. журн.* 2015. N 2. С. 16–19.

392. Balesdent J., Wagner G., Mariotti A. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by carbon -13 natural abundance. *Soil Sci. Am. J.* 1988. V. 52, № 1. P. 118–124.

393. Voroney R., Kay D., Deen B., Beyaert R. Dynamics and Turnover of Soil Organic Matter as Affected by Tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2007. №71. P. 1363–1370.

394. Kwiatkowska-Malina J. Qualitative and quantitative soil organic matter estimation for sustainable soil management. *Journal of Soils and Sediments*. 2018. № 18. P. 2801–2812.

395. Wander M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. *Soil organic matter in sustainable agriculture*. Eds. F. Magdoff, R. R. Weil. Boca Raton etc. CRC Press, 2004. P. 67–102.

396. Le Chatelier H. De l'action de la chaleur sur des argiles. *Bulletin de la Société Française de Minéralogie*. 1887. № 10. P. 204–210.

397. Mackenzie R. C., Mitchell B. D. Differential thermal analysis: a review. *Analyst*. 1962. Vol. 87 (1035). P. 420–434.
398. Schnitzer M., Hoffman I. Thermogravimetry of soil humic compounds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1965. Vol. 29 (8). P. 859–870.
399. Schnitzer M., Hoffman I. A thermogravimetric approach to the classification of organic soils. *Soil Science Society of America Proceedings*. 1966. № 30. P. 63–66.
400. Shurygina E. A., Larina N. K., Chubarov M. A., Kononova M. M. Differential thermal analysis (DTA) and thermogravimetry (TG) of soil humus substances. *Geoderma*. 1971. Vol. 6 (3). P. 169–177.
401. Gonet S. S., Cieslewicz J. Differential thermal analysis of sedimentary humic acids in the light of their origin. *Environment International*. 1998. Vol. 24 (5–6). P. 629–636.
402. Provenzano M. R., Senesi N. Thermal properties of standard and reference humic substances by differential scanning calorimetry. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 1999. Vol. 57 (2). P. 517–526.
403. Satoh T. Organo-mineral complex status in soils. II. Thermal nature of organomineral complex particles and their humic substances. *Soil Science and Plant Nutrition*. 1984. Vol. 30 (1). P. 95–104.
404. Leinweber P., Schulten H., Horte C. Differential thermal analysis, thermogravimetry and pyrolysis-field ionisation mass spectrometry of soil organic matter in particle-size fractions and bulk soil samples. *Thermochimica Acta*. 1992. № 194. P. 175–187.
405. Plante A. F., Fernandez J. M., Leifeld J. Application of thermal analysis techniques in soil science. *Geoderma*. 2009. № 153. P. 1–10.
406. Kristl M., Mursec M., Sustar V. Application of thermogravimetric analysis for the evaluation of organic and inorganic carbon contents in agricultural soils. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 123. № 3. P. 2139.

407.Schulte E. E., Hopkins B. G. Estimation of soil organic matter by weightloss-on-ignition. *Soil organic matter: analysis and interpretation, SSSA special publication no. 46*. Madison: Soil Science Society of America, Inc, 1996. P. 21–31.

408.Gaa'1 F., Szo'llosy I., Arnold M., Paulik F. Determination of the organic matter, metal carbonate and mobile water in soils. Simultaneous TG, DTG, DTA and EGA technique. *J. Thermal Anal.* 1994. № 42. P. 1007–1016.

409.Perkins A., Mitchell H. Differential Thermal Analysis of Organic. *Transactions of the Kansas Academy of Science (1903-)*. 1957. Vol. 60 (4). P. 437– 440.

410.Mackenzie R., Caillère S. The Thermal Characteristics of Soil Minerals and the Use of These Characteristics in the Qualitative and Quantitative Determination of Clay Minerals in Soils. In: *Soil Components*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1975. P. 529– 571.

411.Boguta P., Sokoowska Z., Skic K. Use of thermal analysis coupled with differential scanning calorimetry, quadrupole mass spectrometry and infrared spectroscopy (TG-DSC-QMS-FTIR) to monitor chemical properties and thermal stability of fulvic and humic acids. *PLoS ONE*. 2017. Vol. 12 (12). P. 1–18.

412.Kaiser K., Guggenberger G. Mineral surfaces and soil organic matter. *European Journal of Soil Science*. 2003. Vol. 54 (2). P. 219–236.

413.Escudey M., Diaz P., Galindo G., Chang A. Differential thermogravimetric analysis of oxalate in hydrogen peroxide-treated allophanic soils. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*. 1999. Vol. 30 (7/8). P. 937–946.

414.Manning D.A.C., Lopez-Capel E., Barker S. Seeing soil carbon: use of thermal analysis in the characterization of soil C reservoirs of differing stability. *Mineralogical Magazine*. 2005. Vol. 69 (4). P. 425–435.

415.McCarty G. W., Reeves J. B., Yost R., Doraiswamy P. C., Doumbia M. Evaluation of methods for measuring soil organic carbon in West African soils. *African Journal of Agricultural Research*. 2010. Vol. 5 (16). P. 2169–2177.

416.Boyle J. A. comparison of two methods for estimating the organic matter content of sediments. *Comment in Journal of Paleolimnology*. 2004. № 31. P. 125–127.

417.De la Rosa J., Knicker H., López-Capel E., Manning D., González-Perez J., González-Vila F. Direct detection of black carbon in soils by Py-GC/MS, carbon-13 NMR spectroscopy and thermogravimetric techniques. *Soil Science Society of America Journal*. 2008. Vol. 72 (1). P. 258–267.

418.Cihlaa Z., Kuceroak J. Regenerated humic acids obtained by the air oxidation of South Moravian lignite. *Part. 2. Thermoanalytical characterization of products. Petroleum & Coal*. 2010. № 52. P. 254–260.

419.Andrade R., Soares do Prado A. G., Alves de Faria E., Pertusatti J. Free humic acid and anchored onto silica gel surface: a thermodynamic approach. *Gl Sci Technol*. 2010. № 03. P. 13–21.

420.Zhang Y., Du J., Zhang F., Yu Y., Zhang J. Chemical characterization of humic substances isolated from mangrove swamp sediments. *The Qinglan area of Hainan Island, China. Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2011. № 93. P. 220–227.

421.Giovanella M., Parlanti E., Soriano-Sierra E., Soldi M., Sierra M. Elemental compositions, FT-IR spectra and thermal behavior of sedimentary fulvic and humic acids from aquatic and terrestrial environments. *Elemental Geochem J*. 2004. № 38. P. 255–264.

422.Dell'abate M., Benedetti A., Trinchera A., Dazzi C. Humic substance along the profile of two Typic Haploxerert. *Geoderma*. 2002. № 107. P. 281–296.

423.Strezov V., Moghtaderi B., Lucas J. Computational calorimetric investigation of the reactions during thermal conversion of wood biomass. *Biomass Bioenergy*. 2004. Vol. 27(5). P. 459–465.

424.Lopez-Capel Elisa, Sohi S., Gaunt J., Manning D. Use of thermogravimetry differential scanning calorimetry to characterize modelable soil organic matter fractions. *Soil Science Society of America Journal*. 2005. Vol. 69. P. 136–140.

- 425.Hsieh Y. P., Bugna G. C. Analysis of black carbon in sediments and soils using multi-element scanning thermal analysis (MESTA). *Org Geochem.* 2008. №. 39. P. 1562–1571.
- 426.Ferna'ndez J., Plante A., Leifeld J, Rasmussen G. Methodological considerations for using thermal analysis in the characterization of soil organic matter. *J Therm Anal Calorim.* 2011. № 104. P. 389–398.
- 427.Kaljuvee T., Keelman M., Trikkel A., Petkova V. TG-FTIR/MS analysis of thermal and kinetic characteristics of some coal samples. *J. Therm. Anal Calorim.* 2013. № 113. P. 1063–1071.
- 428.Leinweber P., Schulten H.-R. Differential thermal analysis, thermogravimetry and in-source pyrolysis-mass spectrometry studies on the formation of soil organic matter. *Thermochimica Acta.* 1992. № 200. P. 151–167.
- 429.Siewert C. Rapid screening of soil properties using Thermogravimetry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2004. № 68. P. 1656–1661.
- 430.Fernandez J. M., Hockaday W. C., Plaza C., Polo A., Hatcher P. G. Effects of long-term soil amendment with sewage sludges on soil humic acid thermal and molecular properties. *Chemosphere.* 2008. № 73. P. 1838–1844.
- 431.Szombathova A., Debska B., Lacko-Bartosova M., Zaujec A. Characteristics of humic acids isolated from soils under various farming systems. *Acta Sci Pol, Agricultura.* 2004. № 3. P. 37–45.
- 432.Soarbu C. E., Cioroianu T. M., Rotaru P. About the humic acids and thermal behaviour of some humic acids. *Physics AUC.* 2010. № 20. P. 120–126.
- 433.Schiedung M., Don A., Wordell-Dietrich P., Guggenberger G. Thermal oxidation does not fractionate soil organic carbon with differing biological stabilities. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2017. № 180. P. 18–26.
- 434.Lopez-Capel E. Abbott G. D., Thomas K. M., Manning D. A. C. Coupling of thermal analysiswith quadrupole mass spectrometry and isotope ratiomass spectrometry for simultaneous determination of evolved gases and their carbon isotopic composition. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* 2006. № 75 (2). P. 82–89.

435. Leifeld J., Fenner S., Muller M. Mobility of black carbon in drained peatland soils. *Biogeosciences*. 2007. № 4 (3). P. 425–432.
436. Franzluebbers A. J., Hons F. M., Zuberer D. A. Seasonal changes in soil microbial biomass and mineralizable C and N in wheat management systems. *Soil Biol Biochem*. 1994. № 26. P. 1469–1475.
437. Plante A. F., Pernes M., Chenu C. Changes in clay-associated organic matter quality in a C depletion sequence as measured by differential thermal analyses. *Geoderma* 2005. Vol. 129 (3–4). P. 186–199.
438. Langier-Kuz'niarowa A. Thermal analysis of organo-clay complexes. *Organo-clay complexes and interactions* / Yariv S. and Cross H. editors. New York: Marcel-Dekker, 2002. P. 273–344.
439. Babur E., Dindaroglu T. Seasonal Changes of Soil Organic Carbon and Microbial Biomass Carbon in Different Forest Ecosystems. *Environmental Factors Affecting Human Health Publisher*. Intech Open, 2020. P. 1–21.
440. Murphy D. V., Stockdale E. A., Poulton P. R., Willison T. W., Goulding K. W. T. Seasonal dynamics of carbon and nitrogen pools and fluxes under continuous arable and ley-arable rotations in a temperate environment *European Journal of Soil Science*. 2007. № 58 (6). P. 1410–1424.
441. Rumpel C., Kögel-Knabner I. Deep soil organic matter—a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant Soil*. 2011. № 338. P. 143–158.
442. Stanford G., Smith S. J. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1972. № 36. P. 465–472.
443. Campbell C. A., Jame Y. W., Winkleman G. E. Mineralization rate constants and their use for estimating nitrogen mineralization in some Canadian prairie soils. *Can. J. Soil Sci.* 1984. № 64. P. 333–343.
444. Don A., Scholten T., Schulze E. Conversion of cropland into grassland: implications for soil organic-carbon stocks in two soils with different texture. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2009. № 172. P. 53–62.

445.Schrumpf M., Kaiser K., Guggenberger G., Persson T., Kögel-Knabner I. Storage and stability of organic carbon in soils as related to depth, occlusion within aggregates, and attachment to minerals. *Biogeosciences*. 2013. № 10. P. 1675–1691.

446.Sa J., Cerri C., Dick W., Lal R., Filho S., Piccolo M., Feigl B. Organic Matter Dynamics and Carbon Sequestration Rates for a Tillage Chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2001. № 65. P. 1486–1499.

447.Bonde T., Schnurer J., Rosswall T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from longterm field experiments. *Soil Biol Biochem*. 1988. № 20. P. 447–452.

448.Salinas-Garcia J. R. Hons F. M., Matocha J. E., Zuberer D. A. Soil carbon and nitrogen dynamics as affected by long-term tillage and nitrogen fertilization. *Biol Fertil Soils*. 1997. № 25. P. 182– 188.

449.Piccolo A. Carbon Sequestration in Agricultural Soils : A Multidisciplinary Approach to Innovative Methods. Heidelberg, Germany: Springer, 2012. 307 p.

450.Piccolo F., Spaccini R., Trevisan M. Effective carbon sequestration in Italian agricultural soils by in situ polymerization of soil organic matter under biomimetic photocatalysis. *Land Degrad. Dev.* 2018. 29 (3). P. 485–494.

451.Nebbioso A., Piccolo A. Basis of a Humeomics Science: Chemical Fractionation and Molecular Characterization of Humic Biosuprastructures. *Biomacromolecules*. 2011. № 12. P. 1187–1199.

452.Nuzzo A., Spaccini R., Cozzolino V., Moschetti G. & Piccolo A. In situ polymerization of soil organic matter by oxidative biomimetic catalysis. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2017. V. 4 (12). P. 1–6.

453.You M. Burger M., Lu-Jun Li., Xiaozeng H. Changes in Soil Organic Carbon and Carbon Fractions Under Different Land Use and Management Practices after Development from Parent Material of Mollisols. *Soil Science*. 2014. V. 179. P. 205– 210.

454.Hua K., Wang D., Guo Z. Effects of long-term application of various organic amendments on soil particulate organic matter storage and chemical stabilisation of

vertisol soil. *Acta Agriculturae Scandinavica, section b. Soil & Plant Science*. 2018. V. 68 (6). P. 505–514.

455. Wang B., Gao L., Yu W., Wei X. Distribution of soil aggregates and organic carbon in deep soil under long-term conservation tillage with residual retention in dryland. *J Arid Land*. 2019. № 11 (2). P. 241–254.

456. Бойцова Л. В., Пухальский Я. В. Динамика содержания органического вещества, его лабильной и инертной частей в дерново-подзолистой супесчаной почве разной степени окультуренности. *Агрофизика*. 2013. № 2 (10). С. 14–22.

457. Когут Б.М. Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании. Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 03.00.27. Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. М., 1996. 48 с.

458. Shao X. Yang W., Wu M. Seasonal Dynamics of Soil Labile Organic Carbon and Enzyme Activities in Relation to Vegetation Types in Hangzhou Bay Tidal Flat Wetland. *PLOS ONE*. 2015. № 10 (11). Article : e0142677.

459. Agren G., Bosatta E., Magill A. Combining theory and experiment to understand effect of inorganic nitrogen on litter decomposition. *Oecologia*. 2001. № 128. P. 94–98.

460. Moran K., Six J., Horwath W., van Kessel C. Role of mineral-nitrogen in residue decomposition and stable soil organic matter formation. *Soil Science Society of America Journal*. 2005. № 69. P. 1730–1736.

461. Kaisi M., Guzman J. Effects of tillage and nitrogen rate on decomposition of transgenic Bt and near-isogenic non-Bt maize residue. *Soil & Tillage Research*. 2013. № 129. P. 32–39.

462. Квиткина А. К., Ларионова А. А., Дударева Д. М., Быховец С.С. Влияние соотношения C:N на разложение фитомассы кукурузы при изменении содержания эндогенного и экзогенного азота. *Теоретическая и прикладная экология*. 2017. № 2. С. 78–83.

463.Ivanov A., Kogut B., Semenov V., Waksman S. The Development of Theory on Humus and Soil Organic Matter: from Turin and Waksman to Present Days. *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*. 2017. Vol. 90. P. 3–38.

464.Rillig M. Rillig M., Ramsey P., Morris S., Paul E. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. *Plant and Soil*. 2003. Vol. 253. P. 293–299.

465.Цыбулько Н. Н. Углеродсеквестрирующая способность и минерализуемость органического вещества разных почв Беларуси. *Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология*. 2018. № 2. С. 110–117.

466.Jastrow J. D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral associated organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*. 1996. Vol. 28 (4–5). P. 665–676.

467.Dalal R. C. Soil microbial biomass – what do the numbers really mean? *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 1998. № 38. P. 649–665.

468.Jenkinson D. S., Ladd J. N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. *Biochemistry*. 1991. Vol. 5. P. 415–471.

469.Schmidt S. K., Costello E.K., Nemergut D. R., Cleveland C. C., Reed S.C. Biogeochemical consequences of rapid microbial turnover and seasonal succession in soil. *Ecology*. 2007. V. 88 (6). P. 1379– 1385.

470.Powlson D. S., Jenkinson D. S. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils. *J. Agric. Sci.* 1981. № 97. P. 713–721.

471.Holmes W., Zak D. Soil Microbial Biomass Dynamics and Net Nitrogen Mineralization in Northern Hardwood Ecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1994. Vol. 58. P. 238–243.

472.Devi N .B., Yadava P. S. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, North-east India. *Appl. Soil Ecol.* 2006. V. 31 (3). P. 220–227.

473. Edwards K. A., Jefferies R. L. Inter-annual and seasonal dynamics of soil microbial biomass and nutrients in wet and dry low-Arctic sedge meadows. *Soil Biol. Biochem.* 2013. V. (57). P. 83–90.

474. Zhang B., He H., Ding X., Zhang X., Zhang X., Yang X., Filley T. Soil microbial community dynamics over a maize (*Zea mays* L.) growing season under conventional- and no-tillage practices in a rainfed agroecosystem. *Soil & Tillage Research.* 2012. № 124. P. 153–160.

475. Lauber C., Ramirez K., Aanderud Z., Lennon J., Fierer N. Temporal variability in soil microbial communities across land-use types *ISME J.* 2013. Vol 7 (8). P. 1641–1650.

476. Sui Y. The Relationship among Organic Matter Content and Soil Microbial Biomass and Soil Enzyme Activities. *Chinese Journal of Soil Science.* 2009. Vol. 40 (5). P. 1036–1039.

477. Lou Y. Xu M., Wang W., Sun X., Zhao K. Return rate of straw residue affects soil organic C sequestration by chemical fertilization. *Soil & Till. Res.* 2011. № 113. P. 70–73.

478. McGill W. Cannon K. R., Robertson J. A., Cook F. D. Dynamics of Soil Microbial Biomass and Water-Soluble Organic C in Breton L. after 50 Years of Cropping to Two Rotations. *Canadian Journal of Soil Science.* 1986. Vol. 66 (1). P. 1–19.

479. Kravchenko Y. S., Zhang X., Song C., Hu W., Yarosh A. V., Voitsekhivska, O. V. Seasonal Dynamics of Organic Carbon and Nitrogen in Biomasses of Microorganisms in Arable Mollisols Affected by Different Tillage Systems. *Land.* 2022. № 11 (4). 486.

480. Fontaine S., Mariotti A., Abbadie L. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? *Soil Biol. Biochem.* 2003. V. 35 (6). P. 837–843.

481. Kuhnert R. Oberkofler I., Peintner U. Fungal growth and biomass development is boosted by plants in snow-covered soil. *Microbial Ecology.* 2012. V. 64 (1). P. 79–90.

482.Frey S. D., Frey S. D., Elliot E. T., Paustian K. Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Biology and Biochemistry*. 1999. № 31. P. 573–585.

483.Frey S. D. Six J., Elliott E. T. Reciprocal transfer of carbon and nitrogen by decomposer fungi at the soil–litter interface. *Soil Biology and Biochemistry*. 2003. № 35. P. 1001–1004.

484.Butenschoen O., Poll C., Langel R. Endogenic earthworms alter carbon translocation by fungi at the soil–litter interface. *Soil Biology and Biochemistry*. 2007. № 39. 2854–2864.

485.Jiang X. Wright Alan, Wang X., Liang F. Tillage-induced changes in fungal and bacterial biomass associated with soil aggregates: A long-term field study in a subtropical rice soil in China. *Applied Soil Ecology*. 2011. № 48. P. 168–173.

486.Cleveland C. C., Liptzin D. C:N:P stoichiometry in soils: is there a “Redfield ratio” for the microbial biomass? *Biogeochemistry*. 2007. № 85. P. 235–252.

487.Hernández-Hernández R. M., Lopez-Hernández D. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under conventional and no-tillage. *Soil Biology and Biochemistry*. 2002. № 34. P. 1563–1570.

488.Schadt C. W., Martin A. P., Lipson D. A., Schmidt S. K. Seasonal dynamics of previously unknown fungal lineages in tundra. *Science*. 2003. V. 301 (5638). P. 1359–1361.

489.Anderson T-H., Domsch K. H. Ratio of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem*. 1989. № 21. P. 471–479.

490.Sparling G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*. 1992. № 30. P. 195–207.

491.Wardle D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews*. 1992. № 67. P. 321–358.

492.Sparling G. P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. *Indicators of Soil Health* / C. Pankhurst, B. M. Doube, V. V. Gupta editors. Biological Wallingford: CAB International, 1997. P. 97–119.

493.Powlson D. S., Brookes P.C., Christensen B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 1987. № 19. P. 159–164.

494.Marinari S., Mancinelli R., Campiglia E., Grego S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. *Ecological Indicators.* 2006. № 6 (4). P. 701–711.

495.Заболотний О. І., Заболотна А. В. Мікробіологічна активність ґрунту при застосуванні гербіциду Мерлін. *Молодий вчений.* 2014. № 2 (05). С. 16–20.

496.Xiao C. Soil Organic Carbon Storage (sequestration) Principles and Management: Potential Role for Recycled Organic Materials in Agricultural Soils of Washington State. Waste 2 Resources Program, Washington Department of Ecology, 2015. 103 p.

497.Мекіч М., Буньо Л., Терек О. Біохімічні показники пулу органічного вуглецю в нафтозабрудненому ґрунті у процесі фіторемедіації. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна.* 2018. № 79. С. 95–105.

498.Сябрук О. Сезонна динаміка продукування CO₂ та обсяги втрат вуглецю ґрунту за різних способів обробітку, систем землеробства та удобрення. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Сер : Агрономія.* 2013. № 17 (1). С. 130–137.

499.Subke J. A. Ingima I., Cotrufo M. F. Trends and methodological impacts in soil CO₂ efflux partitioning: A metaanalytical review. *Glob Change Biol.* 2006. V. 12. P. 921–943.

500.Holzknrecht A., Berglund Ö., Land M., Dessureault-Rompré J., Elsgaard L., Lång K. Are greenhouse gas fluxes lower from ley or perennial fallow than from arable organic soils? A systematic review protocol. *Environmental Evidence.* 2023. № 12. Article number: 17.

501. Tate C. M., Striegl R. G. Methane consumption and carbon dioxide emission in tallgrass prairie: effects of biomass burning and conversion to agriculture. *Global Biogeochem. Cycles*. 1993. V. 7 (4). P. 735–748.

502. Hao W., Li B., Xia B., Xu M. Deep carbon dioxide flows substantially contributes to soil-atmosphere carbon flux from Robinia pseudoacacia forests. *Ecological Indicators*. 2022. Vol. 141. Article : 109062.

503. Халаїм О. О., Вишенська І. Г. Відповіді Ґрунтових потоків вуглекислого газу трав'яних угруповань південно-східного Криму на зміну кількості опадів. *Наукові записки. Біологія та екологія*. 2013. Том 142. С. 60–65.

504. Tamir G., Shenker M., Heller H., Bloom P., Bar-Tal P. Can soil carbonate dissolution lead to overestimation of soil respiration? *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2011. № 75. P. 1414–1422.

505. Hanson P. J., Edwards N. T., Garten C. T., Andrews J. A. Separating root and soil microbial to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry*. 2000. № 48. P. 115–146.

506. Park J., Zhang S., Han T., Hwang S. The Contribution Ratio of Autotrophic and Heterotrophic Metabolism During a Mixotrophic Culture of *Chlorella Sorokiniana*. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021. № 18. Article : 1353.

507. Miroshnychenko M. M., Siabruk O. P. Dynamics of CO₂ emission from chernozems under agricultural use. *Agricultural Science and Practice*. 2017. Vol. 4, No. 3. P. 43–49.

508. Culman S. W., Snapp S. S., Green J. M., Gentry L. E. Short- and long-term labile soil carbon and nitrogen dynamics reflect management and predict corn agronomic performance. *Agron. J.* 2013. № 105. P. 493–502.

509. Morrow J. G., Huggins D. R., Carpenter-Boggs L. A., Reganold J. P. Evaluating measures to assess soil health in long-term agroecosystem trials. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2016. № 80. P. 450–462.

510. Ryan M. G., Law B. E. Interpreting, measuring and modeling soil respiration. *Biogeochemistry*. 2005. № 73. P. 3–27.

511.Lu Y., Xu H. Main affecting factors of soil carbon mineralization in Lake Wetland. *Pol. J. Environ. Stud.* 2014. Vol. 23 (4). P. 1255–1262.

512.Schmidt M. W. I., Torn M. S., Abiven S., Dittmar T., Guggenberger G. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*. 2011. № 478. P. 49–56.

513.Lai R., Seddaiu G., Gennaro L., Roggero P. Effects of nitrogen fertilizer sources and temperature on soil CO₂ efflux in Italian ryegrass crop under Mediterranean conditions. *Italian Journal of Agronomy*. 2012. № 7. P. 196–201.

514.Schädel C., Beem-Miller J., Rad M., Carlos A. Sierra. Decomposability of soil organic matter over time: the Soil Incubation Database (SIDb, version 1.0) and guidance for incubation procedures *Earth Syst. Sci. Data*. 2020. № 12. P. 1511–1524.

515.Smith P. Land use change and soil organic carbon dynamics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2008. № 81. P. 169–178.

516.Hossain M. B., Puteh A. B. Emission of Carbon Dioxide Influenced by Different Water Levels from Soil Incubated Organic Residues. *The Scientific World Journal*. 2013. Vol. 2013. Article : 638582.

517.Sherrod L. A., Reeder J. D., Hunter W., Ahuja L. R. Rapid and cost-effective method for soil carbon mineralization in static laboratory incubations. *Commun. Soil Sci. Plan.* 2012. № 43. P. 958–972.

518.Paustian K., Six J., Elliott E. T., Hunt H. W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry*. 2000. № 48. 147–163.

519.Fernandes S. A. P., Bettiol W., Cerri C. C. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Appl. Soil Ecol.* 2005. № 30. P. 65–77.

520.Пастухов В. І., Зубко В. М. Дослідження зміни властивостей ґрунту і рослин у різні періоди виробничого процесу. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2020. № 1. С. 94–101.

521. Чорний С. Г., Оглобліна С. М., Коваленко А. М. Вітростійкості ґрунтів Степу України залежно від основного обробітку. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2010. Вип. 3. Том 1. С. 143–148.

522. Медведєв В. В. Фізическіє свойства и обработка почв в Украине. Харьков : Городская типография, 2013. 224 с.

523. Braunack M. V., Dexter A. R. Soil aggregation in the seed bed: A Review. I. Properties of aggregates and beds of aggregates. *Soil and Tillage Research*. 1989. № 14. P. 281–298.

524. Pelgrin F., Moreno F., Martin-Aranda J., Camps M. The influence of tillage methods on soil physical properties and water balance for a typical crop rotation in SW Spain. *Soil and Tillage Res.* 1990. V. 16. P. 345–358.

525. Franzluebber A. J., Arshed M. A. Soil microbial biomass and mineralizable C of water stable aggregates. *Soil Science Society America Journal*. 1997. № 61. P. 1090–1097.

526. Beare M. H., Cabrera M. L., Hendrix P. E., Coleman D. C. Aggregated protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*. 1994. № 58. P. 787–795.

527. Tisdall J. M., Oades J. M. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 1982. № 33. P. 141–163.

528. Grohmann F. Distribucao de tamanho de poros entres tipos de solos do Estado ae Sao Paulo. *Bragantia*. 1960. № 19. P. 319–328.

529. Hermawan B., Bomke A. Effects of winter cover crops and successive spring tillage on soil aggregation. *Soil Tillage Res.* 1997. № 44. P. 109–120.

530. Yoo G., Wander M. Tillage effects on aggregate turnover and sequestration of particulate and humified soil organic carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2008. № 72. P. 670–676.

531. Morell F., Alvaro-Fuentes J., Lampurlanes J., Cantero-Martinez C. Soil CO₂ fluxes following tillage and rainfall events in a semiarid Mediterranean agroecosystem:

effects of tillage systems and nitrogen fertilization. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2010. № 139. P. 167–173.

532. Долгов С. И. Агрофизические методы исследования почв. М.: Наука, 1966. 259 с.

533. Михайлов Б. Д. Влияния структурного состояния почвы и глубины междурядных обработок на величину испарения. Ташкент : Изд-во АН УЗССР, 1955. 68 с.

534. Saygin S. D., Cornelis W. M., Erpul G., Gabriels D. Comparison of different aggregate stability approaches for loamy sand soils. *Appl. Soil Ecol.* 2012. № 54. P. 1–6.

535. Кравченко Ю. С., Бережняк Є. М., Матвіїв Г. М. Агрофізичні властивості чорнозему типового та ізогумусолу за різних технологій їх обробітку. *Вісник аграрної науки. К.* : Аграрна наука. 2015. № 9 (751). С. 17–23.

536. Nichols K., Toro M. A whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation. *Soil & Tillage Research.* 2011. № 111. P. 99–104.

537. Lado M., Paz A., Ben-Hur M. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2004. № 68. P. 935–942.

538. Amezketa E. Soil Aggregate Stability: a Review. *Journal of Sustainable Agriculture.* 1999. Vol. 14 (2/3). P. 83–151.

539. Andruschkewitsch R., Koch H., Ludwig B. Effect of long-term tillage treatments on the temporal dynamics of water-stable aggregates and on macro-aggregate turnover at three German sites. *Geoderma.* 2014. № 217–218. P. 57–64.

540. Plante A. F., Feng Y., McGill W. B. A modeling approach to quantifying soil macroaggregate dynamics. *Can. J. Soil Sci.* 2002. 82. P. 181–190.

541. Six J., Jastrow J.D. Organic matter turnover. *Encyclopedia of Soil Science* / ed. R. Lal. Marcel Dekker, New York, 2002. P. 936–942.

542. Pirmoradian N., Sepaskhah A. R., Hajabbasi M. A. Application of fractal theory to quantify soil aggregates stability as influenced by tillage treatment. *Biosystems Engineering.* 2005. № 90. P. 227–234.

543. Schaller F. W., Stockinger K. A comparison of five methods for expressing aggregation data. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1953. № 17. P. 310–313.
544. Stirk G. B. Expression of soil aggregate distributions. *Soil Science.* 1958. № 86. P. 133–135.
545. Young I. Crawford J. The fractal structure of soil aggregates: Its measurement and interpretation. *European Journal of Soil Science.* 2006. Vol. 42(2). P. 187–192.
546. Vrdoljak A., Miletić K. Principles of fractal geometry and applications in architecture and civil engineering. *E-Zbornik elektronički zbornik radova Građevinskog fakulteta.* 2019. № 17. P. 40–52.
547. Anderson A. N. McBratney A. B. Soil aggregates as mass fractals. *Aust. J. Soil Res.* 1995. № 33. P. 757–772.
548. Perfect E., Blevins R. Fractal characterization of soil aggregation and fragmentation as influenced by tillage treatment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1997. № 61. P. 896–900.
549. Spaccini R., Piccolo A. Effects of field managements for soil organic matter stabilization on water-stable aggregate distribution and aggregate stability in three agricultural soils. *Journal of Geochemical Exploration.* 2013. № 129. P. 45–51.
550. Mbagwu J. S. C., Piccolo A. Changes in soil aggregate stability induced by amendment with humic substances. *Soil Technol.* 1989. № 2. P. 49–57.
551. Goldberg S., Suarez D., Glaubig R. Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid-zone soils. *Soil Science.* 1988. № 146. P. 317–325.
552. Nadler A., Perfect E., Kay B. Effect of polyacrylamide application on the stability of dry and wet aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1996. № 60. P. 555–561.
553. Heil D., Sposito G. Organic matter role in illitic soil colloids flocculation. III. Surface charge. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1993. № 57. P. 1246–1253.
554. Emerson. W. W. The slaking of soil crumb as influenced by clay mineral composition. *Aust. J. Soil Res.* 1964. № 2. P. 211–217.
555. Arora H. S., Coleman N. T. The influence of electrolyte concentration on flocculation of clay suspensions. *Soil Sci.* 1979. № 127(3). P. 134–139.

556. Goebel M. O., Bachmann J., Woche S. K., Fischer W. R. Soil wettability, aggregate stability and the decomposition of soil organic matter. *Geoderma*. 2005. № 128. P. 80–93.

557. Lavallee J., Soong J., Cotrufo F. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Global Change Biology*. 2020 № 26. P. 261–273.

558. Monreal C. M., Schulten H. R., Kodama H. Age, turnover and molecular diversity of soil organic matter in aggregates of a Gleysol. *Can. J. Soil Sci.* 1997. № 77. P. 379–388.

559. Frenkel H., Goertzen J. O., Rhoades J. D. Effects of clay type and content exchangeable sodium percentage and electrolyte concentration on clay dispersion arid soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1978. № 42. P. 32–39.

560. Jenkinson D. S., Rayner J. H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Sci.* 1977. № 123. P. 298–305.

561. Parton W. J., Schimel D. S., Cole C. V., Ojima D. S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1987. № 51. P. 1173–1179.

562. Strosser E. Methods for determination of labile soil organic matter: An overview. *J Agrobiol.* 2010. № 27 (2). P. 49–60.

563. Elliott E. T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* № 50. 1986. P. 627–633.

564. Jasinska E., Wetzell H., Baumgartl T., Horn R. Heterogeneity of Physico-Chemical Properties in Structured Soils and Its Consequences. *Pedosphere*. 2006. № 16 (3). P. 284–296.

565. Ashman M., Hallett P., Brookes P. Are the links between soil aggregate size class, soil organic matter and respiration rate artefacts of the fractionation procedure? *Soil Biology & Biochemistry*. 2003. № 35 (3). 435–444.

566.Gupta V. V., Germida J. J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregates size classes as affected by cultivation. *Soil Biology & Biochemistry*. 1988. № 20. P. 777–786.

567.Kasper M., Buchan G., Mentler A., Blum W. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. *Soil & Tillage Research*. 2009. № 105. P. 192–199.

568.Aziz I., Mahmoodb T., Islam K. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. *Soil & Tillage Research*. 2013. № 131. P. 28–35.

569.Pinheiro E. Pereira M., Anjos L. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. *Soil & Tillage Research*. 2004. № 77. P. 79–84.

570.Liang A., Mclaughlin N., Zhang X. Short-term effects of tillage practices on soil aggregate fractions in a Chinese Mollisol. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science*. 2011. № 61. P. 535–542.

571.Bachmann J., Guggenberger G., Baumgartl T., Ellerbrock R., Urbanek E. Physical carbon-sequestration mechanisms under special consideration of soil wettability. *J. Plant Nutr. Soil Sci*. 2008. № 171. P. 14–26.

572.Yoo G., Yang X., Wander M. Influence of soil aggregation on SOC sequestration: A preliminary model of SOC protection by aggregate dynamics. *Ecological Engineering*. 2011. № 37. P. 487–495.

573.Yamashita T., Flessa H., Johnb B., Helfrich M., Ludwig B. Organic matter in density fractions of water-stable aggregates in silty soils: Effect of land use. *Soil Biology & Biochemistry*. 2006. № 38. P. 3222–3234.

574.Csaba Centeri, Jakab G., Szabó S., Farsang A. Comparison of particle-size analyzing laboratory methods *Environmental Engineering and Management Journal*. 2015. № 14 (5). P. 1125–1135.

575.Qiu W., Hu W., Curtin D., Motoi L. Soil particle size range correction for improved calibration relationship between the laser-diffraction method and sieve-pipette method. *Pedosphere*. 2021. № 31(1). P. 134–144.

576. Makó A., Szabó B., Rajkai K., Szabó K. Evaluation of soil texture determination using soil fraction data resulting from laser diffraction method. *Int. Agrophys.* 2019. № 33. P. 445–454.

577. Ситников А. Б. Динамика воды в ненасыщенных и насыщенных грунтах зоны аэрации. Киев: Наук. думка, 1978. 156 с.

578. Светличный А. А., Черный С. Г., Швебе Г. И. Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты. Сумы: "Университетская книга", 2004. 410 с.

579. Allmaras R. R., Burwell R. E., Larson W. E., Holt R. F. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. USDA Conserv. Res. Rep. 7. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC, 1966. 22 p.

580. Lindstrom M. J., Onstad C. A. Influence of tillage system on soil physical parameters and infiltration after planting. *J. Soil Water Conserv.* 1984. № 39. P. 149–152.

581. Kooistra M. J., Bouma J., Boersma O. H., Jager A. Physical and morphological characterization of undisturbed and disturbed ploughpans in a sandy loam soil. *Soil Tillage Res.* 1984. № 4. P. 405–417.

582. Edwards W. M., Norton L. D., Redmond C. E. Redmond. Characterizing macropores that affect infiltration into non-tilled soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1988. № 52. P. 483–487.

583. Kay B. D., Vanden Bygaart A. J. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research.* 2002. № 66 (2). P. 107–118.

584. Celik I., Ersahin S. Evaluation of tillage influence on infiltration characteristics in a clay soil. *Journal of Food, Agriculture and Environment.* 2011. № 9 (1). P. 653–658.

585. Radcliffe D. E., Tollner E. W., Hargrove W. L., Clark R. L., Golabi M. H. Effect of tillage practices on infiltration and soil strength of a Typic Hapludult soil after ten years. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1988. № 52. P. 798–804.

586. Burch G. J., Mason I. B., Fisher R. A., Moore I. D. Tillage effects on soils: Physical and hydraulic responses to direct drilling at Lockhard, N.S.W. *Aust. J. Soil Res.* 1986. № 24. P. 377–391.

587. Unger P. Infiltration of Simulated Rainfall: Tillage System and Crop Residue Effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1992. № 56. P. 283–289.

588. Медведев В. В., Андерихин П. Г., Гаврилюк Ф. Я. Физико-химические свойства черноземов. Русский чернозем – 100 лет после Докучаева. М. : Наука, 1983. С. 199–214.

589. Moraru P., Rusu T. Effect of tillage systems on soil moisture, soil temperature, soil respiration and production of wheat, maize and soybean crops. *Journal of Food, Agriculture & Environment.* 2012. Vol.10. № 2. P. 445–448.

590. Pagliai M., Raglione M., Panini T., Maletta M., La Marca M. The structure of two alluvial soils in Italy after 10 years of conventional and minimum tillage. *Soil and Tillage Research.* 1995. № 34. P. 209–223.

591. Anderson S. H., Gantzer C. J., Brown J. R. Soil physical properties after 100 years of continuous cultivation. *J. Soil Water Conservation.* 1990. № 45. P. 117–121.

592. Sarauskis E., Romanekas K., Buragiene S. Impact of conventional and sustainable soil tillage and sowing technologies on physical-mechanical soil properties. *Environmental Res. Engineer. Management.* 2009. Vol. 49, № 3. P. 36–43.

593. NaNagara T., Phillips R. E., Leggett J. E. Diffusion and mass flow of nitrate nitrogen into corn roots grown under field conditions. *Agronomy J.* 1976. № 68. P. 67–72.

594. Allmaras R. R., Hallauer E. A., Nelson W. W., Evans S. D. Surface Energy Balance and Soil Thermal Property Modifications by Tillage-Induced Soil Structure. *Technical Bulletin.* № 306. 1977. 40 p.

595. Lehnert M. Factors Affecting Soil Temperature as Limits of Spatial Interpretation and Simulation of Soil Temperature. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis – Geographica.* 2014. Vol. 45, No. 1. P. 5–21.

596. Buchan G. D. Mullins C. E. Soil temperature regime. *Soil and Environmental Analysis: Physical Methods*. New York, 2001. P. 539–594.

597. Бублик М. О., Китаєв О. І., Фризьок Л. А., Чорна Г. А., Пелехатий В. М., Васюта В. М. Методи прогнозування врожайності сільськогосподарських рослин. *Садівництво*. 2019. № 74. С. 72–83.

598. Наказ Держкомстату 24.01.2008 р. № 18. Методичні рекомендації щодо проведення розрахунків витрат кормів худобі та птиці у господарствах усіх категорій. URL : https://ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2008/18/metod.htm (дата звернення: 23.04.2023).

599. Tian G. J., Zhang Z. G., Zhao X. L. The Soil Erosion Distribution Characteristics and Ecological Background of Chinese Cultivated Land. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2002. № 22 (2). P. 136–140.

600. MWR (the Ministry of Water Resource, the People's Republic of China). Techniques Standard for Comprehensive Control of Soil Erosion in the Black Soil Region. SL449-2009 [S]. China Water & Power Press, Beijing, 2009. № 5.

601. FAO, ITPS, GSBI, CBD and EC. State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020. Rome, FAO. 586 p.

602. Карта. Китай: общегеографическая карта / сост. и подгот. к изд. Омской картогр. ф-кой в 2008 г.; ст. ред. Т. П. Филатова; ред. Н. Н. Чугунова. 1 : 6 000 000, 60 км в 1 см. М.: Роскартография, 1996; Омск: Омская картогр. ф-ка, 2008.

603. Карта : детальна фізична карта України. 2020 а. 1 : 3 500 000, 35 км в 1 см. URL : http://www.raster-maps.com/images/maps/rastr/ukraine/atlas/ukraine_physical_map_full.jpg (дата звернення: 14.03.2020).

604. Карта : карта ґрунтів України. 2020 б. Головний сайт для агрономів, SuperAgronom.com. URL : <https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy#win9> (дата звернення: 14.03.2020).

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Довідки, акти впровадження науково-дослідної роботи, сертифікати



**National University of Life and
Environmental Sciences of Ukraine**

Department of International Relations

03041 Kyiv
15, Heroyiv Oborony St.
tel: : +38 044 527 8119
fax: +38 044 258 4234
E-mail: inter@nauu.kiev.ua
Website: www.nauu.kiev.ua



**Northeast Institute of Geography
and Agroecology, Chinese
Academy of Sciences**

Department of International Cooperation

150081 Harbin
138, Haping Road.
Tel: +86 451 8660 2926
Fax: +86 451 8660 3736
E-mail: zhangxy@neigae.ac.cn
Website: www.neigae.ac.cn

Agreement on Co-operation

Between

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

And

**Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of
Sciences – Harbin, China**

Being based on the long-term cooperation in the area of science, education, researches, innovations and practice, the aforesaid universities-partners initiate their bilateral activities in the following directions:

- exchange of undergraduate and post graduate students;
- exchange of teaching staff and researchers;
- exchange of educational and scientific materials;
- bilateral participation in conferences, workshops, seminars at universities-partners;
- participation in the common master programs;
- participation in common scientific innovation projects.

Taking into account:

1. Rectors' intention of both educational establishments to develop the long-term cooperation upon the relevant areas.
2. Benefits each other in promoting education and research, post-graduates and students training.

The agreement on co-operation includes the following conditions:

А 1. Фрагмент договору про співробітництво між НУБіП України і Північно–східним інститутом географії і агроєкології Китайської академії наук від 26.09.2010 р.

Article 1. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine and Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences – Harbin, China have an intention to realise a plan of scientific and cultural co-operation on the basis of bilateral obligations and rights.

Article 2. The present plan is aimed at providing a possibility for science pedagogical staff members, post-graduates and students (in particular for junior and senior students) of both educational institutions to participate in programmes of exchange and co-operation, namely in the fields of agronomy, agri-chemistry, agri-biology, soil science, horticulture, plant protection and agricultural economics etc.

Article 3. The given agreement also foresees the exchange of experience, a practical training, and advanced training of faculty members.

Article 4. Any special project on co-operation which will be made within the present agreement and will include some structural subdivisions of both educational establishments shall be a subject of separate agreement between the sides. This separate agreement shall specify project financing, personnel and obligations. It shall include as well a budget plan the ways of project financing, confirmed by authorised bodies, and each side must appoint a responsible person upon every separate project.

Article 5 Each side shall grant all privileges to professors, post-graduates and students which their own professors of the university-partner, post-graduates and students have.

Article 6. The guiding side takes on its duty transport costs, and the receiving side takes upon itself the costs on staying in the country.

Article 7. For exchange programmes relevant to education process where the diploma is required, participants are to meet all study requirements.

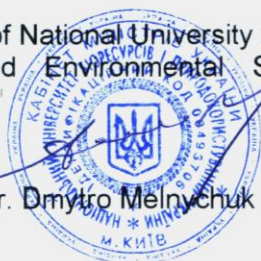
Article 8. In all projects of co-operation within present agreement each side shall support another one, if necessary, including questions of scholarships, financial assistance.

Article 9. This agreement comes into force from the moment of its confirmation by the Rectors of the educational institutions. The agreement is valid for five years.

Article 10. Present agreement may be changed, suspended or annulled after mutual consent. Each side is entitled to break the agreement at any moment with a 6-month-notification in written form on the condition that none of the separate agreement between the sides is in force.

Rector of National University of
Life and Environmental Sciences
Ukraine

Acad. Dr. Dmytro Melnychuk



Rector of Northeast Institute of Geography
and Agroecology, Chinese Academy of
Sciences – Harbin, China

Xiaobing Liu
Prof. Dr. Xiaobing LIU

September, 26, 2010

А 2. Фрагмент договору про співробітництво між НУБіП України і Північно–східним інститутом географії і агроєкології Китайської академії наук від 26.09.2010 р.

<p align="center">Договір про співробітництво та організацію взаємовідносин</p>	<p align="center">Agreement on Cooperation</p>
<p>Національний університет біоресурсів і природокористування України (в подальшому Сторона 1), в особі ректора, професора Ніколаска Станіслава Миколайовича, який діє на підставі Статуту, з однієї Сторони,</p> <p>та</p> <p>Північно-Східний інститут географії та агроєкології Китайської академії наук (в подальшому Сторона 2), в особі директора інституту, проф. Пінгуї Джана, з іншої Сторони, (надалі разом іменуються «Сторони», а окремо «Сторона»)</p> <p>з наміром розвинути довгострокове співробітництво у пріоритетних наукових напрямках, актуальних для обох Сторін, для розвитку системи освіти і досліджень професорсько-викладацьким складом, уклали цей Договір про співробітництво та організацію взаємовідносин про наступне:</p> <p>1. Базуючись на взаємному інтересі у сфері науки, освіти, досліджень, інновацій та практики, Сторони активізують свою двосторонню діяльність у таких напрямках:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Розробка та участь у спільних інноваційних проектах; - Обмін студентами, магістрами та аспірантами; - Обмін професорсько-викладацьким складом; - Обмін навчальними і науковими матеріалами; - Двостороння участь в конференціях, воркшопах, семінарах. <p>2. Метою цього Договору є сприяння зміцненню науково-технічного співробітництва в галузі наукових</p>	<p>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (hereinafter referred to as Side 1) represented by its Rector, Prof. Stanislav M. Nikolaienko</p> <p>And</p> <p>Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences (hereinafter referred to as Side 2), represented by its Director, Prof. Pingyu Zhang.</p> <p>This Agreement of co-operation is made with the intent to develop bilateral co-operation in scientific directions, which is actual for both Sides to develop educational and research system of teaching staff.</p> <p>Signed this Agreement about co-operation about the following:</p> <p>1. Being based on the mutual interests in the area of science, education, researches, innovations and practice, the aforesaid universities-partners activate their bilateral activity in the following directions:</p> <ul style="list-style-type: none"> - the development and participation in common innovation projects; - the exchange of students, masters and post-graduates; - the exchange of the teaching staff; - the exchange of educational and scientific materials; - bilateral participation in conferences, workshops, seminars at universities partners. <p>2. The aim of this agreement is to promote scientific and technical cooperation in the field of scientific research, post graduate education,</p>



А 3. Фрагмент договору про співробітництво між НУБіП України і Північно-східним інститутом географії і агроєкології Китайської академії наук від 16.07.2015 р.

<p>15. Договір складений у ___ примірниках двома мовами (англійською і українською), які мають однакову юридичну силу, по одному примірнику для кожної із Сторін.</p> <p>16. Цей Договір вважається укладеним і набирає чинності з моменту його підписання Сторонами і скріплення печатками та укладаються на 5 років.</p> <p>Національний університет біоресурсів і природокористування України</p> <p>Адреса: вул. Героїв Оборони, 15 м. Київ, 03041, Україна Тел. (+380) 44 527 81 19 E-mail: inter.nubip@gmail.com</p> <p>Ректор, проф. д.п.н. С. М. Ніколасенко</p>  <p>« _____ »</p> <p>Партнер Північно-східний інститут географії і агроекології Китайської академії наук</p> <p>Адреса: вул. Хапінг Родд 138, Харбін, 150081, Китай Tel. (+86) 451 86602966, 86602927. E-mail: zhangpingyu@iga.ac.cn</p> <p>Директор, проф. др. Пінгуї Джан</p> <p>« _____ »</p> <p><i>Zhang Pingyu</i></p> <p><i>2015-07-16</i></p>	<p>15. The agreement is signed in <u>Two</u> copies in two languages (English and Ukrainian) with the identical value and identical legal force, one copy for each of the parties.</p> <p>16. The term of this agreement shall take effect upon signature of all parties and shall remain in force for a period of five (5) years.</p> <p>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine</p> <p>Address: Heroyiv Oborony str., 15, Kyiv – 03041, Ukraine Tel. (+380) 044 527-81-19, 258-42-34. E-mail: inter.nubip@gmail.com</p> <p>Rector, Prof. Dr. Stanislav M. Nikolaienko</p>  <p>« _____ »</p> <p>Partner Northeast Institute of Geography and Agroecology Chinese Academy of Sciences</p> <p>Address: 138 Haping Road, Harbin, 150081, China Tel. (+86) 451 86602966, 86602927. E-mail: zhangpingyu@iga.ac.cn</p> <p>Director, Prof. Dr. Pingyu Zhang</p> <p>« _____ »</p> <p><i>Zhang Pingyu</i></p> <p><i>2015-07-16</i></p>
---	---



А 4. Фрагмент договору про співробітництво між НУБіП України і Північно–східним інститутом географії і агроекології Китайської академії наук від 16.07.2015 р.



中国科学院东北地理与农业生态研究所
Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences

Rector Stanislav M. Nikolaienko
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
03041 Kyiv, 15, Heroyiv Oborony St.
tel./fax: +38 044 531-36-52 /+38 044 257-71-55
E-mail: rectorat@nubip.edu.ua

Dear Prof. Stanislav M. Nikolaienko,

We are pleased to inform you, that Yuriy Kravchenko, associate professor of soil science and soil conservation department of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, has been provided his lab and field research as visiting professor at the Northeast Institute of Geography and Agroecology (CAS) during 2010-2015.

Yuriy Kravchenko's activity was going on the base of two Agreements on Co-operation between National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine and Northeast Institute of Geography and Agroecology (Chinese Academy of Sciences), which were concluded on 26.09.2010 and 16.07.2015. Yuriy Kravchenko was also participated in the projects: "The Development of Soil Erosion Prevention and Protection Technique Systems in the Black Farmlands of the Northeast of China", "Experimental Extension Project of the Protection of Water and Fertility in Eroded Black Farmland in Songnen Plain".

Yuriy Kravchenko's research was carried out in laboratories of IGA, on the fields of National Field Research Station of Agro-ecosystem in Hailun and National Station of Soil and Water Conservation Management in Guangrong. The top group leader from soil science was prof. Zhang Xingyi.

The research topics of Yuriy Kravchenko were focused on the conservation approaches on Izohumusols withing the following aspects:

- mollisols geography and natural conditions of their formation;
- different tillage and using effect on Izohumusol fertility, water and thermal regimes;
- nutrients dynamics and CO₂ emission depending on different usage of Izohumusols;
- seasonal profile changes of soil organic matter, microbial biomass, bulk density, soil moisture and infiltration in Izohumusols;
- strategies of aggregate stability in Izohumusols;
- soil erosion, crop yields and conservation effect in plainland and eroded landscapes.

Please feel free to contact us if you have any questions.

Sincerely yours:

Zhang Xingyi, Ph.D
Professor of Soil Science
Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS
Email: zhangxy@iga.ac.cn



Zhang Xingyi

地址: 哈尔滨市南岗区哈平路 138 号 邮编: 150081

电话: 0451-86602913 传真: 0451-86603736

Add: 138 Haping Road, 150081, Harbin, P.R. China

Tel: +86-451-86602913 Fax: +86-451-86603736

А 5. Лист-підтвердження про наукову діяльність Кравченка Ю.С. у Північно-східному інституті географії і агроєкології Китайської академії наук на період 2010–2015 років



中国科学院东北地理与农业生态研究所

Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences

Rector Stanislav M. Nikolaienko
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
03041 Kyiv, 15, Heroyiv Oborony St.
tel./fax: +38 044 531-36-52 /+38 044 257-71-55
E-mail: rectorat@nubip.edu.ua

Dear Prof. Stanislav M. Nikolaienko,

We are pleased to inform you, that Yuriy Kravchenko, associate professor of soil science and soil conservation department of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, was appointed as co-supervisor of Chen Qiang – Ph.D. student, course code: 071402, major in Ecology, course duration from 1.09.2013 to 1.01.2016, the Northeast Institute of Geography and Agroecology (CAS).

The title of the Chen Qiang thesis was: “Seasonal variation of soil properties under different tillage systems”. Chen Qiang has been fulfilled his field trials under Yuriy Kravchenko co-advising on the flat farmland (Hailun Agroecology Experimental Station (HAES) and 5% steepness sloping farmland (Hailun Monitoring and Research Station of Moilisols Erosion) in Guangrong village. Laboratory experiments were accomplished in the Key Laboratory of Mollisols Agroecology IGA (CAS). The general adviser of the Chen Qiang thesis as well as research was the Soil science group leader – prof. Zhang Xingyi.

Chen Qiang has been trained at Soil Science and Soil Conservation Department of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine from August 15 to September 12 of 2015. During a mutual cooperation there were published several joint papers with Chen Qiang and Yuriy Kravchenko: two manuscripts in China, two papers in Ukraine and one article in the Scopus / Web of Science Core Collection – Chen Q., Kravchenko Y., Li H., Chen S., Zhang X. Seasonal Variation of Physical and Chemical Properties in a Black Soil under No-Till and Conventional Tillage in Northeast China. *The Philippine Agricultural Scientist*. 2016. Vol. 99, № 3. P. 277–282.

Chen Qiang has successively graduated from Ph.D. study and defended his thesis in 2016.

Please feel free to contact us if you have any questions.

Sincerely yours:

Zhang Xingyi, Ph.D
Professor of Soil Science
Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS
Email: zhangxy@iga.ac.cn



地址: 哈尔滨市南岗区哈平路 138 号 邮编: 150081

电话: 0451-86602913 传真: 0451-86603736

Add: 138 Haping Road, 150081, Harbin, P.R. China

Tel: +86-451-86602913 Fax: +86-451-86603736

А 6. Лист-підтвердження про призначення Кравченка Ю.С. співкерівником аспіранта Північно-східного інституту географії і агроєкології Китайської академії наук – Чен Цзяна на період 2013–2016 років



А 7. Сертифікат про надання Кравченку Ю. С. вченого звання закордонного професора Північно-східного інституту географії та агроєкології Національної академії наук Китаю, м. Харбін, Китай



А 8. Рішення 4^{ої} ради Міжнародної асоціації обміну персоналом провінції Хейлуңцзян про призначення Кравченка Ю. С. її дійсним членом

INVOICE No: UK001EG05092019



SOIL RESEARCH CLUSTER LABORATORY
DEPARTMENT OF ECOSYSTEM SCIENCE & MANAGEMENT
116 AGRICULTURAL SCIENCES AND INDUSTRIES BUILDING
COLLEGE OF AGRICULTURAL SCIENCES, UNIVERSITY PARK, PA 16802
Phone: 814-865-7541; Fax 814-865-3725

INVOICED TO:DATE:

May 9, 2019

Ann Stone
 Office of International Programs
 College of Agricultural Sciences, Penn State University
 106E Ag Admin Building, University Park, PA 16802
 814-863-0249
ams39@psu.edu

Training and Instrument Use Fee for lab work by:

Yuriy Kravchenko
 Soil Science and Soil Conservation Department
 Deputy Director for International Activity at Agrobiolgy Faculty
 National University of Life and Environmental Sciences of
 Ukraine
<http://nubip.edu.ua/>
 tel: (+38 044) 5278631

FEES FOR INSTRUMENT USE

Analytical Technique	Charges
CHNS-O Elemental Analyzer	\$480.00
X-Ray Diffractometer (XRD)	\$384.78
XRD PANalytical	\$797.44
Simultaneous Differential Scanning Calorimetry/Thermo Gravimetric Analyzer (SDT)	\$944.47
Total charges	\$2,606.69

Charge Account:	Credit Account:
	04004-89 4REC SCL

The Department of Ecosystem Science and Management has received a copy of this invoice and will issue an IDDC. Questions please contact: Dr. Ephraim Govere (emg900@psu.edu 814-865-1143) or Deb Heaster (drh189@psu.edu 814 865-2050)

А 9. Інвойс університету штату Пенсильванія про перелік та вартість проведених Кравченком Ю. С. досліджень елементного складу ґрунтів, дифрактометрії, рентгеноструктурного аналізу, термогравіметричного аналізу і диференційної скануючої колориметрії

Погоджено	Затверджую
Проректор з наукової роботи та інноваційної діяльності Національного університету біоресурсів і природокористування України	Проректор з науково-педагогічної роботи та розвитку Національного університету біоресурсів і природокористування України
 _____ « 19 » _____ 2023 р. М.П.	 _____ « 19 » _____ 2023 р. М.П.
	
А К Т	
впровадження результатів докторської дисертаційної роботи у навчальний процес	
Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на тему:	
«Антропогенна трансформація і управління родючістю чорнозему типового України та ізогумусоллю Китаю»	
що представлена на здобуття наукового ступеня _____ Доктора наук _____	
виконаної _____ Кравченком Юрієм Станіславовичем _____	
впроваджено у навчальному процесі при викладанні дисципліни «Грунтознавство з основами геології» у темах лекційних і лабораторних занять із мінералогії та петрографії, загального ґрунтознавства і географії ґрунтів _____	
на кафедрі ґрунтознавства та охорони ґрунтів при підготовці фахівців ОС Бакалавр за спеціальністю 201 «Агрономія» у Національному університеті біоресурсів і природокористування України	
Директор НДІ	
 _____ « 18 » _____ 2023 р. Декан факультету	Д.В. Літвінов (ПІБ)
 _____ « 18 » _____ 2023 р. Завідувач кафедри	О.Л. Тонха (ПІБ)
 _____ « 18 » _____ 2023 р.	В.О. Забадуєв (ПІБ)

А 10. Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у навчальний процес НУБіП України при викладанні дисципліни «Грунтознавство з основами геології»

Погоджено

Затверджую

Проректор з наукової роботи та
інноваційної діяльності

Директор ТОВ «Лотівка Еліт»



В.М. Кондратюк

2023 р.



С.А. Філюк

2023 р.

А К Т

впровадження результатів докторської дисертаційної роботи у виробництво

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на тему:

«Антропогенна трансформація і управління родючістю чорнозему
типового України та ізогумусолу Китаю»що представлена на здобуття наукового ступеня Доктора науквиконаної Кравченком Юрієм Станіславовичемвпроваджені у ТОВ «Лотівка Еліт», с.Лотівка, Шепетівського району Хмельницької області

- Вид впроваджених робіт.* Використання на основних типах ґрунтів господарства ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур та елементів технології точного землеробства.
- Масштаби впровадження.* Розроблені технології були впроваджені на землях сільськогосподарського призначення.
- Новизна результатів науково-дослідної роботи.* Встановлено, що основні агрохімічні та фізико-хімічні показники найбільш поширених типів ґрунтів господарства мають істотний кореляційний зв'язок із просторовою неоднорідністю. За результатами дослідження розроблені нові підходи із комплексного ґрунтозахисного управління орними ґрунтами господарства та алгоритм впровадження точного землеробства із врахуванням неоднорідності ґрунтового вкриття.
- Економічний ефект.* Застосування розроблених даною роботою технологій дозволило зекономити паливно-мастильні витрати, координатно точно застосовувати засоби захисту рослин та добрива, підвищити врожайність сільськогосподарських культур, покращити ефективну (економічну) родючість ґрунтів господарства.

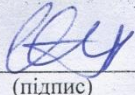
А 11а. Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у
ТОВ «Лотівка Еліт» Шепетівського району Хмельницької області

5. Соціальний і науково-технічний ефект. Розроблені технології зменшать енергетичне, фінансове і антропогенне навантаження на орні ґрунти господарства, суттєво зменшать витрати на моніторинг властивостей ґрунтів, зменшать обсяги викидів органічного карбону, покращать властивості і родючість ґрунтів.

Від Національного
університету біоресурсів і
природокористування України

Від підприємства

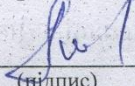
Начальник науково-дослідної частини


(підпис) В.В. Отченашко
«24» 04 (ПІБ) 2023 р.

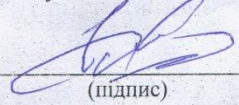


2023 р.

Директор НДІ


(підпис) Д.В. Літвінов
«2» 04 (ПІБ) 2023 р.

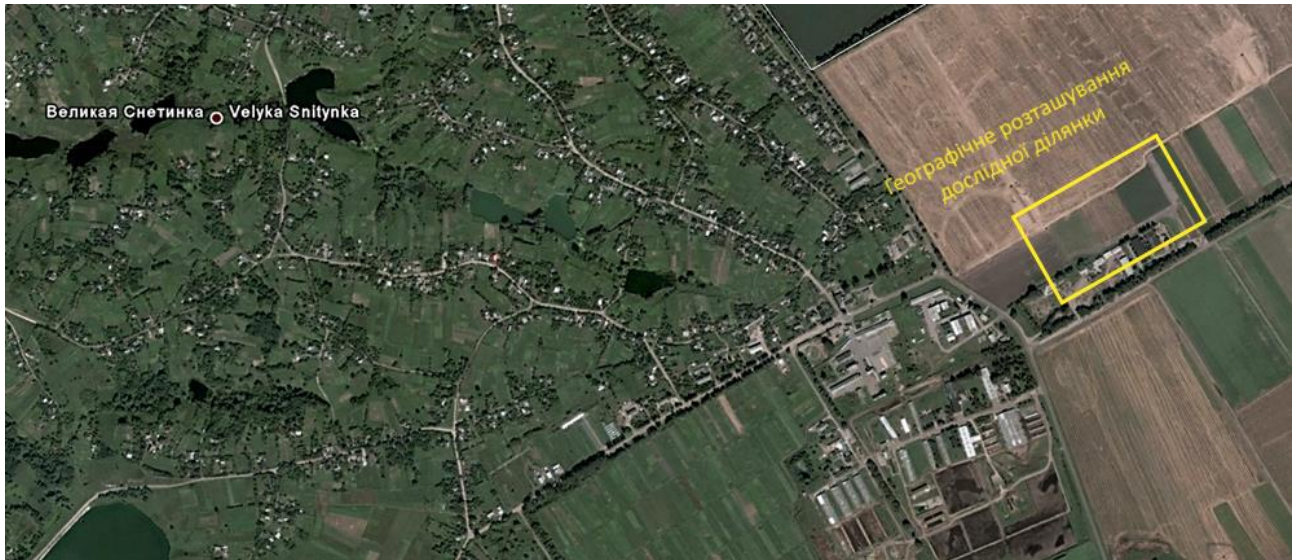
Здобувач


(підпис) Ю.С. Кравченко
«21» 04 (ПІБ) 2023 р.

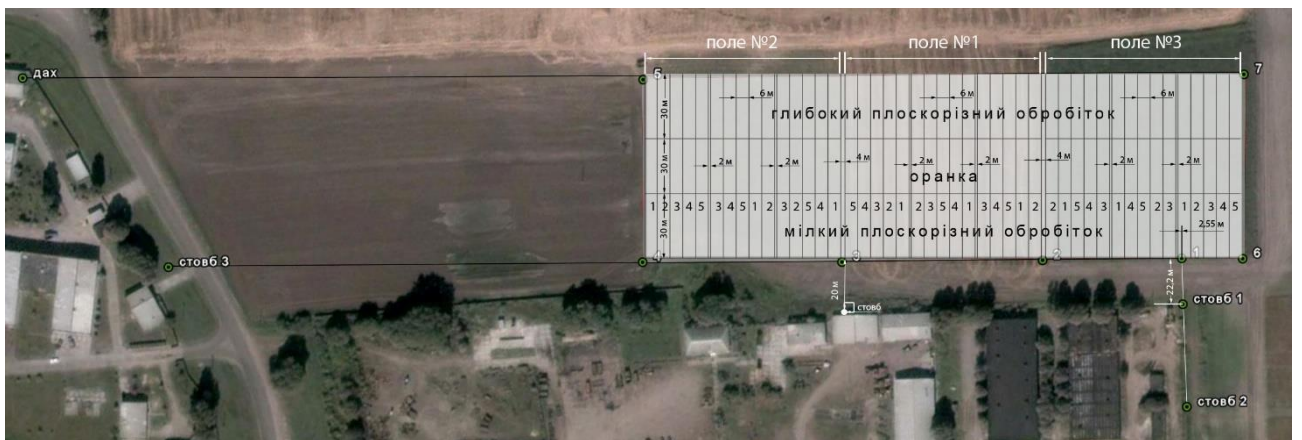
А 11в. Продовження акту впровадження результатів дисертаційної роботи у
ТОВ «Лотівка Еліт» Шепетівського району Хмельницької області

ДОДАТОК Б

Ілюстрації допоміжного характеру до основних розділів дисертації



Б 1. Географічне розташування наукового стаціонарного дослід у
ВП НУБіП України «Великоснітинське»



Б 2. Схема наукового стаціонарного дослід у ВП НУБіП України
«Великоснітинське»



Б 3. Науково-дослідні ділянки стаціонарного дослід у ВП НУБіП України «Великоснітинське», 2003 рік



a



b

Б 4. Національна наукова станція досліджень агроєкосистем Хайлунь:
а – географічне розташування (Google image), б – науково-дослідні поля



а



b



с



d

Б 5.. Науково-дослідні поля Національної наукової станції досліджень агроєкосистем Хайлуць: а - переліг, b - чорний пар, с – no-till; d – оранка



а



б

Б 6. Національна наукова-дослідна станція «Управління та охорона ґрунтів та вод» Гуангронг: а – географічне розташування (Google image),
б – науково-дослідні поля



a



b



c



d

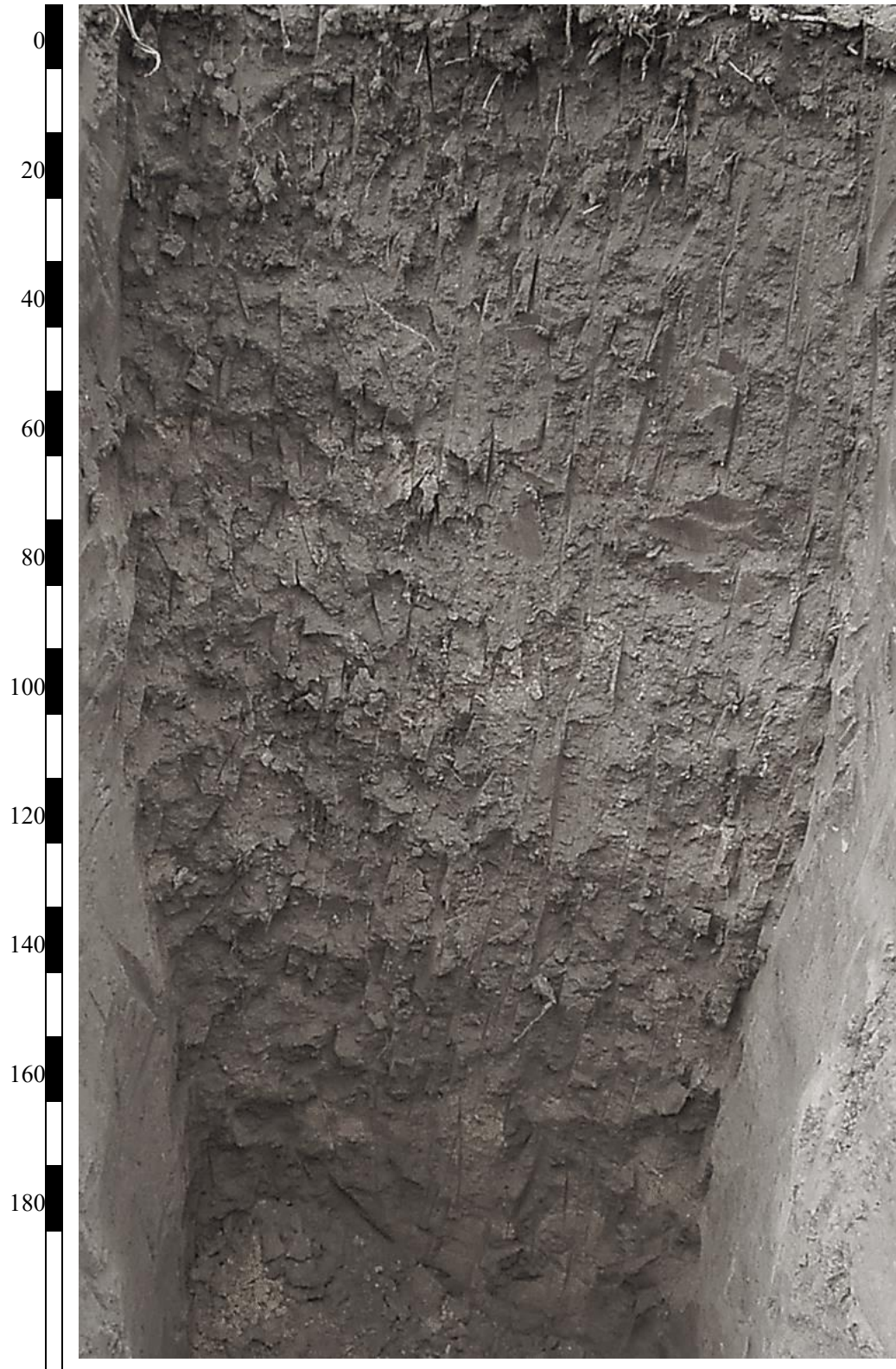


e



f

Б 7. Науково-дослідні ділянки ННС УОГВ, Гуангронг:
 a – no-till; b - чорний пар; c – переліг; d – обробіток поперек схилу;
 e – оранка; f – лісовий масив



Б 8. Профіль чорнозему типового глибокого малогумусного крупнопилувато-легкосуглинкового на лесі. ВП НУБіП України «Великоснітинське», 2006 рік



Б 9. Профіль Ізогумісолу (чорного ґрунту) Національної наукової станції дослідження агроecosистем Хайлунь



Б 10. Профіль Ізогумісолу (чорного ґрунту) Національної наукової станції
«Управління та охорона ґрунтів та вод», Гуангронг



а



б

Б 11. Метеорологічні станції на науково-дослідних полях:
а – ННС ДАХ, Хайлунь, б - ННС УОГВ, Гуангронг



а



б



с

Б 12. Відбір ґрунтових проб на науково-дослідних полях Китаю та їх висушування: а – ННС УОГВ, Гуангронг, б – ННС ДАХ, Хайлунь, с – IGA, Харбін



Б 13. Відбір ґрунтових проб у ВП НУБіП України «Великоснітинське»



Б 14. Відбір керових проб ґрунту для визначення щільності складення



а



b



с

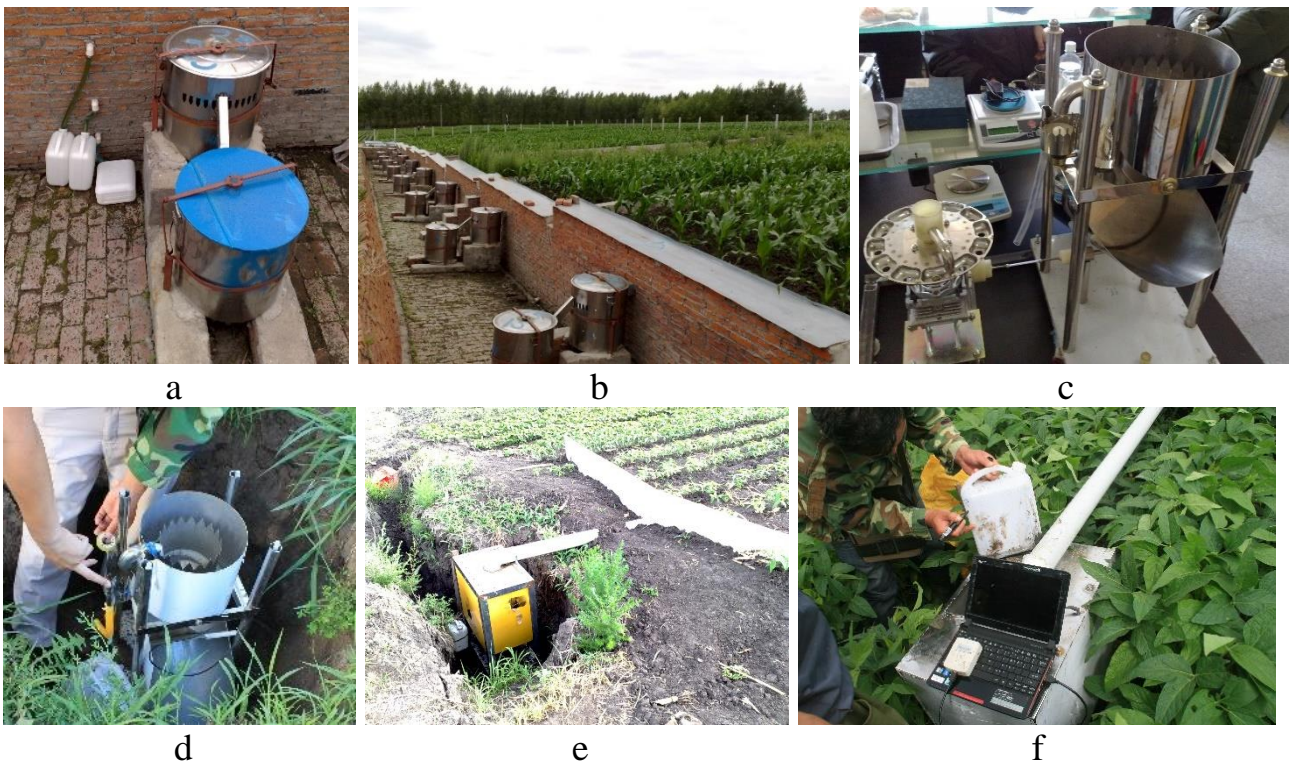
Б 15. а – визначення CO_2 із поверхні ґрунту газовим аналізатором CI-301 CO_2 Gas Analyzer, b – відбір нейтронної проби води приладом «CNC503B»,
с – визначення умісту вологи ізогумусолу за допомогою Campbell Scientific «CR23X Micrologger®»



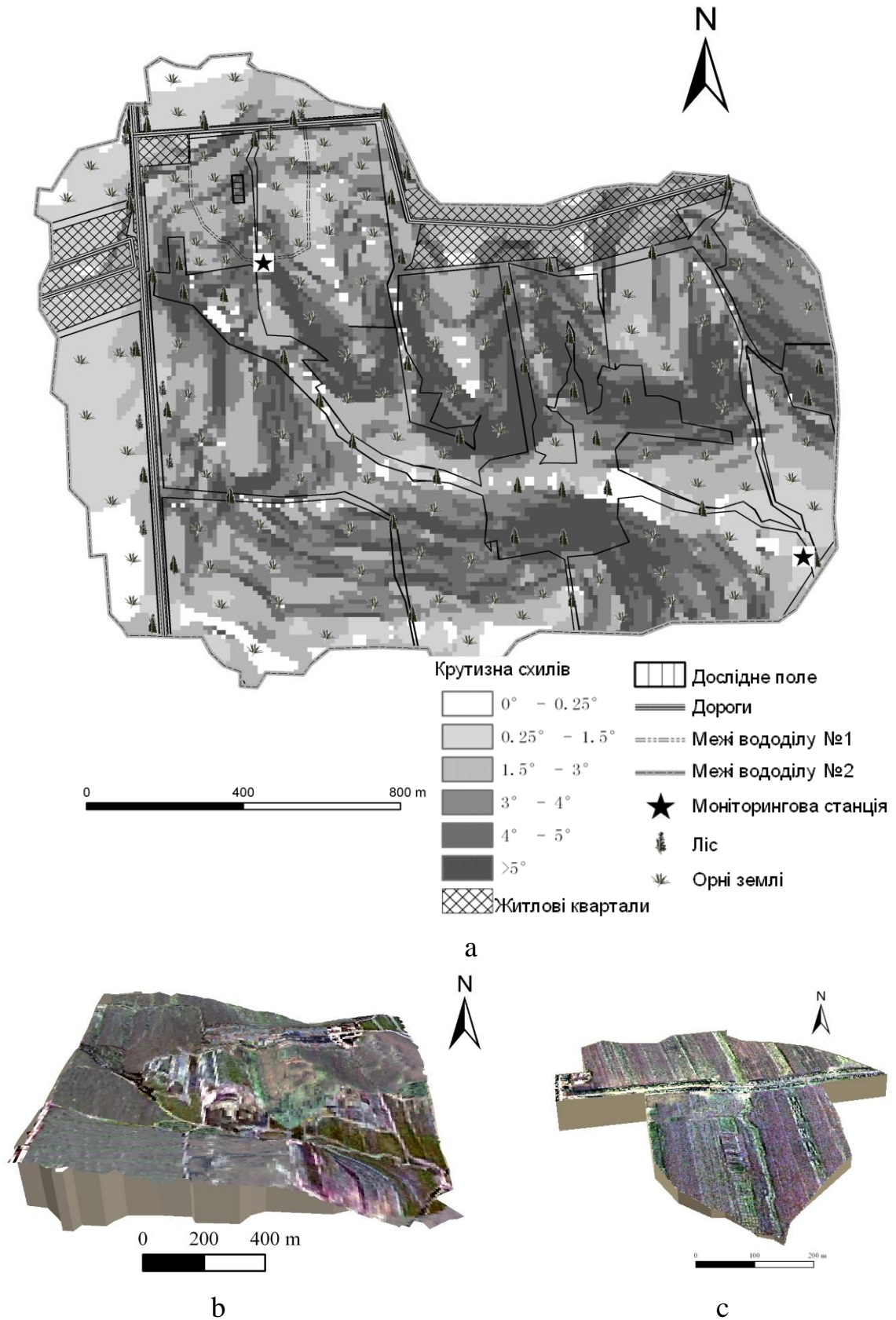
Б 16. Визначення вологості ґрунту у відібраних пробах гравіметричним методом



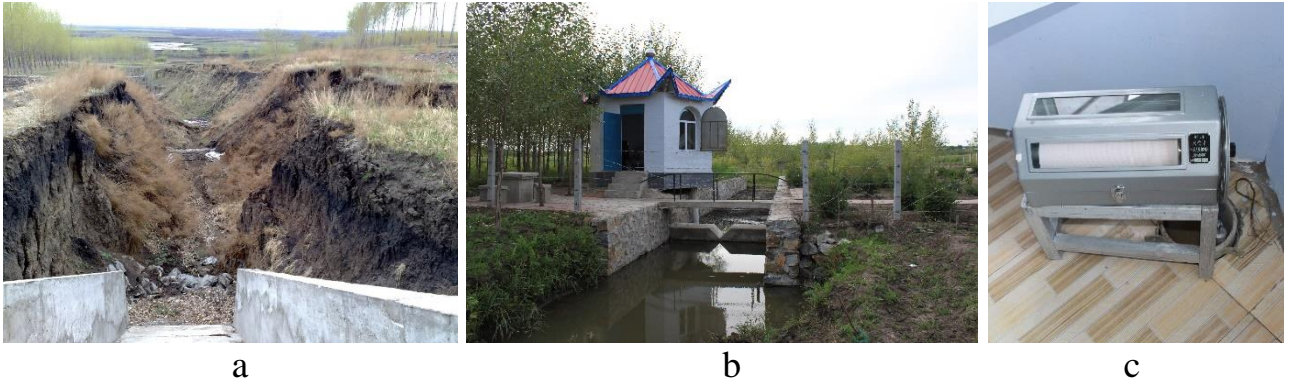
Б 17. Визначення водопроникності ґрунту



Б 18. Обладнання для визначення змиву ґрунту на стокових майданчиках ННС УОГВ, Гуангронг (а–с) та фермерських угіддях (d–f)



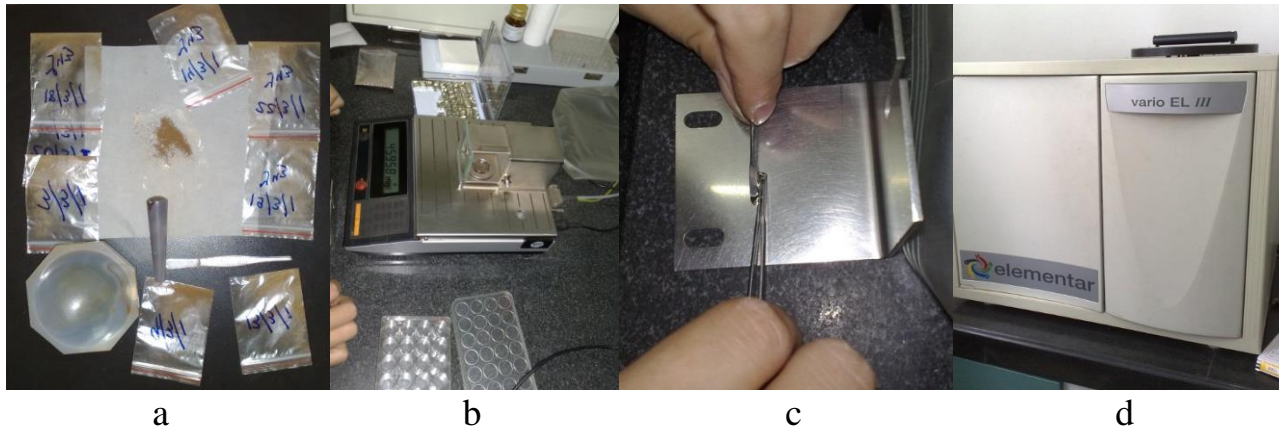
Б 19. Територія проведення моніторингу із визначення втрат ґрунту від поверхневого стоку: а – с. Гуангронг; б – вододіл 2; с – вододіл 1



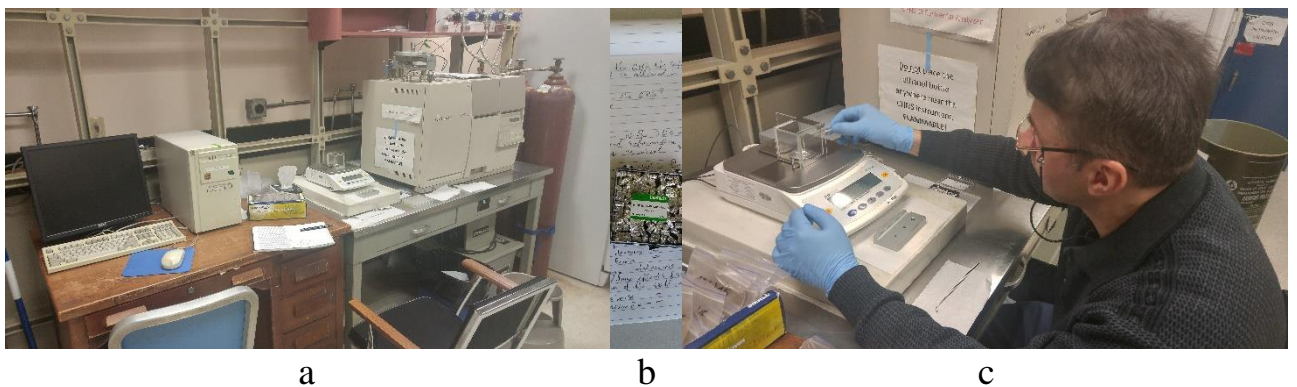
Б 20. а – проміжний лоток, б – магістральний канал і моніторингова станція та с - пристрій реєстрації даних



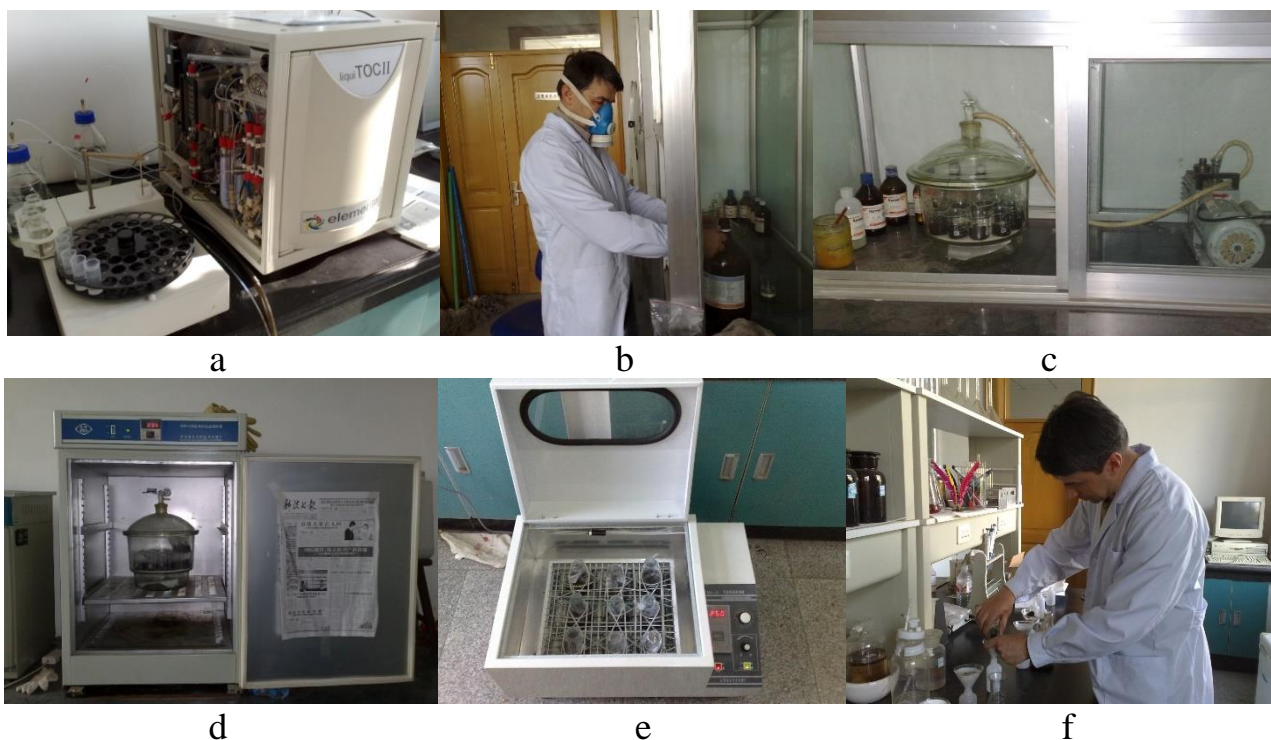
Б 21. Морфолого-генетичні дослідження змін чорнозему типового за різного його використання у ВП НУБіП України «Великоснітинське»



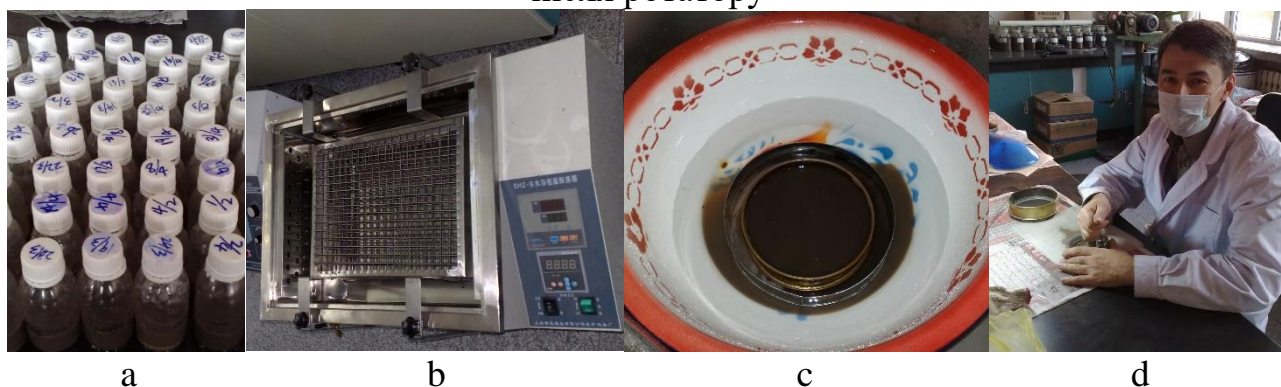
Б 22. Визначення умісту органічного вуглецю ґрунту на приладі Vario EL III analyzer: a – підготовка проби ґрунту до аналізу; b – автоматичне зважування ґрунтової проби із записом на комп'ютер; c – вироблення «конверту»; d – Vario EL III analyzer



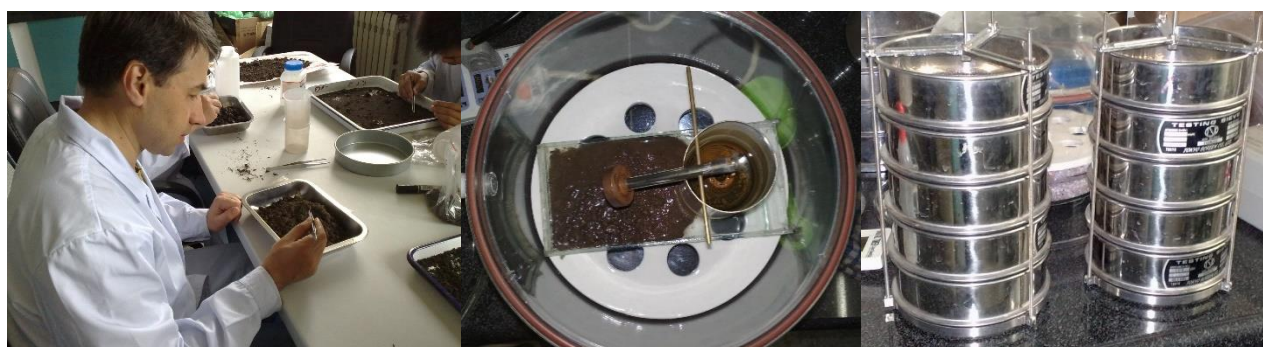
Б 23. Визначення умісту загального та органічного вуглецю, азоту та сірки ґрунту: a – газовий аналізатор CE Instruments EA 1110 CHNS-O elemental Analyzer; b – срібні чаші (капсули); c – зважування ґрунтової проби у капсулі



Б 24. Визначення органічного вуглецю та азоту біомаси мікроорганізмів методом фумігації-екстракції: а – прилад Elementar Liqui TOC II, Analysensysteme GmbH, Німеччина; б – перенесення 40 мл хлороформу у стакан на 100 мл; с – викачування повітря ексикатору вакуумним компресором; д – сухоповітряний термостат; е – ротатор; ф – фільтрування 0,5 М K_2SO_4 суспензії після ротатору



Б 25. Визначення дисперсного органічного вуглецю ґрунту: суспензія гексаметофосфату натрію з ґрунтом у пляшечках; б – ротатор; с – фракціонування ситами 0,250 та 0,053 мм у дистильованій воді; д – розтирання проби і її підготовка до визначення на приладі Vario EL III analyzer



a

b

c

Б 26. Визначення WSA за повільного замочування проби у вакуумі у дистильованій воді: а – підготовка ґрунтової проби до аналізу; б – ексикатор із встановленою системою для повільного змочування проби ґрунту; с – набір сит



a



b



c

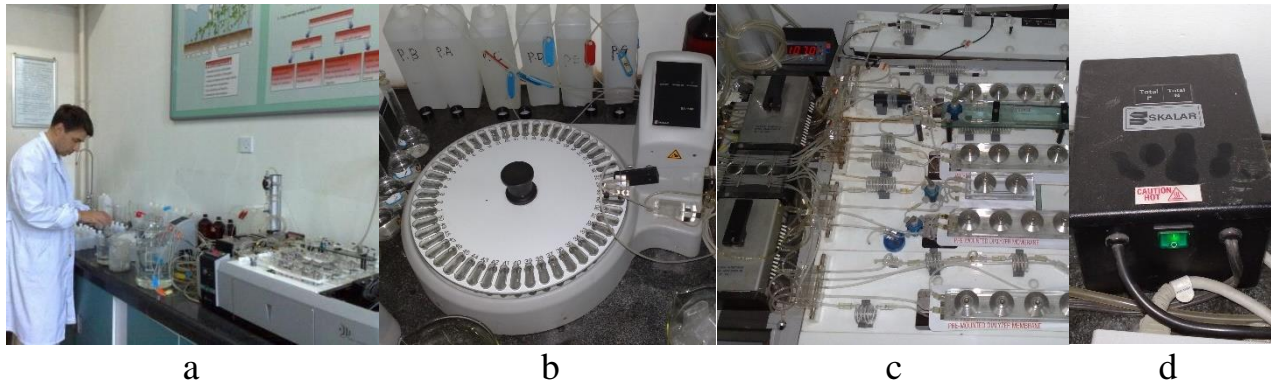


d

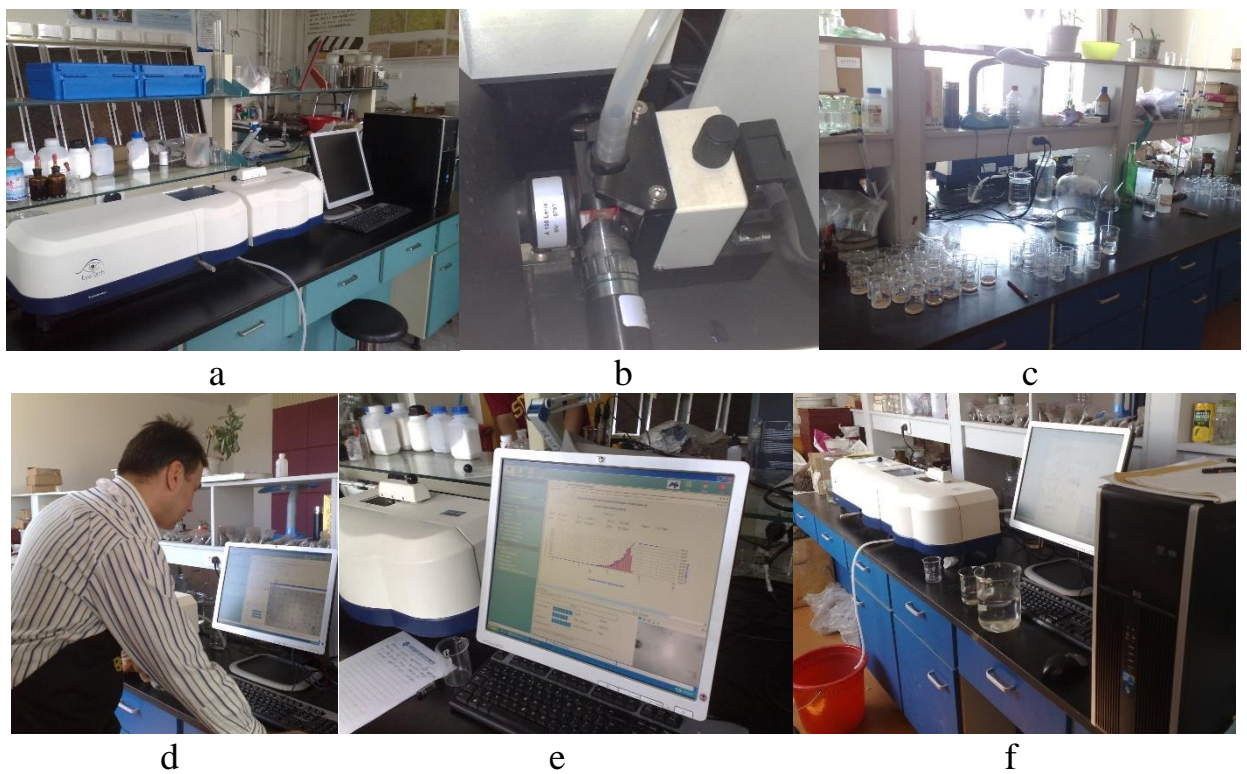


e

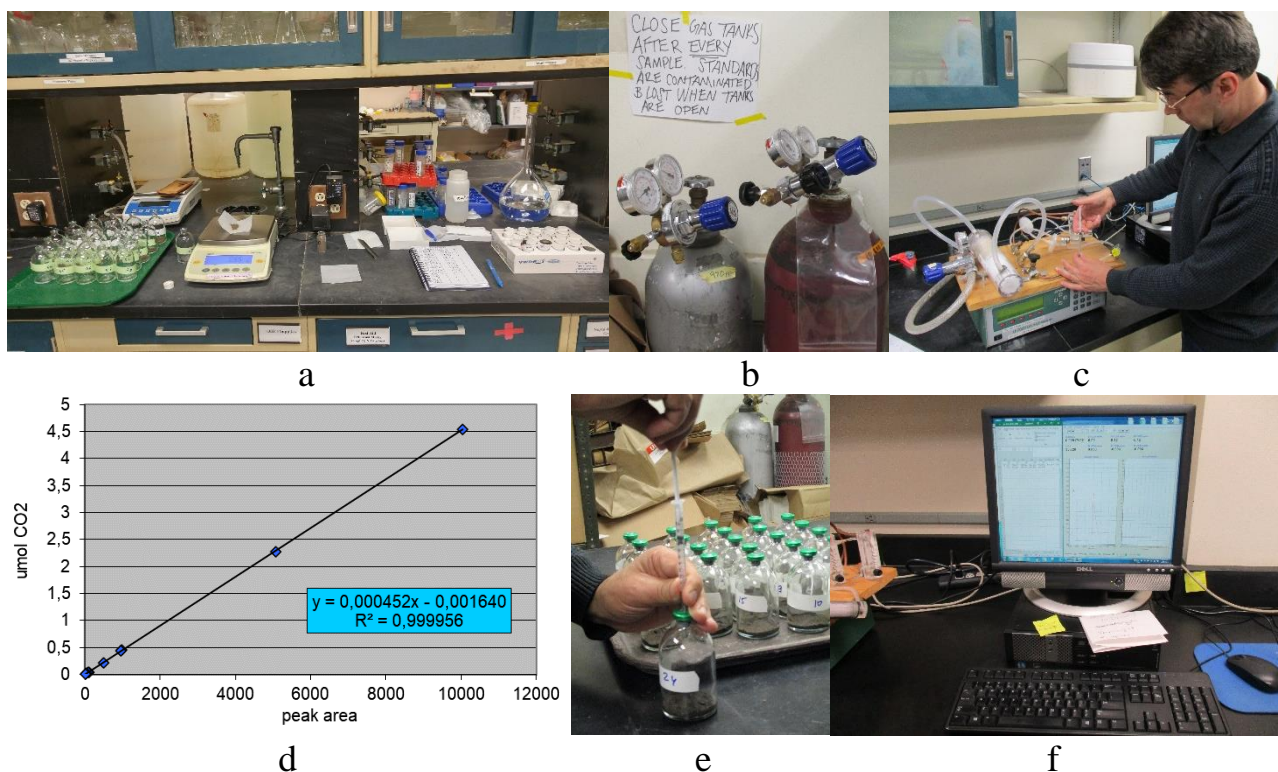
Б 27. Визначення WSA за повільного замочування проби у вакуумі у дистильованій воді: а – прилад DIK-2001, Daiki Rika Kogyo Co. Ltd. (Japan); б – с – перенесення фракцій агрегатів на металевий підніс та скляний стакан; d – випаровування дистильованої води із відібраних із сита фракцій; е – перенесення висушеної проби у мішечки для визначення загального органічного вуглецю та азоту на приладі Vario EL III analyzer



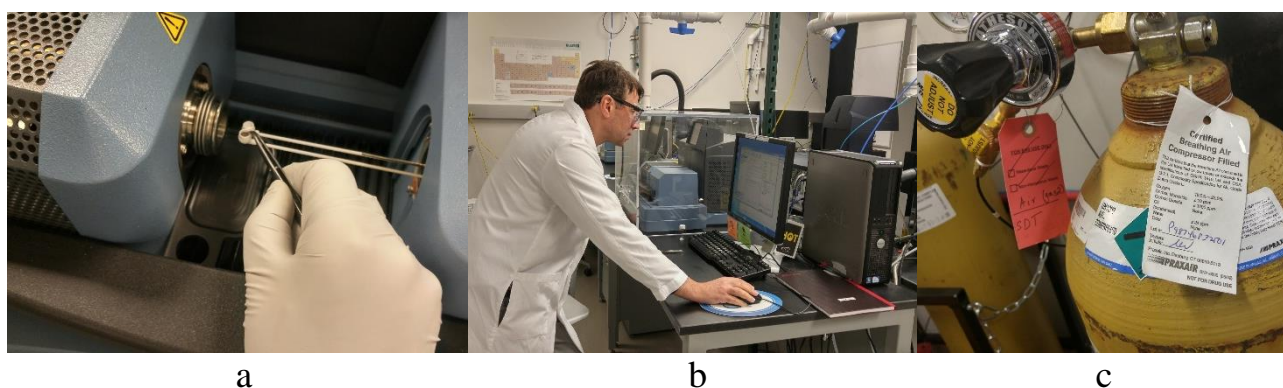
Б 28. Визначення уміст валового фосфору, амонійного та нітратного азоту на Skalar San Plus analyzer: а – загальний вигляд приладу; б - сеплер SA1150; с – детектори; в – блок спалювання валового азоту та фосфору



Б 29. Визначення розмірів мінеральних частинок фракцій агрегатів: а – аналізатор EyeTech™ COMBI High-Tech; б – модуль лазерного і відео каналів; с – підготовка ґрунтової проби до аналізу; д – DW фотографування частинок; е – тип звіту – “Additional Graph”; ф – промивання приладу перед наступним дослідженням



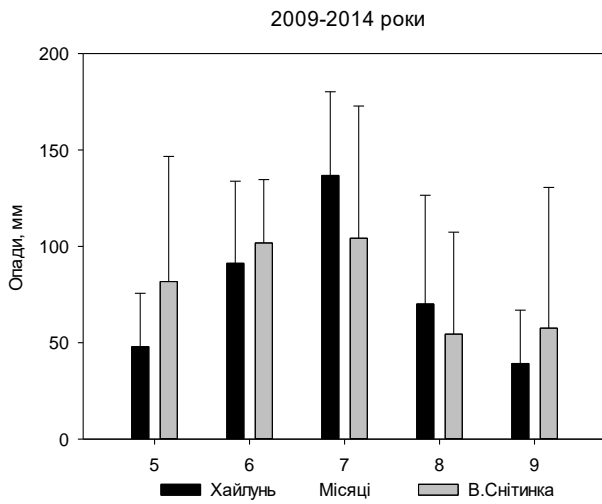
Б 30. Визначення мікробного дихання ґрунту: а – зважування ґрунтової проби; б – газові балони з концентрацією 10200- та 970 ppm CO₂; с – введення калібрувального зразка CO₂; d – калібрувальна шкала дослідження; е – відбір повітря ґрунтової проби на 7 день інкубації; f – графічне та числове представлення поточних результатів у програмі LI7000



Б 31. ДТА – ДСК аналізування ґрунтової проби на термоаналізаторі SDTQ 600: а – вкладення ґрунтової проби на алюмінієво-керамічні тиглі ультрамікроваг із вбудованими двоканальними сенсорами; б – налаштування параметрів показників спалювання ґрунтової проби у програмі Universal V4.5A; с – балон з атмосферним повітрям

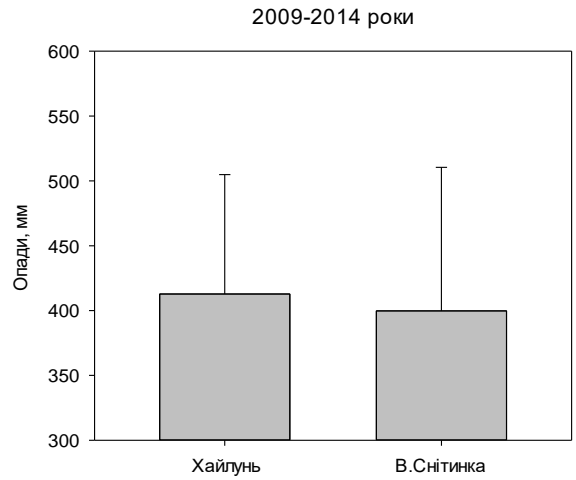


Б 32. Визначення мінералогічного складу ґрунту на рентгеновському дифрактометрі PANalytical XPERT-PRO MPD: а – загальний вигляд приладу; б – підготовка ґрунтової проби до аналізу; с – інсталяція ґрунтової проби з фіксатором у одиничний пробовідбірник; д – робочий стіл із пробами ґрунту, станком для формування проби та Ni порошком; е – поточний графічний запис сканування програмою Data Collector vs. 4.4a



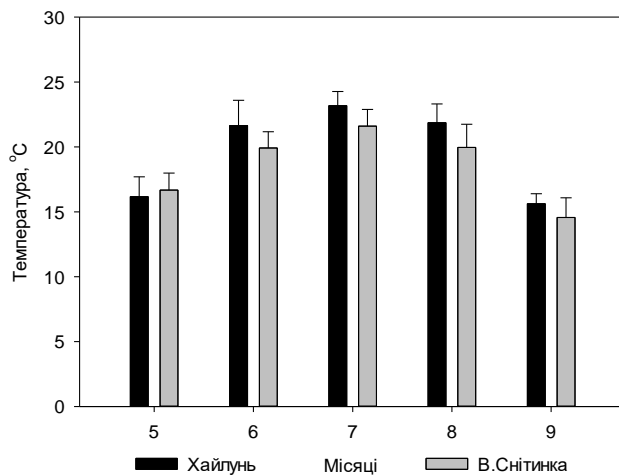
a

2009-2014 роки

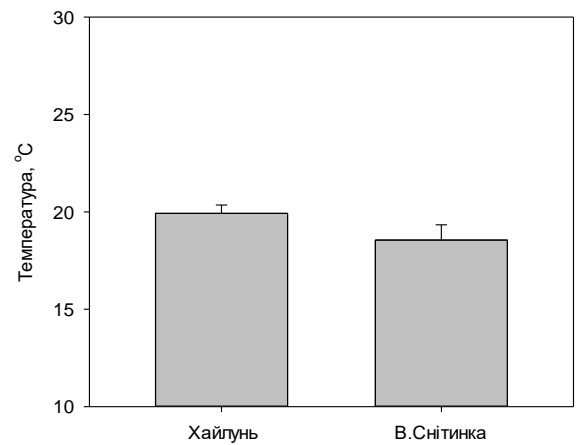


b

2009-2014 роки

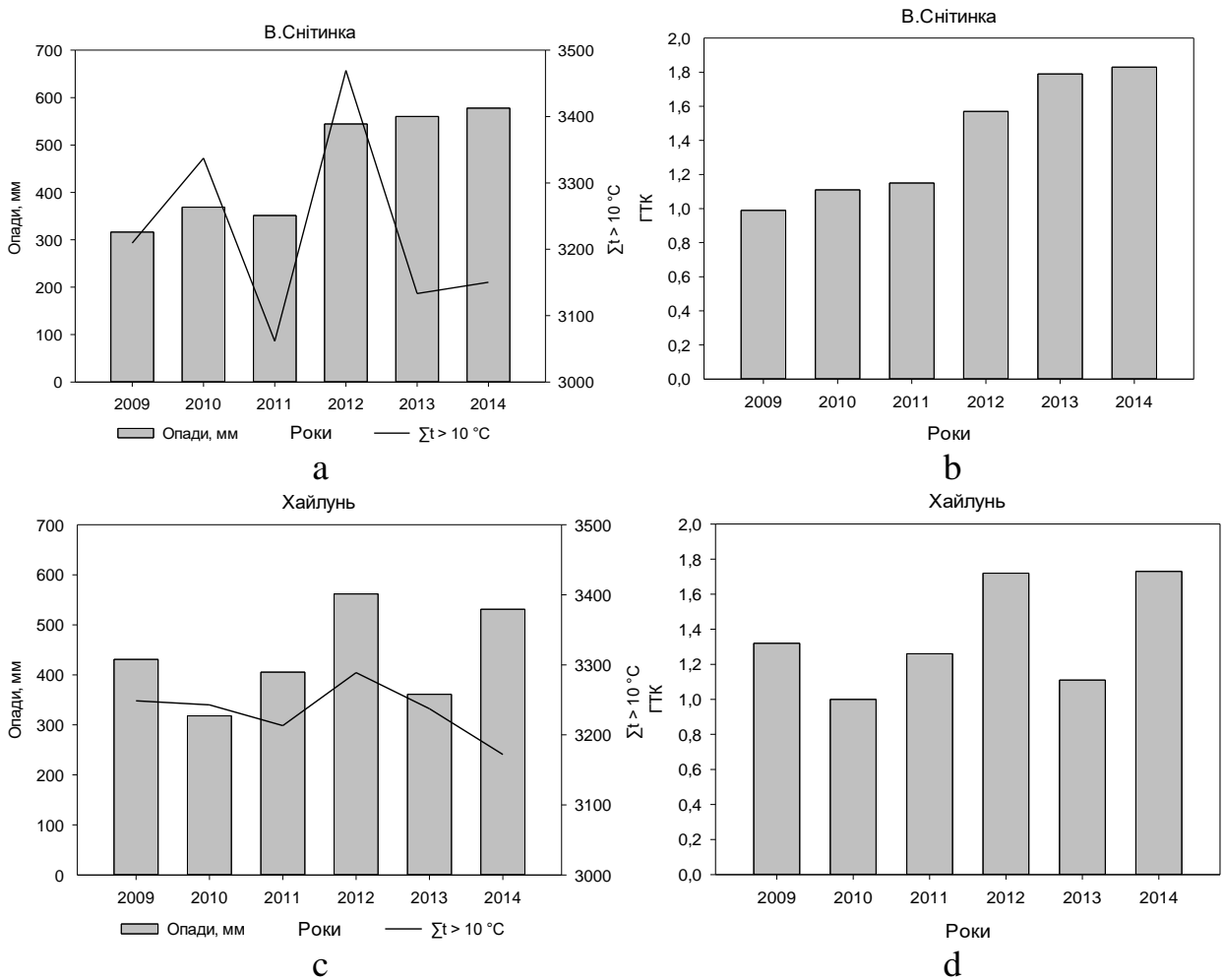


c

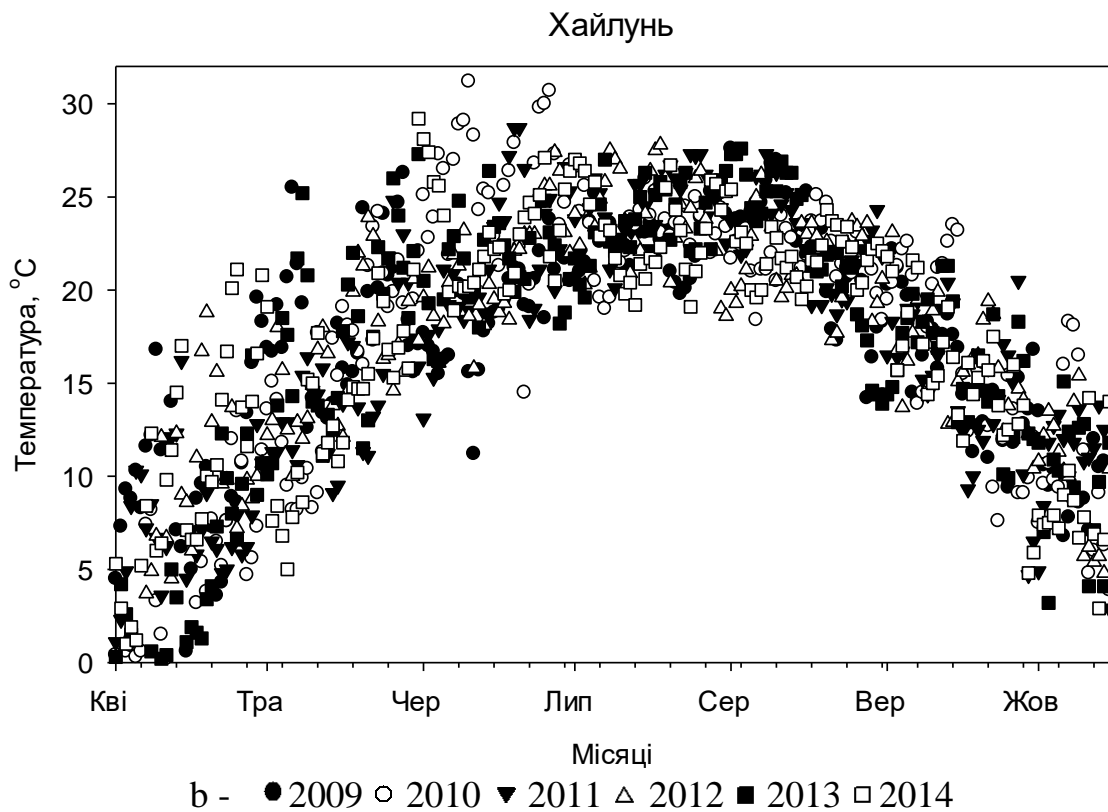
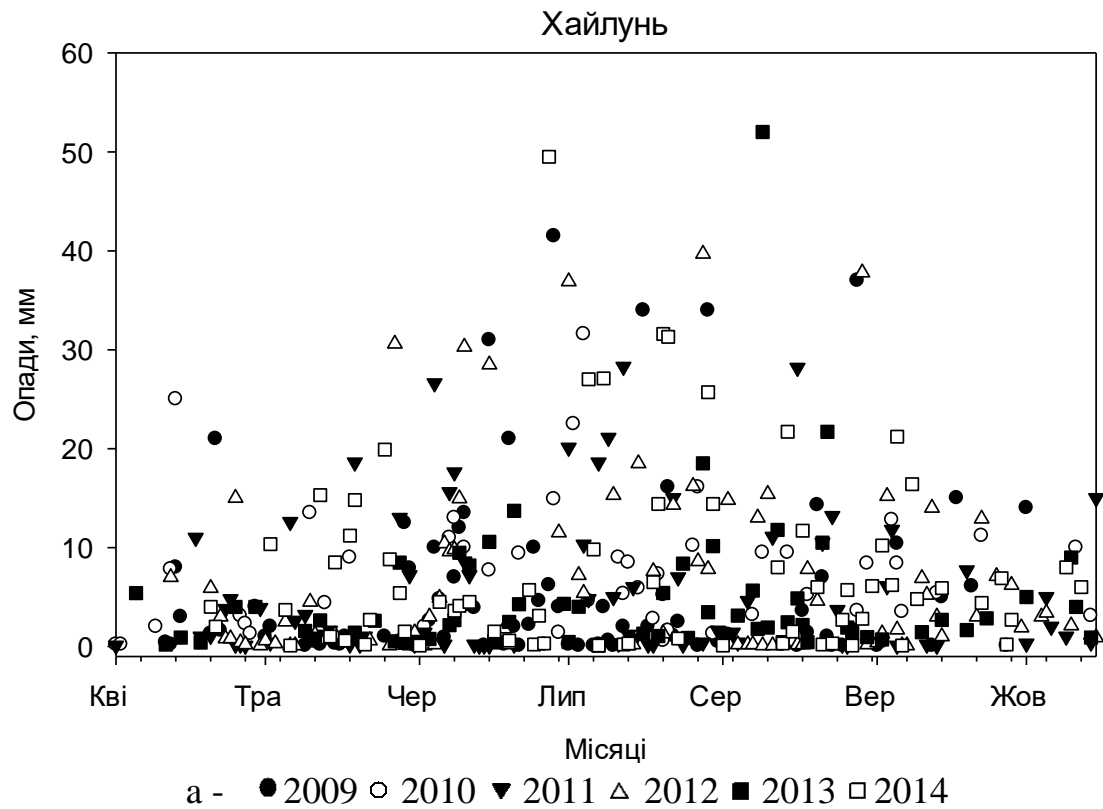


d

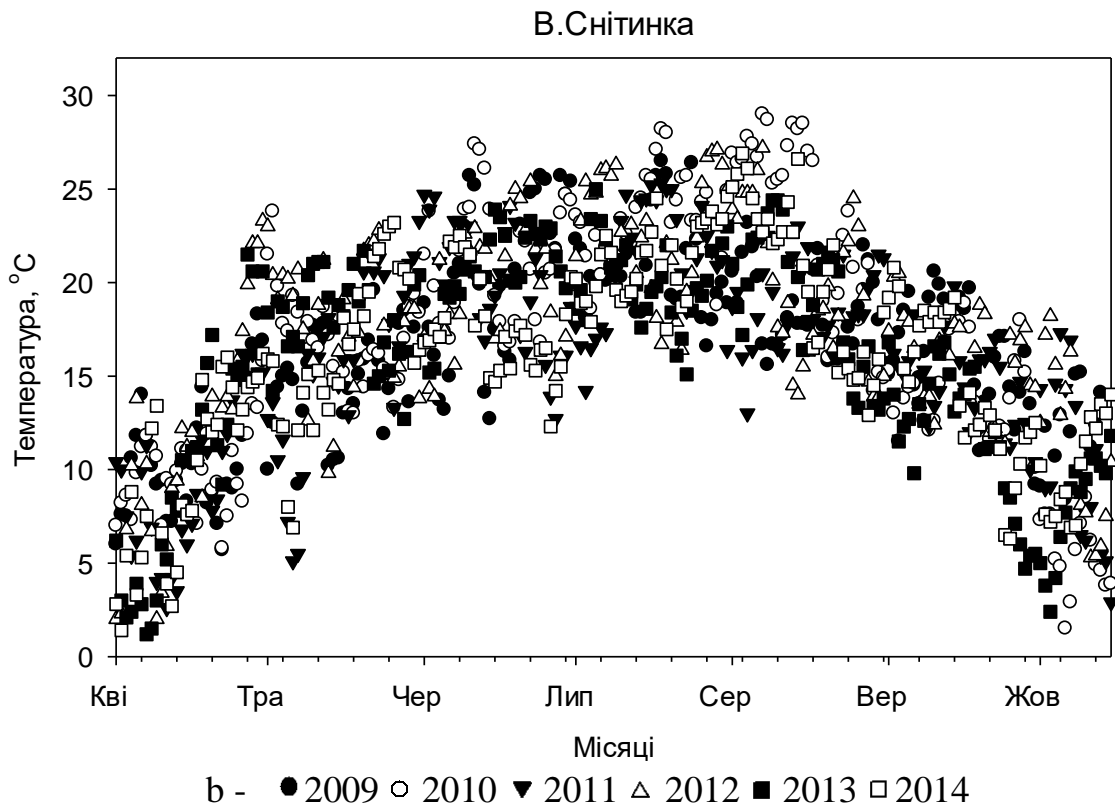
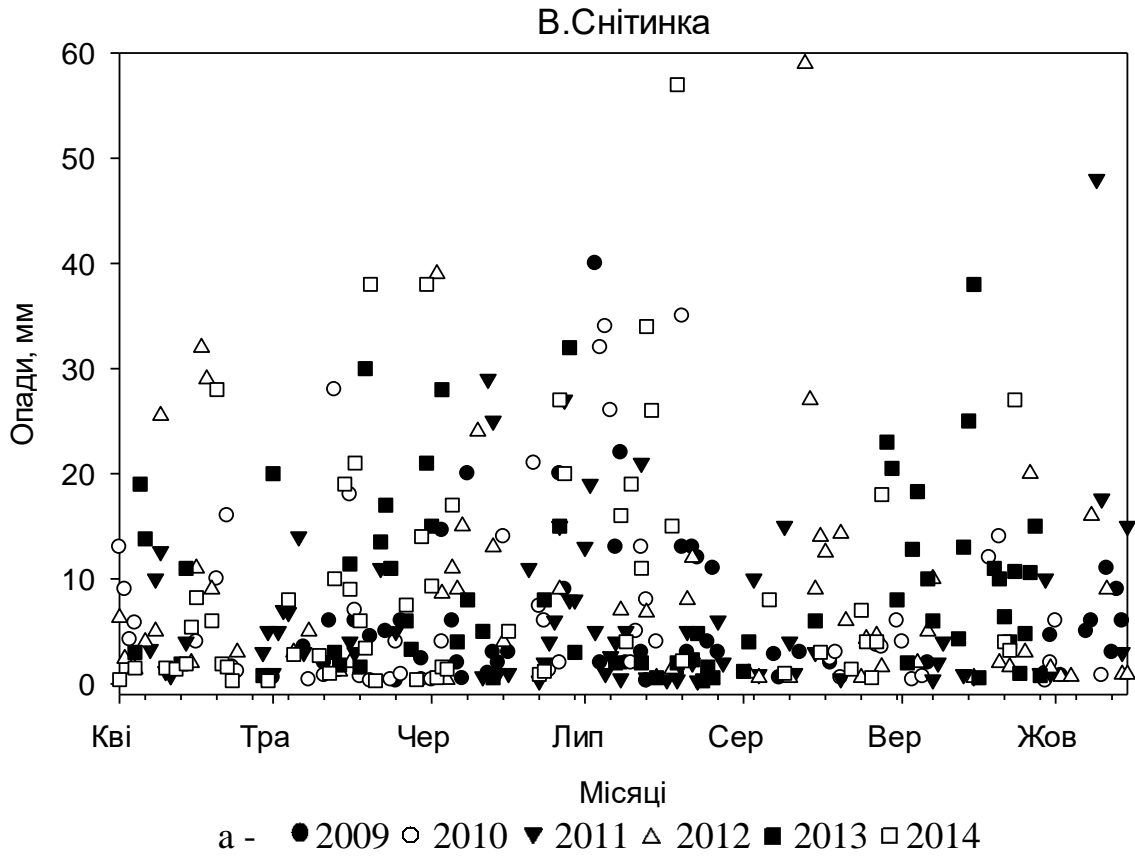
Б 33. Динаміка середньомісячної кількості атмосферних опадів (a) та змін температури повітря (c), а також середньобогаторічної кількості атмосферних опадів (b) та середньобогаторічних змін температури повітря (d) за період з 1 травня по 31 вересня 2009–2014 років



Б 34. Загальна кількість атмосферних опадів (мм; а, с), сума активних температур повітря ($\Sigma t > 10^\circ\text{C}$; а, с) і ГТК у с. Велика Снітинка (b) і у м. Хайлуень (d) за 2009–2014 роки досліджень



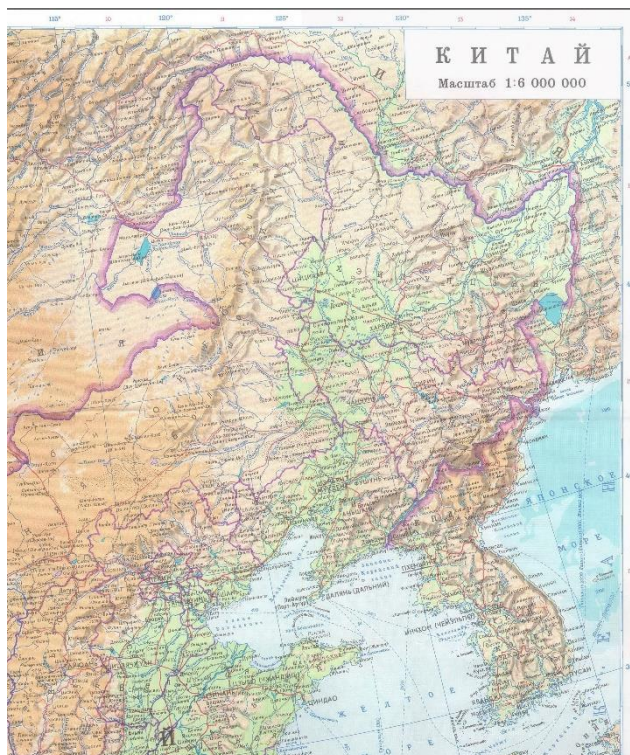
Б 35. Загальна кількість атмосферних опадів (а), температура повітря (б) з 1 квітня по 15 жовтня 2009–2014 років (період із $\sum t > 10^\circ\text{C}$) у м. Хайлуень



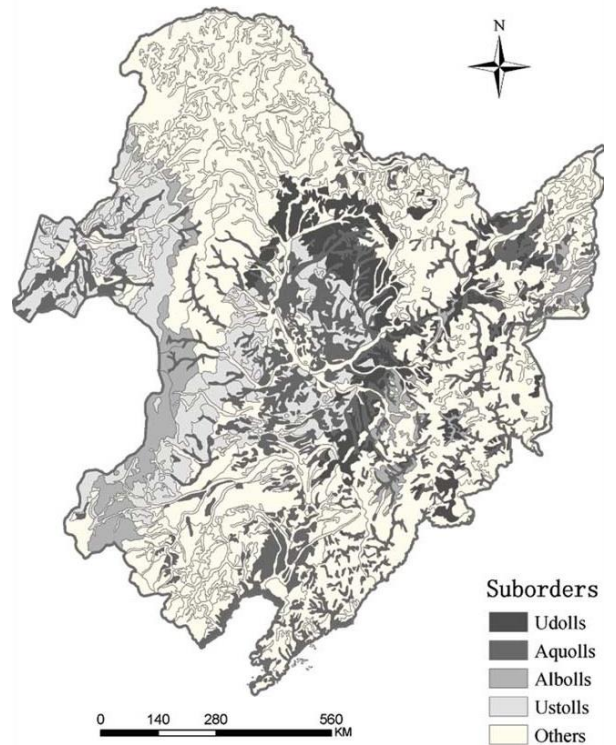
Б 36. Загальна кількість атмосферних опадів (а), температура повітря (б) з 1 квітня по 15 жовтня 2009–2014 років (період із $\sum t > 10^\circ\text{C}$) у с. В. Снітинка



Б 37. Ландшафт с. Гуангронг, Китай



а



б

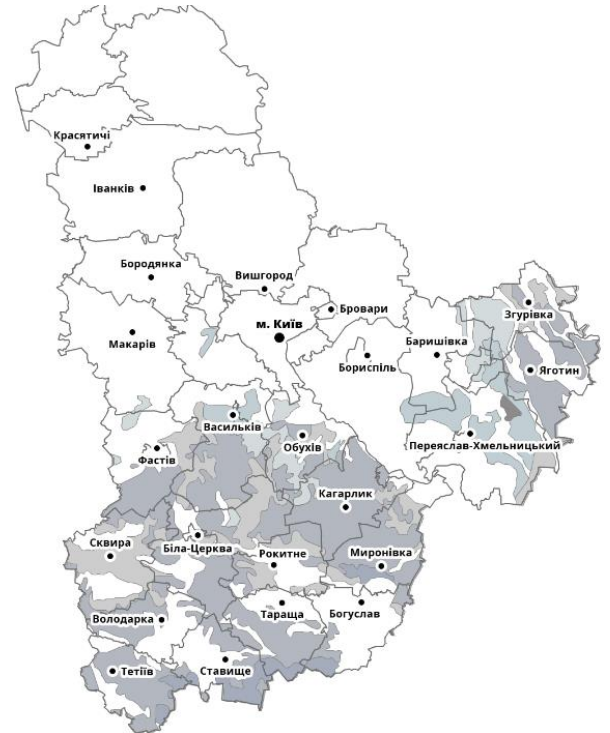
Б 38. Фрагмент фізичної карти Китаю (а) [601] та карта поширення підпорядків чорноземів у Північно-східному регіоні Китаю (б) [4]



Б 39. Ландшафт с. Велика Снітинка



а

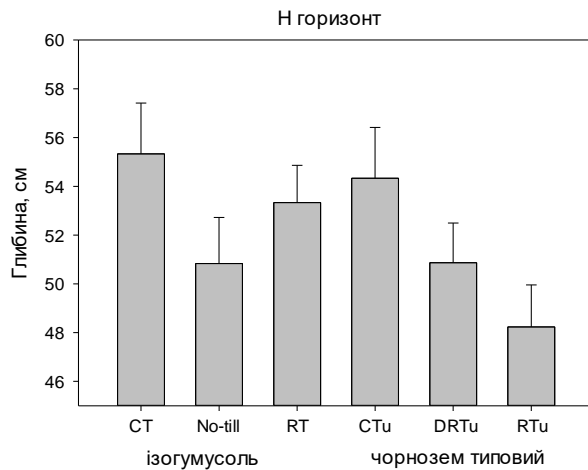


б

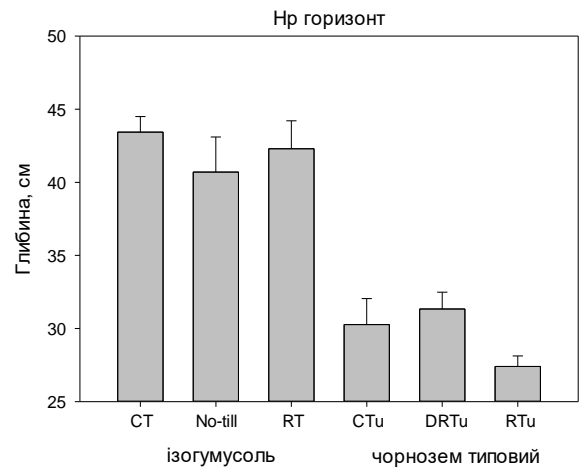
Б 40. Фрагмент фізичної карти України (а) [603] та карта поширення чорнозему типового у Київській області (б) [604]



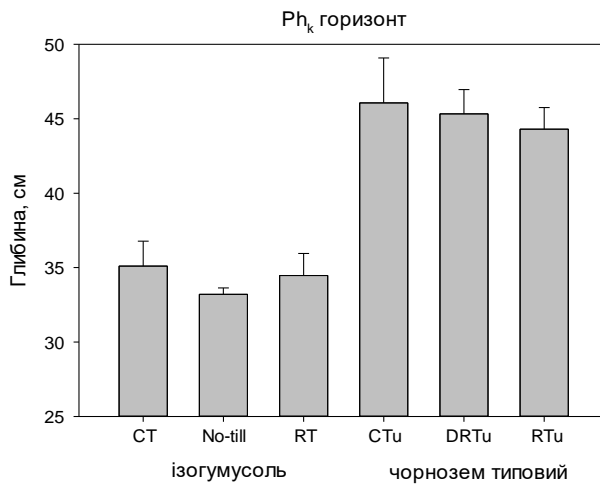
Б 41. Профіль ізогумісолу (чорного ґрунту) Національної наукової станції дослідження агроєкосистем Хайлунь. Варіант – оранка на фоні $N_{95}P_{51,75}K_{15}$



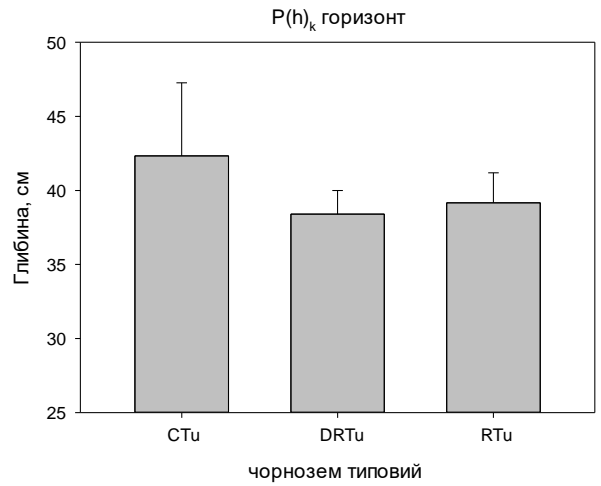
a



b

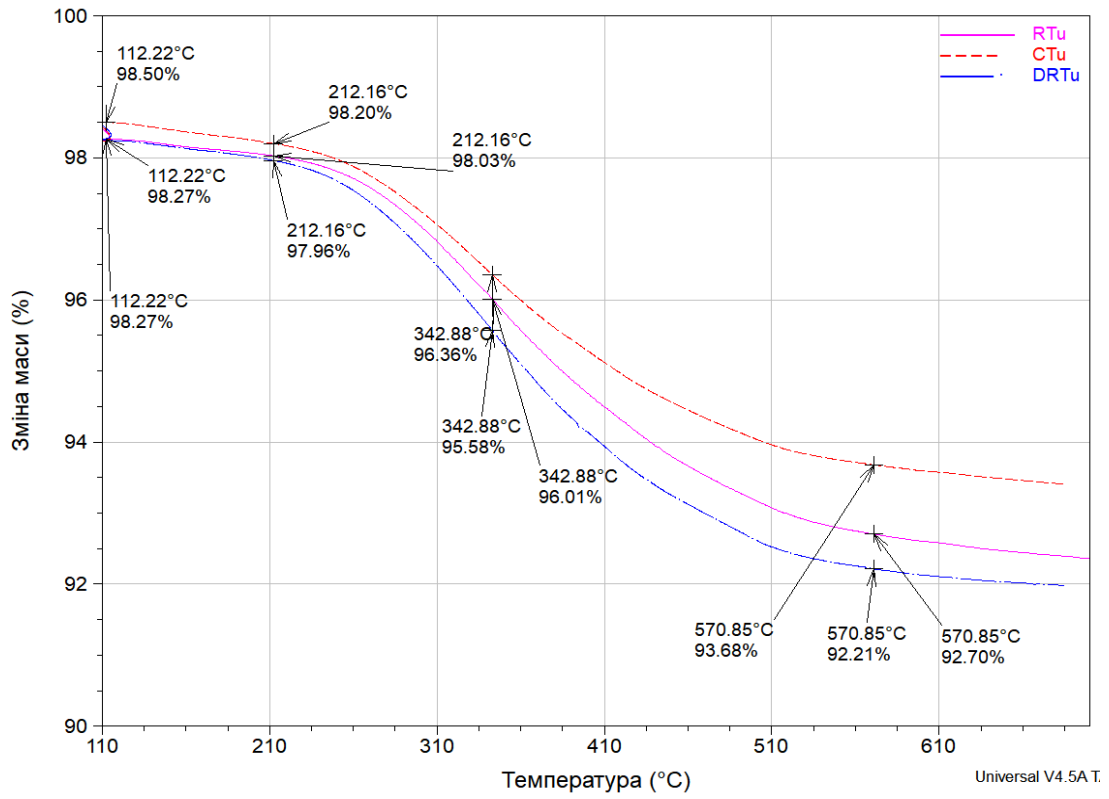


c

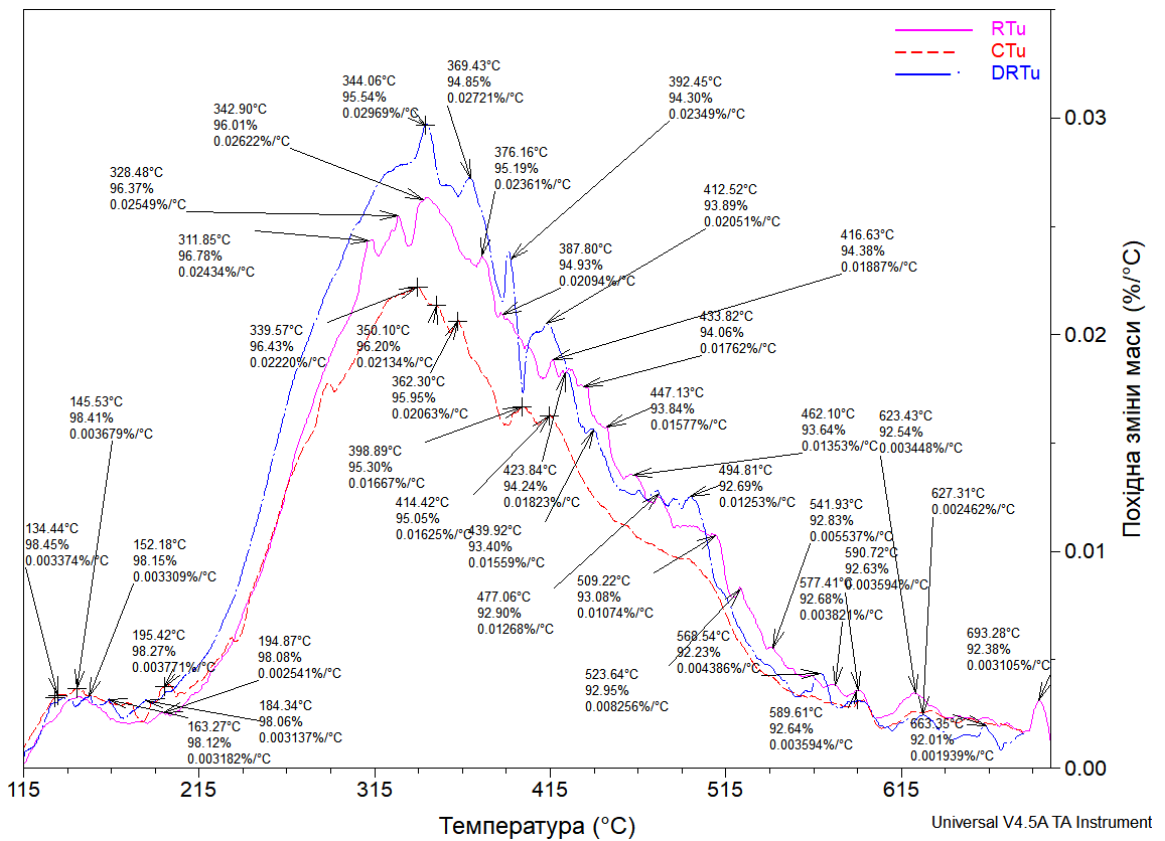


d

Б 42. Зміни глибин генетичних горизонтів (*a* – Н, *b* – Н_p, *c* – Ph_k, *d* – P(h)_k) за довготривалого використання оранки (CT), no-till (NT) та безполицевого обробітку (RT) – на ізогумусолі та оранки (CTu), глибокого безполицевого обробітку (DRTu) та мілкового безполицевого обробітку (RTu) – на чорноземі типовому

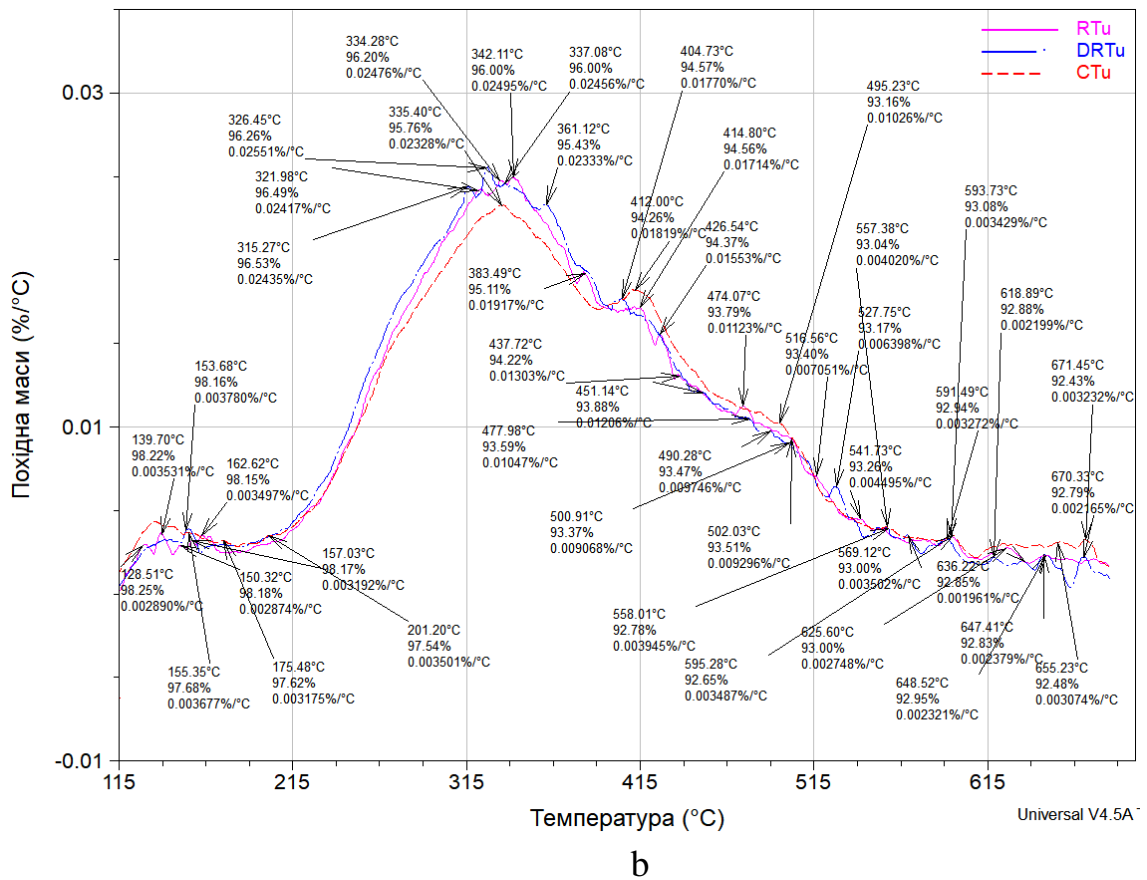
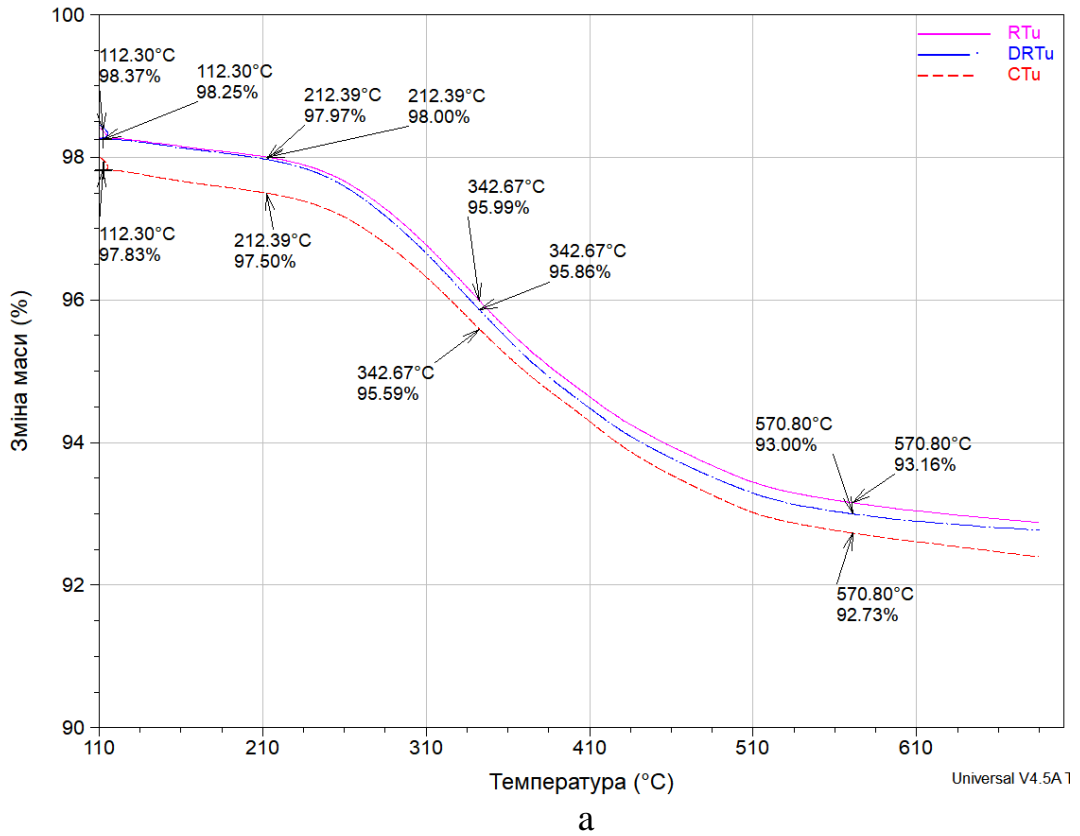


а

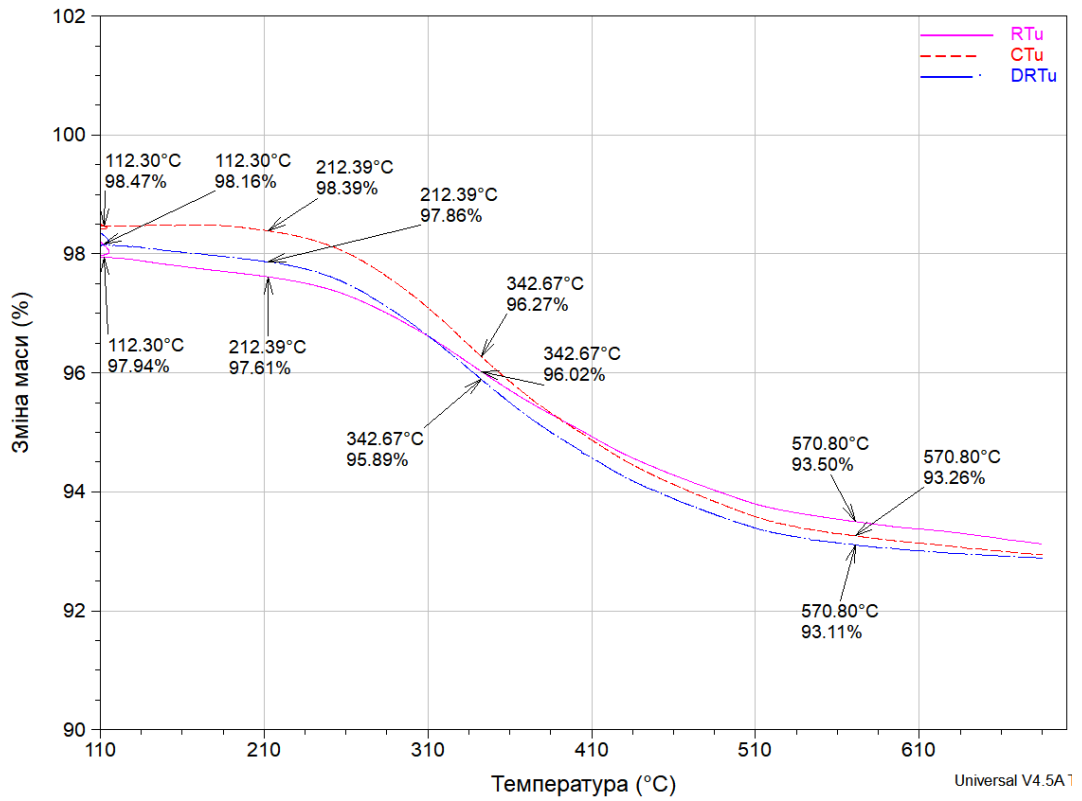


б

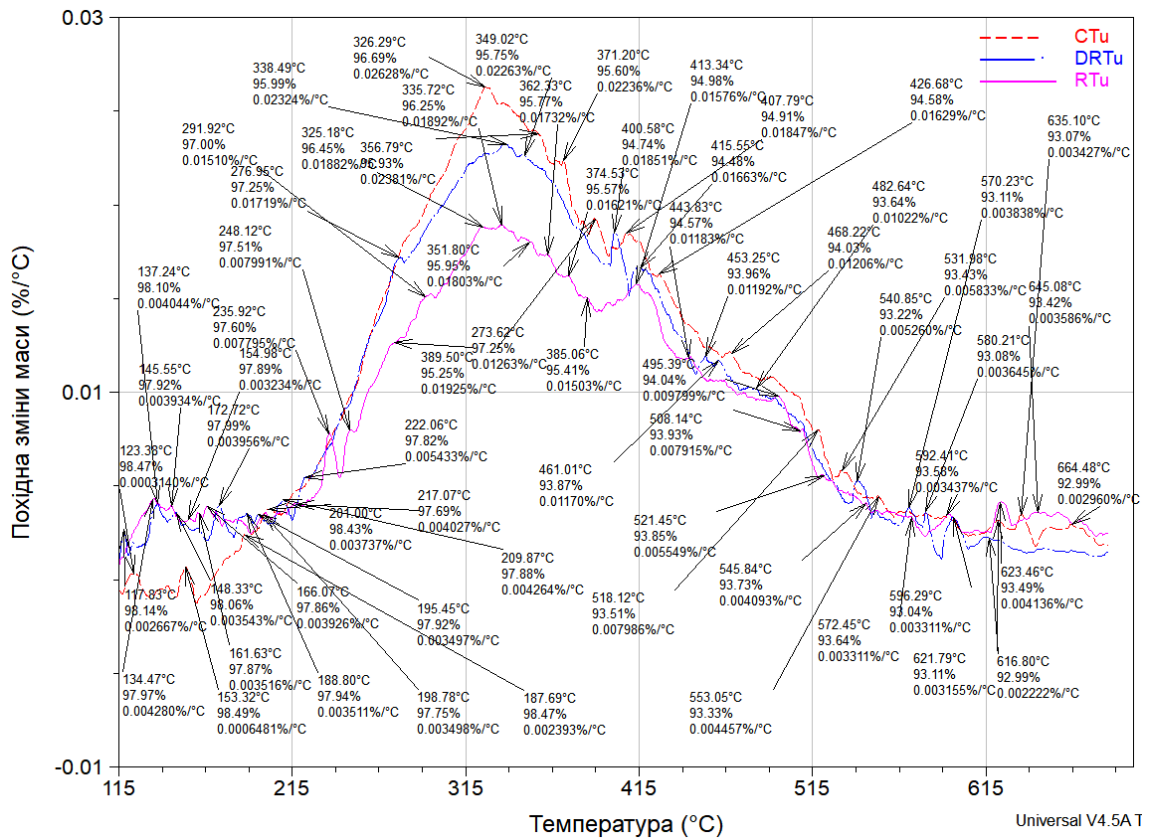
Б 43. Проста (а) і диференційована (б) криві втрати маси ґрунтової проби 0–5 см шару чорнозему типового за 16 річного використання мілкої безпліцевої обробітки (RTu), оранки (CTu) і глибокого безпліцевого обробітки (DRTu)



Б 44. Проста (а) і диференційована (б) криві втрати маси ґрунтової проби 5–10 см шару чорнозему типового за 16 річного використання мілкого безпліцевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безпліцевого обробітку (DRTu)

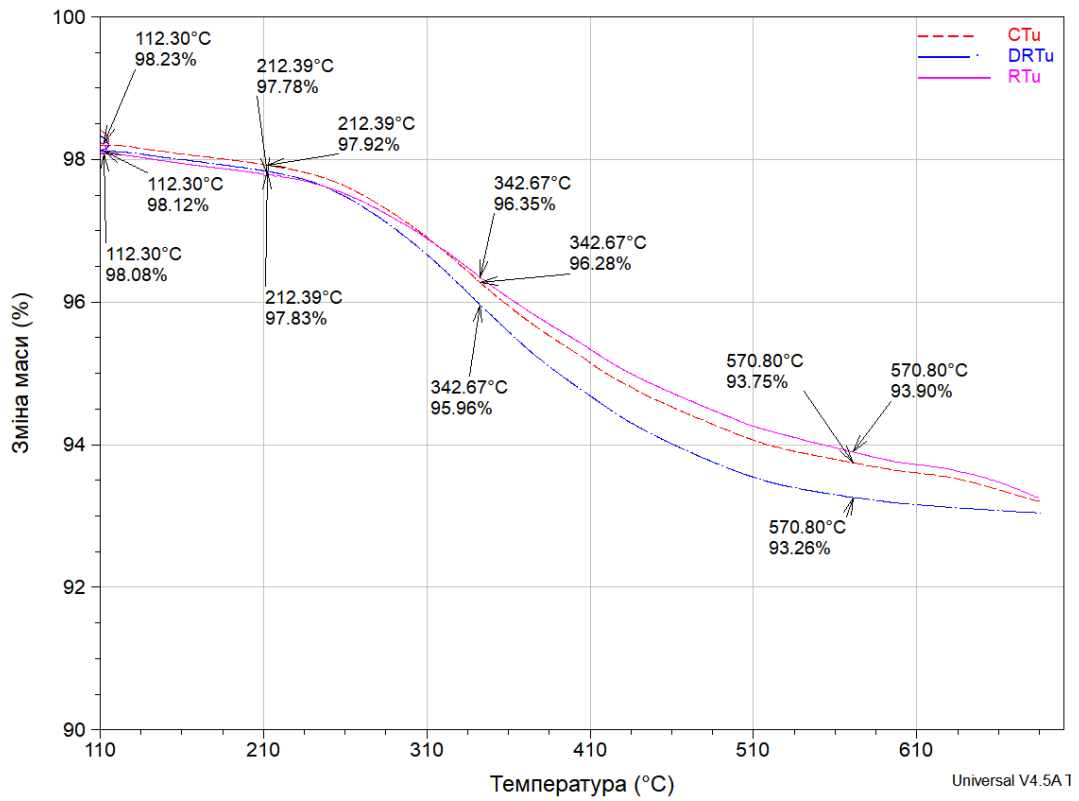


a

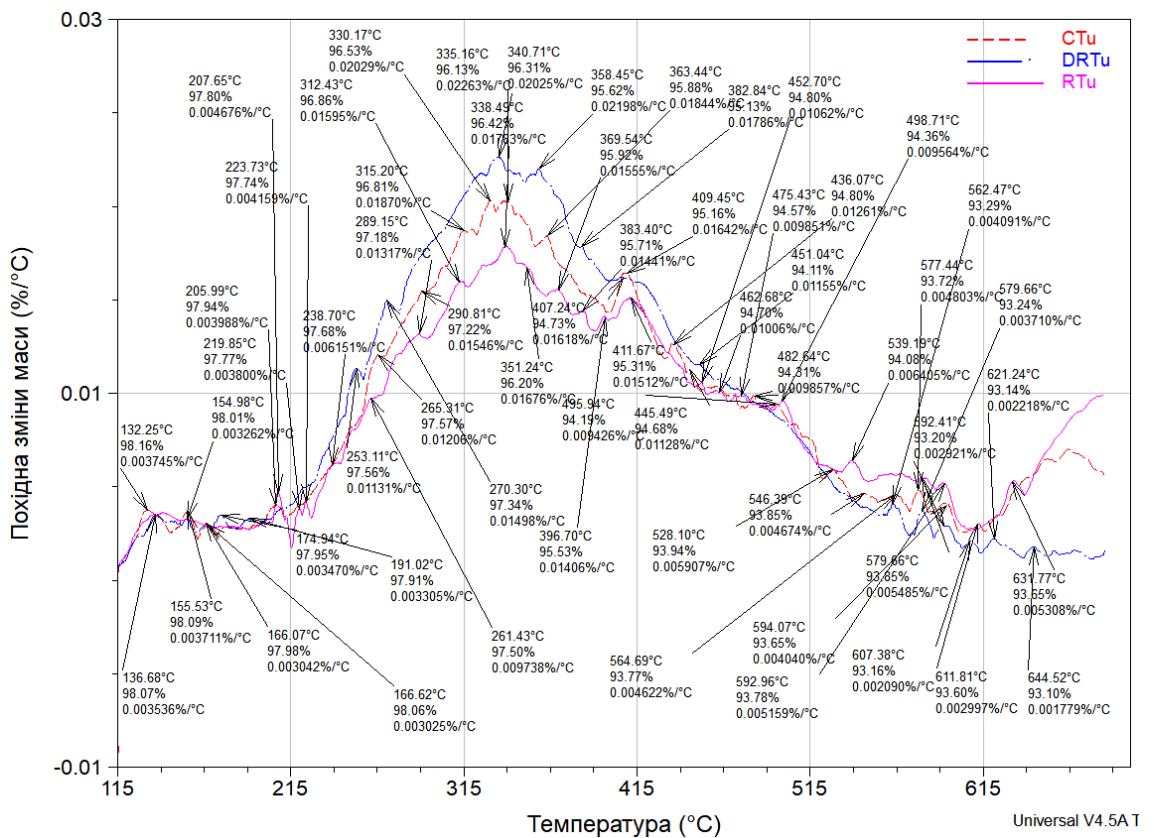


b

Б 45. Проста (а) і диференційована (b) криві втрати маси ґрунтової проби 10–20 см шару чорнозему типового за 16 річного використання мілкого безполицевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu)

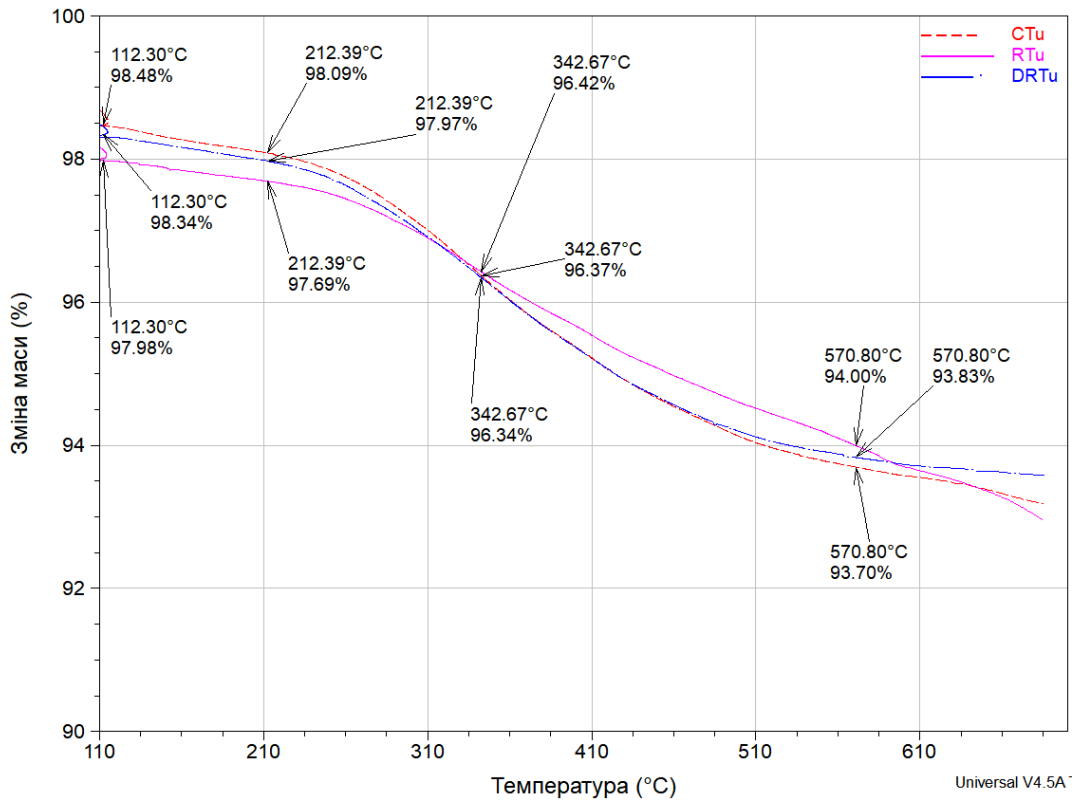


a

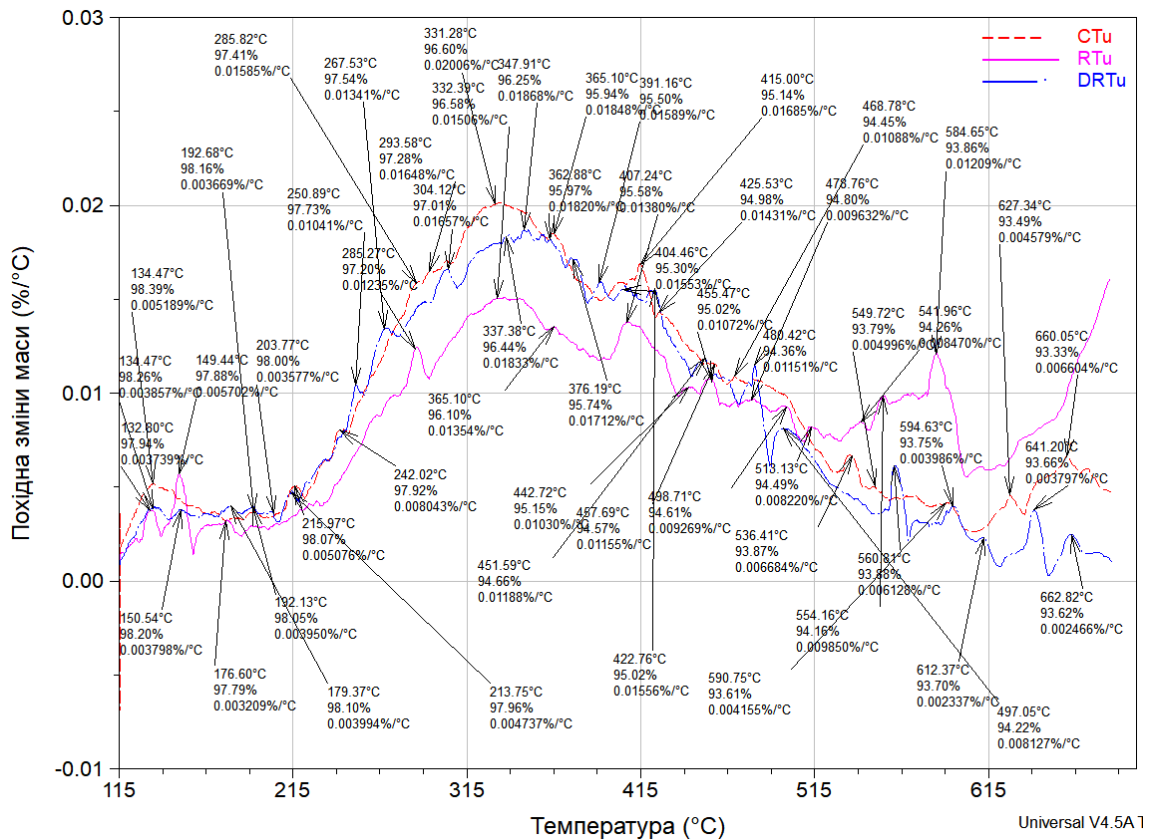


b

Б 46. Проста (а) і диференційована (b) криві втрати маси ґрунтової проби 20–30 см шару чорнозему типового за 16 річного використання мілкого безполицевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu)

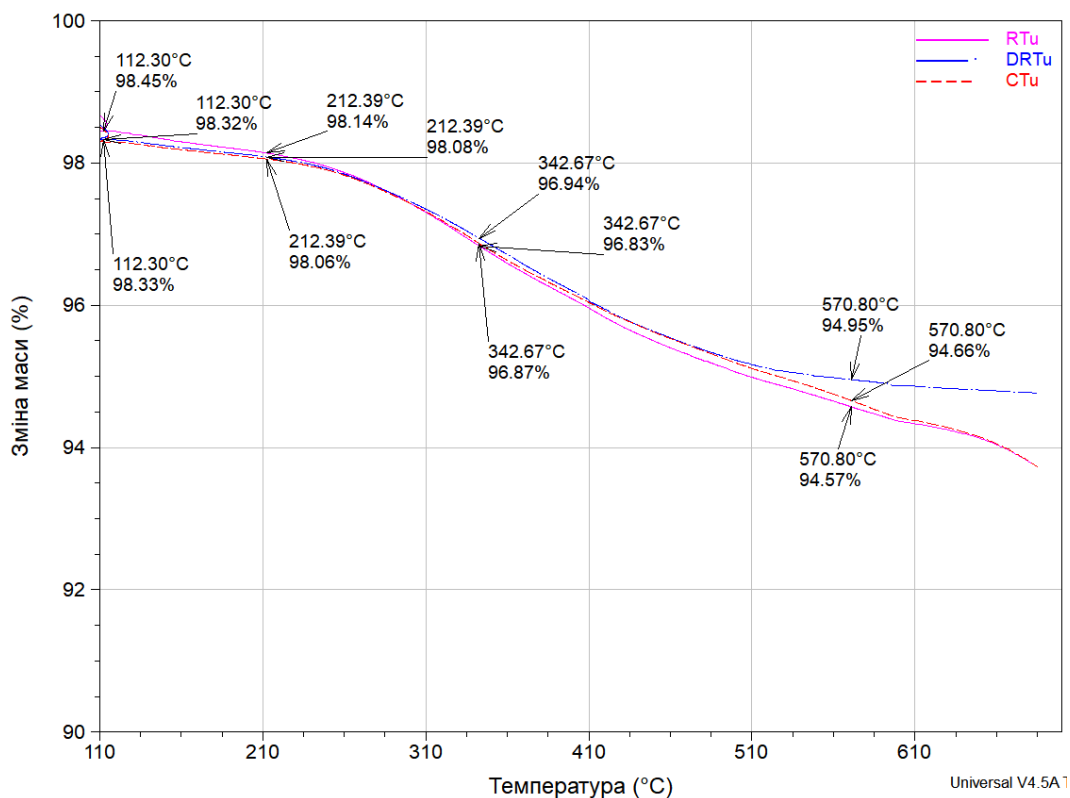


a

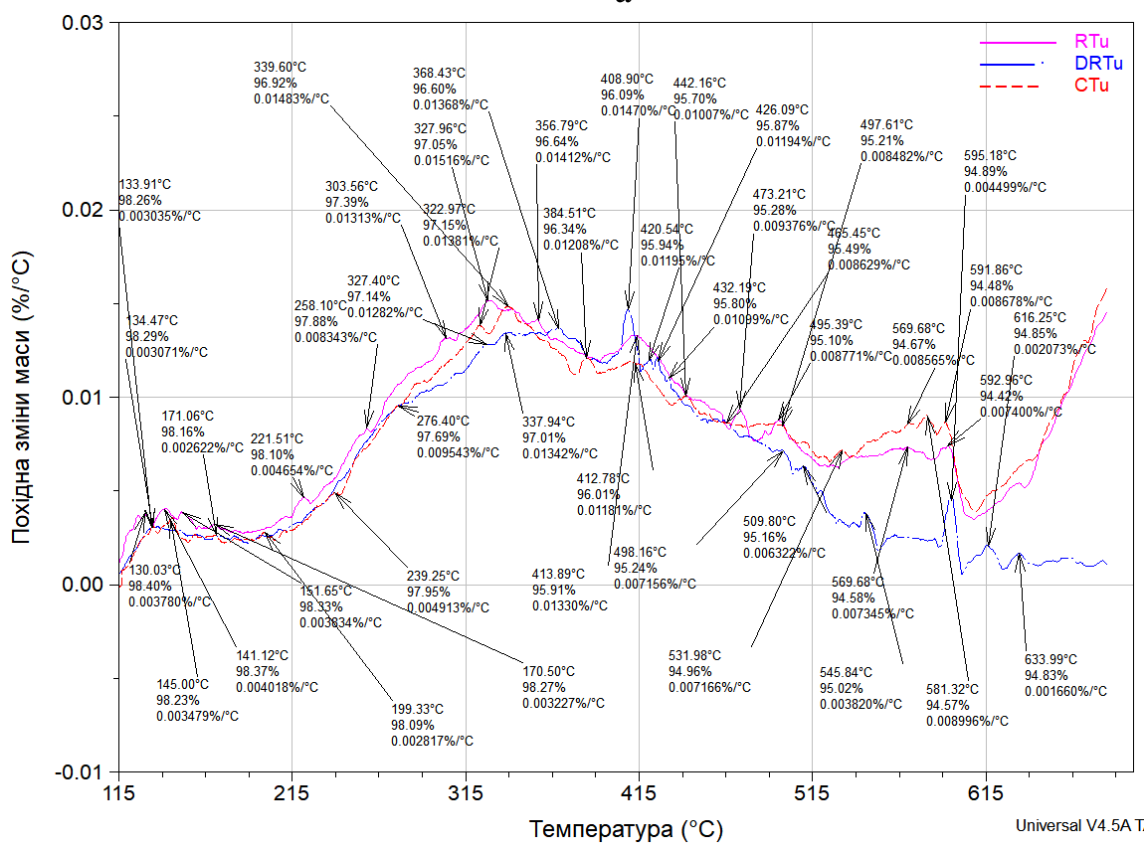


b

Б 47. Проста (а) і диференційована (b) криві втрати маси ґрунтової проби 30–40 см шару чорнозему типового за 16 річного використання мілкого безполицевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu)

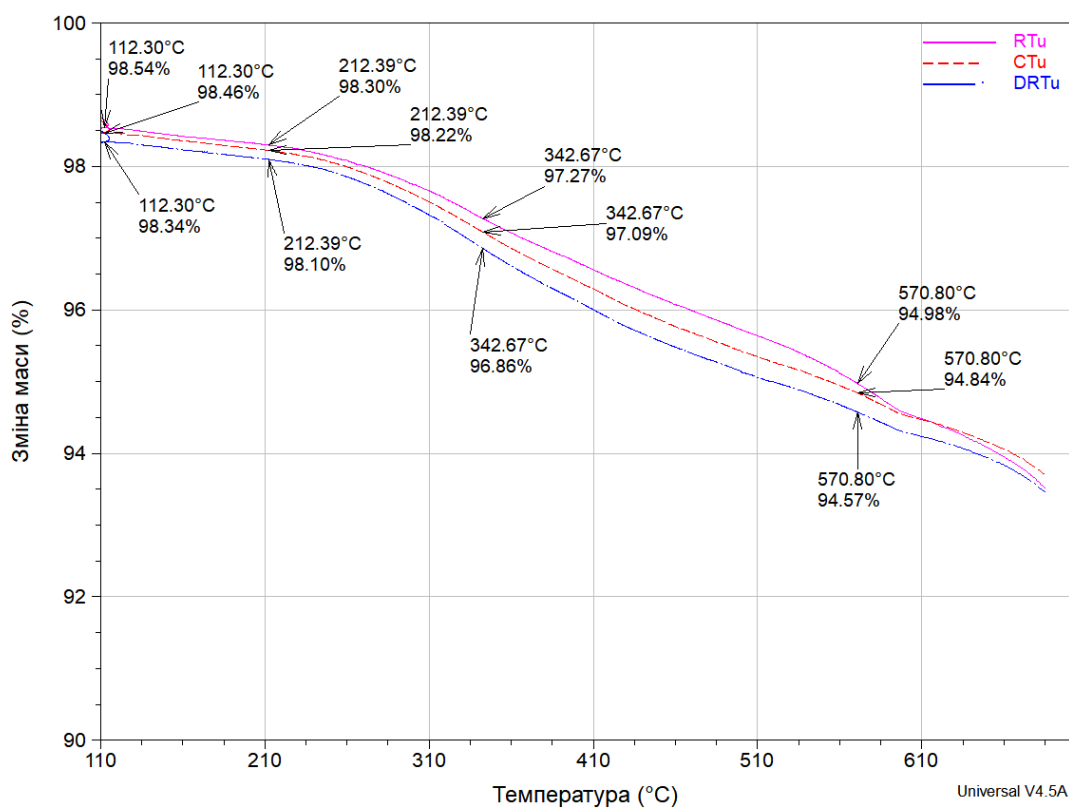


a

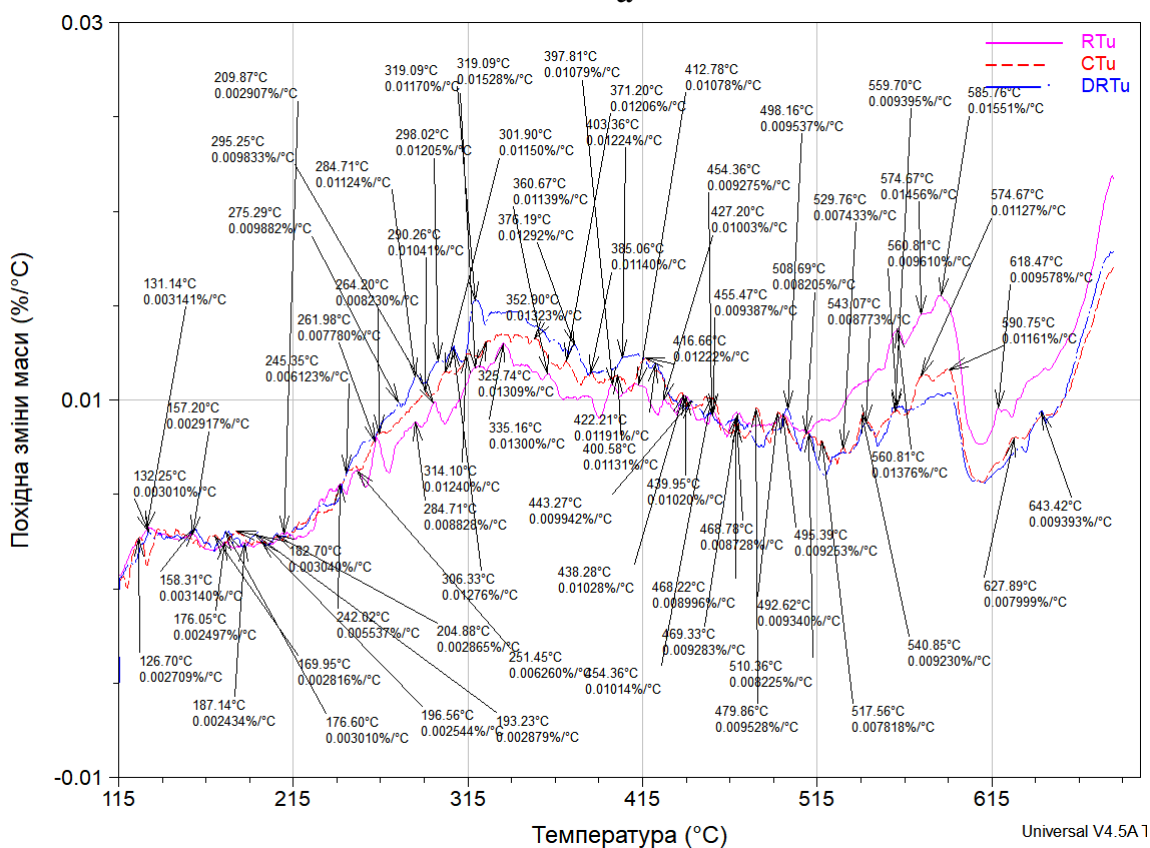


b

Б 49. Проста (а) і диференційована (b) криві втрати маси ґрунтової проби 60–80 см шару чорнозему типового за 16 річного використання мілкого безпліцевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безпліцевого обробітку (DRTu)

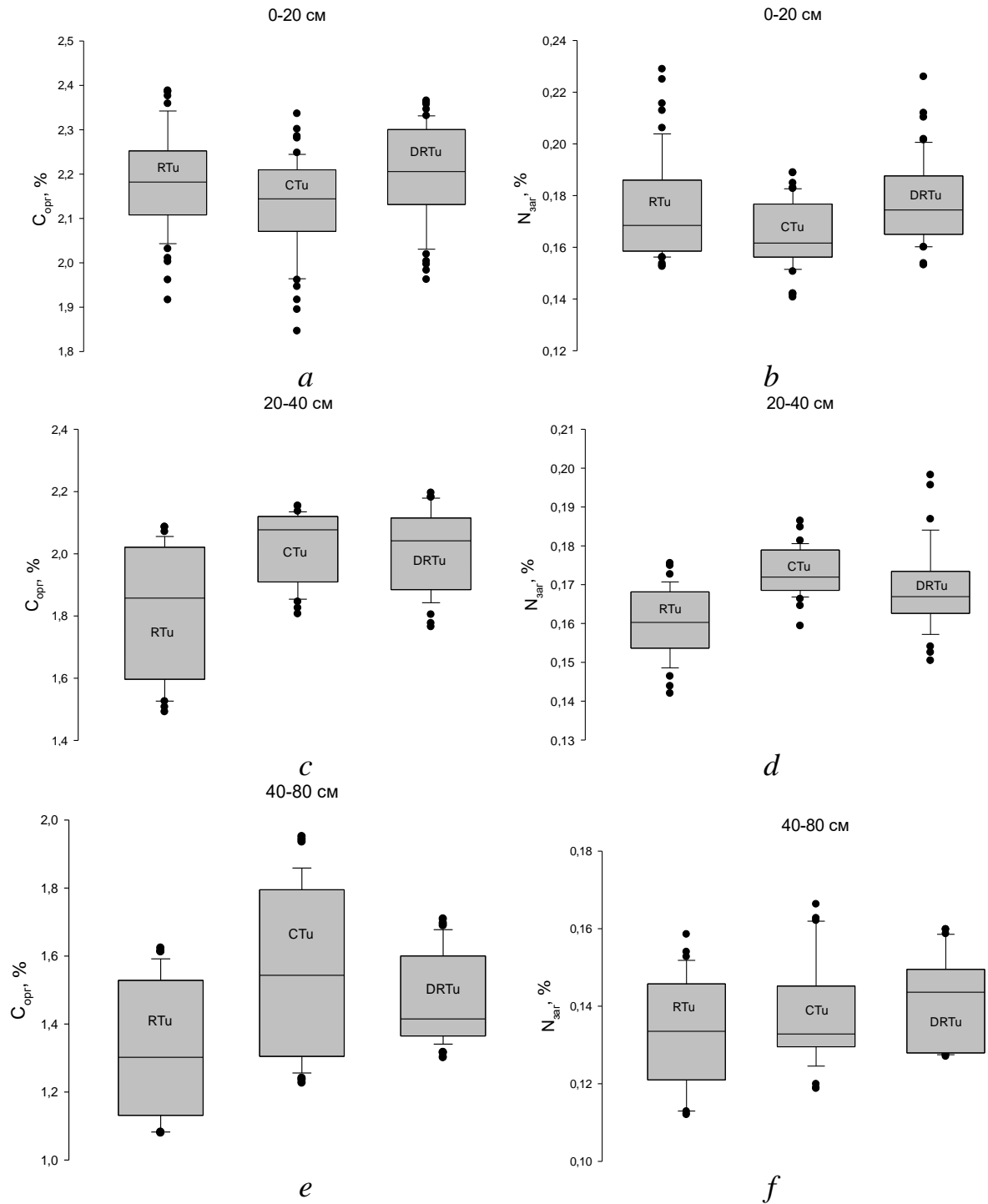


a

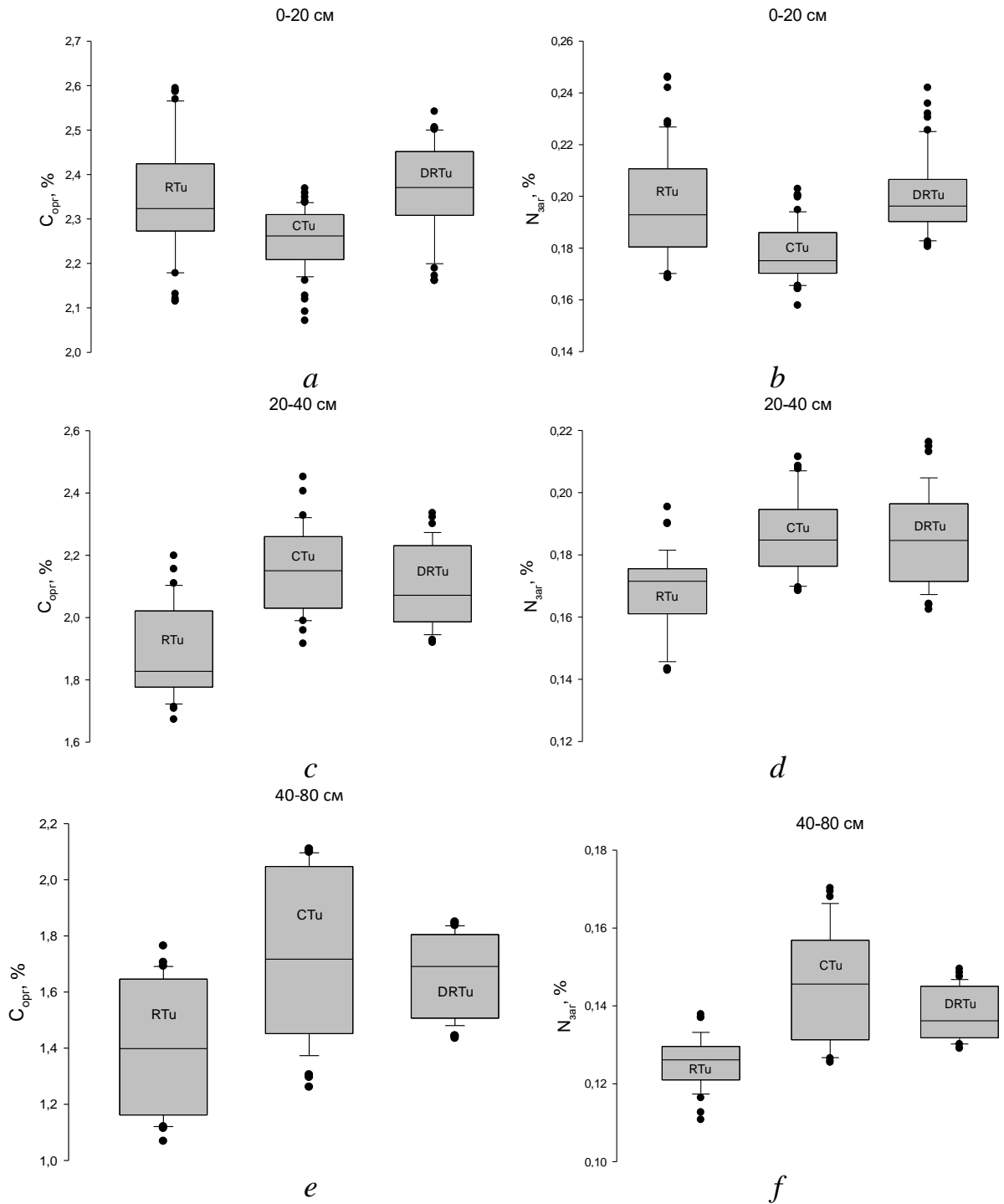


b

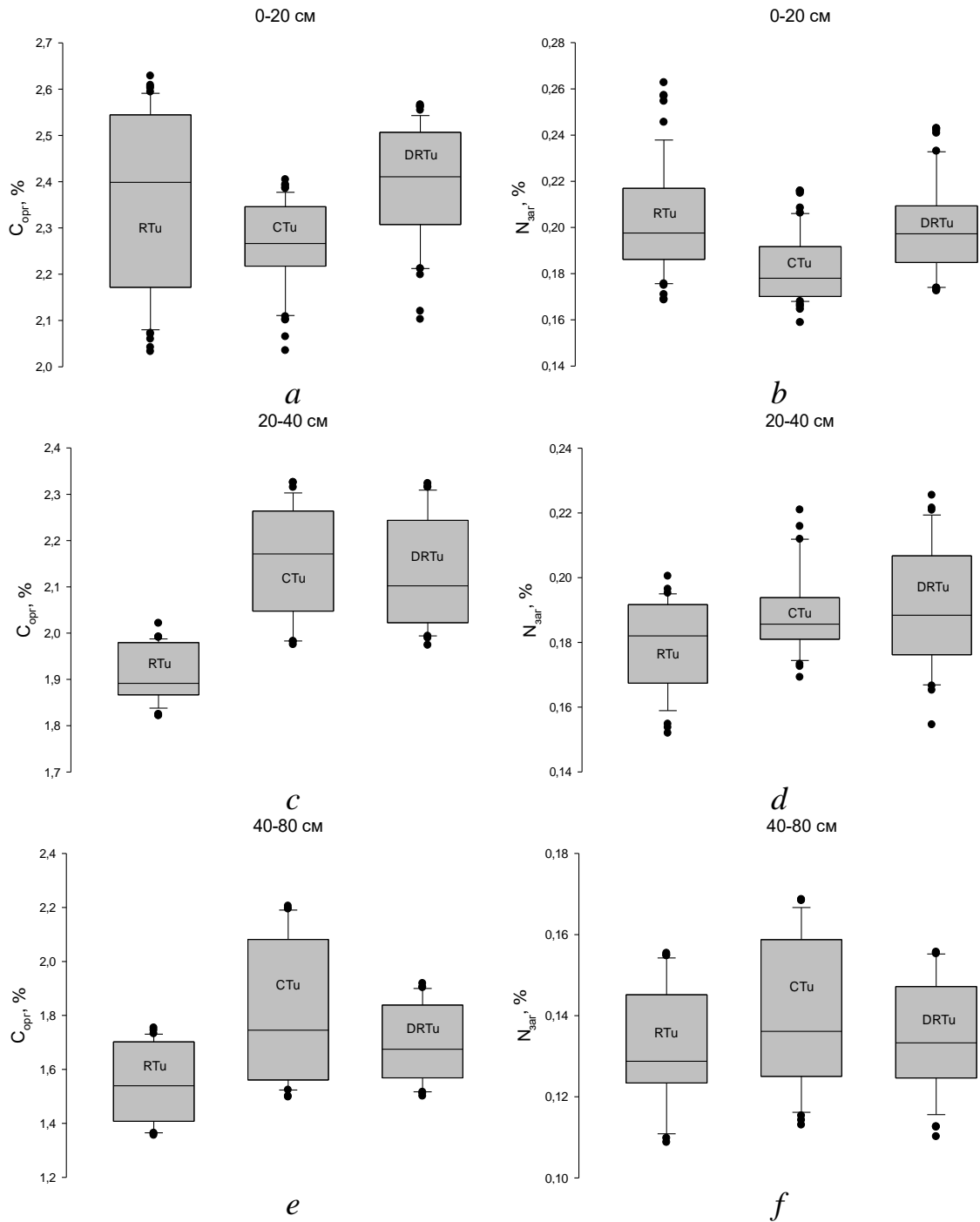
Б 50. Проста (а) і диференційована (b) криві втрати маси ґрунтової проби 80–100 см шару чорнозему типового за 16 річного використання мілкого безполицевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu)



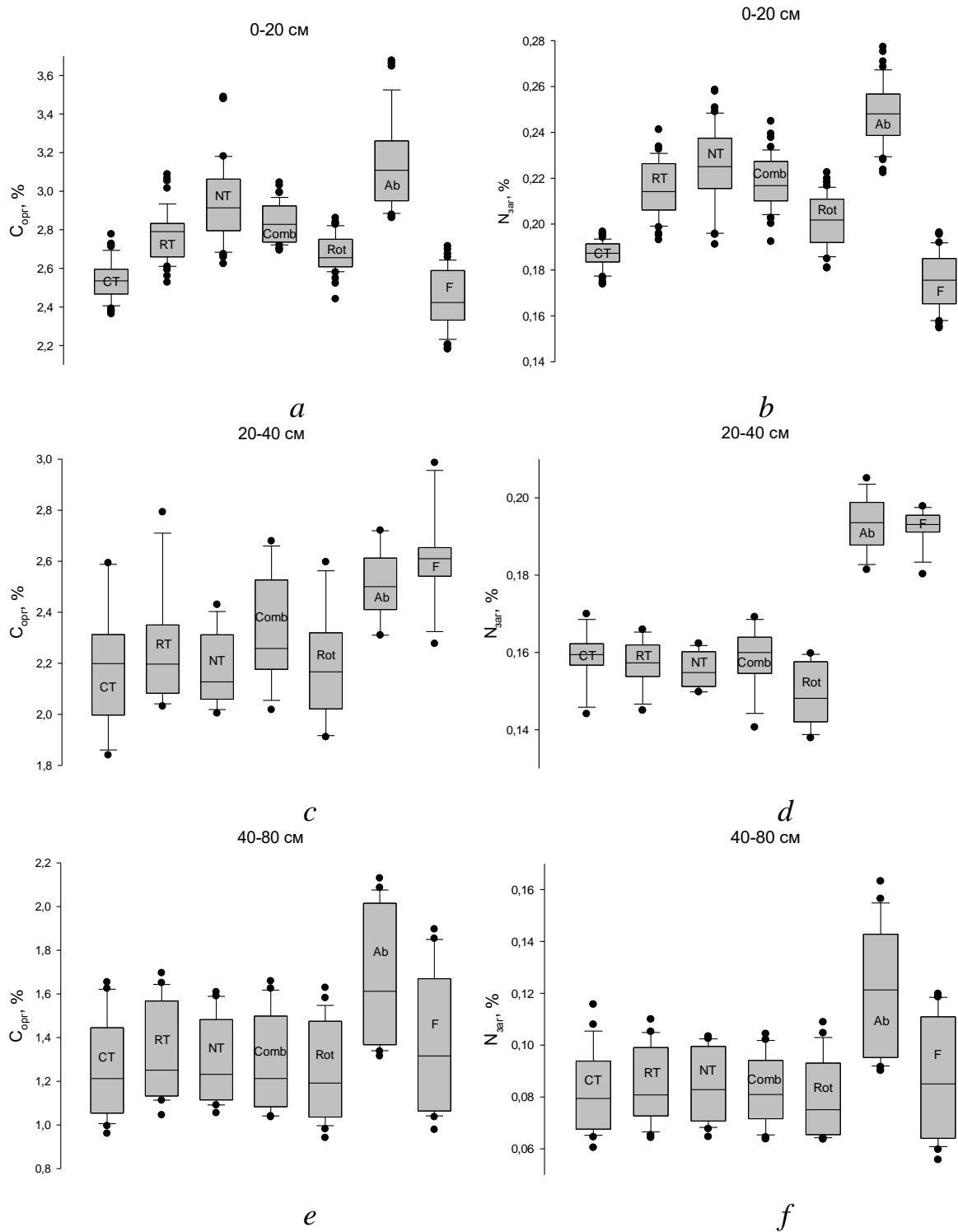
Б 51. Розміри сезонної динаміки (box plot 25–75 %, медіана, $n = 36\text{--}54$, квітень-травень-червень-липень-серпень-жовтень) $C_{\text{опрт}}$ (*a*, *c*, *e*) та $N_{\text{заг}}$ (*b*, *d*, *f*) у 0–80 см шарі чорнозему типового за використання мілкового безполицевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu). Варіант без добрив



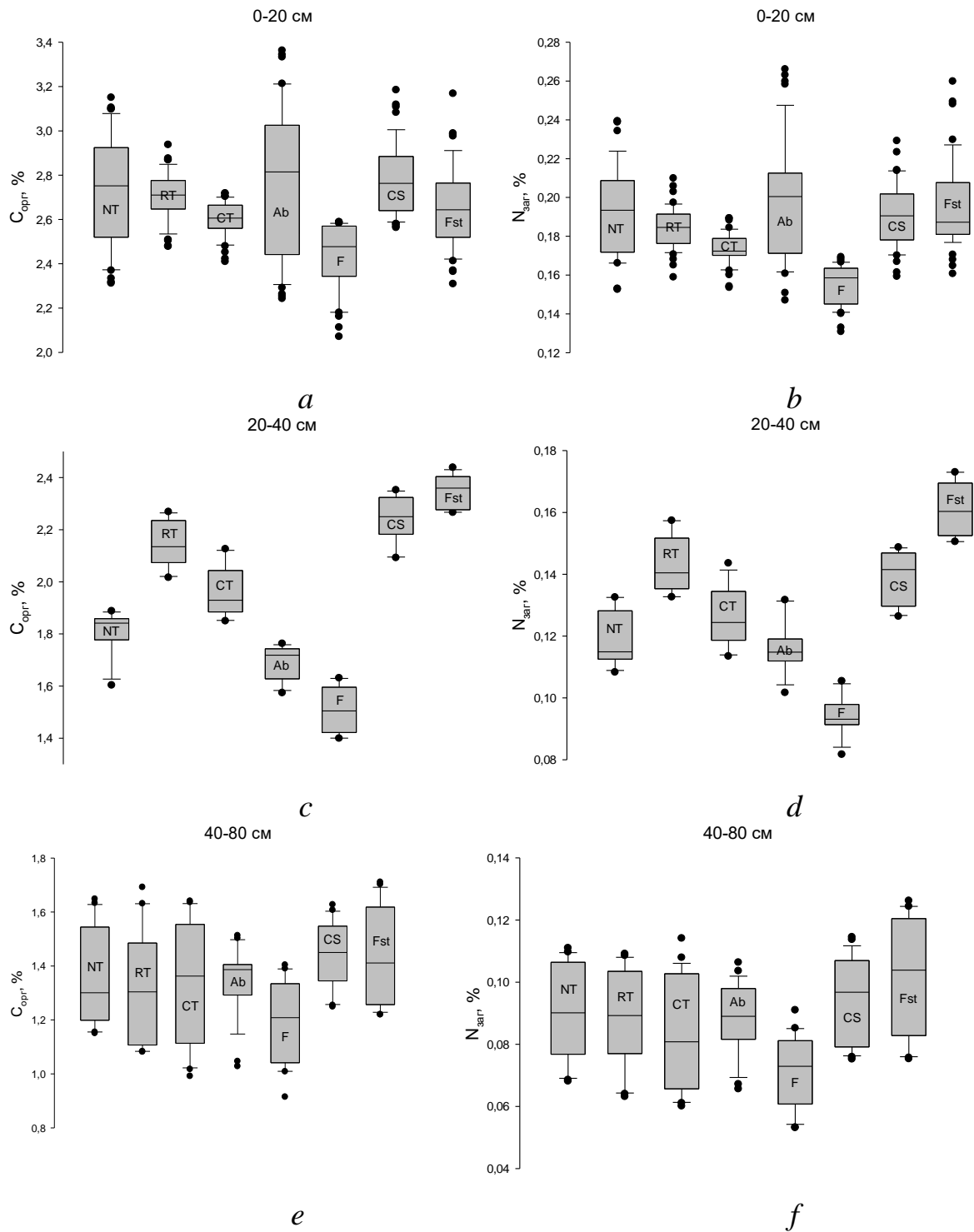
Б 52. Розміри сезонної динаміки (box plot 25–75 %, медіана, $n = 36-54$, квітень-травень-червень-липень-серпень-жовтень) $C_{\text{опрг}}$ (*a*, *c*, *e*) та $N_{\text{заг}}$ (*b*, *d*, *f*) у 0–80 см шарі чорнозему типового за використання мілкового безпліцевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безпліцевого обробітку (DRTu). Варіант - солома 1,2 т/га + $N_{12} + N_{78}P_{68}K_{68}$



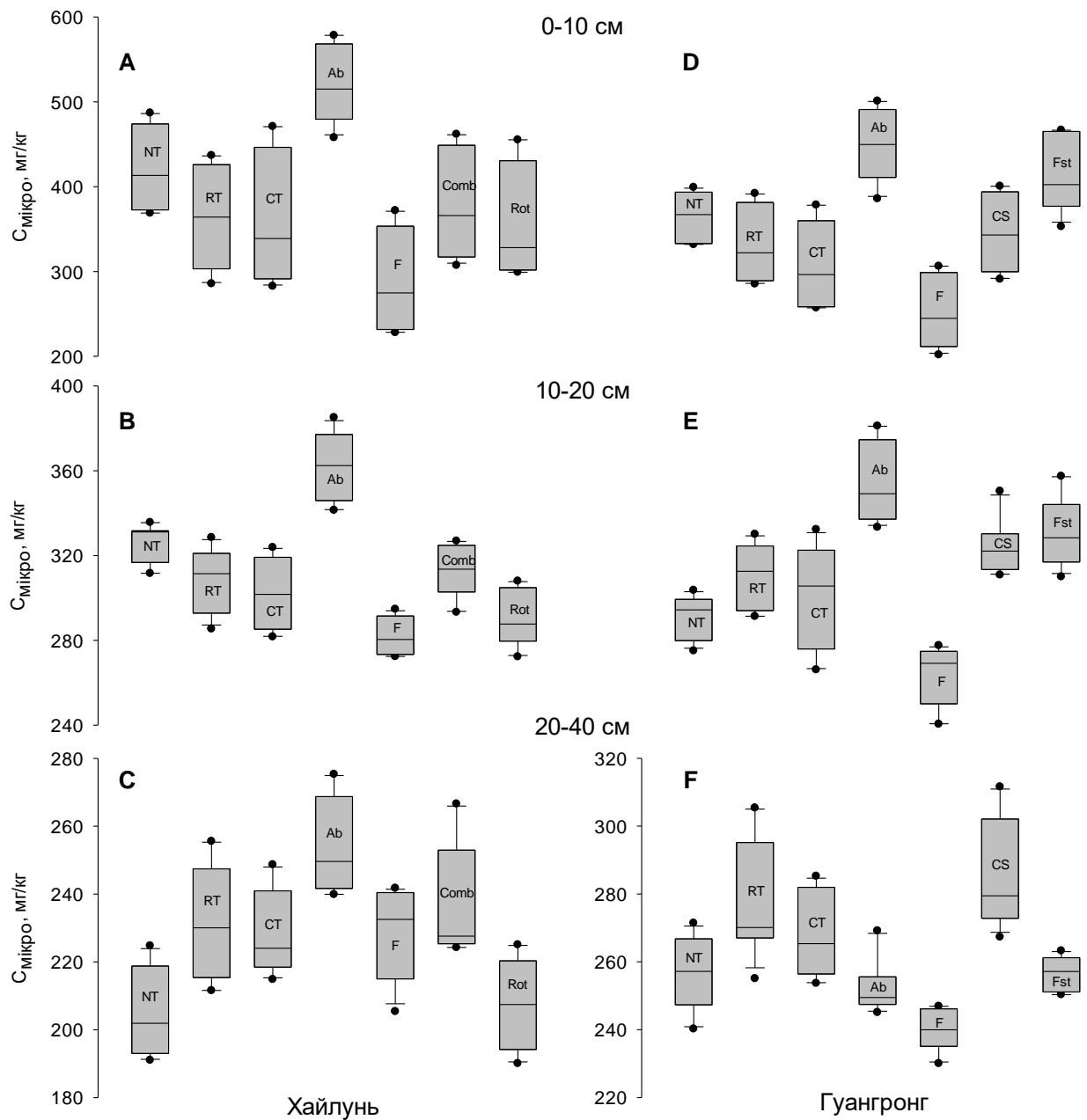
Б 53. Розміри сезонної динаміки (бох plot 25–75 %, медіана, $n = 36\text{--}54$, квітень-травень-червень-липень-серпень-жовтень) $C_{\text{опр}}$ (*a*, *c*, *e*) та $N_{\text{заг}}$ (*b*, *d*, *f*) у 0–80 см шарі чорнозему типового за використання мілкого безполицевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu). Варіант - соломка 1,2 т/га + N_{12} + сидерати + $N_{78}P_{68}K_{68}$



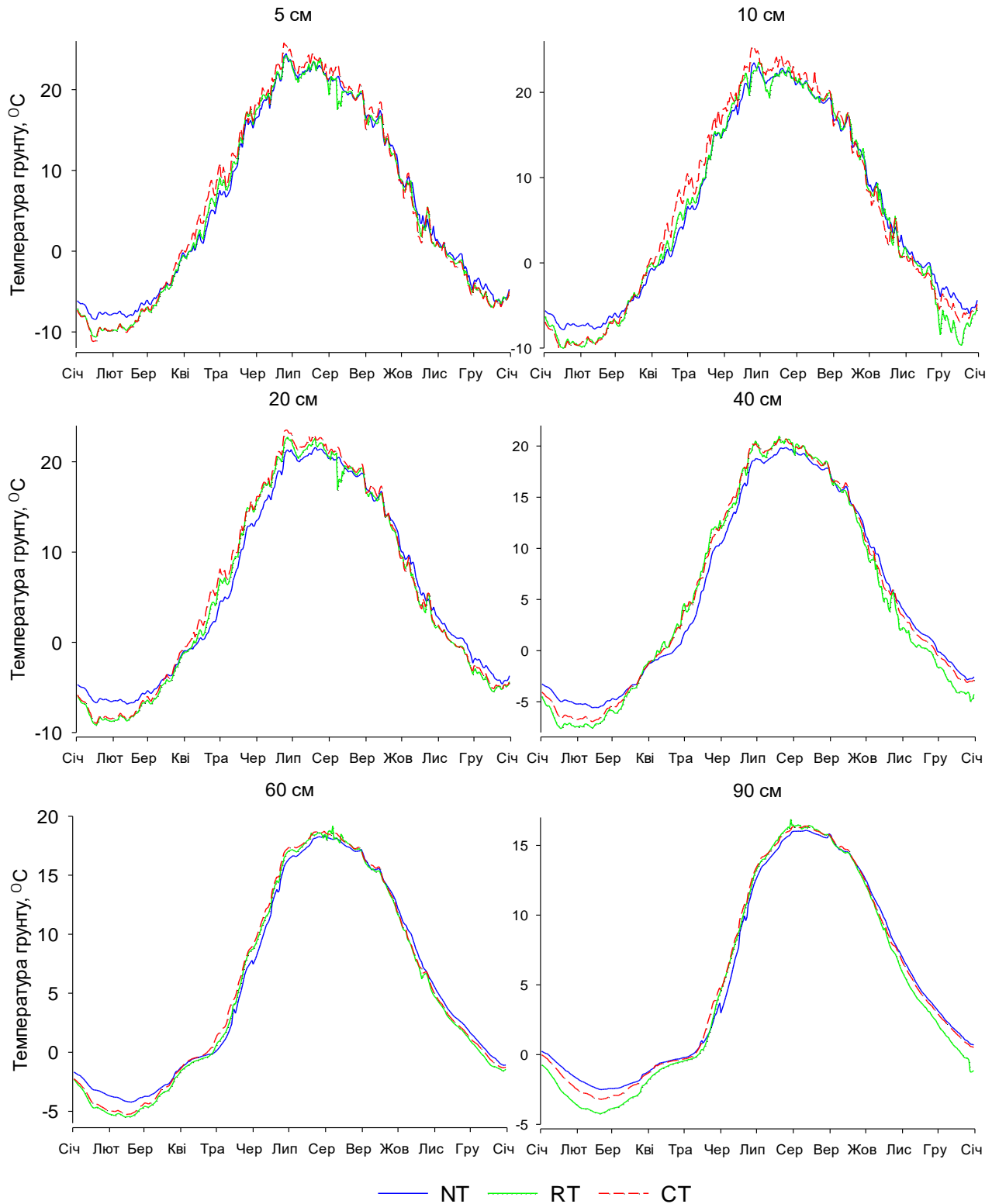
Б 54. Розміри сезонної динаміки (box plot 25–75 %, медіана, $n = 12-48$, травень-липень-серпень-жовтень) $C_{\text{опрт}}$ (*a*, *c*, *e*) та $N_{\text{зар}}$ (*b*, *d*, *f*) у 0–80 см шарі ізогумусоля Хайлуня за використання: оранки (CT), по-*till* (NT), роторного (Rot), безпліцевого (RT) і комбінованого (Comb) обробітків ґрунту та за чорного пару (F) і перелогу (Ab)



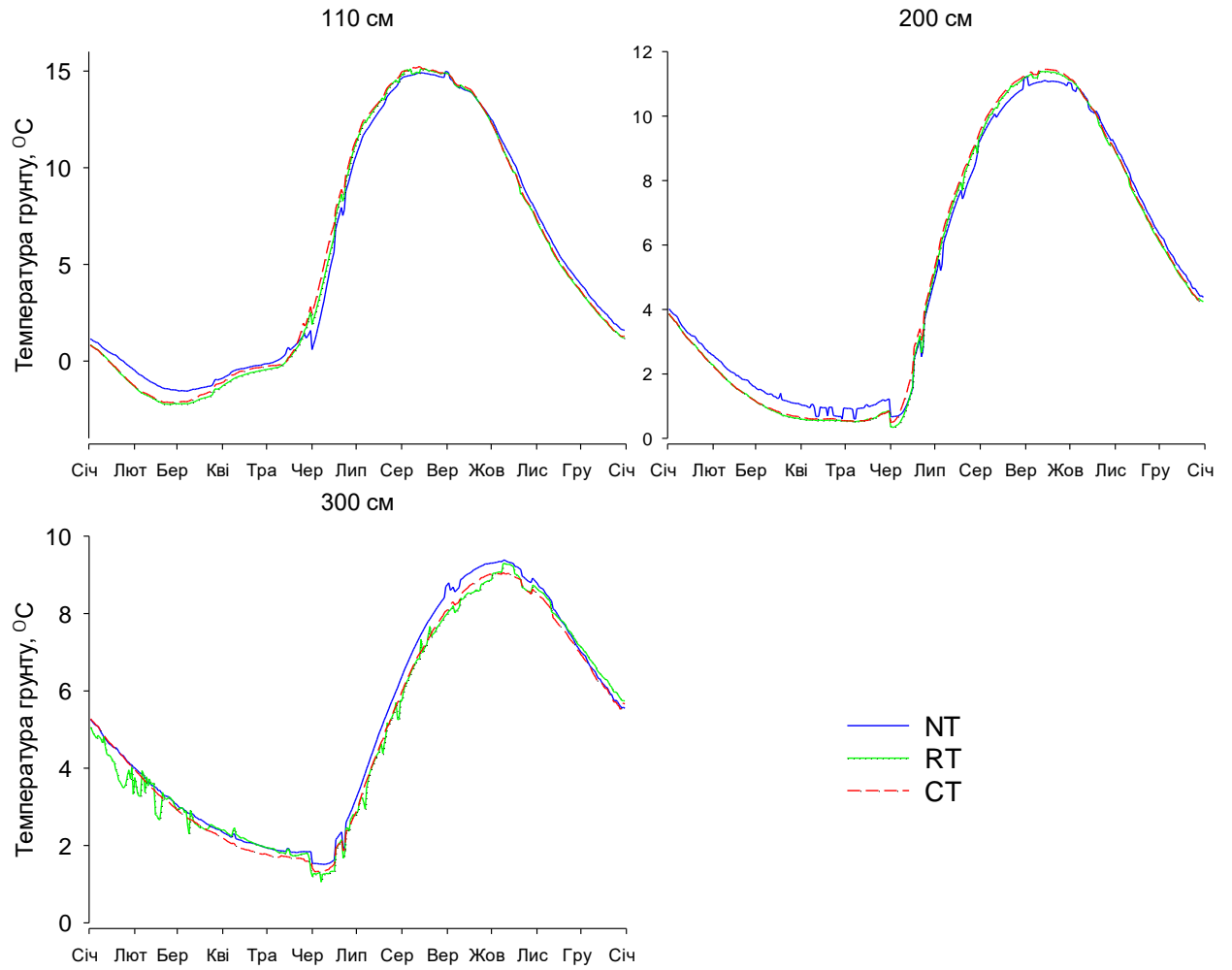
Б 55. Розміри сезонної динаміки (box plot 25–75 %, медіана, $n = 12-48$, травень-липень-серпень-жовтень) $C_{\text{опрт}}$ (*a*, *c*, *e*) та $N_{\text{згрг}}$ (*b*, *d*, *f*) у 0–60 см шарі ізогумусоля Гуангронгу за використання: оранки (CT), по-till (NT), безполицевого обробітку (RT), обробітку поперек схилу (CS), чорного пару (F), перелогу (Ab), лісу (Fst)



Б 56. Розміри сезонної динаміки (box plot 25-75 %, медіана, $n = 12$, травень-липень-серпень-жовтень) $C_{\text{мікро}}$, у 0–40 см шарі ізогумусолів Хайлуня (А, В, С) та Гуангронгу (D, E, F) за використання: оранки (CT), no-till (NT), безполицевого (RT), поперек схилу (CS), роторного (Rot), комбінованого (Comb) обробітків, чорного пару (F), перелогу (Ab), лісу (Fst)



Б 57. Річна динаміка температури ґрунту (°C) у середньому за 2010–2014 роки у 0–90 см шарі ізогумусоля Хайлуня за використання: по-till (NT), безполицевого обробітку (RT) та оранки (CT)



Б 58. Річна динаміка температури ґрунту (°С) у середньому за 2010–2014 роки у 110–300 см шарі ізогумусоля Хайлуня за використання: no-till (NT), безполицевого обробітку ґрунту (RT) та оранки (CT)

ДОДАТОК В

Таблиці і допоміжні цифрові дані до основних розділів дисертації

В 1. Чергування сільськогосподарських культур у сівозмінах і середні норми внесення мінеральних добрив (кг на 1 га сівозмінної площі) у ВП НУБіП України «Великоснітинське»

№	Культура	Основне удобрення			Припосівне удобрення			Підживлення		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Сівозміна I (1999-2009 роки)										
1	Багаторічні трави								30	30
2	Пшениця озима	20	40	40				30		
3	Буряки цукрові	110	80	90						
4	Горох	-	-	-		15				
5	Пшениця озима	30	40	40				30		
6	Кукурудза на зерно	80	60	60						
7	Кукурудза на силос	80	50	60						
8	Пшениця озима	30	40	40				30		
9	Буряки цукрові	110	80	90						
10	Ячмінь + б/т					15				
Сівозміна II (2010-2016 роки)										
1	Соя	60	68	68						
2	Пшениця озима	40	68	68				50		
3	Кукурудза на зерно	120	90	90						
4	Ячмінь	45	45	45						
5	Кукурудза на зерно	120	90	90						
6	Соя	60	68	68						
7	Ячмінь	45	45	45						

В 2. Довірчий інтервал $\alpha_{0,01}$ розподілу різних гранулометричних фракцій з глибиною в ізогумусолі та чорноземі типовому

Розмір фракцій, мм	Глибина, см							
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Ізогумусоль								
1-0,05	0,737	0,640	0,507	0,359	0,411	0,407	0,197	0,282
0.05-0.01	1,059	0,904	0,612	0,206	0,269	0,354	0,321	0,297
< 0.01	1,072	0,876	0,685	0,308	0,368	0,556	0,209	0,475
< 0.001	1,331	1,223	1,044	0,476	0,463	0,516	0,223	0,380
Чорнозем типовий								
	0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100
1-0,05	0,973	1,260	1,280	1,073	1,336	1,015	0,913	1,281
0.05-0.01	0,874	0,579	0,489	0,818	0,220	0,494	0,947	0,667
< 0.01	1,845	1,838	1,694	1,673	1,248	0,522	0,738	1,257
< 0.001	2,100	1,967	1,976	2,313	1,715	1,491	1,210	0,993

В 6. Мольні відношення С, N, S, H елементів у 0–100 см шарі чорнозему типового за використання мілкового безполицевого обробітку (RTu), оранки (СТu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu). Удобрення: солома 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈

Глибина, см	Мольні відношення С, N, S, H							
	C:N	α 0,01	C:S	α 0,01	N:S	α 0,01	C:H	α 0,01
RTu								
0-5	11,79	± 1,15	58,39	± 6,59	13,27	± 0,21	0,38	± 0,049
5-10	11,76	± 0,69	59,09	± 4,23	13,46	± 0,18	0,38	± 0,032
10-20	11,99	± 0,13	61,22	± 11,26	13,68	± 2,37	0,38	± 0,032
20-30	12,14	± 0,75	61,75	± 6,67	13,63	± 0,63	0,37	± 0,049
30-40	12,05	± 0,10	54,27	± 2,45	12,07	± 0,65	0,36	± 0,077
40-60	11,83	± 1,49	52,22	± 10,30	11,81	± 0,84	0,33	± 0,096
60-80	11,61	± 0,87	50,99	± 4,16	11,76	± 0,07	0,31	± 0,030
80-100	11,37	± 0,40	40,90	± 5,66	9,63	± 1,00	0,25	± 0,046
СТu								
0-5	12,97	± 1,93	67,99	± 14,60	14,02	± 0,92	0,43	± 0,035
5-10	12,26	± 0,23	62,67	± 0,84	13,70	± 0,08	0,40	± 0,038
10-20	12,30	± 0,00	65,29	± 4,42	14,22	± 0,97	0,39	± 0,039
20-30	12,23	± 0,60	78,21	± 3,14	17,14	± 0,16	0,42	± 0,010
30-40	12,86	± 1,63	70,90	± 24,67	14,71	± 3,27	0,38	± 0,014
40-60	12,42	± 0,16	65,04	± 15,85	14,02	± 3,24	0,34	± 0,040
60-80	11,96	± 0,43	65,22	± 21,38	14,58	± 4,26	0,33	± 0,020
80-100	11,42	± 0,06	59,90	± 23,23	14,05	± 5,37	0,29	± 0,001
DRTu								
0-5	11,83	± 0,48	59,31	± 5,74	13,43	± 0,76	0,39	± 0,036
5-10	11,85	± 0,17	57,39	± 5,94	12,97	± 1,15	0,38	± 0,035
10-20	12,02	± 1,03	60,99	± 10,73	13,58	± 1,23	0,38	± 0,012
20-30	12,04	± 0,89	67,01	± 8,65	14,90	± 0,82	0,40	± 0,018
30-40	12,64	± 0,98	59,28	± 5,84	12,56	± 0,26	0,37	± 0,043
40-60	12,49	± 0,53	47,77	± 1,92	10,24	± 0,02	0,32	± 0,022
60-80	12,41	± 1,47	46,65	± 4,04	10,07	± 0,32	0,33	± 0,070
80-100	11,83	± 0,46	41,64	± 5,57	9,44	± 1,63	0,29	± 0,062

В 7. Мольне співвідношення С : N у 0–100 см шарі ізогумусоля (Хайлунь) за використання: оранки (СТ), по-till (NT), роторного (Rot), безполицевого (RT) і комбінованого (Comb) обробіток ґрунту та за чорного пару (F) і перелугу (Ab). Удобрення: N₉₅P_{51,75}K₁₅

Глибина, см	СТ	RT	NT	Comb	Rot	Ab	F
0-5	17,52 ± 1,33	17,14 ± 2,23	17,21 ± 0,97	16,66 ± 1,30	16,83 ± 1,84	16,67 ± 1,63	17,88 ± 2,01
5-10	16,98 ± 1,23	15,64 ± 1,97	15,07 ± 1,12	15,97 ± 0,65	16,22 ± 2,15	15,50 ± 1,34	17,33 ± 1,50
10-15	16,83 ± 2,01	15,46 ± 2,38	15,19 ± 0,17	16,44 ± 0,36	16,35 ± 0,68	15,58 ± 4,24	17,14 ± 1,06
15-20	16,90 ± 0,97	15,83 ± 3,31	15,59 ± 0,80	17,09 ± 0,86	17,46 ± 1,20	15,69 ± 1,53	16,86 ± 2,64
20-40	18,39 ± 0,79	17,72 ± 1,01	16,35 ± 1,05	19,54 ± 2,43	19,71 ± 2,58	16,30 ± 0,95	18,66 ± 0,27
40-60	17,80 ± 5,93	18,07 ± 1,50	16,57 ± 2,31	18,73 ± 1,02	18,14 ± 1,30	16,16 ± 0,99	18,36 ± 0,32
60-80	18,01 ± 2,23	18,39 ± 0,95	17,51 ± 1,52	18,26 ± 5,58	18,44 ± 1,46	16,76 ± 0,34	18,55 ± 1,00
80-100	18,05 ± 6,85	17,88 ± 6,04	17,23 ± 2,80	17,70 ± 3,02	18,15 ± 7,33	16,12 ± 6,23	18,35 ± 1,40

В 8. Мольне співвідношення С : N у 0–100 см шарі ізогумусоля (Гуангронг) за використання: оранки (СТ), по-till (NT), безполицевого обробітку (RT), обробітку поперек схилу (CS), чорного пару (F), перелогу (Ab), лісу (Fst).
Удобрення: N₉₅P_{51,75}K₁₅

Глибина, см	NT	RT	СТ	Ab	F	CS	Fst
0-5	16,82 ± 0,36	17,65 ± 0,12	17,94 ± 0,95	16,56 ± 0,53	19,41 ± 1,72	17,95 ± 0,31	16,19 ± 0,31
5-10	17,26 ± 0,75	17,80 ± 0,94	17,98 ± 0,14	17,35 ± 0,20	18,72 ± 0,63	17,71 ± 0,18	17,34 ± 0,07
10-15	17,25 ± 0,26	17,89 ± 0,09	17,81 ± 0,03	17,03 ± 0,15	18,42 ± 0,09	17,19 ± 0,04	16,49 ± 0,10
15-20	18,01 ± 0,39	18,27 ± 0,43	19,02 ± 0,07	17,85 ± 0,64	19,18 ± 1,14	18,42 ± 0,11	18,04 ± 0,14
20-40	16,62 ± 0,08	16,94 ± 0,30	17,05 ± 0,44	16,36 ± 2,00	17,91 ± 1,56	17,79 ± 0,08	16,29 ± 0,17
40-60	17,75 ± 0,21	18,12 ± 0,37	18,51 ± 0,12	17,47 ± 1,06	19,42 ± 1,77	18,12 ± 0,15	16,60 ± 0,93
60-80	18,07 ± 0,37	17,76 ± 2,58	19,23 ± 1,02	18,42 ± 0,37	20,60 ± 0,65	18,81 ± 0,12	17,67 ± 0,36
80-100	17,29 ± 0,12	16,94 ± 1,38	19,55 ± 0,67	18,26 ± 0,11	19,76 ± 1,05	18,39 ± 0,54	16,86 ± 0,10

В 9. Коефіцієнти лінійної кореляції К. Пірсона між змінними параметрами розподіл групового і фракційного складу гумусу чорнозему типового

Параметри	ГК ₃	ФК _{1a}	ФК ₁	ФК ₂	ФК ₃	С _{ГК}	С _{ФК}	НГ	С %	ГК ₁ + ФК ₁	ГК ₂ + ФК ₂	ГК ₃ + ФК ₃	ГК ₃ + ФК ₃ +НГ
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
ГК ₁	0,0937	0,0837	0,187	0,0585	0,107	0,0676	0,104	0,32	0,188	0,864	0,0648	0,0987	0,267
<i>p</i> -значення	0,74	0,767	0,505	0,836	0,706	0,811	0,712	0,245	0,503	3,33E-05	0,819	0,726	0,337
ГК ₂	0,944	0,902	0,928	0,958	0,913	0,991	0,975	0,754	0,936	0,527	0,996	0,942	0,84
<i>p</i> -значення	1,22E-07	4,4E-06	5,99E-07	1,98E-08	2,06E-06	1,35E-12	6,48E-10	0,00117	2,94E-07	0,0437	2,84E-15	1,64E-07	8,85E-05
ГК ₃		0,891	0,876	0,958	0,963	0,976	0,976	0,818	0,958	0,532	0,957	0,996	0,904
<i>p</i> -значення		8,22E-06	1,84E-05	2,13E-08	8,33E-09	5,71E-10	5,09E-10	0,000194	2,03E-08	0,0413	2,47E-08	4,80E-15	3,78E-06
ФК _{1a}			0,932	0,833	0,861	0,916	0,932	0,846	0,936	0,566	0,889	0,889	0,893
<i>p</i> -значення			4,29E-07	0,000115	3,73E-05	1,64E-06	4,25E-07	7,05E-05	2,87E-07	0,0277	9,27E-06	9,57E-06	7,6E-06
ФК ₁				0,836	0,822	0,922	0,923	0,847	0,937	0,649	0,909	0,865	0,886
<i>p</i> -значення				0,000105	0,000171	1,04E-06	9,47E-07	6,85E-05	2,69E-07	0,00891	2,71E-06	0,000031	1,09E-05
ФК ₂					0,954	0,969	0,971	0,762	0,93	0,478	0,979	0,964	0,853
<i>p</i> -значення					3,63E-08	3,08E-09	1,72E-09	0,000968	5,33E-07	0,0713	2,29E-10	7,19E-09	5,37E-05
ФК ₃						0,942	0,968	0,79	0,93	0,52	0,933	0,983	0,879
<i>p</i> -значення						1,55E-07	3,5E-09	0,000464	5,06E-07	0,0469	3,85E-07	5,06E-11	1,59E-05
С _{ГК}							0,989	0,791	0,959	0,529	0,993	0,973	0,877
<i>p</i> -значення							4,12E-12	0,00045	1,84E-08	0,0424	2,36E-13	1,28E-09	0,000018

Продовження додатку В 9

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
$S_{фк}$								0,839	0,977	0,563	0,983	0,982	0,915
<i>p-значення</i>								9,39E-05	4,07E-10	0,029	6,40E-11	1,02E-10	1,78E-06
НГ									0,932	0,692	0,763	0,815	0,985
<i>p-значення</i>									4,45E-07	0,00426	0,000941	0,000213	2,72E-11
С %										0,634	0,942	0,957	0,976
<i>p-значення</i>										0,0112	1,51E-07	2,48E-08	4,89E-10
ГК ₁ + ФК ₁											0,517	0,532	0,672
<i>p-значення</i>											0,0485	0,0411	0,00606
ГК ₂ + ФК ₂												0,957	0,851
<i>p-значення</i>												2,45E-08	5,69E-05
ГК ₃ + ФК ₃													0,903
<i>p-значення</i>													0,000004

В 10. Температурні ефекти ґрунтових проб 0–100 см шару чорнозему типового за використання мілкої безполицевої обробітки (RTu), оранки (CTu) і глибокої безполицевої обробітки (DRTu)

Варіант обробітки	Температурний інтервал, °С					
	115-215	215-300	300-400	400-500	500-610	610-700
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
0–5 см						
RTu	145,88;194,87.		311,85; 328,48;342,9; 376,16; 387,8.	402,63;416,63; 426,35;433,82; 447,13;462,1; 475,91.	509,22;523,64; 541,93;563,95; 577,41;590,72.	623,43; 693,28.
CTu	132,78;134,44; 145,53;175,41; 187,53;195,42.	233,92; 287,7.	339,57; 350,1; 362,3; 398,89.	414,42;495,94.	593,63.	621,56.
DRTu	135,87;152,18; 163,27;184,34.		344,06;369,43;392,45.	412,52;439,92; 465,36;477,06; 486,45;494,81.	513,87;568,54; 594.	627,31; 662,54.
5–10 см						
RTu	128,51;139,7; 150,32;162,62; 157,03.		321,98;334,28; 342,11;383,49.	414,8;426,54; 437,72;474,07.	502,03;516,56; 541,73;592,61; 593,73.	625,6; 648,52.
CTu	155,35;175,48; 201,2.		335,4.	412;495,23.	558,01;595,28.	671,45; 655,23.
DRTu	153,68.		315,27;326,45; 337,08;361,12.	404,73;451,14; 477,98;490,28.	500,91;527,75; 557,38;569,12; 591,49.	618,89; 636,22; 647,41; 670,33.
10–20 см						
RTu	134,47;145,55; 154,98;161,63; 166,07;198,78.	217,07; 235,92; 248,12; 273,62; 291,92.	325,18;335,72;351,8; 362,33;374,53;385,06.	413,34;443,83; 495,39.	508,14;521,45; 545,84;572,45; 592,41.	623,46; 645,08; 657,28; 670,03.
CTu	123,38;153,32; 187,69;201.		326,29;356,79; 371,2;389,5.	407,79;426,68; 468,22.	518,12;531,98; 553,05.	621,79; 635,10; 664,48.
DRTu	117,83;137,24; 148,33;172,72; 188,8;195,45.	209,87; 222,06; 276,95.	338,49;349,02.	400,58;415,55; 453,25;461,01; 482,64.	540,85;570,23; 580,21;596,29.	616,8; 647,30.
20–30 см						
RTu	207,65.	219,85; 223,73; 238,7; 261,43; 289,15.	312,43;338,49;351,24; 369,54;383,4;396,7.	411,67;452,7; 462,68;475,43; 498,71.	539,19;579,66; 592,96.	631,77.

Продовження додатку В 10

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
CTu	132,25;155,53; 166,62;205,99.	265,31; 290,81.	315,2;330,17;340,71; 363,44.	409,45;436,07; 445,49;482,64; 495,94.	528,1;546,39; 564,69;577,44; 594,07.	611,81; 622,35; 650,62; 663,93.
DRTu	136,68;154,98; 166,07;174,94; 191,02.	253,11; 270,3.	335,16;358,45; 382,84.	407,24;451,04.	562,47;579,66; 592,41;607,38.	621,24; 644,52; 656,17.
30–40 см						
RTu	132,8;149,44; 176,6.	285,27.	332,39;365,1.	407,24;442,72; 455,47;478,76; 498,71.	513,13;541,96; 554,16;584,65.	609,04 632,88
CTu	134,47;192,68; 215,97.	242,02; 285,82; 293,58.	331,28;365,1.	415;415;425,5; 457,69;468,78.	536,41;549,72; 590,75.	627,34; 660,05 672,80.
DRTu	134,47;150,54; 179,37;192,13; 203,77;213,75.	250,89; 267,53.	304,12;337,38; 347,91;362,88; 376,19;391,16.	404,46;422,76; 451,59;480,42; 497,05.	560,81;594,63.	612,37; 641,2; 662,82.
40–60 см						
RTu	135,02;145,0; 159,42;173,83.	225,94.	336,27;356,23;376,74.	415;491,51.	519,78;579,66.	
CTu	137,24;160,52; 178,82;191,02.	203,21; 279,72.	341,82;347,91;351,24; 363,44.	407,79;449,93.	522,55;534,2; 559,7;571,34.	675,16.
DRTu	139,46.	283,05.	327,4;337,94;364,55; 365,1; 378,41.	412,78;457,69; 469,88;495,94.	545,28;578,55; 591,3.	
60–80 см						
RTu	130,03;141,12; 151,65;170,5.	221,51; 258,1.	303,56;327,96;356,79.	413,89;473,21; 495,39.	569,68;592,96.	631,75.
CTu	133,91;145; 171,06;199,33.	239,25; 276,4.	322,97;339,6;384,51.	412,78;442,16; 497,61.	531,98;569,68; 581,32;591,86.	671,94.
DRTu	134,47.		327,4;337,94;368,43.	408,9;420,54; 426,09;432,19; 465,45;498,16.	509,8;545,84; 595,18.	615,64; 616,40; 633,84; 661,16.
80–100 см						
RTu	131,14;157,2; 176,05;187,14; 196,56;209,87.	242,02; 251,45; 261,98; 284,71; 295,25.	319,09;335,16;360,67; 397,81.	412,78;427,2; 439,95;455,47; 469,33;495,39.	560,81;574,67; 585,76.	618,47; 645,08.
CTu	126,7;169,95; 182,7.	245,35; 264,2; 290,26.	301,9;314,1;325,74; 352,9;371,2;385,06; 400,58.	416,66;438,28; 454,36;468,78; 479,86;492,62.	508,69;517,56; 529,76;540,85; 559,7;574,67; 590,75.	627,89; 644,52.
DRTu	132,25;158,31; 176,6;193,23.	204,88; 275,29; 284,71; 298,02.	306,33;319,09;376,19.	403,36;422,21; 443,27;454,36; 468,22;498,16.	510,36;543,07; 560,81.	631,22; 643,42.

В 11. Зміна мас (ΔM , %) та їх процентне співвідношення ($\Delta M / \sum E_{x01-5}$) у термічних інтервалах окиснення ґрунтових проб чорнозему типового за використання мілкого безполицевого обробітку (RTu). Удобрення: солома 1,2 т/га + N_{12} + сидерати + $N_{78}P_{68}K_{68}$

Глибина, см	Endo ₀	E _{x01}	E _{x02}	E _{x03}	E _{x04}	E _{x05}	$\sum E_{x01-5}$
	ΔM , %						
0-5	1,94	1,24	2,06	0,98	1,07	0,09	5,44
5-10	1,96	1,27	1,89	0,83	0,89	0,09	4,97
10-20	2,34	1,05	1,47	0,76	0,87	0,10	4,25
20-30	2,17	0,94	1,35	0,72	0,91	0,14	4,06
30-40	2,27	0,83	1,18	0,65	1,05	0,27	3,98
40-60	2,10	0,83	1,17	0,63	1,08	0,28	3,99
60-80	1,82	0,88	1,16	0,65	1,00	0,32	4,01
80-100	1,67	0,67	0,95	0,55	1,15	0,39	3,71
Середнє значення	2,03	0,96	1,40	0,72	1,00	0,21	4,30
Дов. інт., $\alpha 0,01$	0,21	0,19	0,35	0,12	0,09	0,11	0,54
t-крит., $\alpha 0,05$	0,23	0,21	0,39	0,14	0,10	0,12	0,59
$\Delta M / \sum E_{x01-5}$							
Глибина, см	Endo ₀	E _{x01}	E _{x02}	E _{x03}	E _{x04}	E _{x05}	$\sum E_{x01-5}$
0-5	35,66	22,79	37,87	18,01	19,67	1,65	100,00
5-10	39,44	25,55	38,03	16,70	17,91	1,81	100,00
10-20	55,06	24,71	34,59	17,88	20,47	2,35	100,00
20-30	53,45	23,15	33,25	17,73	22,41	3,45	100,00
30-40	57,04	20,85	29,65	16,33	26,38	6,78	100,00
40-60	52,63	20,80	29,32	15,79	27,07	7,02	100,00
60-80	45,39	21,95	28,93	16,21	24,94	7,98	100,00
80-100	45,01	18,06	25,61	14,82	31,00	10,51	100,00
Середнє значення	47,96	22,23	32,16	16,69	23,73	5,20	100,00
Дов. інт., $\alpha 0,01$	7,09	2,17	4,10	1,03	4,00	3,02	-
t-крит., $\alpha 0,05$	7,78	2,38	4,50	1,13	4,39	3,32	-

Примітка: ΔM – зміна маси ґрунтової проби за певного екзотермічного інтервалу, %; Endo 0 = 0–200 °C, E_{x01} = 200–310 °C, E_{x02} = 310–396 °C, E_{x03} = 396–451 °C, E_{x04} = 451–568 °C, E_{x05} = 578–610 °C.

В 12. Питома теплоємність площ екзотермічних піків (c_s , Дж/(г·°C)) та їх процентне співвідношення ($c_s/\sum E_{x01-5}$) у ґрунтових пробах чорнозему типового за використання мілкового безполицевого обробітку (RTu). Удобрення: солома 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈

Глибина, см	Ехо 1	Ехо 2	Ехо 3	Ехо 4	Ехо 5	$\sum E_{x01-5}$	Ехо 6
	c_s , Дж/(г·°C)						
0-5	48,45	81,97	7,45	25,47	2,00	165,34	703,90
5-10	38,10	81,58	8,20	22,50	1,82	152,20	665,90
10-20	25,94	49,80	11,55	20,25	1,72	109,26	460,00
20-30	27,26	36,81	13,28	28,16	1,84	107,35	538,70
30-40	21,28	35,06	12,26	27,02	1,52	97,14	489,80
40-60	21,73	39,88	11,64	20,22	4,86	98,33	407,50
60-80	20,38	32,96	10,39	20,00	3,16	86,89	395,90
80-100	17,64	28,27	6,65	21,65	2,11	76,32	371,50
Середнє значення	27,60	48,29	10,18	23,16	2,38	111,60	504,15
Дов. інт., $\alpha 0,01$	9,57	19,65	2,23	2,98	1,02	28,39	113,15
t-крит., $\alpha 0,05$	10,51	21,57	2,44	3,27	1,12	31,17	124,25
$c_s/\sum E_{x01-5}$							
Глибина, см	Ехо 1	Ехо 2	Ехо 3	Ехо 4	Ехо 5	$\sum E_{x01-5}$	Ехо 6
0-5	29,30	49,58	4,51	15,40	1,21	100,00	425,72
5-10	25,03	53,60	5,39	14,78	1,20	100,00	437,53
10-20	23,74	45,58	10,57	18,53	1,57	100,00	421,02
20-30	25,39	34,29	12,37	26,23	1,71	100,00	501,82
30-40	21,91	36,09	12,62	27,82	1,56	100,00	504,23
40-60	22,10	40,56	11,84	20,56	4,94	100,00	414,44
60-80	23,45	37,93	11,96	23,02	3,64	100,00	455,63
80-100	23,11	37,04	8,71	28,37	2,76	100,00	486,79
Середнє значення	24,26	41,83	9,75	21,84	2,32	100,00	455,90
Дов. інт., $\alpha 0,01$	2,17	6,37	2,93	4,90	1,23	-	33,69
t-крит., $\alpha 0,05$	2,38	6,99	3,22	5,38	1,35	-	37,00

Примітка: Ехо – значення площі питомої теплоємності у певному екзотермічному інтервалі, Дж/(г·°C); $c_s/\sum E_{x01-5}$ – процентний уміст площі питомої теплоємності за певного (Ехо) інтервалу до загальної площі питомої теплоємності у Ехо₁₋₅ інтервалі;

Ехо 1 = 200–310 °C, Ехо 2 = 310–396 °C, Ехо 3 = 396–451 °C,
Ехо 4 = 451–568 °C, Ехо 5 = 578–610 °C, Ехо 6 = 202–608 °C.

В 13. Зміна мас (ΔM , %) та їх процентне співвідношення ($\Delta M / \sum E_{x01-5}$) у термічних інтервалах окиснення ґрунтових проб чорнозему типового за використання оранки (СТu). Удобрення: солома 1,2 т/га + N_{12} + сидерати + $N_{78}P_{68}K_{68}$

Глибина, см	Endo ₀	E _{xo1}	E _{xo2}	E _{xo3}	E _{xo4}	E _{xo5}	$\sum E_{x01-5}$
	ΔM , %						
0-5	1,75	1,19	1,71	0,80	0,86	0,09	4,65
5-10	2,46	1,22	1,78	0,89	0,91	0,09	4,89
10-20	1,57	1,34	1,97	0,89	0,96	0,09	5,25
20-30	2,03	1,06	1,55	0,74	0,86	0,11	4,32
30-40	2,04	1,07	1,58	0,75	0,88	0,10	4,38
40-60	1,91	0,98	1,44	0,72	0,94	0,14	4,22
60-80	1,91	0,78	1,11	0,59	0,93	0,22	3,63
80-100	1,74	0,76	1,05	0,59	0,99	0,29	3,68
Середнє значення	1,93	1,05	1,52	0,75	0,92	0,14	4,38
Дов. інт., $\alpha 0,01$	0,24	0,19	0,29	0,11	0,04	0,07	0,51
t-крит., $\alpha 0,05$	0,27	0,21	0,32	0,12	0,05	0,07	0,56
$\Delta M / \sum E_{x01-5}$							
Глибина, см	Endo ₀	E _{xo1}	E _{xo2}	E _{xo3}	E _{xo4}	E _{xo5}	$\sum E_{x01-5}$
0-5	37,63	25,59	36,77	17,20	18,49	1,94	100,00
5-10	50,31	24,95	36,40	18,20	18,61	1,84	100,00
10-20	29,90	25,52	37,52	16,95	18,29	1,71	100,00
20-30	46,99	24,54	35,88	17,13	19,91	2,55	100,00
30-40	46,58	24,43	36,07	17,12	20,09	2,28	100,00
40-60	45,26	23,22	34,12	17,06	22,27	3,32	100,00
60-80	52,62	21,49	30,58	16,25	25,62	6,06	100,00
80-100	47,28	20,65	28,53	16,03	26,90	7,88	100,00
Середнє значення	44,57	23,80	34,49	16,99	21,27	3,45	100,00
Дов. інт., $\alpha 0,01$	6,70	1,69	2,95	0,60	3,05	2,08	-
t-крит., $\alpha 0,05$	7,35	1,85	3,24	0,66	3,35	2,28	-

Примітка: ΔM – зміна маси ґрунтової проби за певного екзотермічного інтервалу, %; Endo 0 = 0–200 °С, E_{xo} 1 = 200–310 °С, E_{xo} 2 = 310–396 °С, E_{xo} 3 = 396–451 °С, E_{xo} 4 = 451–568 °С, E_{xo} 5 = 578–610 °С.

В 14. Питома теплоємність площ екзотермічних піків (c_s , Дж/(г·°C)) та їх процентне співвідношення ($c_s/\sum E_{x01-5}$) у ґрунтових пробах чорнозему типового за використання оранки (СТу). Удобрення: солома 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈

Глибина, см	Ехо 1	Ехо 2	Ехо 3	Ехо 4	Ехо 5	$\sum E_{x01-5}$	Ехо 6
	c_s , Дж/(г·°C)						
0-5	32,22	68,79	6,63	15,87	0,86	124,36	592,50
5-10	46,34	49,05	16,32	16,91	0,99	129,61	588,20
10-20	44,88	67,54	14,72	22,67	1,28	151,10	636,70
20-30	41,03	50,30	10,21	22,42	1,40	125,36	573,10
30-40	39,13	42,10	10,53	22,86	1,49	116,11	546,50
40-60	34,67	36,40	10,22	24,20	2,18	107,67	495,30
60-80	28,33	23,38	8,21	22,19	2,73	84,84	402,70
80-100	23,77	21,20	10,90	26,59	2,83	85,29	405,60
Середнє значення	36,30	44,85	10,97	21,71	1,72	115,54	530,08
Дов. інт., $\alpha 0,01$	7,26	16,27	2,89	3,27	0,70	20,53	79,76
t-крит., $\alpha 0,05$	7,97	17,87	3,17	3,59	0,77	22,54	87,58
$c_s/\sum E_{x01-5}$							
Глибина, см	Ехо 1	Ехо 2	Ехо 3	Ехо 4	Ехо 5	$\sum E_{x01-5}$	Ехо 6
0-5	25,91	55,31	5,33	12,76	0,69	100,00	476,42
5-10	35,75	37,85	12,59	13,05	0,76	100,00	453,84
10-20	29,70	44,70	9,74	15,00	0,85	100,00	421,39
20-30	32,73	40,13	8,14	17,88	1,11	100,00	457,17
30-40	33,70	36,26	9,07	19,69	1,28	100,00	470,69
40-60	32,20	33,81	9,49	22,48	2,03	100,00	460,01
60-80	33,39	27,56	9,67	26,16	3,22	100,00	474,66
80-100	27,87	24,86	12,78	31,18	3,32	100,00	475,57
Середнє значення	31,41	37,56	9,60	19,77	1,66	100,00	461,22
Дов. інт., $\alpha 0,01$	3,00	8,78	2,17	5,95	0,98	-	16,74
t-крит., $\alpha 0,05$	3,30	9,64	2,38	6,53	1,08	-	18,39

Примітка: Ехо – значення площі питомої теплоємності у певному екзотермічному інтервалі, Дж/(г·°C); $c_s/\sum E_{x01-5}$ – процентний уміст площі питомої теплоємності за певного (Ехо) інтервалу до загальної площі питомої теплоємності у Ехо₁₋₅ інтервалі;

Ехо 1 = 200–310 °C, Ехо 2 = 310–396 °C, Ехо 3 = 396–451 °C,
Ехо 4 = 451–568 °C, Ехо 5 = 578–610 °C, Ехо 6 = 202–608 °C.

В 15. Зміна мас (ΔM , %) та їх процентне співвідношення ($\Delta M / \sum E_{x01-5}$) у термічних інтервалах окиснення ґрунтових проб чорнозему типового за використання глибокого безполицевого обробітку (DRTu). Удобрення: солома 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈

Глибина, см	Endo ₀	E _{x01}	E _{x02}	E _{x03}	E _{x04}	E _{x05}	$\sum E_{x01-5}$
	ΔM , %						
0-5	1,99	1,53	2,28	0,96	1,01	0,08	5,86
5-10	1,99	1,36	1,93	0,84	0,87	0,09	5,09
10-20	2,09	1,29	1,81	0,82	0,87	0,08	4,87
20-30	2,12	1,22	1,76	0,79	0,84	0,08	4,69
30-40	1,98	1,11	1,49	0,76	0,82	0,10	4,28
40-60	2,00	0,88	1,23	0,67	0,97	0,21	3,96
60-80	1,90	0,89	1,16	0,63	1,06	0,25	3,99
80-100	1,89	0,87	1,14	0,68	1,10	0,32	4,11
Середнє значення	2,00	1,14	1,60	0,77	0,94	0,15	4,61
Дов. інт., $\alpha 0,01$	0,07	0,23	0,38	0,10	0,10	0,09	0,60
t-крит., $\alpha 0,05$	0,08	0,25	0,41	0,11	0,11	0,10	0,66
$\Delta M / \sum E_{x01-5}$							
Глибина, см	Endo ₀	E _{x01}	E _{x02}	E _{x03}	E _{x04}	E _{x05}	$\sum E_{x01-5}$
0-5	33,96	26,11	38,91	16,38	17,24	1,37	100,00
5-10	39,10	26,72	37,92	16,50	17,09	1,77	100,00
10-20	42,92	26,49	37,17	16,84	17,86	1,64	100,00
20-30	45,20	26,01	37,53	16,84	17,91	1,71	100,00
30-40	46,26	25,93	34,81	17,76	19,16	2,34	100,00
40-60	50,51	22,22	31,06	16,92	24,49	5,30	100,00
60-80	47,62	22,31	29,07	15,79	26,57	6,27	100,00
80-100	45,99	21,17	27,74	16,55	26,76	7,79	100,00
Середнє значення	43,94	24,62	34,28	16,70	20,89	3,52	100,00
Дов. інт., $\alpha 0,01$	4,77	2,09	3,99	0,51	3,90	2,31	-
t-крит., $\alpha 0,05$	5,24	2,29	4,38	0,56	4,28	2,53	-

Примітка: ΔM – зміна маси ґрунтової проби за певного екзотермічного інтервалу, %; Endo 0 = 0–200 °С, E_{x01} = 200–310 °С, E_{x02} = 310–396 °С, E_{x03} = 396–451 °С, E_{x04} = 451–568 °С, E_{x05} = 578–610 °С.

В 16. Питома теплоємність площ екзотермічних піків (c_s , Дж/(г·°C)) та їх процентне співвідношення ($c_s/\sum E_{x01-5}$) у ґрунтових пробах чорнозему типового за використання глибокого безполицевого обробітку (DRTu). Удобрення: солома 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈

Глибина, см	Ехо 1	Ехо 2	Ехо 3	Ехо 4	Ехо 5	$\sum E_{x01-5}$	Ехо 6
	c_s , Дж/(г·°C)						
0-5	46,05	92,79	10,85	23,29	2,56	175,54	777,20
5-10	40,37	77,40	7,89	23,06	2,67	151,39	692,80
10-20	37,65	61,41	10,50	23,52	2,68	135,76	647,00
20-30	39,09	59,36	7,22	19,98	2,13	127,78	620,40
30-40	29,88	38,12	9,65	17,82	2,94	98,41	485,20
40-60	24,70	29,49	12,63	28,29	2,20	97,31	475,30
60-80	24,86	26,78	11,09	24,64	2,93	90,30	448,30
80-100	26,64	24,83	10,10	21,88	2,58	86,03	428,40
Середнє значення	33,66	51,27	9,99	22,81	2,59	120,32	571,83
Дов. інт., $\alpha 0,01$	7,42	23,14	1,59	2,84	0,27	29,60	117,98
t-крит., $\alpha 0,05$	8,15	25,41	1,75	3,12	0,30	32,50	129,55
$c_s/\sum E_{x01-5}$							
Глибина, см	Ехо 1	Ехо 2	Ехо 3	Ехо 4	Ехо 5	Ехо \sum	Ехо 6
0-5	26,23	52,86	6,18	13,27	1,46	100,00	442,76
5-10	26,67	51,13	5,21	15,23	1,76	100,00	457,62
10-20	27,73	45,23	7,73	17,32	1,97	100,00	476,58
20-30	30,59	46,45	5,65	15,64	1,67	100,00	485,51
30-40	30,36	38,73	9,81	18,11	2,99	100,00	493,02
40-60	25,38	30,30	12,98	29,07	2,26	100,00	488,42
60-80	27,53	29,66	12,28	27,29	3,24	100,00	496,44
80-100	30,97	28,86	11,74	25,43	3,00	100,00	497,97
Середнє значення	28,18	40,40	8,95	20,17	2,29	100,00	479,79
Дов. інт., $\alpha 0,01$	1,97	9,00	2,88	5,58	0,63	-	18,09
t-крит., $\alpha 0,05$	2,17	9,88	3,16	6,12	0,69	-	19,87

Примітка: Ехо – значення площі питомої теплоємності у певному екзотермічному інтервалі, Дж/(г·°C); $c_s/\sum E_{x01-5}$ – процентний уміст площі питомої теплоємності за певного (Ехо) інтервалу до загальної площі питомої теплоємності у Ехо₁₋₅ інтервалі;

Ехо 1 = 200–310 °C, Ехо 2 = 310–396 °C, Ехо 3 = 396–451 °C,
Ехо 4 = 451–568 °C, Ехо 5 = 578–610 °C, Ехо 6 = 202–608 °C.

В 17. Індекси гуміфікації ($I_{гк_{\Delta M}}$ та $I_{гк_{с}}$) органічної речовини у ґрунтових пробах 0-100 см шару чорнозему типового за використання мілкового безполицевого обробітку (RTu), оранки (CTu) і глибокого безполицевого обробітку (DRTu). Удобрення: солома 1,2 т/га + N_{12} + сидерати + $N_{78}P_{68}K_{68}$

Глибина, см	$I_{гк_{\Delta M}}$			$I_{гк_{с}}$		
	RTu	CTu	DRTu	RTu	CTu	DRTu
0-5	1,54	1,66	1,86	3,73	4,33	3,78
5-10	1,75	1,59	1,83	3,68	2,79	3,50
10-20	1,46	1,71	1,75	2,26	2,91	2,70
20-30	1,29	1,53	1,74	1,48	2,68	3,36
30-40	1,02	1,53	1,55	1,38	2,33	2,24
40-60	1,01	1,34	1,14	1,68	1,94	1,26
60-80	1,04	1,09	1,06	1,59	1,56	1,34
80-100	0,78	0,97	0,96	1,51	1,12	1,49
Середнє значення	1,22	1,43	1,47	2,16	2,46	2,46
Дов. інт., $\alpha 0,01$	1,67	2,20	2,14	0,90	0,89	0,94
t-крит., $\alpha 0,05$	1,67	2,20	2,14	0,99	0,98	1,03

В 18. Коефіцієнти лінійної кореляції К. Пірсона між групами і фракціями гумусу чорнозему типового та параметрами екзотермічних ефектів гумусових речовин

	Ехо 1	Ехо 2	Ехо 3	Ехо 4	Ехо 5	Ехо Σ 1-2	Ехо Σ 4-5	Ехо Σ 3-5	Δ М 1	Δ М 2	Δ М 3	Δ М 4	Δ М 5
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
ГК1	0,229	0,102	0,118	0,296	0,222	0,147	0,326	0,29	0,584	0,026	0,225	-0,724	0,322
<i>p</i> -значення	0,411	0,718	0,675	0,285	0,427	0,602	0,236	0,295	0,0222	0,927	0,42	0,00229	0,242
ГК2	0,754	0,83	0,112	-0,141	-0,386	0,837	-0,208	-0,101	0,332	0,719	0,411	-0,0647	-0,2
<i>p</i> -значення	0,00117	0,00013	0,691	0,617	0,156	9,85E-05	0,457	0,721	0,227	0,00252	0,128	0,819	0,475
ГК3	0,802	0,873	0,0482	-0,0786	-0,241	0,884	-0,121	-0,0663	0,336	0,823	0,329	-0,0206	-0,284
<i>p</i> -значення	0,000324	2,19E-05	0,865	0,781	0,387	1,26E-05	0,667	0,814	0,221	0,000167	0,231	0,942	0,305
ФК1а	0,878	0,875	0,031	-0,0936	-0,351	0,91	-0,156	-0,0996	0,425	0,735	0,479	-0,00699	-0,11
<i>p</i> -значення	1,69E-05	1,97E-05	0,913	0,74	0,199	2,6E-06	0,578	0,724	0,115	0,00179	0,0709	0,98	0,696
ФК1	0,905	0,842	0,0928	-0,0307	-0,385	0,895	-0,102	-0,0326	0,518	0,65	0,593	-0,138	0,0291
<i>p</i> -значення	3,43E-06	8,28E-05	0,742	0,913	0,157	6,69E-06	0,717	0,908	0,0478	0,00873	0,0197	0,623	0,918
ФК2	0,713	0,855	0,138	-0,145	-0,289	0,842	-0,194	-0,079	0,224	0,823	0,267	0,0116	-0,358
<i>p</i> -значення	0,00286	4,96E-05	0,625	0,607	0,296	8,25E-05	0,489	0,78	0,421	0,000164	0,336	0,967	0,191
ФК3	0,732	0,925	0,00838	-0,093	-0,214	0,899	-0,13	-0,0905	0,221	0,88	0,223	0,0815	-0,373
<i>p</i> -значення	0,00194	7,84E-07	0,976	0,742	0,443	5,31E-06	0,645	0,748	0,429	1,51E-05	0,424	0,773	0,171
Сгк	0,79	0,858	0,101	-0,137	-0,339	0,87	-0,195	-0,0966	0,353	0,763	0,403	-0,0566	-0,22
<i>p</i> -значення	0,000452	4,21E-05	0,721	0,628	0,217	2,53E-05	0,486	0,732	0,198	0,000934	0,136	0,841	0,431

Продовження додатку В 18

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
Сфк	0,822	0,916	0,0808	-0,106	-0,314	0,921	-0,161	-0,0807	0,331	0,827	0,373	-0,00241	-0,255
<i>p-значення</i>	0,000172	1,68E-06	0,775	0,707	0,254	1,13E-06	0,567	0,775	0,229	0,000145	0,171	0,993	0,359
НГ	0,931	0,893	-0,055	-0,155	-0,208	0,94	-0,188	-0,161	0,556	0,731	0,535	-0,168	-0,0057
<i>p-значення</i>	4,56E-07	7,4E-06	0,846	0,581	0,456	1,98E-07	0,501	0,565	0,0315	0,00196	0,0398	0,55	0,984
С %	0,898	0,93	0,0345	-0,145	-0,295	0,955	-0,195	-0,126	0,453	0,802	0,474	-0,0955	-0,147
<i>p-значення</i>	5,4E-06	5,31E-07	0,903	0,607	0,286	2,91E-08	0,487	0,655	0,0898	0,000321	0,0742	0,735	0,602
ГК1+ФК1	0,644	0,525	0,126	0,202	-0,0149	0,583	0,192	0,196	0,708	0,379	0,456	-0,612	0,235
<i>p-значення</i>	0,00963	0,0444	0,655	0,469	0,958	0,0224	0,493	0,484	0,00315	0,164	0,0873	0,0153	0,4
ГК2+ФК2	0,748	0,844	0,121	-0,143	-0,36	0,846	-0,206	-0,0952	0,303	0,756	0,371	-0,0425	-0,249
<i>p-значення</i>	0,00134	7,48E-05	0,668	0,611	0,187	7,02E-05	0,462	0,736	0,273	0,0011	0,173	0,881	0,372
ГК3+ФК3	0,785	0,897	0,0354	-0,084	-0,234	0,896	-0,125	-0,0749	0,3	0,848	0,297	0,0131	-0,316
<i>p-значення</i>	0,000526	5,77E-06	0,9	0,766	0,401	6,31E-06	0,657	0,791	0,277	6,41E-05	0,283	0,963	0,252
ГК3+ФК3+НГ	0,925	0,93	-0,0302	-0,14	-0,224	0,964	-0,177	-0,142	0,502	0,795	0,485	-0,12	-0,0985
<i>p-значення</i>	7,98E-07	5,1E-07	0,915	0,619	0,421	6,96E-09	0,528	0,613	0,0567	0,000393	0,0666	0,669	0,727

478

Примітка: Ехо – значення площі питомої теплоємності у певному екзотермічному інтервалі, Дж/(г·°С);

ΔМ – зміна маси ґрунтової проби за певного екзотермічного інтервалу, %;

Ехо 1 та ΔМ 1 = 200–310 °С, Ехо 2 та ΔМ 2 = 310–396 °С, Ехо 3 та ΔМ 3 = 396–451 °С,

Ехо 4 та ΔМ 4 = 451–568 °С, Ехо 5 та ΔМ 5 = 578–610 °С, Ехо 6 = 202–608 °С.

В 19. Коефіцієнти лінійної кореляції К. Пірсона між $C_{\text{мікро}}$ та $C_{\text{орг}}$ ізогумусоля Хайлуна

Параметри	NT $C_{\text{орг}}$	RT $C_{\text{орг}}$	СТ $C_{\text{орг}}$	Ab $C_{\text{орг}}$	F $C_{\text{орг}}$	Comb $C_{\text{орг}}$	Rot $C_{\text{орг}}$
0-10 см							
NT $C_{\text{мікро}}$	-0,418	-0,395	-0,351	-0,143	-0,789	-0,142	-0,678
<i>p</i> -значення	0,176	0,204	0,263	0,658	0,00231	0,659	0,0154
RT $C_{\text{мікро}}$	-0,571	-0,550	-0,558	-0,371	-0,884	-0,323	-0,792
<i>p</i> -значення	0,0526	0,0637	0,0593	0,235	0,000137	0,306	0,00213
СТ $C_{\text{мікро}}$	-0,289	-0,285	-0,278	-0,0686	-0,757	-0,0173	-0,597
<i>p</i> -значення	0,362	0,369	0,382	0,832	0,00437	0,958	0,0404
Ab $C_{\text{мікро}}$	-0,463	-0,437	-0,393	-0,201	-0,797	-0,186	-0,701
<i>p</i> -значення	0,129	0,155	0,207	0,532	0,00192	0,563	0,0111
F $C_{\text{мікро}}$	-0,269	-0,255	-0,212	0,00751	-0,700	0,0125	-0,580
<i>p</i> -значення	0,398	0,423	0,509	0,982	0,0112	0,969	0,0480
Comb $C_{\text{мікро}}$	-0,446	-0,441	-0,381	-0,167	-0,802	-0,187	-0,700
<i>p</i> -значення	0,146	0,152	0,222	0,603	0,00170	0,562	0,0113
Rot $C_{\text{мікро}}$	-0,177	-0,165	-0,158	0,0506	-0,680	0,103	-0,509
<i>p</i> -значення	0,583	0,609	0,624	0,876	0,0150	0,751	0,0908
10-20 см							
NT $C_{\text{мікро}}$	-0,697	-0,664	-0,708	-0,604	-0,877	-0,787	-0,731
<i>p</i> -значення	0,0117	0,0184	0,0100	0,0376	0,000178	0,00238	0,00696
RT $C_{\text{мікро}}$	-0,229	-0,405	-0,324	-0,157	-0,636	-0,630	-0,654
<i>p</i> -значення	0,473	0,192	0,305	0,626	0,0261	0,0282	0,0210
СТ $C_{\text{мікро}}$	-0,221	-0,544	-0,522	-0,135	-0,680	-0,820	-0,714
<i>p</i> -значення	0,489	0,0676	0,0818	0,675	0,0149	0,00108	0,00905
Ab $C_{\text{мікро}}$	-0,258	-0,411	-0,503	-0,182	-0,585	-0,747	-0,549
<i>p</i> -значення	0,418	0,184	0,0952	0,571	0,0455	0,00522	0,0646
F $C_{\text{мікро}}$	-0,0173	-0,639	-0,484	-0,0712	-0,609	-0,758	-0,780
<i>p</i> -значення	0,957	0,0253	0,111	0,826	0,0354	0,00432	0,00278
Comb $C_{\text{мікро}}$	-0,169	-0,482	-0,268	-0,0977	-0,618	-0,598	-0,665
<i>p</i> -значення	0,600	0,112	0,400	0,763	0,0321	0,0399	0,0182
Rot $C_{\text{мікро}}$	-0,312	-0,479	-0,425	-0,148	-0,622	-0,736	-0,552
<i>p</i> -значення	0,323	0,116	0,169	0,646	0,0310	0,00634	0,0627
20-40 см							
NT $C_{\text{мікро}}$	-0,660	-0,644	-0,591	-0,174	-0,135	-0,553	-0,175
<i>p</i> -значення	0,0194	0,0239	0,0429	0,589	0,675	0,0623	0,587
RT $C_{\text{мікро}}$	-0,788	-0,605	-0,907	-0,866	-0,413	-0,850	-0,875
<i>p</i> -значення	0,00231	0,0370	0,0000459	0,000268	0,182	0,000460	0,000196
СТ $C_{\text{мікро}}$	-0,654	-0,492	-0,859	-0,798	-0,358	-0,735	-0,824
<i>p</i> -значення	0,0211	0,104	0,000349	0,00185	0,253	0,00648	0,000981
Ab $C_{\text{мікро}}$	-0,405	-0,141	-0,630	-0,753	-0,440	-0,508	-0,752
<i>p</i> -значення	0,192	0,662	0,0282	0,00469	0,153	0,0916	0,00475
F $C_{\text{мікро}}$	-0,615	-0,703	-0,682	-0,308	-0,0644	-0,578	-0,363
<i>p</i> -значення	0,0334	0,0108	0,0146	0,330	0,842	0,0492	0,246
Comb $C_{\text{мікро}}$	-0,506	-0,363	-0,746	-0,685	-0,347	-0,589	-0,704
<i>p</i> -значення	0,0933	0,246	0,00537	0,0139	0,269	0,0440	0,0106
Rot $C_{\text{мікро}}$	-0,865	-0,671	-0,942	-0,845	-0,424	-0,871	-0,836
<i>p</i> -значення	0,000281	0,0170	0,00000464	0,000533	0,170	0,000222	0,000704

В 20. Коефіцієнти лінійної кореляції К. Пірсона між $S_{\text{мікро}}$ та $S_{\text{орг}}$ ізогумусоля
Гуангронгу

Параметри	NT $S_{\text{орг}}$	RT $S_{\text{орг}}$	СТ $S_{\text{орг}}$	Ab $S_{\text{орг}}$	F $S_{\text{орг}}$	CS $S_{\text{орг}}$	Fst $S_{\text{орг}}$
0-10 см							
NT $S_{\text{мікро}}$	-0,238	0,00289	0,0292	-0,149	0,103	-0,0496	-0,405
<i>p</i> -значення	0,457	0,993	0,928	0,645	0,749	0,878	0,192
RT $S_{\text{мікро}}$	-0,0913	0,0787	0,204	-0,0853	0,283	0,0444	-0,234
<i>p</i> -значення	0,778	0,808	0,524	0,792	0,373	0,891	0,464
СТ $S_{\text{мікро}}$	-0,0696	0,126	0,239	-0,0414	0,301	0,0682	-0,224
<i>p</i> -значення	0,830	0,697	0,453	0,898	0,341	0,833	0,484
Ab $S_{\text{мікро}}$	-0,0527	0,114	0,166	0,0200	0,287	0,0639	-0,274
<i>p</i> -значення	0,871	0,725	0,606	0,951	0,367	0,844	0,388
F $S_{\text{мікро}}$	-0,108	0,134	0,183	-0,0408	0,239	0,0447	-0,263
<i>p</i> -значення	0,738	0,679	0,570	0,900	0,455	0,890	0,408
CS $S_{\text{мікро}}$	-0,309	-0,0114	0,0211	-0,268	0,106	-0,137	-0,417
<i>p</i> -значення	0,329	0,972	0,948	0,401	0,743	0,671	0,178
Fst $S_{\text{мікро}}$	-0,282	0,0712	0,0497	-0,196	0,112	-0,116	-0,341
<i>p</i> -значення	0,375	0,826	0,878	0,542	0,729	0,719	0,277
10-20 см							
NT $S_{\text{мікро}}$	-0,255	-0,533	-0,469	-0,132	0,139	-0,537	-0,0550
<i>p</i> -значення	0,424	0,0742	0,124	0,683	0,668	0,0715	0,865
RT $S_{\text{мікро}}$	-0,447	-0,599	-0,681	-0,301	-0,183	-0,605	-0,202
<i>p</i> -значення	0,145	0,0395	0,0147	0,342	0,569	0,0372	0,529
СТ $S_{\text{мікро}}$	-0,0364	-0,236	-0,341	0,0873	0,00903	-0,335	0,114
<i>p</i> -значення	0,911	0,460	0,278	0,787	0,978	0,288	0,724
Ab $S_{\text{мікро}}$	-0,393	-0,571	-0,502	-0,252	-0,123	-0,579	0,00792
<i>p</i> -значення	0,206	0,0523	0,0965	0,429	0,704	0,0485	0,981
F $S_{\text{мікро}}$	0,274	0,137	0,202	0,454	0,447	0,114	0,652
<i>p</i> -значення	0,388	0,672	0,528	0,138	0,145	0,725	0,0216
CS $S_{\text{мікро}}$	-0,388	-0,449	-0,468	-0,165	-0,0813	-0,455	-0,0136
<i>p</i> -значення	0,213	0,143	0,125	0,609	0,802	0,137	0,967
Fst $S_{\text{мікро}}$	-0,374	-0,497	-0,412	-0,200	-0,0390	-0,468	0,0425
<i>p</i> -значення	0,231	0,101	0,184	0,534	0,904	0,124	0,896
20-40 см							
NT $S_{\text{мікро}}$	-0,810	-0,756	-0,517	-0,675	-0,234	-0,894	-0,455
<i>p</i> -значення	0,00139	0,00443	0,0850	0,0160	0,464	0,0000891	0,137
RT $S_{\text{мікро}}$	-0,902	-0,487	-0,439	-0,865	-0,226	-0,837	-0,301
<i>p</i> -значення	0,0000609	0,108	0,153	0,000280	0,479	0,000694	0,342
СТ $S_{\text{мікро}}$	-0,731	-0,363	-0,138	-0,674	0,251	-0,902	0,0701
<i>p</i> -значення	0,00688	0,246	0,669	0,0163	0,432	0,0000590	0,829
Ab $S_{\text{мікро}}$	-0,922	-0,328	-0,583	-0,887	-0,414	-0,642	-0,430
<i>p</i> -значення	0,0000195	0,297	0,0466	0,000121	0,181	0,0245	0,163
F $S_{\text{мікро}}$	-0,441	-0,112	0,153	-0,409	0,552	-0,707	0,362
<i>p</i> -значення	0,152	0,730	0,635	0,187	0,0628	0,0101	0,247
CS $S_{\text{мікро}}$	-0,876	-0,541	-0,737	-0,944	-0,498	-0,724	-0,518
<i>p</i> -значення	0,000184	0,0690	0,00624	0,00000405	0,0996	0,00771	0,0842
Fst $S_{\text{мікро}}$	-0,00251	-0,0842	-0,427	0,0820	-0,830	0,456	-0,695
<i>p</i> -значення	0,994	0,795	0,166	0,800	0,000825	0,137	0,0122

В 21. Коефіцієнти лінійної кореляції К. Пірсона між параметрами показників чорнозему типового

Параметри	CO ₂ -CTu	CO ₂ -DRTu	TOC-RTu	TOC-CTu	TOC-DRTu
CO ₂ -RTu	0,542	0,823	0,938	0,588	0,78
<i>p</i> -значення	0,00619	7,99E-07	1,34E-11	0,0025	6,99E-06
CO ₂ -CTu		0,82	0,757	0,952	0,863
<i>p</i> -значення		9,2E-07	1,84E-05	8,01E-13	5,65E-08
CO ₂ -DRTu			0,923	0,874	0,976
<i>p</i> -значення			1,45E-10	2,47E-08	4,48E-16
TOC-RTu				0,796	0,91
<i>p</i> -значення				3,37E-06	6,97E-10
TOC-CTu					0,935
<i>p</i> -значення					2,36E-11

В 22. Динаміка (середнє значення за 2010, 2012 і 2014 роки) об'ємного вмісту вологи (г/см³) ізогумусолу Гуангронгу за вирощування сої (метод розсіювання нейтронів)

Глибина, см	Місяці												Σ 1-12	Σ 5-9
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
NT, г/см ³														
10	0,27	0,25	0,28	0,35	0,35	0,30	0,27	0,22	0,30	0,27	0,32	0,34	3,52	1,44
20	0,33	0,33	0,35	0,39	0,38	0,36	0,27	0,27	0,37	0,38	0,36	0,35	4,14	1,65
30	0,37	0,36	0,38	0,39	0,38	0,35	0,29	0,26	0,36	0,37	0,37	0,38	4,26	1,65
40	0,39	0,38	0,40	0,39	0,38	0,36	0,32	0,29	0,37	0,37	0,38	0,40	4,43	1,72
50	0,40	0,41	0,42	0,39	0,38	0,37	0,34	0,28	0,39	0,38	0,38	0,44	4,59	1,76
70	0,41	0,40	0,41	0,38	0,38	0,37	0,32	0,28	0,38	0,39	0,38	0,43	4,53	1,73
90	0,39	0,37	0,40	0,38	0,40	0,37	0,32	0,29	0,39	0,39	0,39	0,42	4,53	1,78
110	0,39	0,36	0,41	0,38	0,39	0,38	0,33	0,29	0,40	0,41	0,39	0,42	4,55	1,79
130	0,39	0,38	0,39	0,41	0,39	0,38	0,35	0,32	0,39	0,41	0,39	0,41	4,60	1,83
150	0,38	0,40	0,40	0,39	0,39	0,40	0,36	0,32	0,43	0,43	0,43	0,41	4,73	1,89
Σ 0-150	3,70	3,66	3,85	3,86	3,81	3,64	3,18	2,82	3,78	3,80	3,79	3,99	43,88	17,23
Сер 0-150	0,37	0,37	0,38	0,39	0,38	0,36	0,32	0,28	0,38	0,38	0,38	0,40	4,39	1,72
α0,01	0,03	0,04	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,29	0,10
DEV.S	0,04	0,05	0,04	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,35	0,13
RT, г/см ³														
10	0,29	0,28	0,28	0,36	0,32	0,29	0,21	0,21	0,28	0,30	0,30	0,36	3,48	1,32
20	0,35	0,37	0,36	0,42	0,37	0,35	0,26	0,26	0,34	0,35	0,35	0,36	4,13	1,58
30	0,38	0,40	0,38	0,42	0,39	0,38	0,28	0,27	0,37	0,36	0,36	0,36	4,36	1,69
40	0,41	0,41	0,42	0,41	0,38	0,37	0,29	0,28	0,37	0,37	0,37	0,37	4,44	1,69
50	0,42	0,42	0,42	0,42	0,39	0,38	0,31	0,27	0,38	0,38	0,37	0,38	4,53	1,73
70	0,42	0,42	0,42	0,42	0,40	0,38	0,33	0,29	0,40	0,39	0,39	0,41	4,66	1,80
90	0,40	0,42	0,43	0,41	0,40	0,40	0,34	0,31	0,40	0,40	0,39	0,42	4,72	1,84
110	0,38	0,40	0,42	0,39	0,40	0,40	0,33	0,31	0,40	0,40	0,39	0,44	4,67	1,84
130	0,38	0,38	0,40	0,40	0,40	0,40	0,34	0,30	0,40	0,39	0,39	0,43	4,62	1,84
150	0,39	0,39	0,38	0,39	0,39	0,40	0,33	0,30	0,41	0,41	0,41	0,43	4,62	1,83
Σ 0-150	3,82	3,89	3,91	4,03	3,86	3,75	3,02	2,79	3,75	3,74	3,73	3,94	44,23	17,16
Сер 0-150	0,38	0,39	0,39	0,40	0,39	0,37	0,30	0,28	0,37	0,37	0,37	0,39	4,42	1,72
α0,01	0,03	0,03	0,04	0,01	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,31	0,13
DEV.S	0,04	0,04	0,05	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,37	0,16

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
СТ, г/см ³														
10	0,29	0,24	0,29	0,31	0,34	0,22	0,20	0,17	0,25	0,28	0,30	0,34	3,24	1,18
20	0,36	0,27	0,37	0,38	0,37	0,34	0,26	0,26	0,34	0,34	0,35	0,36	4,01	1,56
30	0,39	0,38	0,40	0,40	0,39	0,37	0,29	0,27	0,37	0,36	0,36	0,38	4,37	1,69
40	0,41	0,41	0,41	0,42	0,40	0,39	0,30	0,28	0,38	0,37	0,36	0,42	4,54	1,74
50	0,43	0,40	0,43	0,42	0,39	0,39	0,31	0,29	0,38	0,38	0,38	0,44	4,64	1,77
70	0,42	0,36	0,42	0,41	0,40	0,40	0,33	0,30	0,40	0,39	0,39	0,42	4,63	1,83
90	0,41	0,39	0,42	0,40	0,41	0,39	0,33	0,30	0,40	0,39	0,39	0,42	4,64	1,82
110	0,39	0,34	0,42	0,39	0,41	0,40	0,33	0,29	0,40	0,40	0,40	0,39	4,55	1,82
130	0,28	0,36	0,40	0,40	0,40	0,39	0,34	0,29	0,39	0,40	0,40	0,41	4,47	1,82
150	0,32	0,39	0,38	0,38	0,40	0,39	0,34	0,30	0,40	0,41	0,41	0,40	4,51	1,83
∑ 0-150	3,70	3,55	3,95	3,91	3,91	3,68	3,04	2,74	3,70	3,72	3,74	3,97	43,61	17,06
Сер 0-150	0,37	0,36	0,40	0,39	0,39	0,37	0,30	0,27	0,37	0,37	0,37	0,40	4,36	1,71
α0,01	0,04	0,05	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,36	0,16
DEV.S	0,05	0,06	0,04	0,03	0,02	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,03	0,44	0,20
∑ NT + RT + CT														
α0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,18	0,08
DEV.S	0,04	0,05	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,38	0,16

В 23. Динаміка (середнє значення за 2011, 2013 і 2015 роки) об'ємного умісту вологи (г/см³) ізогумусолу Гуангронгу за вирощування кукурудзи на зерно (метод розсіювання нейтронів)

Глибина, см	Місяці												Σ 1-12	Σ 5-9
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
NT, г/см ³														
10	0,20	0,16	0,16	0,24	0,26	0,26	1,00	0,26	0,24	0,30	0,22	0,22	0,29	2,02
20	0,26	0,22	0,19	0,32	0,31	0,29	3,22	0,34	0,33	0,35	0,32	0,24	0,53	4,50
30	0,32	0,30	0,25	0,31	0,34	0,31	2,07	0,36	0,36	0,38	0,34	0,36	0,47	3,44
40	0,37	0,34	0,29	0,32	0,36	0,32	1,63	0,38	0,36	0,39	0,28	0,42	0,45	3,05
50	0,38	0,39	0,32	0,32	0,37	0,32	0,50	0,39	0,38	0,39	0,36	0,44	0,38	1,95
70	0,41	0,42	0,35	0,35	0,36	0,32	0,64	0,38	0,38	0,38	0,36	0,45	0,40	2,07
90	0,41	0,41	0,34	0,35	0,36	0,32	0,42	0,39	0,38	0,40	0,39	0,41	0,38	1,87
110	0,39	0,41	0,34	0,35	0,39	0,33	0,77	0,40	0,40	0,39	0,40	0,42	0,42	2,29
130	0,38	0,41	0,34	0,35	0,39	0,33	0,39	0,40	0,40	0,40	0,39	0,43	0,38	1,90
150	2,43	0,39	0,33	0,36	0,37	0,34	0,82	0,41	0,40	0,39	0,41	0,43	0,59	2,34
Σ 0-150	5,54	3,45	2,90	3,27	3,50	3,15	11,44	3,72	3,64	3,78	3,47	3,83	51,68	25,44
Сер 0-150	0,55	0,34	0,29	0,33	0,35	0,31	1,14	0,37	0,36	0,38	0,35	0,38	0,43	2,54
α0,01	0,54	0,07	0,06	0,03	0,03	0,02	0,74	0,03	0,04	0,02	0,05	0,07	0,07	0,70
DEV.S	0,66	0,09	0,07	0,03	0,04	0,02	0,91	0,04	0,05	0,03	0,06	0,08	0,09	0,86
RT, г/см ³														
10	0,31	0,23	0,22	0,27	0,32	0,26	0,41	0,35	0,31	0,34	0,21	0,27	0,29	1,64
20	0,38	0,31	0,32	0,29	0,32	0,29	0,58	0,36	0,35	0,35	0,32	0,37	0,35	1,89
30	0,37	0,34	0,32	0,33	0,34	0,31	0,54	0,37	0,36	0,37	0,35	0,42	0,37	1,92
40	0,39	0,36	0,31	0,33	0,36	0,31	0,49	0,39	0,36	0,38	0,37	0,45	0,38	1,91
50	0,41	0,38	0,34	0,34	0,37	0,33	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39	0,46	0,38	1,86
70	0,42	0,42	0,36	0,36	0,37	0,33	0,45	0,41	0,38	0,39	0,39	0,42	0,39	1,95
90	0,42	0,42	0,37	0,37	0,39	0,34	0,40	0,42	0,40	0,41	0,41	0,44	0,40	1,95
110	0,40	0,44	0,35	0,36	0,39	0,34	0,47	0,41	0,40	0,39	0,41	0,44	0,40	2,01
130	0,40	0,42	0,36	0,37	0,39	0,33	0,40	0,41	0,40	0,40	0,40	0,45	0,39	1,93
150	0,39	0,41	0,34	0,36	0,37	0,34	0,40	0,41	0,41	0,40	0,41	0,44	0,39	1,92
Σ 0-150	3,88	3,72	3,29	3,38	3,63	3,18	4,52	3,90	3,76	3,81	3,66	4,16	44,88	18,99
Сер 0-150	0,39	0,37	0,33	0,34	0,36	0,32	0,45	0,39	0,38	0,38	0,37	0,42	0,37	1,90
α0,01	0,03	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05	0,03	0,08
DEV.S	0,03	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,07	0,02	0,03	0,02	0,06	0,06	0,03	0,10

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
СТ, г/см ³														
10	0,35	0,24	0,22	0,26	0,31	0,29	0,29	0,34	0,25	0,30	0,15	0,28	0,27	1,48
20	0,36	0,31	0,31	0,30	0,32	0,31	0,35	0,36	0,34	0,35	0,32	0,36	0,33	1,67
30	0,37	0,43	0,32	0,34	0,34	0,31	0,36	0,37	0,36	0,38	0,35	0,41	0,36	1,74
40	0,38	0,36	0,32	0,33	0,35	0,32	0,37	0,38	0,37	0,40	0,37	0,44	0,37	1,79
50	0,42	0,37	0,34	0,34	0,38	0,33	0,38	0,40	0,38	0,40	0,39	0,45	0,38	1,86
70	0,41	0,41	0,36	0,36	0,38	0,32	0,39	0,40	0,39	0,39	0,39	0,45	0,39	1,88
90	0,41	0,41	0,35	0,36	0,37	0,33	0,39	0,41	0,40	0,40	0,39	0,43	0,39	1,89
110	0,41	0,42	0,35	0,37	0,40	0,33	0,39	0,41	0,40	0,39	0,40	0,44	0,39	1,93
130	0,39	0,41	0,35	0,36	0,39	0,33	0,39	0,41	0,40	0,39	0,40	0,44	0,39	1,90
150	0,39	0,40	0,36	0,35	0,38	0,34	0,39	0,41	0,39	0,39	0,41	0,45	0,39	1,90
∑ 0-150	3,89	3,78	3,29	3,38	3,62	3,20	3,68	3,88	3,68	3,81	3,58	4,16	43,95	18,06
Сер 0-150	0,39	0,38	0,33	0,34	0,36	0,32	0,37	0,39	0,37	0,38	0,36	0,42	0,37	1,81
α0,01	0,02	0,05	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	0,06	0,05	0,03	0,11
DEV.S	0,03	0,06	0,04	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	0,05	0,03	0,08	0,06	0,04	0,14
∑ NT + RT + CT														
α0,01	0,18	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,29	0,01	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03	0,28
DEV.S	0,38	0,07	0,05	0,03	0,03	0,02	0,62	0,03	0,04	0,03	0,07	0,07	0,06	0,59

В 24. Динаміка умісту вологи (%) в ізогумусолі Хайлуня (2010–2011 роки) за використання різних технологій обробітку ґрунту (метод комплексної електропровідності)

Глибина, см	Дата, уміст вологи (%)																			
	09.11.	15.11.	30.11.	15.12.	31.12.	15.1.	31.1.	15.2.	1.3.	15.3.	30.3.	15.4.	28.4.	30.4.	5.5.	10.5.	15.5.	18.5.	23.5.	Сер. 09.11- 23.05
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.
СТ																				
5	7,1	7,3	6,5	6,4	12,8	7,9	9,2	12,5	14,2	17,3	24,6	22,8	20,5	20,7	20,5	26,6	15,7	15,5	14,6	15
10	15,9	15,2	14,4	15,1	15,2	14,9	15,0	13,4	15,1	15,0	18,5	25,7	26,3	26,1	25,3	25,2	24,7	25,1	21,3	19
20	25,9	24,8	20,5	19,3	20,0	15,3	18,6	19,0	18,8	18,9	20,9	25,1	33,0	33,1	31,2	32,3	32,7	32,5	32,7	25
40	31,8	23,2	20,8	21,0	22,4	18,1	19,1	19,4	19,5	19,9	20,5	31,1	31,0	31,3	30,6	30,0	30,8	29,8	29,6	25
60	32,4	34,7	25,2	22,5	38,5	18,4	22,0	22,0	22,2	21,9	21,8	22,9	32,2	24,2	25,1	32,0	31,1	30,9	22,6	26
90	35,0	33,9	33,1	34,5	34,6	17,3	25,1	23,3	23,3	23,3	23,2	21,1	25,3	25,5	26,1	28,5	33,4	33,3	20,8	27
110	34,6	33,9	34,0	33,6	19,4	26,2	25,7	25,2	24,9	24,7	25,0	22,7	24,6	12,0	30,2	26,2	27,0	32,8	32,5	27
150	34,2	24,6	34,4	35,0	16,3	33,8	33,2	15,8	26,2	26,3	26,3	26,7	15,8	12,6	27,4	27,1	15,9	15,0	22,5	25
270	35,0	39,5	38,9	38,8	18,2	38,4	38,3	38,6	38,2	38,2	38,2	37,1	37,7	38,3	37,9	32,7	38,3	28,0	31,4	36
Сер.	34,6	30,8	33,8	34,4	23,4	25,8	28,0	21,4	24,8	24,8	24,8	23,5	21,9	16,7	27,9	27,3	25,4	27,0	25,3	26
$\alpha 0,01$	0,6	8,0	1,0	1,1	14,6	12,3	6,7	7,4	2,2	2,2	2,3	4,3	7,9	11,3	3,1	1,7	13,2	15,5	9,4	7
DEV.S	0,4	5,4	0,7	0,7	9,8	8,3	4,5	5,0	1,5	1,5	1,6	2,9	5,3	7,6	2,1	1,2	8,9	10,4	6,3	4

Продовження додатку В 24

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.
RT																				
5	39,4	21,8	20,2	19,1	20,5	14,6	20,2	19,0	19,6	19,1	23,6	25,5	33,3	27,8	35,7	34,4	33,3	33,9	33,6	26
10	27,4	22,3	20,7	19,2	25,6	18,3	18,8	18,8	19,3	17,4	21,6	24,2	27,4	33,3	33,1	32,5	32,6	33,2	31,4	25
20	25,7	26,9	22,1	21,2	22,3	21,4	20,7	21,3	21,9	19,8	20,6	29,9	35,3	36,7	34,5	35,6	33,4	34,1	33,5	27
40	31,9	20,1	21,4	20,1	19,2	23,9	20,2	20,5	22,8	20,8	21,5	30,1	31,4	27,4	33,3	33,1	22,9	32,5	31,3	25
60	32,4	32,7	29,4	23,0	27,2	22,2	22,0	21,6	21,5	21,8	22,4	24,1	24,9	25,4	24,7	27,2	32,9	33,2	23,1	26
90	32,8	33,7	33,3	32,8	31,4	24,6	24,7	24,6	24,5	24,4	24,5	25,6	26,0	28,4	26,3	26,6	15,8	32,8	30,4	28
110	33,3	32,5	32,6	32,4	18,8	18,4	24,2	24,7	24,5	27,0	24,6	25,2	26,0	31,1	26,5	25,9	27,3	28,3	26,7	27
150	31,9	37,2	33,8	34,7	20,6	28,5	31,9	17,2	27,1	29,6	25,8	27,3	17,4	33,8	35,7	29,5	17,8	22,7	23,5	28
270	37,2	27,0	27,7	27,3	22,1	24,6	27,6	28,0	27,6	29,8	27,3	25,8	31,2	36,5	36,9	33,1	35,6	31,6	29,3	30
Ср.	32,7	34,5	33,2	33,3	23,6	23,8	26,9	22,2	25,4	27,0	25,0	26,0	23,1	31,1	29,5	27,3	20,3	27,9	26,9	27
$\alpha 0,01$	1,1	3,6	0,9	1,8	10,1	7,6	6,4	6,4	2,2	3,9	1,1	1,7	7,4	4,0	8,0	2,8	9,1	7,5	5,1	5
DEV.S	0,7	2,4	0,6	1,2	6,8	5,1	4,3	4,3	1,5	2,6	0,7	1,1	5,0	2,7	5,4	1,9	6,1	5,1	3,5	3
NT																				
5	23,8	14,6	12,5	12,2	25,2	14,5	11,4	11,3	11,9	12,4	14,8	19,2	23,7	19,2	22,6	21,9	21,5	20,8	24,1	18
10	14,6	14,7	12,9	14,2	17,2	13,4	11,8	11,8	12,0	13,0	19,2	23,6	24,6	23,7	27,8	22,0	22,5	22,1	24,9	18
20	21,2	22,5	18,1	18,6	20,6	16,7	16,8	17,0	17,5	17,2	21,3	31,5	31,4	28,2	33,0	30,9	31,5	30,2	31,7	24
40	27,2	33,2	22,7	22,1	18,2	21,1	20,8	21,1	20,8	21,2	21,7	23,9	31,9	35,0	33,5	32,0	32,0	32,4	32,6	26
60	33,8	33,0	26,8	24,1	33,1	23,7	21,7	23,6	23,5	22,9	23,3	24,1	25,3	31,7	29,7	27,3	31,5	32,0	39,1	28
90	35,6	35,5	35,0	33,7	36,8	25,0	24,0	24,6	24,0	23,5	24,2	29,9	26,8	26,4	37,6	38,9	33,1	30,1	31,5	30
110	34,3	33,2	34,6	34,3	30,6	26,7	25,0	24,9	25,6	24,1	25,4	26,8	25,7	26,0	30,9	26,5	27,3	27,3	28,9	28
150	36,8	36,9	37,0	36,3	37,2	36,4	35,2	28,1	26,6	34,7	26,5	26,8	22,8	27,4	31,2	28,0	28,6	34,5	32,5	32
270	39,6	39,6	40,1	40,4	41,7	40,2	39,5	39,4	39,2	39,6	39,2	38,9	38,9	37,3	39,4	39,1	38,8	39,3	36,1	39
Ср.	35,6	35,2	35,5	34,8	34,9	29,4	28,1	25,9	25,4	27,4	25,4	27,8	25,1	26,6	33,2	31,1	29,7	30,6	31,0	30
$\alpha 0,01$	1,9	2,8	1,9	2,0	5,5	9,1	9,2	2,9	2,0	9,4	1,7	2,7	3,1	1,1	5,6	10,1	4,5	5,4	2,8	4
DEV.S	1,3	1,9	1,3	1,4	3,7	6,2	6,2	1,9	1,3	6,3	1,2	1,8	2,1	0,7	3,8	6,8	3,0	3,6	1,9	3

В 25. Статистичний обробіток даних сезонної динаміки умісту вологи (W, %) в ізогумусолі Гуангронгу. Середні значення із різними малими літерами вказують на істотну різницю між варіантами обробітку ґрунту, великими літерами – істотну різницю між строками відбору (НІР, $\alpha = 0,05$).

Строки відбору	Глибина, см	Обробіток ґрунту						
		NT	RT	CT	Ab	F	CS	Fst
в рядку								
16 Трав.	0-5	aA	aA	aA	aA	aA	aA	aA
12 Лип.		a,cA	bB	bA	bBC	aA	b,cB	bA
23 Серп.		a,d,eB	a,bC	a,cB	dB	b,c,eB	a,d,eC	a,d,eB
4 Жовт.		aC	aB	aA	aC	aC	aB	aA
16 Трав.	5-10	aA	a,bA	bA	a,bA	a,bAC	aA	a,bA
12 Лип.		aB	b,d,e,fA	b,d,e,fB	b,cB	a,d,eA	eA	c,fA
23 Серп.		a,c,dC	a,c,dB	a,c,dC	a,bC	a,c,dB	cB	b,dB
4 Жовт.		a,bD	a,bC	aA	a,bB	bC	a,bC	b,cA
16 Трав.	10-15	aA	aA	aA	aA	aA	aA	aA
12 Лип.		a,cA	a,b,cA	a,cB	bB	aB	cB	b,dA
23 Серп.		aB	a,bB	aC	bC	a,bC	aC	a,bB
4 Жовт.		a,bC	a,bA	a,bA	aD	bD	a,bD	b,cA
16 Трав.	15-20	aA	a,bA	bA	a,bA	a,bA	a,bAC	b,cA
12 Лип.		aB	a,b,cA	a,bB	b,cA	aA	aA	cA
23 Серп.		aC	b,dB	a,b,dC	cB	a,b,cB	a,bB	c,dB
4 Жовт.		aD	aA	aA	aC	aC	aC	aA
у міжрядді								
16 Трав.	0-5	aA	a,bA	a,b,dA	b,dA	b,c,dA	aA	dA
12 Лип.		aA	aAC	a,bAC	bBC	aA	aA	b,cA
23 Серп.		a,bB	a,bB	a,bB	aB	bB	a,bB	a,bB
4 Жовт.		a,bB	aC	a,bBC	bC	b,cC	a,bC	b,dA
16 Трав.	5-10	aA	a,bA	a,bA	b,eA	b,c,eAC	b,d,eA	eA
12 Лип.		aA	aAC	aA	bB	aA	a,bA	bA
23 Серп.		aB	aB	aB	aC	aB	aB	aB
4 Жовт.		aB	aC	aB	aB	aC	aAB	aA
16 Трав.	10-15	aA	a,bA	a,bA	b,dA	b,c,dA	a,b,dA	dA
12 Лип.		aA	aA	a,bA	b,cB	aA	aA	cA
23 Серп.		a,bB	a,bB	a,bB	aC	a,bB	bB	a,bB
4 Жовт.		a,bB	a,bC	a,bC	aD	bC	a,bC	b,cA
16 Трав.	15-20	aA	a,bA	a,bA	a,bA	a,bA	a,bA	bA
12 Лип.		aA	a,bA	a,bA	bA	aA	a,bA	b,cA
23 Серп.		a,bB	a,bB	aB	bB	a,bB	a,bB	a,bB
4 Жовт.		aB	aC	aC	aC	aC	aC	aA

В 26. Статистичний обробіток даних сезонної динаміки умісту вологи (W, %) в ізогумусолі Хайлуна. Середні значення із різними малими літерами вказують на істотну різницю між варіантами обробітку ґрунту, великими літерами – істотну різницю між строками відбору (НІР, $\alpha = 0,05$).

Строки відбору	Глибина, см	Обробіток ґрунту						
		NT	RT	CT	Ab	F	Comb	Rot
в рядку								
16 Трав.	0-5	aA	a,bA	bA	a,bA	a,bA	a,bA	b,cA
12 Лип.		aA	a,b,dAC	b,dA	b,c,dAB	a,b,dA	a,bA	dA
23 Серп.		aB	aB	aB	aB	aB	aB	aB
4 Жовт.		aC	aC	aA	aBC	aB	aC	aAB
16 Трав.	5-10	aA	a,b,cA	b,cAC	a,b,cA	a,bA	a,b,cA	cA
12 Лип.		a,d,eA	a,d,eA	a,bA	cB	dA	a,c,dA	b,c,eA
23 Серп.		a,c,dB	a,c,dB	a,bB	cC	bdB	a,c,dB	a,c,dB
4 Жовт.		aC	aC	aC	aB	aC	aC	aAB
16 Трав.	10-15	aA	a,bA	bA	a,bA	aA	a,bA	b,cA
12 Лип.		a,cA	a,b,cA	a,bA	bB	cA	c,dA	a,b,cAC
23 Серп.		aB	aB	aB	aB	aB	aB	aB
4 Жовт.		aC	a,bC	a,bC	a,bB	a,bB	a,bC	bBC
16 Трав.	15-20	a,dA	a,bA	b,cA	cA	dA	c,eAC	a,b,c,dA
12 Лип.		aA	b,dB	cA	cB	bB	b,cA	c,dA
23 Серп.		aB	aC	aB	aC	aC	aB	aB
4 Жовт.		aB	aD	aC	aC	aC	aBC	aB
у міжрядді								
16 Трав.	0-5	aA	a,c,eA	bAC	b,c,dA	a,bA	a,d,eA	b,eA
12 Лип.		aA	a,bA	bA	b,cB	aA	a,bA	b,dAC
23 Серп.		aB	a,bB	a,bB	a,cC	bB	a,bB	b,cB
4 Жовт.		aB	aB	aBC	aB	aC	aC	aBC
16 Трав.	5-10	aA	a,bA	bA	b,c,dA	a,d,eA	a,bA	b,eA
12 Лип.		aA	a,cA	a,bA	bB	aA	a,bA	b,cA
23 Серп.		aB	aB	aB	aB	aB	aB	aB
4 Жовт.		aB	aC	aB	aB	aB	aC	aB
16 Трав.	10-15	a,cA	a,b,cA	a,bA	bA	cA	a,cA	a,b,cA
12 Лип.		a,d,e,f,gA	a,b,gA	a,c,gA	dB	b,c,eB	b,c,f,gA	gA
23 Серп.		aB	aB	aB	aC	aC	aB	aB
4 Жовт.		aB	aB	aB	aC	aC	aB	aB
16 Трав.	15-20	aA	a,c,eA	bAC	b,c,dA	a,bA	a,d,eA	b,eA
12 Лип.		aA	a,bA	bA	b,cB	aA	a,bA	b,dAC
23 Серп.		aB	a,bB	a,bB	a,cC	bB	a,bB	b,cB
4 Жовт.		aB	aB	aBC	aB	aC	aC	aBC

ДОДАТОК Г

Список опублікованих праць за темою дисертації та відомості про
апробацію та впровадження матеріалів дисертації

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ
Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації

Монографії:

1. Kravchenko Y. Ukrainian Chernozem: monograph. Kyiv : NUBiP of Ukraine Press, 2017. 182 p.
2. Ковальчук І., Ковальчук А., Тихенко Р., Шевченко О., Опенько І., Андрейчук Ю., Кравченко Ю., Палеха Ю., Патиченко О., Тихенко О. Атласне картографування вартості земель : монографія. Частина 3. Том 3, Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2019. 620 с. *(Здобувачем висвітлено картографічні основи тематичних карт і картограм для створення картографічних моделей грошової оцінки земель).*
3. Ковальчук І., Ковальчук А., Тихенко Р., Шевченко О., Опенько І., Андрейчук Ю., Кравченко Ю., Палеха Ю., Патиченко О., Тихенко О. Атласне картографування вартості земель : монографія. Частина 3. Том 2, Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2019. 556 с. *(Здобувачем вивчено методологію проведення великомасштабного картографування ґрунтового покриву).*
4. Ковальчук І., Ковальчук А., Тихенко Р., Шевченко О., Опенько І., Андрейчук Ю., Кравченко Ю., Палеха Ю., Патиченко О., Тихенко О. Атласне картографування вартості земель : монографія. Частина 3. Том 1, Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2019. 614 с. *(Здобувачем встановлено основні засади створення картографічної основи для проведення грошової оцінки земель).*
5. Tonkha O., Nurek T., Kravchenko Y., Sychevs'kyu S., Vykova O., Menshov O., Kruglov O., Kovalenko V., Sonko R., Hutsol T., Glowacki S. Spatial Heterogeneity of Soil Parameters in Different Forest-Steppe Landscapes of Ukraine: monograph. Warszawa: Warsaw University of Life Sciences Press, 2021. 118 p. *(Здобувачем проведено аналіз просторового поширення чорноземів в Лісостепу України, описана роль силіцію у родючості ґрунтів, досліджені фізичні та хімічні властивості ґрунтів Хмельницької області).*

Статті у періодичних наукових закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus

6. Kravchenko Y., Zhang X., Liu X., Song C., Cruse R. Mollisols properties and changes in Ukraine and China. *Chinese Geographical Science*. 2011. Vol. 21. № 3. P. 257–266 (Здобувачем вивчено генезис і проаналізовано властивості чорноземів України і Китаю).

7. Liu X., Lee Burras C., Kravchenko Y., Duran A., Huffman T., Morras H., Studdert G., Zhang X., Cruse R., Yuan X. Overview of Mollisols in the World: Distribution, Land Use and Management *Canadian Journal of Soil Science*. 2011. Vol. 92, № 3. P. 383–402 (Здобувачем вивчено і проаналізовано фаціальні особливості чорноземів України, Росії і Китаю).

8. Sun T., Chen Q., Chen Y., Cruse R., Li X., Song C., Kravchenko Y., Zhang X. A novel soil wetting technique for measuring wet stable aggregates. *Soil & Tillage Research*. 2014. № 141. P. 19–24 (Здобувачем запропоновано і впроваджено нові методологічні підходи щодо визначення водостійких агрегатів ґрунту за їх повільного замочування у дистильованій воді у вакуумі).

9. Liu S., Zhang X., Kravchenko Y., Iqbal A. Maize (*Zea mays* L.) yield and soil properties as affected by no tillage in the black soils of China *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2015. Vol. 65. № 6. P. 554–565 (Здобувачем вивчено вплив властивостей Ізогумусолю та обробітку ґрунту на урожай кукурудзи на зерно).

10. Chen Q., Kravchenko Y., Li H., Chen S., Zhang X. Seasonal Variation of Physical and Chemical Properties in a Black Soil under No-Till and Conventional Tillage in Northeast China. *The Philippine Agricultural Scientist*. 2016. Vol. 99, № 3. P. 277–282 (Здобувачем вивчено сезонну динаміку змін фізичних і фізико-хімічних властивостей Ізогумусолю за різного обробітку ґрунту та утримання).

11. Kravchenko Y., Chen Q., Liu X., Herbert S., Zhang X. Conservation Practices and Management in Ukrainian Mollisols. *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST)*. 2016. Vol. 18. P. 845–854 (Здобувачем висвітлено проблему

застосування ґрунтозахисних технологій в Україні та їх вплив на родючість чорноземів).

12. Tonkha O., Butenko A., Bykova O., Kravchenko Y., Pikovska O., Kovalenko V., Evpak I., Masyk I., Zakharchenko E. Spatial Heterogeneity of Soil Silicon in Ukrainian Phaeozems and Chernozems. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 22. № 2. P. 111–119 (Здобувачем встановлено просторову неоднорідність умісту силіцію і властивостей чорноземів Лісостепу України залежно від природних і антропогенних факторів).

13. Kravchenko Y., Zhang X., Song C., Hu W., Yarosh A., Voitsekhivska O. Seasonal Dynamics of Organic Carbon and Nitrogen in Biomasses of Microorganisms in Arable Mollisols Affected by Different Tillage Systems. *Land*. 2022. Vol. 11. № 4. 486 (Здобувачем вивчено сезонну динаміку змін умісту вуглецю та азоту біомаси мікроорганізмів за різного довготривалого обробітку Ізогумусолу).

14. Kravchenko Y., Yarosh A., Chen Y. Profile Soil Carbon and Nitrogen Dynamics in Typical Chernozem under Long-Term Tillage Use. *Land*. 2022. № 11. 1165 (Здобувачем вивчено сезонну динаміку змін умісту органічного вуглецю та азоту у метровому шарі чорнозему типового за різного обробітку ґрунту).

Статті у наукових фахових виданнях України:

15. Kravchenko Y., Petrenko L., Pikovska O., Kozak V., Siyu G. Soil organic matter properties and management on Typical Ukrainian Chernozems. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове ґрунтознавство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2011. № 1. С. 122–127 (Здобувачем вивчено ґрунтозахисні підходи щодо відновлення родючості і умісту органічної речовини чорнозему типового).

16. Лі Х., Кравченко Ю. С., Джан С. Оцінка водно-ерозійних процесів і втрат чорноземних ґрунтів Північно-східного Китаю. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове ґрунтознавство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2011. № 1. С. 56–60 (Здобувачем

досліджено водно-ерозійні процеси і втрати ґрунту у межах великого і малого вододілів селища Гуангронг – місця проведення дисертаційного дослідження).

17. Кравченко Ю. С. Зміни агрофізичних властивостей китайського чорнозему в залежності від технологій обробітку ґрунту. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове ґрунтознавство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2013. № 1. С. 35–38.

18. Kravchenko Y., Matviiv G. Soil Aggregates Distribution in Typical chernozem Effected by Different Tillage Systems. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове ґрунтознавство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2014. № 1. С. 36–42 (Здобувачем досліджено фракційний розподіл водостійких агрегатів в орному і підорному шарах чорнозему типового за різного обробітку ґрунту).

19. Кравченко Ю. С., Матвіїв А. М. Сезонна динаміка запасів вологи чорнозему типового за різних систем обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно. *Наукові доповіді НУБіП України : електрон. наук. фахове вид.* 2015. № 52. URL: http://nd.nubip.edu.ua/2015_3/10.pdf (дата звернення: 14.09.2022) (Здобувачем проаналізовано сезонну динаміку умісту і запасів вологи верхніх шарів чорнозему типового за різного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно).

20. Кравченко Ю., Бережняк Є., Матвіїв Г., Джан С., Чен Ю., Сунь Т. Агрофізичні властивості чорнозему типового та ізогумусолію за різних технологій їх обробітку *Вісник аграрної науки*. 2015. № 9 (751). С. 17–23 (Здобувачем вивчено вплив різного обробітку ґрунту на агрофізичні властивості чорнозему типового та ізогумусолію).

21. Кравченко Ю. С. Сучасний стан родючості китайських чорноземів. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове ґрунтознавство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2019. № 2. С. 14–27.

22. Кравченко Ю. С. Відтворення родючості чорноземів України за ґрунтозахисного землеробства. *Агробіологія*. 2020. № 1. С. 67–79.

23. Кравченко Ю. С. Впровадження наукових основ ґрунтозахисного землеробства та аграрної політики у відтворенні родючості чорноземів Північно-східного Китаю. 2020. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. № 1. С. 58–70.

Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних:

24. Лью Шуа, Джан С., Кравченко Ю. С. Динаміка та запаси вологи чорнозему Північно-східного Китаю та урожайність кукурудзи на зерно при використанні різних технологій обробітку ґрунту. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2011. Вип 162 (2). С. 126–131 (Здобувачем досліджено динаміку сезонних змін умісту вологи та її профільні запаси в Ізогумусолі залежно від технології обробітку ґрунту та кліматичних умов).

25. Лі Х., Джан С., Кравченко Ю. С. Водно-ерозійні процеси на лесовидних вододілах Північно-східного Китаю. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2011. Вип 162 (2). С. 131–137 (Здобувачем розраховано середньорічні втрати ізогумусолу залежно від кліматичних і ландшафтних умов та характеру використання ґрунтів у межах лесових вододілів).

26. Кравченко Ю. С. Вміст водостійких агрегатів у Моллісолі Північно-Східного Китаю в залежності від обробітку ґрунту та типу сільськогосподарських угідь. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2012. Вип. 176. С. 173–177.

27. Kravchenko Y., Zhang X., Li X., Li H., Chen Q. Ukrainian and Chinese Mollisols: Distribution, Formation and Properties. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2013. Вип. 183 (2). С. 216–222 (Здобувачем вивчено географічні аспекти утворення чорноземів України та Китаю та просторову неоднорідність їх властивостей).

28. Kravchenko Y. Aggregate Stability and Size Distribution in Ukrainian and Chinese Mollisols under Different Tillage. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2018. № 294. С. 136–144.

29. Кравченко Ю. С. Сучасний стан родючості українських чорноземів. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2019. Том 10. № 4. С. 16–28 (Здобувачем проаналізовано зміни родючості чорноземів і шляхи її відтворення за довготривалого сільськогосподарського використання).

30. Кравченко Ю. С., Тонха О. Л. Морфогенез чорнозему типового та ізогумусолу за довготривалого використання різних систем обробітку ґрунту. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. Том 11. № 2. С. 39–49 (Здобувачем вивчено морфолого-генетичні зміни чорнозему типового та ізогумусолу за різного їх використання).

31. Kravchenko Yu., Vykova O. Physico-chemical and agrochemical indicators of typical chernozem and isohumisol under various tillage and fertiliser systems. *Plant and Soil Science*. 2023. Vol. 14 (1). P. 22–38 (Здобувачем досліджено профільну динаміку фізико-хімічних і агрохімічних властивостей чорнозему типового та ізогумусолу за різного обробітку ґрунту і удобрення).

Статті у науковому виданні іншої держави:

32. Li H., Zhang X., Liu S., Kravchenko Y., Ivanova K., Li X., Chen Q. Evolvement of gully erosion in village scale in the typical black soil area. *Science of Soil and Water Conservation*. 2012. Vol. 10 (2). P. 21–28 (Здобувачем досліджено процес розвитку яроутворення у межах водно-ерозійного ландшафту Гуангронгу).

33. Chen Q., Kravchenko Y., Yuan C., Hao Li. Seasonal Variations of Soil Structures under Different Tillage Systems. *Chinese Journal of Soil Science*. 2014. Vol. 46, № 1. P. 184–191 (Здобувачем вивчено сезонну динаміку різних фракцій водотривких агрегатів ізогумусолу Хайлуня та їх фрактальну розмірність за різного обробітку ґрунту).

34. Chen Q., Kravchenko Y., Yuan C., Li X., Li H., Song C., Zhang X. Seasonal variations of soil structures and hydraulic conductivities and their effects on soil and water conservation under no-tillage and reduced tillage *Acta Pedologica Sinica*. 2014. Vol. 51 (1). P. 11–21 (Здобувачем визначено вплив обробітку ґрунту на щільність складення, водопроникність, втрати ізогумусолю Гуангронгу від поверхневого стоку та атмосферних опадів).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

35. Kravchenko Y. Russian Chernozems: Distribution and Management. *New Advances in Research and Management of World Mollisols: Proceedings of International Symposium on Soil Quality and Management of World Mollisols*, Harbin, July 13–16, 2010. Harbin: Northeast Forestry University Press, 2010. P. 51–59 (Здобувачем вивчено генезис утворення чорноземів Росії та шляхи відновлення їх родючості).

36. Kravchenko Y., Petrenko L., Zhang Xingyi. Ukrainian Chernozems: genesis, properties and amendment. *New Advances in Research and Management of World Mollisols: Proceedings of International Symposium on Soil Quality and Management of World Mollisols*, Harbin, July 13–16, 2010. Harbin: Northeast Forestry University Press, 2010. P. 3–24 (Здобувачем вивчено генезис утворення чорноземів України та шляхи відновлення їх родючості).

37. Kravchenko Y. Structural changes of soil organic matter in typical Chernozem under different soil tillage systems. *New Advances in Research and Management of World Mollisols: Proceedings of International Symposium on Soil Quality and Management of World Mollisols*, Harbin, July 13–16, 2010. Harbin: Northeast Forestry University Press, 2010. P. 106–108.

38. Liu S., Zhang X., Kravchenko Y. Effects of soil tillage systems on soil dynamics, water use efficiency and corn yield in arable black soil in northeast China. *Соціально-економічна політика держави в умовах трансформаційних змін: макро- та мікроекономічні аспекти* : матеріали міжнар. науково практичної

конф., Полтава, 12 квітня 2011 р. Полтава: РВВ ПДВА, 2011. 250 с. (*Здобувачем вивчено зміни водних властивостей ізогумусолю за вирощування кукурудзи на зерно при застосуванні різних технологій обробітку ґрунту*).

39. Кравченко Ю., Джан С., Лі Х., Лі Ш., Чжен Д. Динаміка водно – ерозійних процесів на чорноземах Північно-східного Китаю при застосуванні різних технологій обробітку ґрунту. *Гене́за, географія та екологія ґрунтів*: збірник наукових праць міжнародної наукової конференції, Львів, 19–21 вересня 2013 р. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2013. Вип.4. С. 77–84 (*Здобувачем досліджено водно-ерозійні процеси на чорноземах Північно-східного Китаю при застосуванні різних технологій обробітку ґрунту*).

40. Кравченко Ю. Геолого-географічні та кліматичні особливості формування чорноземів Північно-східного Китаю. *Охорона ґрунтів - основа сталого розвитку*: спеціальний випуск до ІХ з'їзду Українського товариства ґрунтознавців та агрохіміків, Миколаїв, 30 червня – 4 липня 2014 року. Харків: ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського, 2014. С. 46–47.

41. Кравченко Ю. С., Бережняк Є. М., Матвіїв Г. М. Агрофізичні показники чорноземів України і Китаю за різних технологій їх обробітку. *Сучасні проблеми збалансованого природокористування*: збірник наукових праць ПДАТУ, спеціальний випуск до ІХ науково-практичної конференції, Кам'янець-Подільський, листопад 2014. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2014. С. 201–203 (*Здобувачем висвітлено зміни агрофізичних властивостей чорнозему типового та ізогумусолю за різних технологій обробітку ґрунту*).

42. Кравченко Ю. С. Картування ґрунтового покриву України. *Ґрунти України: трансформація і відновлення родючості*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої всесвітньому дню ґрунту, Київ, 7 грудня 2021. Київ: НУБіП України, 2021. С. 25–28.

43. Kravchenko Y. World Mollisols Diversity and their Conservation Use: Global and Local Aspects. *Modern Theories and Best Practices*: Materials of the

Monthly International Scientific and Practical Conference Sustainable Development, Tallinn, February 24-26, 2021. Tallinn: Teadmus OÜ, 2021. P. 38–41.

Наукові праці, які додатково відображають результати дисертації

44. Petrenko L. R., Kravchenko Y. S., Starodubtsev V. M. Elements of Geology : instruction book. К.: НУБіП України, 2005. 96 с. *(Здобувачем вивчено ендегенні і екзогенні геологічні процеси та властивості мінералів).*

45. Gnatenko O. F., Petrenko L. R., Kravchenko Yu. S., Baydyuk M. I. Soil Genesis, Classification, Nomenclature and Diagnostics: instruction book. К.: НУБіП України, 2006. 50 с. *(Здобувачем досліджено генезис і таксономію ґрунтів).*

46. Манько Ю. П., Цюк О. А., Кротінов О. П., Вдовиченко В. К., Тарасенко О. О., Барановський В. Д., Кравченко Ю. С., Рожко В. М., Карпенко О. Ю., Шерстобаєва О. В., Коваленко Т. М. Модель системи екологічного землеробства в Лісостепу України: *методичні рекомендації для впровадження у виробництво*. Київ: Аграрна освіта, 2008. 36 с. *(Здобувачем вивчено складові системи екологічного землеробства в Україні).*

47. Kravchenko Y. Geology with the Principles of Geomorfology: textbook. *Part 1. Dynamic Geology*. Kyiv: IT Centre, 2009. 142 p.

48. Кравченко Ю. С. Оцінка ерозійних процесів на чорноземних ґрунтах лесових водозборів Північно-східного Китаю. *Фізична географія та геоморфологія*. Міжвідомчий науковий збірник. Київ. ВГЛ «Обрії», 2012. Вип. 2, № 66. С. 182–187.

49. Кравченко Ю. С. Ландшафтно-географічні та геологічні умови утворення чорноземів Північно-східного Китаю. *Фізична географія та геоморфологія*. Міжвідомчий науковий збірник. Київ. ВГЛ «Обрії», 2013. Вип. 3, № 71. С. 204–210.

50. Petrenko L., Berezhnyak V., Kravchenko Y., Tonkha O., Berezhnyak Ye., Vukova O. Soil Science : practical methods manual. К.: Publishing ООО “NPP Interservice”, 2014. 428 p. *(Здобувачем представлено лабораторні методи досліджень ґрунтів).*

51. Kravchenko Y., Lopatko K., Aftodiliants Y., Trach V. The effect of colloidal nanoparticles on Plant Grows, Phytotoxicity and Crop Yields: monograph. *Fertiliser Technology I: Syntesis*. NY: Studium Press LLC., 2015. P. 408–443 (*Здобувачем здійснено аналіз впливу наночастинок на наростання біомаси та врожай сільськогосподарських рослин*).

52. Bilyera N., Loginova I., Kravchenko Y. Micro-nutrients Efficiency on Crop Growing and Soil Quality: monograph. *Fertiliser Technology II: Biofertilizers*. NY: Studium Press LLC., 2015. Vol. 2. P. 519–543 (*Здобувачем проаналізовано ефект мікроелементів на родючість ґрунтів*).

53. Матвіїв А. М., Кравченко Ю. С. Сезонна динаміка запасів вологи чорнозему опідзоленого західного лісостепу України за різного використання в агроценозах. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2016. Вип. 235. С. 189–196 (*Здобувачем проаналізовано водні властивості чорнозему опідзоленого за його різного використання*).

54. Матвіїв Г. М., Кравченко Ю. С., Матвіїв В. М. Сезонна динаміка щільності складення чорнозему опідзоленого Західного лісостепу України за різного використання в агроценозах. *Наукові доповіді НУБіП України. Серія «Агрономія»*. 2016. Вип. № 7 (64). URL : <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/download/dopovidi2016.07.010/7421> (дата звернення: 16.09.2022) (*Здобувачем проведено дослідження фізичних властивостей чорнозему опідзоленого за його різного використання*).

55. Petrenko L., Berezhniak M., Kravchenko Yu., Kozak V., Berezhniak E. Soil Science with Elements of Geology: textbook K.: ЦП “Komprint”, 2020. 702 p. (*Здобувачем досліджено і описано мінералогічний і гранулометричний склад ґрунтів*).

56. Тонха О. Л., Кравченко Ю. С., Меньшов О. І. Комплексна оцінка ґрунтових ресурсів, прогноз їх розвитку та управління родючістю на основі неруйнівних та геофізичних методів. К.: НУБіП України, 2022. 58 с. (*Здобувачем*

описано різні види дистанційних зйомок та польові знімання ґрунтового покриву проксимальною апаратурою).

57. Тонха О., Кравченко Ю., Меньшов О., Круглов О., Вижва С. Алгоритм обстеження сільськогосподарських полів за технологій точного землеробства. К.: НУБіП України, 2022. 55 с. *(Здобувачем описано алгоритм впровадження технологій точного землеробства для різномасштабних досліджень з технологією складання карт і картограм).*

Відомості про апробацію та впровадження результатів дисертації

Основні положення і результати дисертаційного дослідження було представлено, опубліковано і обговорено на: Міжнародному симпозіумі «International Symposium on Soil Quality and Management of World Mollisols» (м. Харбін, Китай, 2010); Міжнародному семінарі «Workshop on Regional Environmental Systems Interactions» (м. Чанчунь, Китай, 2010); Міжнародній конференції “Mollisols of Ukraine and China: Genesis, Properties and Fertility Management” (м. Київ, 2011); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасне ґрунтознавство: наукові проблеми та методологія викладання» (м. Київ, 2012); Міжнародному семінарі «International Workshop of Mollisols Conservation» (м. Харбін, Китай, 2012); Міжнародній конференції «Актуальні проблеми досліджень впливу ерозійних і руслових процесів на стан і функціонування басейнових систем» (м. Київ, 2012); Міжнародній науковій конференції «Actual Problems of Genetic, Geographical, Historical, Environmental Soil Science» (м. Львів, 2013); Міжнародній науковій конференції «Міждисциплінарні виміри дослідження ландшафтів» (м. Київ, 2013); ІХ з’їзді Українського товариства ґрунтознавців і агрохіміків «Охорона ґрунтів – запорука сталого розвитку України» (м. Миколаїв, 2014); ІХ науково-практичній конференції «Сучасні проблеми збалансованого землекористування» (м. Кам’янець-Подільський, 2014); Міжнародному симпозіумі «Symposium of Mollisols Utilization and Conservation» (м. Харбін, Китай, 2015); Міжнародному

симпозіумі «Uluslararası Diyarbakir Sempozyumu' Bildiri Özet Kitapçığı Yayınlandı» (м. Діярбакир, 2016); Міжнародній конференції «The 2016 International Conference of the European Society for Soil Conservation (ESSC)» (м. Клуж-Напока, Румунія, 2016); Міжнародному семінарі «The International Training Workshop on Drip Irrigation and Fertigation» (м. Діярбакир, 2017); Міжнародному семінарі «Water Treatment's Activity in Huzhou» (м. Хучжоу, Китай, 2017); Міжнародній конференції «4th International Conference on Environmental Science and Technology» (м. Київ, 2018); Всеукраїнській конференції «Родючість ґрунтів як основа ефективного землекористування» (м. Київ, 2019); Міжнародному семінарі: «Відновлення техногенно-порушених і деградованих ґрунтів у сучасному землекористуванні» (м. Київ, 2019); Міжнародній конференції «Ґрунти України: трансформація і відновлення родючості» (м. Київ, 2021); Міжнародній конференції «Sustainable Development: Modern Theories and Best Practices» (м. Таллінн, Естонія, 2021); Міжнародному семінарі «Оцінка запасів вуглецю в чорноземних ґрунтах як похідної землекористування та зміни клімату» (м. Харків, 2021); Міжнародному семінарі «Carbon stocks of Ukrainian Chernozems as a function of Land Use and Climate change » (м. Харків, 2021); Міжнародному конгресі «International Congress and Workshop on Agricultural Structures and Irrigation» (м. Діярбакир, 2022); Міжнародному симпозіумі «IV International Symposium for Agriculture and Food» (м. Охрид, Північна Македонія, 2022); Міжнародному форумі «International Forum on Black Soil Conservation and Utilization» (м. Харбін, Китай, 2022).

Основні положення дисертаційної роботи використано у навчальних курсах таких дисциплін як: «Ґрунтознавство з основами геології», «Геологія з основами геоморфології», «Ґрунтознавство з основами агрохімії», «Охорона ґрунтів з основами ґрунтознавства», «Картографія ґрунтів», «ГІС в Агрохімії і ґрунтознавстві».

Наукові розробки автора впроваджено у ТОВ «Лотівка Еліт» Шепетівського району Хмельницької області. Використання на основних типах

ґрунтів господарства адаптованих до місцевих умов ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур суттєво зменшило енергетичне, фінансове і антропогенне навантаження на орні ґрунти, знизило витрати на моніторинг властивостей ґрунтів, покращило властивості і родючість ґрунтів.

Матеріали досліджень знайшли своє відображення у: монографіях («Spatial Heterogeneity of Soil Parameters in Different Forest-Steppe Landscapes of Ukraine», «Атласне картографування вартості земель», «Ukrainian Chernozem»), підручниках («Soil Science with Elements of Geology», «Geology with the Principles of Geomorfology»), методичних рекомендаціях для впровадження у виробництво («Модель системи екологічного землеробства в Лісостепу України»), інших науково методичних працях, поданих заявках на проекти Horizon-2020 («SEP-210492733 New solutions for bio-wastes recycling in resilient farming», «SEP-210649167 SElecting Crops and Trees for Agroforestry and Resilient Agrobiodiversity», «SEP-210522333 Climate-SmArt Farms and Landscapes in Europe - An Observatory for Microclimate Management in European Farming») та МОН («ID:58761 Розробка технологій каталізу і синтезу органічного вуглецю у чорноземах за ґрунтозахисного землеробства»).