



original article | UDC 631.4;911.6. | doi: 10.31210/visnyk2021.02.12

CHANGES IN AGRO-PHYSICAL PROPERTIES OF ORDINARY BLACK SOIL
AT LONG-TERM LAND USE AND ECONOMIC INCENTIVES FOR ITS RECOVERYS. M. Kramarov¹ORCID [id 0000-0002-0263-298X](https://orcid.org/0000-0002-0263-298X)L. P. Bandura^{1*}ORCID [id 0000-0003-0479-4162](https://orcid.org/0000-0003-0479-4162)S. F. Artemenko²ORCID [id 0000-0003-3473-6385](https://orcid.org/0000-0003-3473-6385)O. S. Kramarov²ORCID [id 0000-0002-0350-6213](https://orcid.org/0000-0002-0350-6213)P. V. Pysarenko³ORCID [id 0000-0002-4915-265X](https://orcid.org/0000-0002-4915-265X)¹ Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University, 25, Sergey Efremov Str., Dnipro, 49600, Ukraine² SE Institute of Grain Crops of NAAS of Ukraine, 14, Volodymyra Vernanskoho Str., Dnipro, 49009, Ukraine³ Poltava State Agrarian Academy, 1/3, Skovorody Str., Poltava, 36003, Ukraine

*Corresponding author

E-mail: bandura.l.p@dsau.dp.ua

How to Cite

Kramarov, S. M., Bandura, L. P., Artemenko, S. F., Kramarov, O. S., & Pysarenko, P. V. (2021). Changes in agro-physical properties of ordinary black soil with long-term land use and economic incentives for its recovery. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (2), 93–106. doi: 10.31210/visnyk2021.02.12

Ordinary black soils, unlike other subtypes of soils, are characterized by rather favorable agro-physical properties for cultivating crops. However, as a result of long-term agricultural use, the agro-physical properties of ordinary black soils begin to deteriorate. This is primarily connected with the fact that soil resources are considered as a source and means of making profit, without concern for the protection, preservation and reproduction of their agro-physical and agrochemical indicators. Thus, the primary natural value – the fertility of ordinary black soils is gradually being lost. At present, the rental use of land resources has led to negative consequences that are observed in land management: the spreading of erosion processes, low land productivity, catastrophic loss of humus from the soil and intensive physical degradation of indicators. Physical degradation results in over-compaction of the soil, loss of structure, deterioration of quality, formation of clods, crusts and cracks on the surface, and at the base of the arable layer – the plow pan. The main cause of physical degradation is excessive mechanical loading on the soil caused by heavy agricultural machinery, long-term use of traditional moldboard tillage, violation of crop rotations and excessive row crops' growing, loss of humus, etc. All this is confirmed by the data of conducted comprehensive comparative assessment of agro-physical properties of ordinary black soils on arable land in comparison with characteristics of virgin land plots. The parameters of agro-physical soil properties were determined according to the existing standard methods. Agrarian science and practice have developed various measures for prevention and elimination of degradation, which makes the existing problem quite solvable at high culture of land use and new technical implements of soil tillage. Therefore, the National Action Plan to Combat Degradation and Desertification (p. 28) envisages the achievement of land degradation neutrality, recognized as one of the key objectives of Ukraine's sustainable development for the period to 2030. However, the issues related to the search for economic incentives for measures to stop further development and spreading of degradation processes in the soil remain unsolved. New economic incentives for producers to improve the agro-physical properties of ordinary black soils have been proposed.

Key words: soil, degradation, structure, density, clods, crust, soil profile.

ЗМІНИ АГРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧОРНОЗЕМУ ЗВИЧАЙНОГО ЗА УМОВИ ДОВГОТРИВАЛОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ ТА ЕКОНОМІЧНЕ СТИМУЛЮВАННЯ ЇХНЬОГО ВІДНОВЛЕННЯ

С. М. Крамарьов¹, Л. П. Бандура¹, С. Ф. Артеменко², О. С. Крамарьов², П. В. Писаренко³

¹ Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

² ДУ Інститут зернових культур НААН України, м. Дніпро, Україна

³ Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна

Чорноземи звичайні на відміну від інших підтипів ґрунтів відрізняються доволі сприятливими для вирощування сільськогосподарських культур агрофізичними властивостями. Однак у результаті тривалого сільськогосподарського використання агрофізичні властивості чорноземів звичайних з часом погіршуються. Це насамперед пов'язано з тим, що нині ґрунтові ресурси розглядають як джерело і засіб одержання прибутку, без турботи про охорону, збереження та відтворення їхніх агрофізичних та агрохімічних показників. Отже, первинна природна цінність – родючість чорноземів звичайних поступово втрачається. На сьогоднішнє використання земельних ресурсів призвело до негативних тенденцій, які спостерігаються в землекористуванні: поширення ерозійних процесів, низька продуктивність земель, катастрофічні втрати гумусу з ґрунту та інтенсивна фізична деградація показників. Фізична деградація призводить до переущільнення ґрунту, втрати структури, погіршення якості, утворення на поверхні глибоких кірки і тріщин, і в основі орного шару – плужної підшови. Основною причиною виникнення фізичної деградації є перевищення рівня механічного навантаження на ґрунт у разі використання важкої сільськогосподарської техніки, тривалого застосування традиційного відвального обробітку ґрунту, порушення сівозмін та надмірного насичення їх просапними культурами, втрати гумусу та ін. Усе це підтверджується даними проведеної всебічної порівняної оцінки агрофізичних властивостей чорноземів звичайних на ріллі порівняно з характеристиками цілинних ділянок. Параметри агрофізичних властивостей ґрунту визначали за існуючими стандартними методиками. Аграрна наука і практика розробили різноманітні заходи щодо запобігання і усунення деградації, що робить наявну проблему цілком вирішуваною за умов високої культури землекористування і нових технічних знарядь обробітку ґрунту. Тому Національний план дій щодо боротьби з деградацією та опустелюванням (п. 28) передбачає досягнення нейтрального рівня деградації земель, що визнано однією із пріоритетних цілей сталого розвитку України на період до 2030 року. Однак це не розв'язаними залишаються питання, пов'язані з пошуками шляхів проведення економічного стимулювання заходів із припинення подальшого розвитку і поширення деградаційних процесів у ґрунті. Запропоновано нові економічні важелі стимулювання товаровиробників на поліпшення агрофізичних властивостей чорноземів звичайних.

Ключові слова: ґрунт, деградація, структура, щільність, брили, кірка, ґрунтовий розріз.

Вступ

На сучасному етапі розвитку України найбільш важливою еколого-економічною проблемою в аграрному секторі економіки є питання раціонального використання земельних ресурсів, оскільки саме цей показник може вирішити не тільки завдання щодо економічної безпеки, але й зняти питання продовольчої безпеки регіонів і країни загалом [1]. До системи економічного розвитку будь-якої держави включено раціональне використання ґрунтових ресурсів, що є основною умовою зростання обсягів виробництва сільськогосподарської продукції [1, 30]. Одним зі шляхів підвищення ефективності використання ґрунтів в аграрному виробництві є розв'язання проблеми відновлення втраченої їх родючості. Адже родючість ґрунтів сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур і поліпшенню біохімічних показників якості вирощеної продукції [6, 18].

В умовах сьогодення проблема стану ґрунтового покриву, його деградації в Україні вже загально-визнана та включає цілу низку чинників [5]. Реалії часу переконливо свідчать про те, що деградаційні процеси, спричинені антропогенним впливом на ґрунти під час їх сільськогосподарського використання, які нині вже охопили весь світ та не минули й Україну. Ця проблема виникла, передусім, через недотримання науково обґрунтованої сівозміни та тривалого застосування традиційного відвального обробітку ґрунту, а довготривала його експлуатація із застосуванням різних агротехнічних засобів призвела до суттєвих змін його властивостей [2, 5]. Особливу актуальність це питання набуває в умовах інтенсивного та тривалого землекористування.

На фоні тривалого реформування земельних відносин істотно змінилась структура земельних угідь і були ліквідовані зональні науково-обґрунтовані сівозміни. На зміну розпочали короткоротаційні сівозміни, насичені комерційними культурами, зокрема соняшником, що сприяло інтенсивному розвитку деградаційних процесів [17]. Використовувана в умовах сьогодення суто мінеральна система удобрення створює сприятливі умови для мінералізації органічної речовини ґрунту через з їх кислу природу і це призводить до значних втрат загального гумусу, а переважання в номенклатурі добрив азотних туків – прямий шлях до декальцинації і дегуміфікації ґрунту [18].

Деградація ґрунтового покриву супроводжується порушенням співвідношень агроценозів і природних угідь та недотриманням закону повернення відшкодованих біогенних елементів [21]. Ці фактори мали негативний вплив і на низку показників агрофізичних властивостей ґрунту [27]. Повсюдно у ґрунтах спостерігається втрата потужності профілю, а також знеструктурення і переущільнення [27]. Насамперед негативний вплив діяльності людини позначився на фізичних властивостях і вмісті органічної частини ґрунту. Особливо це стосується найбільш родючих і значно розораних чорноземних ґрунтів, які є національним багатством та запорукою стабільної прибутковості економіки України і які займають 60 % орних земель держави, а їхня загальна площа становить 26 млн га [1, 6, 18, 21]. Серед їх підтипів найбільшу площу, майже 10 млн га, займають чорноземи звичайні, які за агрофізичними властивостями на відмінну від інших підтипів ґрунтів є найбільш сприятливими для вирощування всіх сільськогосподарських культур. Визначальними факторами формування агрофізичних властивостей цих ґрунтів є ґрунтові породи, представлені лесами і лесовидними суглинками, а також відносно високий вміст гумусу, який відіграє роль цементу при створенні водостійких структурних агрегатів [2].

Завдяки своїй високій родючості ці ґрунти в нашій державі майже на 80% розорані і в результаті тривалого періоду їх експлуатації людиною із застосуванням різних технічних і хімічних засобів вони зазнали суттєвих змін агрофізичних властивостей, що врешті-решт призвело до виникнення розвитку в них деградаційних процесів. Повсюдно в них спостерігається втрата потужності профілю, а також знеструктурення і переущільнення, що є причиною розвитку посух, ерозії та деградаційних процесів. З вищенаведеного видно, що деградація ґрунту доволі серйозна проблема і аграрна наука перебуває в пошуку альтернативних технологій, покликаних загальмувати або й навіть призупинити розвиток цього негативного процесу. Тому Національний план дій щодо боротьби з деградацією та опустелюванням (п. 28) передбачає досягнення нейтрального рівня деградації земель, що визнано однією із пріоритетних цілей сталого розвитку України на період до 2030 року [7, 17]. І ось ще один парадокс: на фоні деградації чорнозему з його багатим мінералогічним складом і високим органо-енергетичним потенціалом, у низці країн Західної Європи штучно і вдало створюють високопродуктивні ґрунти із бідних кислих підзолистих та дерново-підзолистих, а іноді навіть з оглеєних ґрунтів. При цьому як еталон береться чорнозем України. Недарма в деяких країнах, у яких практично немає чорноземних ґрунтів, 2005 рік офіційно був проголошений роком чорнозему. В такому разі постає природне запитання: «Чому ж таки в нашій державі цим ґрунтам не приділяється належна увага?». Це, мабуть, пов'язано з тим, що, на перший погляд, ці негативні зміни, які відбулися у ґрунті за тривалий час, зовні не завжди помітні і тому не у всіх випадках викликають занепокоєння. Адже такі різючі зміни спочатку майже непомітні і побачити можна лише при проведенні моніторингових досліджень. Однак досліді такого характеру на сьогодні проведено не у всіх країнах. Тільки у США й Канаді (починаючи приблизно з 70-х років минулого століття), у Європі (з 90-х років), у Китаї (в окремих провінціях з 2000 р.) і деяких інших країнах налагоджено моніторинг [5, 33, 36, 40, 44]. До речі, варто відмітити, що і в європейських країнах, так само, як і в Україні, системних спостережень за змінами агрофізичних властивостей ґрунтів дуже обмаль [43]. Тому одним із напрямів розв'язання цієї проблеми є виконання порівняльної оцінки показників, які характеризують агрофізичні властивості ґрунту на цілих ділянках чорноземів звичайних та ріллі [2]. Тобто, для виявлення наявності негативних змін, що відбулися у ґрунті потрібно мати у своєму розпорядженні еталон із чітко фіксованими початковими показниками. Понад те, спостереження змін агрофізичних властивостей ґрунтів виконані на цілих ґрунтах, ніколи не були великомасштабними. Фактично єдиним джерелом інформації про наявність агрофізичної деградації ґрунтів можуть бути тільки результати порівняльних обстежень показників цілини і ріллі [17]. Тільки в такому разі зміни агрофізичної деградації ґрунтів стають помітними і на основі їхнього аналізу можна зробити об'єктивні висновки, що й слугувало основою для проведення наших наукових досліджень. Але поряд з констатуванням факту наявності

розвитку у ґрунті деградаційних процесів, потрібно впровадити у виробничих умовах рекомендації щодо призупинення їх подальшого розвитку.

Безумовно, сільськогосподарська наука вже розробила низку рекомендацій, завдяки виконанню яких можна призупинити подальший розвиток у ґрунтах деградаційних процесів [3, 27]. Згідно з цими рекомендаціями потрібно удосконалити агротехнології і насамперед знизити механічний вплив на ґрунт, який є одним із головних чинників погіршення його структурного складу [29]. Однак ще, на превеликий жаль, не розроблені економічні стимули, які би спонукали товаровиробників виконувати ці рекомендації [30, 31]. Через це виникла необхідність у розгляді наслідків агрофізичної деградації ґрунтів і розробці економічних стимулів до їх впровадження у виробничих умовах [31]. Оскільки проблеми економічного регулювання раціонального використання ґрунтів та пошук найбільш досконалого економічного механізму відновлення втраченої їх родючості і припинення подальшого розвитку деградаційних процесів набувають все більшої актуальності, тому розгляду цих питань і буде приділена належна увага в цій статті.

Мета роботи полягала у вивченні змін агрофізичних властивостей чорноземів звичайних, які відбулися під впливом тривалої дії на них антропогенних чинників та розробці способу економічного стимулювання відновлення втрачених агрофізичних параметрів.

Серед *завдань* досліджень: проведення порівняльної оцінки основних агрофізичних показників чорнозему звичайного на ріллі та цілині у ґрунтових розрізах глибиною 0–200 см з використанням стандартизованих методів проведення досліджень.

Матеріали і методи досліджень

Для формування порівняльної оцінки чорнозему звичайного за вмістом у ньому гумусу та основними агрофізичними показниками на цілині та ріллі на Ерастівській дослідній станції ДУ Інституту зернових культур НААН України провели дослідження з вивчення цих питань упродовж (2010–2016 рр.). Вивчення агрофізичних властивостей ґрунту проводили у тривалих стаціонарних дослідках на ґрунтових розрізах чорнозему звичайного, виконаних на ріллі та цілинних ділянках. За еталон чорнозему звичайного була обрана ділянка цілинного степу, який ще зберігся на території Ерастівської дослідної станції у П'ятихатському районі Дніпропетровської області на околицях села Байківка. Дослідження чорнозему звичайного та його агрофізичних властивостей проводили на ґрунтових розрізах, виконаних по ріллі та цілині. Розрізи ґрунту мали глибину 0–200 см. Цілина і рілля були розміщені на одній території на відстані між ними 250 м. У ґрунтових розрізах проводили порівняльні дослідження чорноземів звичайних, що перебувають у різних умовах використання – від абсолютно заповідної цілини та у виробничих і дослідницьких умовах, де тривалий час застосовуються різноманітні агрозаходи. Оскільки експертних приладів для визначення основних агрофізичних показників у режимі *in-situ* (безпосередньо в полі) і тим паче в режимі on-line (безперервна реєстрація) немає, тому параметри агрофізичних властивостей ґрунту визначали за існуючими стандартними методиками. Вміст загального гумусу аналізували за методом І. В. Тюріна (ДСТУ 4289-2004). Структурно-агрегатний склад ґрунту вивчали за методом сухого просіювання через набір сит (по М. І. Саввінову) – за ДСТУ 4744:2007, який набув в Україні статус стандартного [10, 11]. Визначення водомістності агрономічно цінних структурних агрегатів проводили за їх розпливчастістю обліково-статистичним методом Андріанова, твердість ґрунту твердоміром Ревякіна – за ДСТУ 5096 : 2008, щільність складення ґрунту визначали методом ріжучого кільця об'ємом 500 см³ за методикою Качинського [12]. Для оцінки структурного складу наявних у ґрунті компонентів були виділені брили розміром (>10мм), агрономічно цінні структурні одиниці (10–0,25 мм) і пил

(>0,25 мм) [8, 9, 13]. Усі дослідження виконували в чотирикратній повторності. У результаті виконаних досліджень опанували значний масив інформації і зробили спробу сформулювати закономірності антропогенної трансформації орних чорноземів звичайних у розрізі ґрунту на глибині 0–200 см.

Результати досліджень та їх обговорення

Виробнича практика і науковий досвід переконливо свідчать, що родючість ґрунту залежить не лише від наявних у ньому поживних речовин, а й тісно пов'язана з фізичними властивостями і залежить від його структурного стану, твердості, шпаруватості й інших фізичних параметрів, за змінами яких можна прослідкувати лише за умови їх зіставлення на цілинних ділянках та ріллі [6, 19, 23]. Зважаючи на це, була проведена порівняльна оцінка морфологічних ознак цілинних і староорних

ділянок, яка чітко показала різницю в потужності їх двох верхніх гумусових горизонтів. На ріллі вона була меншою порівняно з цілиною майже на 10 см. У цьому випадку скорочення потужності гумусового горизонту відбувається під дією постійного механічного навантаження на ґрунт різноманітних сільськогосподарських машин та знарядь, звичайної переваги ерозійних втрат над приростом ґрунту в результаті ґрунтоутворювального процесу й загалом, як наслідок, зниження стійкості ріллі, особливо на схилах з великим кутом нахилу. Зазвичай на схилах різного ухилу залягають еродовані ґрунти, які мають укорочений профіль і знижену родючість порівняно з нееродованими аналогами. Процеси втрат потужності гумусових горизонтів ґрунту можуть бути наявними під час сильних злив на розораних схилах, але зазвичай це поступовий і дуже тривалий процес. На схилах ерозія погіршує фізико-хімічні, механічні й водно-фізичні властивості ґрунту, що призводить до зниження вмісту гумусу, суми обмінних катіонів і доступності поживних речовин. У процесі ерозії знижується вміст глинистої та пилюватої фракції і, як наслідок, це призводить до погіршення гранулометричного складу ґрунту, до зменшення ємності обміну катіонів і погіршення структуроутворювальної здатності ґрунту [16, 27]. Зазвичай за таких умов землекористування погіршується структура ґрунту.

Дослідження вітчизняних і зарубіжних учених [2, 6, 17, 34, 35, 41, 44] доводять, що агрономічно цінна структура ґрунту є одним із основних факторів його родючості тому, що створює сприятливі умови для формування оптимального повітряного, водного та поживного його режимів. Варто відмітити, що всі процеси, які відбуваються у ґрунті, взаємопов'язані та взаємообумовлені. У ґрунті одночасно постійно тривають процеси формування і руйнації структури [3]. Сільськогосподарське використання ґрунту приводить, з однієї сторони, до руйнування ґрунтових агрегатів, а з іншої, навпаки, викликає утворення ґрунтових агрегатів та підвищення їхньої міцності [9]. У польових умовах чинники, які руйнують і формують структуру ґрунту, діють одночасно і завдяки їм у ґрунті виникають елементи структури різні за формою та розмірами. За формою в чорноземах звичайних агрономічно цінною є грудочкувато-зерниста структура, а за властивостями – пружно-міцна, водотривка і оптимально пориста – із часткою пор $>45\%$. Відносно сприятливих розмірів ґрунтових агрегатів, у вчених існують різні погляди. Наприклад, П. В. Вершинін [11] стверджує, що для кращого росту й розвитку рослин найсприятливішими є ґрунтові агрегати у розмірі від 2 до 3 мм і близькі до них – 1–2 та 3–5 мм. М. А. Качинський [12] вважає, що допустимий діапазон розміру оптимальних агрегатів від 1 до 10 мм, а оптимальний – 2–4 мм. За І. Б. Ревутом [13,16] агрономічно цінною фракцією ґрунту є частки розміром 0,25–7 мм. В. Р. Вільямс [14] встановив, що у структурному ґрунті частка агрегатів розміром від 1 до 10 мм має бути не менше 70%. Усі вітчизняні і зарубіжні вчені [2, 5, 23, 27, 37, 39, 43, 44] одноголосно стверджують, що якщо у ґрунті зростає вміст пилу, тобто агрегатів розміром менше за 0,5–0,25 мм, то його фізичні властивості погіршуються [16].

Зазвичай у цілининних умовах чорноземи звичайні формують характерну для них зернисту структуру, про що наголошував В. Р. Вільямс [14]. У цьому випадку грудочки розміром менше 10 мм пронизані корінням і не розпливаються під час злив, навіть якщо зняти з ґрунтового покриву дернину, та до того ж мають високу механічну міцність. Тоді структура ґрунту відповідає наявним оптимальним параметрам. Такий структурний ґрунт здатний забезпечувати гармонійні взаємовідносини між водним і повітряним режимами і міцно утримувати вологу всередині ґрунтових агрегатів, підтримувати на належному рівні біологічну активність, забезпечувати сприятливі умови для проходження обмінних процесів і мінерального живлення рослин.

ґрунтовий покрив сільськогосподарських угідь на ріллі має переважно важкосуглинковий гранулометричний склад, що при знеструктуренні ґрунтів може сприяти збільшенню щільності, липкості та погіршенню інших агрофізичних його показників. До того ж на ріллі, після багаторічного її обробітку домінують положення займають грудки (брили) неправильної форми, як правило розміром понад 20 мм, і для них характерна порохоподібна структура. Грудки містять у своєму складі мало коріння. Тут характерні для чорноземів звичайних цілини зернисті структурні одиниці поступово трансформуються в кутасті (гексагональні) недосконалі утворення із численними порушеннями в зовнішній і внутрішній будові. Після літньої зливи вони розпливаються й утворюють кірку. До того ж на ріллі залежно від вирощуваних культур (просапних чи суцільної сівби) стан структури поверхнього шару ґрунту розрізняється. Під просапними культурами, це, щонайбільше, сухий, пилюватий та пухкий після численних міжрядних обробок і ущільнений особливо після дощу. Під зерновими колосовими культурами поверхня ґрунту впродовж більшої частини вегетаційного періоду покрита кіркою і тріщинами різного розміру.

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

Також розорювані чорноземи відрізняються від цілинних будовою верхнього гумусового горизонту: у цілинних він однорідний із зернистою структурою, а на ріллі чітко виділяються два шари – орний (0–25 см) з порушеною зернисто-грудкуватою структурою і підорний (25–50 см) з добре вираженою грудкувато-зернистою структурою. На ріллі ці два шари ґрунту розділяє плужна підшва з підвищеною щільністю. Лінія закипання під впливом 10%-ї соляної кислоти знижується від 10–30 см у цілинному до 37–60 см на ріллі.

Під час вивчення структури цілинного ґрунту на основі одержаних результатів досліджень методом сухого просіювання було встановлено, що у верхньому шарі 0–5 та 5–10 см знаходяться досить високі показники агрономічно цінної фракції (10–0,25 мм). У цих шарах кількість цінної фракції становила 84,3 і 82,2 %, у горизонті 10–15 та 15–20 см – відповідно по 75,1 % і в шарі 20–25 см – 72,9 і горизонті 25–30 см – 70,6 %. Найбільші зміни показників агрономічно цінної фракції ґрунту відбулись на ріллі в орному шарі 0–30 м за довготривалого її використання. Частка цінних агрегатів на ріллі в шарі 0–5 см становила 69,9 %, у шарі ґрунту 5–10 та 10–15 см – відповідно 70,0 та 68,6 %. Кількість агрономічно цінної фракції в показниках на цілині за вищезгаданими шарами ґрунту зменшилась відповідно на 14,4; 12,2 та 6,5 %. На ріллі в нижніх шарах ґрунту (20–30 см) цей показник знизився на 5,2–6,1 %, а в підорному шарі – на 2,9–5,5 %. Детальніша порівняльна оцінка показників цінної структури чорнозему звичайного по ріллі та цілині наведена в (табл. 1).

Довготривала традиційна оранка мала негативний вплив на ґрунт і змінила його агрегатний склад, особливо у верхніх шарах, де інтенсивно проводився цей обробіток. Наприклад, у шарі ґрунту 0–5 см і 5–10 см брилиста фракція на ріллі становила 23,3 та 25,3 %, що перевищило ці показники на цілині відповідно на 9,9 і 8,6 %. Із глибиною ця брилиста фракція дещо зростає порівняно з цілиною, але різниця суттєво скорочується.

1. Гранулометричний склад цілинного ґрунту

Шар ґрунту, см	Фракція, %			Коефіцієнт структурності
	брили, >10 мм	агрономічно цінна, 7–0,25 мм	пил, <0,25 мм	
0–5	13,4	84,3	2,3	5,37
5–10	16,7	82,2	1,1	4,62
10–15	23,0	75,1	1,9	3,02
15–20	23,6	75,1	1,3	3,02
20–25	25,7	72,9	1,4	2,69
25–30	28,1	70,6	1,3	2,40
30–40	29,8	68,7	1,5	2,19
40–50	33,0	65,3	1,7	1,88
50–60	35,1	63,4	1,5	1,73
60–70	34,9	63,5	1,6	1,74
70–80	32,8	65,1	2,1	1,87
80–90	33,6	64,2	2,2	1,79
90–100	35,0	62,5	2,5	1,67
100–110	36,3	61,2	2,5	1,58
110–120	38,1	59,9	2,0	1,49
120–130	38,6	59,5	1,9	1,47
130–140	37,4	60,4	2,2	1,53
140–150	36,0	61,9	2,1	1,62
150–160	35,0	62,9	2,1	1,70
160–170	34,7	63,4	1,5	1,75
170–180	34,2	64,5	1,3	1,82
180–190	36,0	62,5	1,5	1,67
190–200	37,0	61,6	1,4	1,60

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

В шарі ґрунту 10–15 та 15–20 см вона вже відрізняється відповідно на 4,0 та 4,8 %. У шарі ґрунту 20–25 см і 25–30 см різниця на ріллі порівняно з цілиною становила 4,8 та 5,4 %. Зростання показників брилистої фракції відмічали до глибини 100 см, а далі вони були майже однакові (табл. 2).

2. Показники структури староорного ґрунту за умови тривалого його використання

Шар ґрунту, см	Фракції, %			Коефіцієнт структурності
	брили, > 10 мм	агрономічно цінна 7–0,25 мм	пил, <0,25 мм	
0–5	23,3	69,9	6,8	2,32
5–10	25,3	70,0	4,7	2,33
10–15	27,0	68,6	4,4	2,18
15–20	28,4	69,0	2,6	2,23
20–25	30,5	67,7	1,8	2,10
25–30	33,5	64,6	1,9	1,82
30–40	36,6	61,8	1,6	1,62
40–50	36,9	61,0	2,1	1,56
50–60	37,4	60,5	2,1	1,53
60–70	37,7	60,3	2,0	1,52
70–80	38,3	59,6	2,1	1,48
80–90	38,5	58,9	2,6	1,43
90–100	38,3	59,3	2,4	1,46
100–110	38,1	59,6	2,3	1,47
110–120	37,9	59,5	2,6	1,47
120–130	38,9	59,1	2,0	1,44
130–140	39,1	58,7	2,2	1,42
140–150	39,5	58,1	2,4	1,39
150–160	39,8	57,8	2,4	1,37
160–170	39,8	58,2	2,0	1,39
170–180	39,6	58,7	1,7	1,42
180–190	38,5	59,7	1,8	1,48
190–200	38,2	60,0	1,8	1,50

Проведений аналіз показників ґрунту на цілині за вмістом пилу показав, що в шарі 0–5 см його було 2,3 %, в горизонті 5–10 см – 1,1 % і в 10–15 см – 1,9 %. У шарі ґрунту 15–20 см і 25–30 см цей показник становив 1,3 та 1,4 %. У глибших шарах ґрунту (до 70 см) кількість пилу варіювала в межах 1,5–1,7 %, а з глибини 70–150 см – від 1,9 до 2,5 %.

Проведений облік фракції пилу на ріллі показав, що під час інтенсивного обробітку зв разі використання відвальної оранки значно збільшилася частка пилу в шарі 0–5 см. Уміст її зріс майже втричі та досягнув 6,8 %, а в шарі 5–10 см і 10–15 см – відповідно 4,7 та 4,4 %. Пилова фракція ґрунту діаметром менше, ніж 0,25 см по оранці на глибині 30–40 см вирівнюється, але з подальшим заглибленням її кількість дещо зростає (табл. 2).

Дуже важливим показником, який характеризує агрофізичні властивості ґрунту є коефіцієнт структурності, що характеризує відношення агрономічно цінної фракції до суми показників брилистої і пилюватої частини ґрунту. Характеризуючи цей показник, потрібно відзначити, що під дією довгострокового обробітку чорнозему звичайного на ріллі відбувається його суттєве зниження через збільшення брилистості та пилюватої фракції і зменшення агрономічно цінної структури ґрунту. На цілині загальний коефіцієнт структурності в шарі ґрунту 0–5 см і 5–10 см становив 5,37 та 4,62, а по ріллі – відповідно 2,32 і 2,33. Цей показник на цілині в шарі ґрунту 10–15; 15–20 і 25–30 см становив по 3,02 і 2,40, а на ріллі – відповідно 2,18; 2,10 і 1,82. У глибших шарах ґрунту (30–100 см) на цілині коефіцієнт структурності варіював від 1,67 до 1,88, а на ріллі – в межах 1,36–1,62. У цьому разі зниження коефіцієнту структурності відбулося за рахунок збільшення брилистої та пилюватої фракцій.

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

Одним із важливих інформаційних показників агрофізичних властивостей будови ґрунту є щільність, що характеризує співвідношення твердої та газоподібної фаз [4]. Щільність будови є основним показником рівня розпушеності чи ущільнення та залежить від механічного складу, вмісту органічної речовини, а також указує на будову та структуру ґрунту [20]. Щільність будови ґрунту залежить від показників структури. Показники щільності ґрунту суттєво знижуються за найліпших умов по формуванню структурних агрегатів, що відмічалось на цілині. Тут процес формування агрегатів виявляється найкраще, і щільність була близька до $1,0 \text{ г/см}^3$ [19].

Показники щільності ґрунту суттєво знижуються за найкращих умов під час формування більшої частини структурних агрегатів, що відмічалось на цілині. За даними Н. А. Качинського щільність менше $1,0$ має ґрунт розпушений і багатий органічною речовиною, від $1,0$ – $1,1 \text{ г/см}^3$ ґрунт щойно зораний і оптимальні параметри щільності чорноземних ґрунтів є в межах $1,0$ – $1,2 \text{ г/см}^3$ [12]. Показники щільності більше $1,2$ відповідають ущільненому ґрунту, а в межах $1,3$ – $1,4 \text{ г/см}^3$ – значно ущільненому. Одержані результати щодо щільності ґрунту показали, що найменші показники щільності ґрунту були характерними для цілини. Так, у шарі ґрунту 0 – 5 см вона становила $0,73 \text{ г/см}^3$, а в шарі ґрунту 5 – 10 , 10 – 15 і 15 – 20 см – відповідно $0,85$; $0,87$ та $0,22 \text{ г/см}^3$ (табл. 3).

3. Показники щільності староорного і цілинного ґрунту

Шар ґрунту, см	Щільність ґрунту, г/см^3		
	староорного	цілинного	+ до цілини
0–5	0,88	0,73	0,15
5–10	0,95	0,85	0,10
10–15	0,96	0,87	0,09
15–20	0,99	0,92	0,07
20–25	0,99	0,94	0,05
25–30	1,05	0,97	0,08
30–40	1,04	0,98	0,06
40–50	1,07	1,06	0,01
50–60	1,12	1,12	0,00
60–70	1,18	1,14	0,04
70–80	1,18	1,16	0,02
80–90	1,20	1,17	0,03
90–100	1,19	1,16	0,03
100–110	1,16	1,13	0,03
110–120	1,13	1,13	0,00
120–130	1,14	1,12	0,02
130–140	1,14	1,12	0,02
140–150	1,13	1,13	0,00
150–160	1,14	1,15	0,01
160–170	1,16	1,15	0,01
170–180	1,15	1,16	0,01
180–190	1,15	1,16	0,01
190–200	1,16	1,16	0,00

Тут варто відмітити – рілля в пухкому стані, тобто близькому до ущільнення цілини, перебуває не більше 2-х місяців. Упродовж іншої частини року, а саме, не менше 10 місяців, вона переущільнена. Тоді рілля вже не може розущільнитися до величини ущільнення у природному стані. В такому разі можна прогнозувати, що збереження в подальшому сучасної, переважно невисокої культури землеробства, що супроводжується зменшенням вмісту гумусу в чорноземах звичайних, призведе в майбутньому до подальшого збільшення їх рівноважної щільності.

В умовах інтенсивного використання ґрунтів і застосування різних спеціалізованих сівозмін, вивчення впливу різних сільськогосподарських культур на зміни структурного складу чорноземів звичайних стало досить актуальним [22, 28, 32, 38, 39]. Визначення структури ґрунту в посівах кукурудзи у фазі 3–5 листків показали, що різні попередники по-різному впливають на кількість

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

агрегатів фракцій розміром 7–0,25 мм, відрізнялись між собою несуттєво. Їхній вміст у шарі ґрунту 0–10 см варіював у межах 90,6–91,8 %, у шарі 10–20 см 91,8–94,8 і в шарі 20–30 см – 92,1–94,4 % (табл. 4).

4. Вплив попередника на структурний склад чорнозему звичайного під кукурудзою залежно від попередників

Попередник	Шар ґрунту, см	Розмір агрегатів (мм) та їх кількість, %			
		7,0–0,25	5–1	3–1	0,5–0,25
3–5 листків					
Пшениця озима	0–10	90,6	41,8	31,2	23,3
	10–20	94,8	42,9	33,0	21,5
	20–30	94,2	43,9	35,6	20,7
Ячмінь ярий	0–10	91,8	42,0	31,9	23,4
	10–20	94,1	42,4	33,5	20,8
	20–30	94,4	43,6	34,7	21,4
Кукурудза на зерно	0–10	91,3	39,6	29,0	25,1
	10–20	91,5	39,7	31,4	23,6
	20–30	92,1	42,3	33,4	20,6
Перед збиранням врожаю					
Пшениця озима	0–10	90,9	36,2	29,0	23,2
	10–20	91,7	38,4	30,1	16,0
	20–30	91,6	38,3	29,5	17,3
Ячмінь ярий	0–10	90,8	35,9	27,6	24,0
	10–20	92,7	36,5	28,6	16,3
	20–30	94,6	38,5	30,5	16,9
Кукурудза на зерно	0–10	90,2	32,5	26,3	25,2
	10–20	92,8	32,6	25,0	15,8
	20–30	93,2	35,9	27,6	14,1

Значно більше було агрегатів цієї фракції в шарі 10–20 см, по попередниках пшениця озима і ячмінь ярий і менше після розміщення кукурудзи після просапної культури (кукурудза на зерно). Різниця у вмісті агрегатів у шарах 0–10 і 20–30 см не перевищувала 0,8–3,6 %. По всім попередникам кількість агрегатів фракції розміром 7,0–0,25 мм зростала зі збільшенням глибини, що пов'язано зі впливом на верхні шари ґрунту сільськогосподарських машин у період догляду за посівами. Відмічено різницю по попередниках і за вмістом фракції 5–1 мм. У разі розміщення кукурудзи по кукурудзі кількість агрегатів цієї фракції в шарі 0–30 см було на 0,8–3,5 % менше, ніж після культур суцільного посіву. Водночас, несуттєво зросла, кількість агрегатів розміром 0,5–0,25 мм у посівах кукурудзи, розміщених після просапних культур.

Цим же можна пояснити збільшення вмісту агрегатів найдрібнішої фракції у верхніх шарах ґрунту. Найбільш позитивно діє на агрофізичні властивості ґрунту пшениця озима. Уже навесні під нею структурно-агрегатний склад і щільність будови 1,1–1,2 г/см³ були ліпші, ніж під іншими культурами. Погіршення агрофізичних властивостей ґрунту під просапними культурами порівняно з пшеницею озимою відбувається в результаті використаних частих механічних обробіток і прискороного розкладання органічних речовин (табл. 4).

На фізичні властивості ґрунту великий вплив здійснює механічний обробіток ґрунту [25, 26, 27, 28]. Крім того, різні сільськогосподарські знаряддя по-різному впливають на ґрунти не лише під час проведення агрозаходів, а й після виконання певних технологічних операцій, пов'язаних із передпосівною підготовкою ґрунту, включаючи і саму сівбу. Кількість агрономічно цінних агрегатів розміром (10–0,25 мм) було вищим за оранки плугом ПН–4–35, але більшу кількість цінних агрегатів відмічали навесні, а восени – за рахунок помітного зменшення кількості брилистої фракції.

Підвищення було незначним і становило всього 3–5 %. Варто відмітити, що вміст пилу у верхніх шарах ґрунту за літній період на фонах з різним обробітком ґрунту помітно зріс, а кількість брилистих агрегатів зменшилося, причому так, що забезпечило незначне зростання на 0,7–7,8 % кількості

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

агрономічно цінних агрегатів (табл. 5). фактором, що визначає оптимальні параметри щільності будови чорнозему.

5. Вплив способів основного обробітку ґрунту на структурний склад чорнозему звичайного в посівах кукурудзи

Спосіб основного обробітку ґрунту	Шар ґрунту, см	Вміст (%) агрегатів, мм					
		травень			жовтень		
		>10	10–0,25	<0,25	>10	10–0,25	<0,25
Оранка ПН–4–35	0–5	17,8	69,6	12,6	14,5	66,8	18,7
	5–10	54,6	41,9	3,5	34,5	54,8	10,7
	0–10	36,2	55,8	8,0	24,5	60,8	14,7
Плоскорізний обробіток КПГ–2–150	0–5	19,1	65,5	15,4	18,1	62,7	19,2
	5–10	55,0	40,3	4,7	40,4	50,5	9,1
	0–10	37,1	52,9	10,0	29,3	56,6	14,1
Розпушення стійками Сибі МЕ	0–5	22,5	64,5	13,0	14,4	67,7	17,9
	5–10	54,1	41,9	4,0	36,7	54,2	9,1
	0–10	38,3	53,2	8,5	25,5	61,0	13,5
Безвідвальний обробіток плугом ПРПВ – 5–50	0–5	17,9	69,0	13,1	17,0	65,1	17,9
	5–10	50,3	45,8	3,0	39,7	51,0	9,3
	0–10	34,1	57,4	8,5	28,3	58,1	13,6
Чизельний обробіток ПЧ–4,5	0–5	24,3	62,5	13,2	15,2	65,5	19,3
	5–10	51,5	43,2	5,3	45,0	46,4	8,1
	0–10	37,9	52,8	9,3	30,4	55,9	13,7

Виконані дослідження з вивчення змін агрофізичних показників чорнозему звичайного на ріллі по відношенню до цілини, свідчать, що тривалий обробіток призводить до стійкого розвитку у ґрунті деградаційних процесів. Чорноземам звичайним раніше хоча й було характерно висока стійкість проти деградації, проте за умови інтенсивного традиційного обробітку вони втратили цю здатність через значні втрати гумусу та погіршення фізичних властивостей ґрунту.

Екстенсивний шлях використання землі призвів до погіршення агрофізичних властивостей, зниження кількості органічної речовини ґрунту. За умови руйнування агрономічно цінної структури на ріллі збільшилась кількість фракції брил і пилу, відмічається переущільнення і, як наслідок, – погіршення водно-повітряного режиму та умов для росту і розвитку рослин, їхніх кореневих систем. Знижується загальний рівень створення сприятливих умов для росту і розвитку рослин, що суттєво скорочує продуктивність сільськогосподарських культур.

До зменшення запасу гумусу призводить часте розпушення ґрунту та оранка з використанням полиневих знарядь. До того ж швидко розкладається активна гумусова частина. Такий негативний процес особливо інтенсивно відбувається в перші роки розорювання цілинних земель. При обробітку порушується характерна для цілинних земель стабільність простору пор, зменшується довжина пор одного діаметра. Пори заповнюються мікроагрегатами й тонко дисперсним не агрегованим матеріалом. При обробітку ґрунту різко зростає кількість міжагрегатних пор (зокрема розміром 10–20 мм), які навіть при зволоженні, рівній найменшій вологоємності не можуть утримати капілярну вологу. Пори такого розміру характеризуються високою вологопроникністю (саме тому всмоктування вологи на ріллі в перші години спостережень істотно вище, ніж на цілині). Вода в порах не затримується: стікає в нижні шари ґрунту, або випаровується. Тому цінність таких пор у забезпеченні рослин вологою невелика. Роль пор зводиться тільки до сприйняття атмосферних опадів і здійснення процесів газообміну з атмосферою. Внаслідок цього орні ґрунти здатні ефективно сприймати вологу атмосферних опадів, але й одночасно швидко їх випаровувати, а за рахунок брил волога атмосферних опадів по великих порах провалюється на глибину профілю, знижує агрономічну якість структури орного шару ріллі.

Найбільші зміни макро- і мікроморфології структурних одиниць і пор відзначилися під дією ходових систем машинно-тракторних агрегатів [15]. У цьому випадку за їх тривалого впливу відбувалась майже повна втрата міжагрегатних пор і зменшення кількості агрономічно-цінних агрегатів у

місцях їхнього контакту з ґрунтозачіпами шин. Отже, тривала оранка чорноземів призводить до морфологічної деградації агрегатів ґрунту, глибокої перебудови простору пор і загалом будови: порівняно з цілиною знижується коефіцієнт оформленості агрегатів, збільшується вміст неагрегованого матеріалу та співвідношення видимої і внутрішньоагрегатної пористості. Розпушення й часткове руйнування ґрунту під час обробітку, а також наступне відновлення рівноважної щільності призводять до змін водно-повітряного й інших режимів.

Проведені дослідження переконливо показують, що утворення брил, кірки і тріщин на поверхні чорноземів звичайних практично стали характерними для давньої ріллі. Так, як після осіннього обробітку, на поверхні ґрунту завжди утворюються брили, які через свою підвищену механічну міцність і низьку пористість менш проникні для коріння і вологи, внаслідок чого здатні довго зберігатись практично без змін. Поява в поверхневому шарі ґрунту на ріллі брил, кірки і тріщин є наслідком погіршення процесів структуроутворення і водостійкості ґрунтових агрегатів властивим орним ґрунтам. Тут доречним було б відмітити, що перелік негативних змін агрофізичних властивостей чорнозему звичайного на ріллі не обмежується зменшенням кількості і водостійкості агрономічно цінних агрегатів, утворенням брил, кірки і тріщин. Водночас в основі орного шару формується ще й плужна підшва потужністю 7–10 см, докорінно перетворюючи будову, властивості і процеси в ріллі.

На ріллі активізуються процеси мінералізації завдяки високому рівню аерації, насиченості сівозмін просапними культурами, незначному використанню органічних добрив. Якщо й надалі будуть відбуватися такі негативні процеси і винос поживних речовин із урожаєм не буде компенсуватися науково обґрунтованою системою удобрення, то чорноземи звичайні будуть продовжувати деградувати і в майбутньому просто можуть стати непридатними для їх використання в землеробстві і рослинництві. На сьогодні рівень внесення органічних добрив є недостатнім і потребує застосування підвищених доз для відновлення родючості ґрунту.

Отже, всі перераховані зміни агрофізичних властивостей чорноземів звичайних на ріллі узгоджено показали помітне погіршення структури ґрунту, що давно розорується. Проведений комплексний аналіз родючості чорноземів звичайних за фізичними властивостями та вмістом гумусу після їхнього інтенсивного й довготривалого сільськогосподарського використання порівняно з цілиною свідчить про суттєву деградацію за всіма показниками, а різниця між чорноземами звичайними на цілині і ріллі настільки суттєві, що їх вже потрібно не тільки констатувати, а й робити відповідні висновки.

Для припинення подальшого розвитку фізичної деградації чорнозему звичайного потрібно не допускати переушільнення і руйнування структури ґрунту. Цього можна досягти за рахунок дотримання агрозаходів високої культури землеробства, шляхом створення бездефіцитного балансу гумусу і біофільних елементів мінерального живлення та введенням мінімізації механічного впливу на ґрунт і впровадженням у виробництво зональних сівозмін. Також потрібна повна заборона спалювання стерні після збирання зернових культур і запровадження обов'язкового розміщення на поверхні ґрунту мульчі та введення в сівозміни багаторічних трав. Слід відмітити, що всі перелічені агрозаходи давно відомі, але з різних причин не використовуються у виробничих умовах [30, 31].

Тому потрібно впровадити економічні важелі, завдяки яким нові господарі будуть енергійно відновлювати погіршені в результаті їхньої сільськогосподарської діяльності агрофізичні показники ґрунту. Яким же чином можна розв'язати це вкрай важливе питання? Спочатку розглянемо нинішній стан справ який склався в державі. Держава нині перебуває у скрутному економічному становищі й не може повністю відшкодувати виробничі витрати дотаціями, як це робиться в державах з розвинутою економікою. Через це товаровиробник мусить завчасно сам шукати шляхи компенсації виробничих витрат. Нині в Україні є велика кількість сільськогосподарських підприємств, різних за формою господарювання, які знаходяться на орендних короткострокових засадах. Їхні власники не мають жодної мотивації щодо впровадження заходів агрономічного спрямування на забезпечення відтворення втрачених агрофізичних властивостей ґрунту. Тому землекористування ведеться за принципом «більше взяти і менше вкласти додаткового капіталу». Водночас ухвалення законів і постанов щодо примусового здійснення заходів раціонального використання землі не мали успіхів, однак породили велику корупцію у розв'язанні цієї проблеми. Тому тільки зацікавленість самого землевласника забезпечить збереження і підвищення продуктивності земельних ресурсів, а цьому може сприяти тільки держава шляхом створення умов довготривалого землекористування або навіть повної власності.

Нині загальною є проблема щодо земельного оподаткування, яка наразі здійснюється на основі врожайності зернових культур за минулий рік [30]. Проте такий підхід до розв'язання цієї проблеми

не зовсім вдалий, тому що виробники будь-якої форми власності не зацікавлені в достовірній інформації з цього питання і тому держава недоотримує коштів у повному обсязі. Нині є всі підстави розв'язати цю проблему за нормативною продуктивною здатністю чорнозему звичайного, тобто за його агрохімічними та агрофізичними показниками на початку і в кінці орендних відносин. Необхідне лише бажання уряду у розв'язанні цієї проблеми.

Запропонований підхід не потребує великої кількості контролерів і водночас значно поліпшить мотивацію землекористувачів до впровадження у виробництво науково обґрунтованих заходів раціонального використання ґрунтових ресурсів.

Висновки

На основі проведеного аналізу одержаних агрофізичних даних встановлено, що причиною значного погіршення агрофізичних показників ґрунту є традиційні агротехнічні заходи щодо землекористування. Екстенсивний шлях використання ґрунту призвів до значних втрат гумусу, погіршення агрофізичних показників. Зі значною втратою гумусу і руйнуванням структури спостерігається зростання щільності, що призводить до інтенсивних процесів розвитку деградації ґрунту. На ріллі порівняно з цілими ділянками знижується рівень створення сприятливих умов росту і розвитку рослин, що суттєво зменшує продуктивність сільськогосподарських культур. Чорноземи звичайні в минулому хоча і характеризувались високою стійкістю проти агрофізичної деградації, проте при інтенсивному традиційному використанні втратили здатність протистояти деградації через значне зниження вмісту гумусу. Тому необхідно систематично впроваджувати заходи, направлені на суттєве зменшення негативного впливу антропогенних факторів на ґрунт та збільшити обсяги внесення органічної речовини. Важливими агрозаходами, направленими на підтримання агрономічно цінної структури ґрунту, є науково обґрунтований підбір попередників, їхнє співвідношення та чергування в сівозміні, зональна система обробітку ґрунту і збільшення вмісту органічної речовини у ґрунті.

References

1. Medvediev, V. V., & Laktionova, T. M. (1998). *Zemelni resursy Ukrainy: monografiia*. Kyiv: Ahrarna nauka [In Ukrainian].
2. Medvedev, V. V. (1988). *Optimizatsiya agrofizicheskikh svoystv chernozemov: monografiia*. Moskva: Agropromizdat [In Russian].
3. Medvedev, V. V. (2008). *Struktura pochvyi (metodyi, genesis, klassifikatsiya, evolyutsiya, geografiya, monitoring, ohrana): monografiia*. Harkov: «13 tipografiya» [In Russian].
4. Medvedev, V. V. (2009). *Tverdost pochv: monografiia*. Harkov: KP «Gorodskaya tipografiya» [In Ukrainian].
5. Medvedev, V. V. (1986). Fizicheskaya degradatsiya chernozemov, ee prichinyi, sledstvie i puti ustraneniya. *Uspehi pochvovedeniya: zbornik nauchnykh trudov uchastnikov XIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. Gamburg. Moskva: Nauka [In Russian].
6. Medvedev, V. V., Laktionova, T. M., Lyndina, T. Ye. (2002). Otsinka vtrat urozhaiu silskohospodarskykh kultur v Ukraini vid pereushchilnennia gruntiv. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 3, 53–59. [In Ukrainian].
7. Bulyhin, S. Yu. (1999). Suchasnyi stan ta perspektyvy zakhystu ґрунту vid dehradatsii. *Zbirnyk Naukovykh prats NNTs «Instytut Zemlerobstva»*, 4, 40–45. [In Ukrainian].
8. Bondarev, A. G., & Medvedev V. V. (1980). Nekotoryie puti opredeleniya optimalnykh parametrov agrofizicheskikh svoystv pochv. *Teoreticheskie Osnovy i Metodyi Opredeleniya Optimalnykh Parametrov Svoystv Pochv: Zbornik Nauchnykh Trudov Institutu im. V. V. Dokuchaeva*, 84–98. [In Russian].
9. Antipov-Karataev, I. N., Kellerman, V. V., & Han, D. V. (1948). *O pochvennom agregate i metodah ego issledovaniya: monografiia*. Moskva: AN SSSR [In Russian].
10. Vadyunina, A. F., Korchagina, Z. A. (1986). *Metodyi issledovaniya fizicheskikh svoystv i gruntov: monografiia*. Moskva: Agromromizdat [In Russian].
11. Vershinin, P. V. (1959). *Osnovy agrofiziki pochv: monografiia*. Moskva: Fizmatgiz [In Russian].
12. Kachinskiy, N. A. (1963). *Struktura pochvyi: monografiia*. Moskva: MGU [In Russian].
13. Revut, I. B. (1972). *Fizika pochv: monografiia*. Leningrad: Kolos [In Russian].
14. Vilyams, V. R. (1955). *Izbrannyye sochineniya*. Moskva: AN SSSR. [In Russian].
15. Slobodiuk, P. I. (1978). Zmina fizychnykh vlastyvostei ґрунту zalezho vid dii khodovykh system traktoriv *Visnyk Silskohospodarskoi Nauky*, 2, 12–18. [In Ukrainian].

16. Revut, I. B., Poyasov, N. P. (1953). O nekotorykh fizicheskikh usloviyakh v strukturnykh pochvah v svyazi s sodержaniem pyilevatykh fraktsiy. *Sbornik tezisov nauchnykh trudov po agronomicheskoy fizike*, 6, 228–242. [In Russian].
17. Datsko, L. V. (2006). Dehradatsiia gruntiv – problema sohodennia. *Visnyk Ahrarnoi Nauky Prychornomoria*, 4 (2), 34–39. [In Ukrainian].
18. Korchynska, O. A. (2008). *Rodiuchist gruntiv: sotsialno– ekonomichna ta ekolohichna sutnist): monohrafiia*. Kyiv: NNTs «Instytut ahrarnoi ekonomiky» [In Ukrainian].
19. Medvedev, V. V., Lyindina, T. E., & Laktionova, T. N. (2004). Plotnost slozheniya pochv (geneticheskyy, ekologicheskyy i agronomicheskyy aspekty). Harkov: 13 tipografiya [In Russian].
20. Smagin, V. P. & Zazdravnyiy, A. N. (1981). Agronomicheskoe znachenie tverdosti pochv. *Pochvovedenie*, 2, 138–141 [In Russian].
21. Tarariko, O. H., Hrekov, V. O., & Panasenko, V. M. (2011). Okhорona ta vidnovlennia dehradovanykh gruntiv vidpovidno proektu dyrektyvy Yevrosoiuzu. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 5, 9–13. [In Ukrainian].
22. Desiatnyk, L. M., & Krotinov, I. V. (1999). Strukturno– ahreatnyi sklad gruntu pislia riznykh poperednykiv ta system osnovnoho obrobittu u pivdenno– skhidnii chastyni Stepu Ukrainy. *Biulleten Instytutu Zernovoho Hospodarstva UAAN*, 10, 41–44. [In Ukrainian].
23. Berezniak, M. F., & Berezniak, Ye. M. (2010). Optyimizatsiia ahrofizychnykh parametriv chornozemnoho gruntu za riznykh system obrobittu. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 12, 16–19 [In Ukrainian].
24. Tretyakov, N. N., & Galitskiy V. I. (1963). Plotnost pochvy i kornevaya sistema rasteniy. *Zemledelie*, 3, 56–63. [In Russian].
25. Korytnyk, V. M., & Taranenko V. I. (1993). Vplyv osnovnoho obrobittu na ahrofizychni vlastyivosti chornozemu i produktyvnist kultur. *Zemlerobstvo: Mizhvidomchyi Tematychnyi Naukovyi Zbirnyk*, 68, 63–67. [In Russian].
26. Akentieva, L. I. (1981). Vplyv ploskoriznoho obrobittu na fizychni vlastyivosti ta strukturnyi stan chornozemiv zvychaynykh. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 9, 9–13. [In Ukrainian].
27. Bulyigin, S. Yu. (1985). Rezhimiy parametrov agrofizicheskikh svoystv chernozema obyiknovennogo pri razlichnykh tehnologiyah obrabotki: “Povyishenie effektivnosti ispolzovaniya udobreniy i plodorodiya pochv v Ukrainской SSR”: *Zbornik nauchnykh trudov uchastnikov konferentsii*. Harkov [In Russian].
28. Viter, A. F. (1976). Vodoprochnaya struktura pochvy pri razlichnykh obrabotkakh. *Sbornik nauchnykh rabot Nauchno-issledovatel'skogo instituta selskogo hozyaystva Tsentralno-Chernozemnoy polosyi im. V. V. Dokuchaeva*. Kamennaya Step: Istoki [In Ukrainian].
29. Mishchenko, Yu. H., Prasol V. I., & Voronin D. V. (2008) Perspektivy pokrashchennia ahrofizychnykh vlastyivostei gruntiv. *Visnyk Sum'skoho Natsionalnoho Ahrarnoho Universytetu. Seriya: Ahronomiia ta Biolohiia*, 11, 67 – 69. [In Ukrainian].
30. Fedorov, M. M. (1998). *Ekonomichni problemy zemelnykh vidnosyn u silskomu hospodarstvi*. Kyiv: IAE [In Ukrainian].
31. Fedorov, M. M. (2007). Osoblyvosti formuvannia rynku zemel silskohospodarskoho pryznachennia v Ukraini. *Ekonomika APK.*, 5, 73–78. [In Ukrainian].
32. Abiven, S., & Mennasseri, S. (2007). Dynamic of aggregates ability and biological binding agents during composition of organic materials. *European Journal of Soil Science*, 58 (1), 239–247.
33. Angers, D. A. (2004). Plant-induced changes in soil structure: processes and Feedbacks. *Biochemistry*, 42 (1-2), 55–72.
34. Bryk, M. (2004). Indices of shape in the classification of soil structure. *Polish Journal of Soil Science*, 37 (1), 1–10.
35. Bryk, M., Słowińska-Jurkiewicz, A., & Medvedev, V. (2012). Morphometrical structure evaluation of long-term manured Ukrainian chernozem. *International Agrophysics*, 26 (2), 117–128. doi: 10.2478/v10247-012-0018-6
36. Beniles, J. R. (2003). The current status and future growth potential of conservation agriculture in the World context. *International Soil Tillage Research Organisation Conference*. Australia.
37. Blanco-Canqui, H., Lal, R., Owens, L. B., Post, W.M., & Izaurralde, R. C. (2005). Mechanical Properties and Organic Carbon of Soil Aggregates in the Northern Appalachians. *Soil Science Society of America Journal*, 69 (5), 1472–1481. doi: 10.2136/sssaj2004.0356
38. Oztas, T., & Fayetorbay, F. (2003). Effect of freezing and thawing processes on soil aggregate stability. *CATENA*, 52 (1), 1–8. doi: 10.1016/s0341-8162(02)00177-7

39. Van Veen, J. A., & Kuikman, P. J. (1990). Soil structure aspects of decomposition of organic matter by microorganisms. *Biogeochemistry*, 11, 213–233.
40. Tijinik, F. G. (2001). Engineering approaches to prevent subsoil compaction in cropping system with sugar beet. *Advances in Geocology*, 32, 442–452.
41. Comia, R. A., Stenberg, M., Nelson, P., Rydberg, T., & Håkansson, I. (1994). Soil and crop responses to different tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 29 (4), 335–355. doi: 10.1016/0167-1987(94)90107-4
42. Jabran, K., & Farooq, M. (2012). Implications of Potential Allelopathic Crops in Agricultural Systems. *Allelopathy*, 349–385. doi: 10.1007/978-3-642-30595-5_15
43. Kunz, C., Sturm, D., Varnholt, D., Walker, F., & Gerhards, R. (2016). Allelopathic effects and weed suppressive ability of cover crops. *Plant, Soil and Environment*, 62 (2), 60–66. doi: 10.17221/612/2015-pse

Стаття надійшла до редакції: 11.05.2021 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Крамарьов С. М., Бандура Л. П., Артеменко С. Ф., Крамарьов О. С., Писаренко П. В. Зміни агрофізичних властивостей чорнозему звичайного за довготривалого землекористування та економічне стимулювання їх відновлення. *Вісник ПДАА*. 2021. № 2. С. 93–106.

© Крамарьов Сергій Михайлович, Бандура Любов Павлівна, Артеменко Сергій Федорович,
Крамарьов Олександр Сергійович, Писаренко Павло Вікторович, 2021