
THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF SOIL SCIENCE



V. V. Medvedev^{1,2}✉

Academician of NAAS
of Ukraine,

Dr. Sci. (Biol.), Professor

Cand. Sci. (Geog.), Assoc. Prof.

Cand. Sci. (Agri.), Sen. Res. Sci.

Cand. Sci. (Agri.)

G. V. Titenko¹

I. V. Plisko²

S. I. Krylach²

A. L. Borodin²

G. O. Klysak³

UDK 631.43

¹*V. N. Karazin Kharkov National University,
Svobody square, 4, Kharkov, Ukraine, 61022*

²*National Scientific Centre «O. N. Sokolovsky Institute
for Soil Science and Agrochemistry Research»,
Chajkovska str., 4, Kharkov, Ukraine, 61024*

³*Eastern European Institute of Agrobusiness,
Dnipro, Ukraine, 49000*

PHYSICAL DEGRADATION (NON-STRUCTURAL AND OVERDENSING) IS A FACTOR IN MODERN AGRICULTURE, WHICH AGGRAVATED THE ECOLOGICAL AND PRODUCTIVE FUNCTIONING OF THE SOIL

Abstract. Soil degradation – the obligatory satellite of unbalanced and their excessively intensive use. Soil degradation is shown in morphological transformation of a structure, dehumification, unstructural and overcompaction, decrease in the contents of nutritious elements, locally in pollution and is accompanied by a number of negative ecological consequences – in a water-air mode, a metabolism and energy, conditions of ability to live of various organisms, and also in decline of productivity of agricultural crops. Estimating propensity of the soils to occurrence of the crisis phenomena, it is necessary to emphasize the importance of natural and social and economic preconditions. Among natural preconditions – soil properties which can resist or promote the crisis phenomena. If the soil is rich on humus, mineral thindispersive part, has the high-grade microbiological pool, favorable physical and chemical parameters, it is capable to resist to negative anthropogenous influence actively, such soil has noticeably greater potential of restoration. On the contrary, the soil, poor on organic and mineral parts, such, that has other adverse physical and chemical and biological properties, is faster and is irreversible changes. Socio-economic factors, namely: 1) intensity of anthropogenous loading, quality of manufacture (the «pure» or «dirty» enterprises and technologies); 2) presence of rate-legal documents and their

✉ Tel.: +38057-704-16-69, e-mail: vvmmedvedev@ukr.net

DOI: 10.15421/041701

ISSN 1684-9094. Gruntoznavstvo. 2017. Vol. 18, no. 1-2

5

effectiveness, erudition of the population and economic level of the country – all this the important arguments, which resist (or assist) to degradation and reduce (or increase) risk of the crisis phenomena. Ukraine, which owns a unique soil cover, the country that has proclaimed agrarian sector a priority of the development, should not postpone the decision of a question on overcoming degradation and protection of soils for the future. In article consequences of structure, miss and overcompaction of arable soils (mainly because of dehumification and reduction of water-stability of soil structure) for a water mode, activity of root systems and a crop of field cultures are considered. Owing to the raised pressure upon soil of running systems of machine-tractor units and a plenty of technological operations in a sowing layer it is formed a block structure in underseed layer and especially in plow pan – bulk of density which exceeds requirements of plants. These displays of physical degradation reduce quantity of an accessible moisture in root layer, cause abiotization of soil units and weake soddy formation process in chernozems. For reduction of negative consequences of degradation, it is necessary to observe at tillage the standard of admissible pressure of running systems МТА on soil, to reduce number of their passes on fields and it is obligatory to apply the actions promoting soil structure.

Key words: soil, physical degradation, density, structural composition.

УДК 631.43

В. В. Медведев^{1,2}

акад. НААН Украины,
д-р биол. наук, проф.

Г. В. Титенко¹

канд. геогр. наук, доц.

И. В. Плиско²

канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.

С. И. Крылач²

канд. с.-х. наук

А. Л. Бородин²

Г. О. Клысак³

¹*Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина,
пл. Свободы, 4, г. Харьков, Украина, 61022,
тел.: +38057-704-16-69, e-mail: vvmedvedev@ukr.net*

²*Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии
им. А. Н. Соколовского», ул. Чайковская, 4, г. Харьков, Украина, 61024*

*Восточно-Европейский институт агробиомашинерии,
г. Днепр, Украина, 49000*

**ФИЗИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ
(ОБЕССТРУКТУРИВАНИЕ И ПЕРЕУПЛОТНЕНИЕ) –
ФАКТОР СОВРЕМЕННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ,
КОТОРЫЙ УХУДШАЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ И ПРОДУКЦИОННОЕ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПОЧВЫ**

Аннотация. Рассмотрены следствия обесструктурирования и переуплотнения старопахотных почв для водного режима, деятельности корневых систем и урожая полевых культур. Вследствие повышенного давления на почву ходовых систем машинно-тракторных агрегатов и большого количества технологических операций в посевном слое формируется глыбистость, в подсеменной прослойке и особенно в плужной подошве – плотность сложения, которая превышает требования растений. Эти проявления физической деградации (главным образом из-за дегумификации и уменьшения водоустойчивости почвенной структуры) уменьшают количество доступной влаги в корнеобитаемом слое, абиотизацию почвенных агрегатов, ослабляют секвестрацию углерода и дерновый почвообразовательный процесс в черноземах. Для уменьшения отрицательных следствий деградации нужно при обработке соблюдать стандарт допустимого давления ходовых систем МТА на почву, сократить число их проходов по полям и обязательно применять мероприятия, содействующие оструктуриванию почв.

Ключевые слова: почва, физическая деградация, плотность, структурный состав.

¹Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна,
пл. Свободи, 4, м. Харків, Україна, 61022,
тел.: +38057-704-16-69, e-mail: vvmedvedev@ukr.net

²Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
ім. О. Н. Соколовського», вул. Чайковська, 4, м. Харків, Україна, 61024

³Східно-Європейський інститут агробіомашинерії,
м. Дніпро, Україна, 49000

ФІЗИЧНА ДЕГРАДАЦІЯ (ЗНЕСТРУКТУРЕННЯ І ПЕРЕУЩІЛЬНЕННЯ) – ЧИННИК СУЧАСНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА, ЩО ПОГІРШУЄ ЕКОЛОГІЧНЕ І ПРОДУКЦІЙНЕ ФУНКЦІОНУВАННЯ ҐРУНТУ

Анотація. Розглянуто наслідки знеструктурення і переущільнення давньоорних ґрунтів для водного режиму, діяльності кореневих систем і врожаю польових культур. Через надмірний тиск на ґрунт ходових систем машинно-тракторних агрегатів і велику кількість технологічних операцій в посівному шарі формується брилистість, у піднасіньному прошарку і особливо у плужній підшві щільність будови, що перевищує вимоги рослин. Ці прояви фізичної деградації (головним чином через дегуміфікацію і зменшення водостійкості ґрунтової структури) зменшують кількість доступної вологи в кореневмісному шарі, сприяють абіотизації ґрунтових агрегатів, послаблюють секвестрацію вуглецю і дерновий ґрунтовірний процес у чорноземах. Для зменшення негативних наслідків деградації потрібно за обробітку дотримувати стандарту припустимого тиску ходових систем МТА на ґрунт, скоротити число їхніх проходів по полях і обов'язково поширити застосування заходів, що сприяють оструктуренню ґрунтів.

Ключові слова: ґрунт, фізична деградація, щільність, структурний склад.

ВСТУП

Деградація ґрунтів – неминучий супутник незбалансованого і надмірно інтенсивного їх використання. Деградація ґрунтів проявляється у морфологічній трансформації будови, дегуміфікації, знеструктуренні, переущільненні, збідненні на поживні елементи, локально у забрудненні і супроводжується низкою негативних екологічних наслідків – у водно-повітряному режимі, обміні речовин і енергії, умовах життєдіяльності різноманітних організмів, а також у відчутному зниженні продуктивності сільськогосподарських культур.

Оцінюючи схильність земель до виникнення кризових явищ, слід підкреслити значимість природних і соціально-економічних передумов. Серед природних передумов – властивості ґрунту, які можуть протистояти чи сприяти кризовим явищам. Якщо ґрунт багатий на гумус, мінеральну дрібнодисперсну частину, має повноцінний мікробіологічний пул, сприятливі фізико-хімічні та хімічні параметри, він здатний активно протистояти негативному антропогенному впливу. Такий ґрунт має помітно більший потенціал відновлення. Навпаки, ґрунт, бідний на органічну і мінеральну дрібнодисперсну частину, такий, що має інші несприятливі фізико-хімічні і біологічні властивості, швидше і необоротно змінюється.

До соціально-економічних чинників належать інтенсивність антропогенного навантаження, якість виробництва («чисті» чи «брудні» підприємства і технології), а також наявність нормативно-правових документів та їх дієвість, освіченість населення і загалом економічний рівень країни – все це важливі аргументи, що протистоять (або сприяють) деградаціям і зменшують (чи збільшують) ризик кризових явищ.

Україна, яка володіє унікальним ґрунтовим покривом, країна, що проголосила аграрний сектор пріоритетом свого розвитку, не повинна відкладати вирішення питання про подолання деградації і охорону ґрунтів на майбутнє.

У статті, яку підготовлено колективом авторів, що тривалий час досліджували стан орних ґрунтів, привернуто увагу до фізичної деградації (головним чином знеструктурування і переущільнення), що погіршує екологічне і продукційне функціонування ґрунту.

МЕТОДИ І ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У статті використано результати тривалих польових, мікропольових і модельних експериментів на чорноземних ґрунтах середньо- і важкосуглинкового гранскладу, а також картографічні матеріали, підготовлені на основі бази даних «Властивості ґрунтів України» ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського». Вимірювання фізичних властивостей ґрунтів здійснено за стандартними методами, прийнятими в Україні.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХНЕ ОБГОВОРЕННЯ

Прояви фізичної деградації в давньоорних ґрунтах

Знеструктурування ґрунтів – процес втрати переважно зернистої ізотропної форми агрегатів, властивої природному ґрунту, а також розпилення. Утворення брил, кірки й тріщин на поверхні ґрунту практично стало характерним для давньої ріллі. Треба звернути увагу на те, що великі ґрунтові агрегати якщо й присутні на цілині, мають міцність не більше 2–3 кПа, у той час як міцність брил на ріллі нерідко (в умовах зниженої вологості) досягає 30–40 кПа. Через підвищену механічну міцність і низьку пористість брили ріллі менш проникні для коріння і вологи, внаслідок чого здатні довго зберігатися практично без змін.

Як критерії знеструктурування використовуються структурний склад і різноманітні розрахункові коефіцієнти структурності, водостійкості й інші. Усі перераховані критерії узгоджено показали помітне погіршення структури у ґрунтах, що давно розорюються (табл. 1). Навіть у добре гумусованих чорноземах після плужної оранки може утворитися до 30 % брил. Майже вся рілля країни має ту чи іншу кількість брил. І якщо восени із цією кількістю брил можна примиритися, тому що взимку вони сприяють затриманню снігу на полях, а до весни їхня кількість звичайно стає меншою або вони зникають зовсім, то навесні навіть невелика кількість брил неприпустима, тому що вони не дозволяють провести якісну сівбу, гальмують появу сходів і сприяють непродуктивному випаровуванню ґрунтової вологи. Та обставина, що брили утворюються навіть у чорноземах за вологості, близької до фізичної стиглості, з безсумнівною доводить наявність процесів фізичної деградації ґрунтів.

Найбільшою схильністю до утворення брил характеризуються солонцюваті ґрунти важкого гранскладу півдня України, основний обробіток яких здійснюється переважно в підсушеному стані, осолоділі й солонцюваті ґрунти Середнього Придніпров'я, еродовані ґрунти Правобережного Лісостепу, оглеєні ґрунти Передкарпаття й Закарпаття.

Кірка як вид фізичної деградації також поширена на ріллі України. Крім того, є небезпека подальшого її поширення за інтенсифікації землеробства або за умови можливих змін клімату (зокрема, наростання зволоження взимку, тепла влітку і його

Таблиця 1

Структурно-агрегатний склад щільних і орних чорноземів

Варіанти	Глибина, см	Кількість агрегатів за сухого просіювання (%) розміром (мм)			Коефіцієнт структур- ності	Кількість агрегатів за мокрого просіювання (%) розміром, мм			Коефіцієнт водо- стійкості	
		>10	10-0,25	>1		>0,25	<0,25	>3		>1
Чорнозем типовий	цілина	7	84	65	91	9	26	65	35	0,7
	рілля	17	72*	61	89	11	10	46**	54	0,5
Чорнозем звичайний	переліг	9	77	50	86	14	4	41	59	0,5
	рілля	15	66*	45	81	19	0	23**	77	0,2
Чорнозем південний	цілина	0	81	42	81	19	2	53	47	0,7
	рілля	41	59**	85	100	0	0	24**	76	0,3

* Розходження достовірні за рівня ймовірності 0,90.

** Те саме за рівня 0,95.

контрастності в цілому). Ґрунти, де можливе утворення кірки, зосереджено в західній і північно-західній частинах України. Саме там від 20 до 60 % орних ґрунтів мають такі недоліки, а ступінь їхнього прояву – від сильної до слабкої (Medvedev, 2013). Утворення кірки найчастіше відзначається на початку вегетації культур.

У чорноземах типових кірка з'являється в результаті руйнування структури під впливом тривалого й інтенсивного обробітку й деякого збільшення фактора дисперсності (за Качинським), що, як відомо, характеризує потенційну здатність ґрунтів формувати мікро- і макроструктуру.

За підсихання кірка розтріскується, утворюючи тріщини, діаметр яких іноді досягає 5 см і більше. Легко собі уявити, наскільки несприятливі їхні наслідки для кореневмісного шару, рослин, їхніх кореневих систем і якості наступного осіннього основного обробітку. Чим більше тріщин, тим більша втрата вологи, морфологічно менш досконала й продуктивна коренева система, зростає опір обробітку й стає більше консолідованих агрегатів у результаті кришення. Тріщини – звичайне явище в другій половині вегетаційного періоду практично на всіх орних ґрунтах Лісостепу й Степу.

Поява в поверхневому шарі ріллі брил, кірки й тріщин є наслідком погіршення процесів структуроутворення й водостійкості ґрунтових агрегатів у контрастних умовах водно-температурного режиму, властивого орним ґрунтам. На жаль, комбіновані способи обробітку, що домінують в Україні, практично не сприяють зменшенню прояву несприятливих наслідків знеструктурування (утворення брил і кірки) в оброблюваному шарі ґрунту.

Тривала оранка чорноземів та їхнє сільськогосподарське використання без внесення добрив приводить до значних втрат гумусу (табл. 2). Це є причиною погіршення оструктуреності чорноземів, їхніх фізичних властивостей і режимів. Достовірне (за $P = 0,95$) зниження вмісту загального гумусу виявляється на всю проаналізовану глибину до 60 см.

Таблиця 2

Глибина, см	Уміст (%) загального гумусу в цілинних і орних чорноземах (на цілині – без дернини)					
	Чорноземи					
	типовий, цілина	типовий, рілля	звичайний, переліг	звичайний, рілля	південний, цілина	південний, рілля
0–10	7,76	4,58	4,61	4,25	4,39	3,22
10–20	6,08	4,55	4,35	4,20	3,58	3,20
20–30	5,05	4,51	4,28	4,12	2,65	2,46
30–40	4,79	4,29	3,74	3,48	2,00	1,91
40–50	4,05	3,85	2,80	2,61	1,22	1,10
50–60	3,82	3,60	2,65	2,49	1,18	1,02

Переущільнення й консолідація – найнебезпечніший наслідок інтенсивного механічного обробітку для ґрунтів України. Незважаючи на те що з 2007 р. в Україні діє стандарт, який обмежує навантаження на ґрунт, у країні продовжують використовувати машинно-тракторні агрегати (МТА) з неприпустимим питомим тиском. Загроза переущільнення існує на 75 % ріллі України (Medvedev et al., 2007). Причиною широкого розвитку цих негативних процесів, крім МТА, є також численні ґрунтові фактори, що сприяють їм, зокрема переважно суглинковий грансклад, низька вихідна (перед обробітком) щільність будови й вологість навесні, близька до фізичної стиглості. Через велике число окремих технологічних операцій, виконуваних енергонасиченими тракторами й важкими комбайнами, переущільнення нерідко проявляється навіть на легких, погано сприйнятливих до ущільнення ґрунтах. Є дані (Pereplotneniye ..., 1987), що продемонстрували переущільнення на глибині 1 м, де воно акумулюється й може зберігатися тривалий час. Зафіксоване також нове явище – консолідація, коли ущільненню піддаються агрегати агрономічно корисного розміру. При цьому з них видавлюється продуктивна волога, різко

зменшується внутрішньоагрегатна пористість і тим самим погіршується агрономічна цінність ґрунту як середовища перебування коренів рослин.

Факторний аналіз причин, що викликають переущільнення ґрунтів, перевагу віддав конструктивним особливостям ходових систем і кількості проходів МТА по полю (Medvedev et al., 2004). Тому для подолання переущільнення надто важливо вдосконалити МТА й технологію виконання механізованих польових робіт. Така стратегія поступово стає популярною в північних європейських країнах, США й Канаді, де все частіше можна побачити на полях МТА зі здвоєними й навіть стросними пневматичними шинами низького тиску. Важливо відзначити, що в країнах з розвинутою землеробською спеціалізацією активно обговорюються або вже введені приблизно такі самі, як і в Україні, нормативи припустимого питомого тиску на ґрунт (Nakansson et al., 1995; Nakansson, 2005; Tijink et al. 2001; Durr et al., 1995). Більше того, усе популярніше стає маршрутизація й ретельний контроль руху МТА по полях на сівбі, внесенні добрив, засобів захисту й збирання врожаю, що ставить за мету мінімізацію площі ущільнення полів (Dumas et al., 1972). Україна, хоча й ініціювала (одна з перших) прийняття нормативу припустимого питомого тиску на ґрунт, продовжує застосовувати багатоопераційні окремо виконувані обробітки за допомогою переважно енергонасичених МТА. Те й інше вимагає більш активної модернізації. Такі технічні засоби й технології поступово повинні йти в минуле внаслідок їх очевидного деградаційного впливу на ґрунт.

Переущільнення піднасіневого прошарку. У табл. 3 демонструються результати вимірів рівноважної (приблизно через 1–2 місяці після весняних обробіток і сівби ярих зернових культур) щільності будови у над-, піднасіневому прошарках, а також у плужній підшві на чорноземних ґрунтах ріллі країни. Одночасно обраховано перевищення щільності будови в піднасіневому прошарку і в плужній підшві до щільності попереднього прошарку, а також до тих самих глибин цілини (тривалого перелогу) аналогічних ґрунтів.

З таблиці видно, що в піднасіневому прошарку рівноважна щільність будови, хоча й зросла після проведення весняних польових робіт відносно верхнього прошарку, значної небезпеки для появи сходів і розвитку коренів не створює, за винятком чорноземів опідзолених легко- та середньосуглинкових. Адже відповідно до численних літературних і наших досліджень за щільності нижче $1,30 \text{ г/см}^3$ безперешкодно формуються корені 1-го, 2-го й наступних порядків. Корені проникають у глиб ґрунту й формують глибоку розгалужену й продуктивну кореневу систему (Medvedev et al., 2004).

Переущільнення піднасіневого прошарку ґрунту негативно впливає на морфологію коренів, помітно зменшуючи їхню довжину та діаметр. За результатами проведених досліджень С. І. Криlach (Krylach, 2014) встановлено зменшення довжини та діаметру кореневої системи сільськогосподарських культур за збільшення рівня ущільнення ґрунту більше ніж $1,30 \text{ г/см}^3$. За такої щільності будови ґрунту відмічається зменшення загального об'єму кореневої системи, а також кількості та довжини кореневих волосків.

Далі порівняємо значення рівноважної щільності для різних орних ґрунтів із щільністю їхніх цілинних аналогів або тривалого перелогу. У цілинних (перелогових) умовах нами проводилися багаторічні спостереження за щільністю будови на добре відомих об'єктах – заповідниках Асканія-Нова (Херсонська область, чорнозем південний важкосуглинковий) і Михайлівській цілині (Сумська область, чорнозем типовий середньосуглинковий), а також на перелозі чорнозему звичайного важкосуглинкового (Дніпропетровська область, Синельниківська дослідна станція колишнього інституту кукурудзи). Виявилось, що досліджений показник становив відповідно в прошарку 0–5 см 1,00; 1,15 і 1,10 г/см^3 , у прошарку 10–15 см – 1,02; 1,17 і 1,12 г/см^3 , у прошарку 30–35 см – 1,05; 1,15 і 1,19 г/см^3 . Дослідження на цілинах і перелозі, що тривали протягом 30 років (з 1967 по 1997 рр.), показали, що щільність

Таблиця 3

Щільність будови в окремих прошарках коренвмісного шару в умовах цілини (перелогу) і ріллі
(над рискою – середні значення, під рискою – кількість дат, залучених до розрахунку)

Назва ґрунту та гранулометричний склад	Рівноважна щільність будови орного ґрунту (г/см ³) на глибині, см				Перевищення рівноважної щільності в орному ґрунті, + г/см ³ , до попереднього прошарку				Перевищення рівноважної щільності в орному ґрунті, + г/см ³ , до природного аналогу на глибині, см			
	0–5	10–15	30–35	у піднасіневому прошарку	у плужній підшві	0–5	10–15	30–35	0–5	10–15	30–35	
Чорноземи опідзолені легко- та середньосуглинкові	$\frac{1,25}{12}$	$\frac{1,34}{3}$	$\frac{1,33}{9}$	0,09	0	–	–	–	–	–	–	
Чорноземи типові середньо- та важкосуглинкові	$\frac{1,19}{29}$	$\frac{1,24}{12}$	$\frac{1,29}{12}$	0,05	0,05	0,04	0,07	0,14	0,07	0,14	0,14	
Чорноземи звичайні важкосуглинкові та легкоглинисті	$\frac{1,08}{50}$	$\frac{1,18}{21}$	$\frac{1,25}{42}$	0,10	0,07	0,02	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	
Чорноземи південні важкосуглинкові та легкоглинисті	$\frac{1,10}{17}$	$\frac{1,19}{11}$	$\frac{1,23}{5}$	0,09	0,04	0,10	0,17	0,18	0,17	0,18	0,18	

будови мало змінювалася в часі (як за роками, так і протягом сезону). Через цю причину встановлені параметри щільності можна прийняти як фонові (абсолютні, еталонні, природні) і використати як точки відліку для оцінювання змін орних ґрунтів аналогічної генези під дією агрономічної практики.

Одночасно аналіз тієї ж таблиці доводить, що рівноважна щільність на ріллі зросла у всіх досліджених прошарках, але особливо помітно в плужній підшві. Характерно, що щільність у плужній підшві наблизилася до $1,30 \text{ г/см}^3$ – величини, що істотно обмежує можливості самого ґрунту розуцільнюватися під дією об'ємних змін. Як було встановлено, за такої величини ущільнення корені і волога гірше проникають у консолідовані агрегати, що істотно гальмує розуцільнення ґрунту (Medvedev et al., 2004). За цими самими даними, у суглинковому чорноземі вже за щільності $1,29 \text{ г/см}^3$ аерація досягає критичної межі у 15 %. Легко припустити, що саме в плужній підшві акумулюється ущільнення й створюються умови для поступового формування переущільнення в активній частині кореневмісного шару.

У той же час у піднасіньному прошарку внаслідок формування лише помірних рівнів щільності не створюються умови для гальмування процесів розуцільнення. Однак висновок про відсутність переущільнення в піднасіньному прошарку орних ґрунтів був би поспішним і необґрунтованим. Про можливість переущільнення в цьому прошарку свідчить карта щільності, побудована за масовими вимірами цього показника на чорноземних ґрунтах. Виявляється, що майже на 7,9 млн га щільність ґрунту після проведення весняних польових робіт і сівби перевищує припустиму величину $1,30 \text{ г/см}^3$, а на 3,5 млн га – наближається до неї (рис. 1, табл. 4). Підкреслимо, що перевищення рівноважної щільності будови припадає на найбільш цінні чорноземні ґрунти країни. Причина досить відома – у сільському господарстві на весняних польових роботах віддають перевагу важким потужним колісним тракторам підвищеного класу, бо вони дозволяють за рахунок широкозахватних причіпних знарядь і підвищеної швидкості виконати будь-яку операцію з високою продуктивністю. В умовах, коли щільність повсюдно не вимірюється, створюється помилкове уявлення про користь від використання таких тракторів. Але, на жаль, повністю ігнорується той факт, що питомий тиск ходової системи трактора класу 3т майже удвічі перевищує державний стандарт.

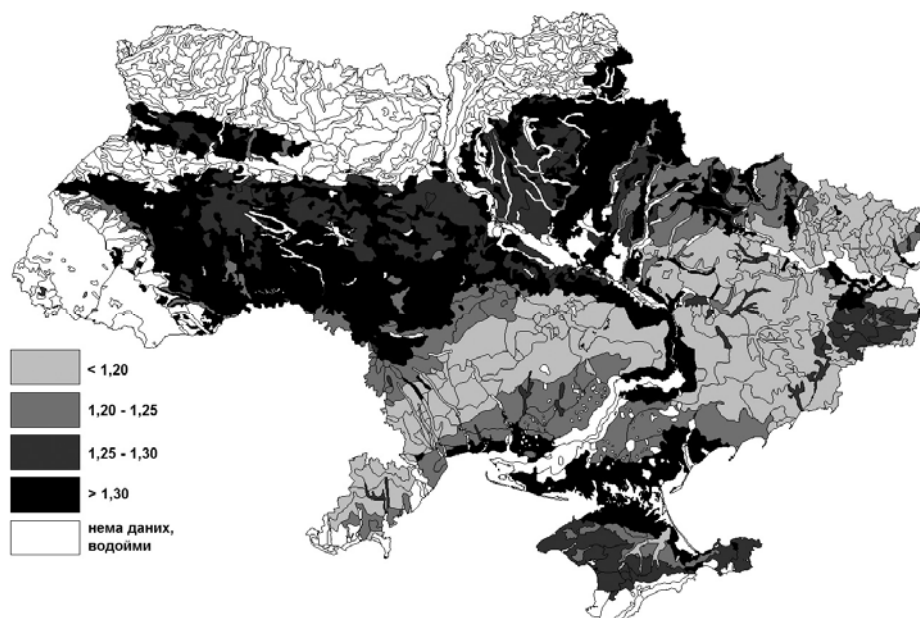


Рис. 1. Рівноважна щільність будови орних чорноземних ґрунтів у прошарку 10–15 см, г/см^3

Таблиця 4

Розподіл площ ріллі в чорноземній зоні за щільністю у прошарку 10–15 см

Щільність будови ґрунту в прошарку 10–15 см, г/см ³	Площа ріллі	
	%	млн. га
< 1,20	20,8	6,2
1,20–1,25	11,7	3,5
1,25–1,30	11,5	3,5
> 1,30	26,3	7,9
нема даних	29,7	8,9

Далі наведемо результати польового дослідження з вивчення щільності ґрунту під впливом різної кількості проходів тракторів класу 3т (табл. 5).

Таблиця 5

Щільність будови (г/см³) чорнозему типового важкосуглинкового в окремих прошарках кореневмісного шару під дією гусеничного і колісного тракторів класу 3т

Тип ходової системи	Кількість проходів	Глибина вимірювання, см		
		0–5	10–15	30–35
Гусеничний	0	1,15	1,15	1,17
	1	1,17	1,17	1,17
	2	1,25	1,23	1,20
	3	1,27	1,25	1,23
	4	1,27	1,27	1,23
	6	1,32	1,32	1,27
	8	1,35	1,35	1,28
	10	1,37	1,37	1,28
	Колісний	0	1,15	1,15
1		1,17	1,20	1,23
2		1,26	1,27	1,25
3		1,30	1,32	1,27
4		1,33	1,34	1,30
6		1,37	1,38	1,33
8		1,37	1,38	1,35
10		1,38	1,41	1,39

Якщо обрати за критерій припустимого ущільнення зазначений вище параметр ущільнення 1,30 г/см³, то для гусеничного трактора класу 3т не слід використовувати весною більше 4 проходів по одній й тій самій колії, а для колісного такого ж класу ще менше – не більше 3. Водночас треба підкреслити, що гусеничний трактор не впливає на ущільнення плужної підшви, тоді як колісний явно сприяє акумулюванню щільності на цій глибині, що вкрай небажано.

Плужна підшва. Про плужну підшву відомо лише те, що вона утворюється в результаті обробки ґрунтів плугом на ту саму глибину внаслідок надзвичайно високих тисків у контактній зоні між лезом плуга й ґрунтом (Кушнарєв, 1987). Незважаючи на прийняті профілактичні міри (в основному шляхом періодичної зміни глибини оранки), ущільнений прошарок на межі між орним і підорним шарами присутній практично завжди.

Опираючись на зібрані нами дані (Medvedev et al., 2011), можна стверджувати, що якщо твердість у плужній підшві перевищує 35–40 кгс/см², ріст коренів у глибину обмежується. Це значить, що за такої твердості зменшуються адаптивні можливості культур, особливо в умовах нестачі доступної ґрунтової вологи. Адже ріст коренів у глибину ґрунту, де завжди є волога, у цих випадках украй важливий.

Одночасно це ж означає, що із плужною підшвою варто боротися не тільки профілактичними засобами, але й за допомогою глибокого розпушування.

Комбінована технологія, як правило, не передбачає проводити обробіток ґрунтів глибше 27–28 см, тому що більшість польових дослідів не супроводжувалася помітною користю від поглиблення оранки (Gordienko et al., 1998). Дійсно, збільшення врожаю від поглиблення оранки в більшості випадків було невеликим, часто нестабільне в часі, дуже залежало від якості дотримання інших елементів технології. Разом з тим не можна не звернути увагу на те, що в умовах дослідів дотримуються технологічні рекомендації, рідко використовуються енергонасичені МТА підвищеної маси й взагалі вище культура землеробства.

Тому, здається, доцільно провести дослід з поглибленням оранки в умовах виробництва за ретельного контролю твердості ґрунтів у плужній підшві.

Точно також, імовірно, виправдано вивчити роль підорного шару, особливо в умовах короткопрофільних ґрунтів, у живленні рослин. Адже це питання досі практично обійдено увагою й науковців, і виробників. У зв'язку із цим доречно нагадати, що в ґрунтах з неглибоким ілювіальним горизонтом, за наявності переущільнення, викликаного осолонцюванням або залишковими явищами механічної дії на ґрунтах важкого гранскладу, а в деяких випадках і на легких ґрунтах глибоке меліоративне, переважно безвідвальне, розпушування виявляється досить корисним. В умовах широкого застосування важких МТА й частой присутності переущільнення в підорних шарах активізація цих робіт представляється досить актуальною.

Про абіотизацію агрегатів (табл 6). Звертає на себе увагу пористість окремих агрегатів і особливо їх повітряємність. Останній параметр виявився для нас зовсім несподіваним. Його величина, що дорівнює 2,0 %, може свідчити про можливе нагромадження усередині агрегатів продуктів неповного розкладання органічних речовин, істотне зниження мікробіологічної активності, локальну присутність відновних реакцій, зовсім не характерних для дернового процесу ґрунтоутворення. Це цілком імовірно навесні й під час тривалих опадів, коли рівень зволоження близький до найменшої вологості. Та й іншим часом також можливо, але приурочено до простору всередині агрегатів, тому що їхня пористість у край низька – 38,4 %, а щільність будови, навпаки, дуже висока – 1,57 г/см³. За таких показників мінералізація органічних речовин і трансформаційна діяльність мікроорганізмів уповільнюється.

Таблиця 6

Зміна водно-фізичних властивостей чорнозему південного на цілині й ріллі в рівноважному стані ущільнення (шар 0–20 см)

Показники	Рівноважна щільність будови, г/см ³	
	1,00 (цілина)	1,35 (рілля)
Загальна пористість, %	60,8	45,1
Пористість агрегатів 3–5 мм, %	41,9	38,4
Щільність агрегатів 3–5 мм, г/см ³	1,48	1,57
Повітряємність за НВ, %	35,3	8,7
Повітряємність агрегатів 3–5 мм, %	15,6	2,0
Водопроникність, мм/година	65	53

Можна гіпотетично представити, що дерновий процес в ущільненому (деградованому) ґрунті локалізується на поверхні агрегатів, де останні контактують із міжагрегатною пористістю. Усередині ґрунтових агрегатів типовий дерновий процес уже не є суцільним, він чергується з іншим процесом перетворення органічних речовин, що, як здається, варто вивчити докладніше й знайти йому місце в сучасній таксономії подібних процесів. Підкреслимо: у верхньому шарі, приблизно 0–30 см, через періодичний обробіток він виражений слабо або взагалі не виражений. Зате в

шарі 30–70 см його присутність зовсім очевидна. Це своєрідний метаморфізований (перетворений *in situ*) сучасний (новий) генетичний горизонт як наслідок багаторічного нагромадження в цьому шарі переущільнення. *Знижене надходження всередину агрегатів вологи, підвищена щільність агрегатів, погіршення умов для гумусоутворення – все це можна трактувати як ослаблення чорноземного ґрунтоутворення.*

За даними А. Л. Бородіна (Borodin, 2016), перехід від деформації кришення до вкрай негативної пластичної деформації (що саме й знижує агрономічну цінність агрегатів) відбувається приблизно за тиску 80 кПа (для чорнозему типового важкосуглинкового). Цей тиск співпадає з величиною національного стандарту припустимого тиску ходової системи МТА на ґрунт (Yevtenko et al., 2007).

Глибина кореневмісного шару і морфологічні ознаки коренів. Через стійке збільшення рівноважної щільності, появу плужної підшви, активізацію ерозійних процесів і інші причини глибина кореневмісного шару у довготривалій ріллі (порівняно з цілинним аналогом) зменшується, суттєво змінюються поглинальні морфологічно важливі характеристики коренів, погіршується коренепроникність структурних агрегатів і в цілому знижується біопродуктивність рослин (Bulyhin, Tymchenko, 1998; Medvedev et al., 2004).

Отже, тривала оранка чорноземів приводить до глибоких змін у їхній структурі, будові, процесах мікро- і особливо макроагрегації, фізичних і водних властивостях. Найбільш важливим представляється майже відсутній на цілині своєрідний пульсаційний процес зміни основних компонентів будови, за якого в ґрунті відразу після обробітку різко збільшується повітряємність, зменшується частка твердої фази в одиниці об'єму, а потім за рахунок релаксаційних процесів відбувається відновлення рівноважної щільності до більш високого рівня, ніж на цілині. Наслідком цього є, видимо, такий же пульсаційний хід всіх інших процесів, функціонально пов'язаних із щільністю будови ґрунту. У результаті орний чорнозем помітно відрізняється фізичними параметрами від цілини.

Не менш важливі зміни хімічних, фізико-хімічних і біологічних властивостей, з яких потрібно підкреслити зміни реакції ґрунтового розчину, ємності поглинання, співвідношення обмінних катіонів, мікробного пула й мікробіологічної активності. Про правомірність висловлених міркувань можна судити з великої кількості різноманітних публікацій, наприклад з фундаментального узагальнення, виконаного за редакцією В. А. Ковди та О. М. Самойлової «Русский чернозем. 100 лет после В. В. Докучаева» (Kovda, Samoilo, 1983).

Преференційні потоки вологи (або провальна фільтрація великими порами) формуються в давно оброблюваному ґрунті за рахунок присутності в ній брилистих окремоостей. Добре відомо, що навіть невелике відхилення вологості в момент обробітку від вологості фізичної спілості приводить до утворення брил. Саме тому понад 82 % орних ґрунтів країни утворюють брили, причому близько 12 % ріллі схильні до цього в значній мірі (Medvedev, 2008). Географічно – це солонцюваті ґрунти сухого Степу, Вінницький острів еродованих сірих опідзолених ґрунтів, оглеєні ґрунти Передкарпаття й Закарпаття, а також повсюдно багато регіонів Лісостепу й Степу. Це явище характерно майже для всіх ґрунтів, крім піщаних і супіщаних різновидів. У Степу України, де час перебування ґрунту в стані фізичної спілості дуже нетривалий, імовірність утворення брил за обробітку значно зростає.

Саме за рахунок брил волога атмосферних опадів великими порами провалюється в глиб профілю. Як показують порівняльні дослідження фільтраційної здатності різних структурних фракцій, для майже миттєвого спадного пересування вологи потрібно всього лише невелика кількість брил і відповідно великих пор (Medvedev et al., 2003). Причому, якщо в оброблюваному шарі преференційні потоки формуються за рахунок брил, то в глибині профілю – за рахунок великих пор біологічного походження (Medvedev et al., 2003; Vegun, 2012). У дослідженнях

підтверджено експонентний зв'язок, тобто багаторазове наростання фільтрації як тільки в ґрунті з'являється лише невелика кількість брил (Vershynyn, 1959).

Цілком обґрунтовано до преференційних можна віднести й висхідні потоки вологи, які приводять до непродуктивних втрат продуктивної вологи в результаті процесів фізичного випару. І знов-таки цьому сприяють брили в поверхневому шарі (Medvedev et al., 2004; Medvedev, 2008). Отже, під впливом тривалого механічного обробітку й майже неминучого знеструктурування ґрунту при цьому його водний режим погіршується – за рахунок спадних (за межі кореневмісного шару) і висхідних (у результаті посилення випару) водних потоків.

Далі розглянемо деякі інші аспекти впливу фізичних властивостей і особливо структурного стану на виконання ґрунтом продуктивних і екологічних функцій.

Роль структури в стійкому забезпеченні населення ґрунту вологою. Добре відомо, що структурний ґрунт здатний у сотні й навіть тисячу разів ефективніше вбирати вологу, ніж безструктурний, розпилений. Про це свідчить експонентна залежність (Vershynyn, 1959), причому розходження між ґрунтами, що мають неоднаковий структурний склад, починають відчуватися вже за мінімальної кількості в ньому пилу. Якщо при цьому структурний ґрунт має ще й водостійкі в часі агрегати, це забезпечить величезні екологічні переваги такому ґрунту. Адже такий ґрунт за рахунок головним чином преференційних потоків вологи здатний зволожитися практично дуже швидко на всю глибину кореневмісного шару. Неважко передбачати подальшу долю цієї вологи. З міжагрегатних проміжків за рахунок перепаду тисків вона поступово переміститься у внутрішньоагрегатні пори, де буде збережена й стане доступною для численних мешканців у ґрунті. Звичайно, у реальних умовах, де в ґрунті, особливо в її поверхневому шарі, завжди є деяка кількість пилу, а в профілі майже обов'язково присутні перешкоди (у вигляді плужної підшови або переущільнених ілювійованих горизонтів) для безперешкодного спадного преференційного потоку, зволоження проходить не настільки швидко й не настільки закономірно. Але все-таки безпосередні спостереження за такими процесами доводять, що описана схема підтверджується (Medvedev et al., 2003).

Роль структури в зменшенні швидкості мінералізації. Добре оструктурений ґрунт, як ми встановили, має бімодальну структуру порового простору, причому зі збільшенням у складі структур дрібних агрегатів частка тонких пор зростає. Відповідно до цього погіршуються умови для мінералізації, і частина органічних речовин виявляється захищеною від процесу прискореного розкладання. Адже в цьому процесі бере участь винятково анаеробна мікрофлора, а в тонких порах умови для її активної життєдіяльності несприятливі. Прямих досліджень у цьому напрямку ми не проводили, але в літературі на цей рахунок є чимало доказів. Так, A. G. Seech et al. (1998) і J. A. Van Veen et al. (1990) установили, що присутність у ґрунті невеликих пор зменшує доступність органічних матеріалів для розкладання, тим самим знижуючи мінералізацію вуглецю й азоту. Незалежно від цих робіт J. D. Jastrow et al. (1991) установили просторову локалізацію мікробів і мезофауни залежно від розміру структурних агрегатів. Бактерії також приурочені до пор різних розмірів у межах ґрунтового агрегату, вибираючи їх залежно від аерації й обводненості (Hattori et al., 1976; Winding, 1994). Так, високий рівень денітрифікації відзначається в центральній частині макроагрегатів невеликих розмірів (Sextone et al., 1985).

Роль структури в підтримці біорізноманіття. Наявність у ґрунті структурних одиниць і відповідно пор різного розміру обумовлює просторову різноякісність умов і, насамперед, у забезпеченості вологою й повітрям. Ця обставина служить основною причиною неоднорідності, точніше, локалізації фауни в ділянках з підвищеною або зниженою гідроморфністю й ксероморфністю відповідно їхнім вимогам до середовища. Таким чином, у ґрунті створюються умови для збереження біорізноманіття в роки з несприятливими кліматичними умовами. Чисельність фауни

в несприятливі роки хоча й скорочується, при відновленні модальних умов мікробіологічний пул здобуває колишні риси. На цю особливість структурного ґрунту звернули увагу Є.В. Шейн та ін. (Shein, Mylanovsky, 2001). Згодом С. Я. Трофимов та ін. (Трофимов et al., 2004) констатували, що неоднорідний розподіл вологи в ґрунтовому просторі (додамо від себе, що є наслідком наявності структур і пор різного розміру) з'явився фактором еволюції, що привів до формування найпростіших мініатюрних розмірів, адаптованих до життя у водних примікроагрегатних плівках.

Підкреслимо: внутрішні і міжагрегатні проміжки по-різному забезпечені водою й повітрям, тут по-різному здійснюються обмінні процеси, трансформація органічних речовин, різні трофічність і в цілому умови життя. Так, поверхневі зони агрегатів завжди збагачені аеробною, внутрішні, навпроти – анаеробною мікрофлорою. У посушливих умовах на чорноземах у внутрішньоагрегатному просторі завжди зберігаються умови для виживання вологолюбних мікроорганізмів.

Роль структури в секвестрації вуглецю. На жаль, роль структури ґрунтів, як і особливо способів їхнього обробітку, у балансі атмосферного й ґрунтового вуглецю досліджена в Україні зовсім недостатньо, що варто було б виправити у зв'язку з міждержавними дискусіями з цього приводу. Є всі підстави припускати, що підтримка поверхневого шару ґрунтів у добре оструктуреному стані буде сприяти консервації вуглецю ґрунту на існуючому рівні. Тут доречно згадати роботу австралійських дослідників, виконаних ще в 50-ті роки минулого сторіччя (Rovira et al., 1957). У ній було показано, що підтримка ґрунту в агрегованому стані запобігала втратам поживних речовин із ґрунту, доступу мікроорганізмів до органічної речовини, розташованої всередині агрегатів. Навпроти, штучне руйнування агрегатів підвищувало вміст у ґрунті рухомих елементів живлення й стимулювало мікробіологічну активність.

Досвід довгострокового застосування мінімальних способів обробітку й особливо його нульового варіанта, що супроводжується поліпшенням структурного стану ґрунту, доводить можливість не тільки призупинення втрат гумусу, але й деякого збагачення ним орного ґрунту (Medvedev et al., 2006).

Наші припущення виправдані, якщо звернутися до закордонного досвіду дослідження секвестрації вуглецю. Виявилось, що ця проблема в останні роки привертає увагу багатьох учених. Секвестрація вуглецю ґрунту – його здатність утримати вуглець від емісії в атмосферу й тим самим зм'якшити парниковий ефект. Секвестрація вуглецю розглядається як важлива частина проблеми охорони навколишнього середовища. У США видана книга (російською мовою), у якій уперше оцінено потенціал орних земель відносно можливості секвестрації вуглецю (Lal et al., 1998). Як і слід було сподіватися, у секвестрації вуглецю вирішальне значення має якість поверхневого шару ґрунтів, що залежить від способів їхнього обробітку, а із властивостей ґрунтів – від умісту в них гумусу й структурного складу. У книзі приводиться ряд посилянь на дослідження, які показали наявність тісного зв'язку між секвестрацією вуглецю й розміром структурних агрегатів (Angers, 1992; Beare et al., 1994; Tisdal, 1996). Агрегати ґрунту розглядаються як органо-мінеральні утворення, у яких вуглець захищений від мікробного розкладання і, отже, від емісії.

У США не випадково вже давно звернули увагу на втрати ґрунтового вуглецю. Наведемо рис. 2 із цієї книги, що ілюструє значне зменшення вмісту вуглецю в ґрунті, що відбулося з 1907 р., коли були розорані степи в центральних районах і почалося вирощування зернових культур, переважно кукурудзи, до 1990 р. За цей час ґрунти втратили понад 50 % запасу свого вуглецю. І лише починаючи з 60-х років, із часу впровадження ґрунтозберезувальних технологій, втрата вуглецю призупинилася, і навіть, приблизно з 80-х рр., стала відзначатися протилежна тенденція (+8 %). Інакше кажучи, внесок агросфери США в емісію вуглецю протягом, принаймні, двох третин 20 століття був досить значний.



Рис. 2. Зміни вмісту вуглецю в шарі 0–20 см у ґрунтах центрального зернового поясу США з 1907-го по 1990 р.

Становить інтерес зіставити втрати ґрунтового вуглецю приблизно за той же період з аналогічними втратами в Україні. Такі дані в нас є (Zubetz et al., 2007; та ін.). Втрати в Україні були приблизно в 2 рази меншими (22 % до початку 60-х років), тобто рівень інтенсифікації землеробства в США (точніше, рівень його незбалансованості), якщо опиратися тільки на динаміку вмісту гумусу в ґрунті, був у 2 рази вищий, ніж в Україні. Тенденція призупинення втрат гумусу до кінця 80-х років також мала місце в Україні, але пов'язана вона, швидше за все, з досягненням майже бездефіцитного балансу органічної речовини. Розглянемо це питання докладніше.

Для визначення зміни в орних ґрунтах умісту органічної речовини були зібрані відповідні дані більш ніж за 100 років, із часу досліджень В. В. Докучаєва. Матеріали були піддані обробці з використанням методології Дж. Бокса та ін. (Boxing, Jenkins, 1974). Модель імітує динаміку вмісту гумусу в ґрунтах як стаціонарний процес, що має елементи інерції, відновлення (після того як призупиниться дія зовнішнього фактора) і розсіювання. Як здається, ці елементи методології щонайкраще відбивають суть взаємодії ґрунту із зовнішніми факторами, які мають фізичну або соціально-економічну природу. Зокрема, модель здатна зіставити інерційність ґрунту як тіла природи, що підтримує в просторі й у часі свої модальні параметри (тобто тіла, що розсіює зовнішнє навантаження) і динамічні зовнішні фактори, які здатні підсилюватися, послаблятися або зникати зовсім. Обробка даних здійснюється за допомогою диференціальних рівнянь, які ускладнюються на кожному наступному етапі. Нарешті, у результаті аналізу одержали рівняння високого порядку, що могло описати навіть мало помітні зміни в довгому ряді показників. Зрозуміло, нас найбільше цікавив сучасний етап, після 1990 р., коли дія зовнішнього навантаження на ґрунт стала слабкішою, а також найближчі й віддалені роки. Виявилося, що вміст гумусу в ґрунті постійно, з кінця 19 сторіччя й приблизно до 60–70 рр. 20 сторіччя знижувався, потім відчувалося помітне гальмування втрат (до кінця 80-х років), після якого, незважаючи на відомі катаклізми в аграрному секторі країни, – стабілізація. У перший явно дефіцитний період втрати гумусу досягли майже 22 % від вихідної кількості, прийнятого за 100 %, у другий – втрати становили менш 5 %. Саме це домінуюче місце мінералізаційних процесів у чорноземах протягом більшої частини

20 сторіччя, що змінилося стабілізацією, і доводить досягнення простого відтворення родючості ґрунтів в 90-х рр. (після майже 25 років успішної хімізації). Відсутність падіння вмісту гумусу в ґрунтах протягом наступних 10–15 років свідчить про інерційність самого ґрунту. Скільки буде діяти інерційність, не ясно, але можна передбачати два сценарії. Перший – консервація запасу гумусу, за умов простого відтворення, другий – продовження падіння, за умов збереження дефіцитного балансу, тобто сучасного соціально-економічного стану аграрної сфери.

Основні закономірності динаміки вмісту гумусу в чорноземах України протягом більш ніж 120-літнього періоду й можливі сценарії її подальшого розвитку представлені на рис. 3.

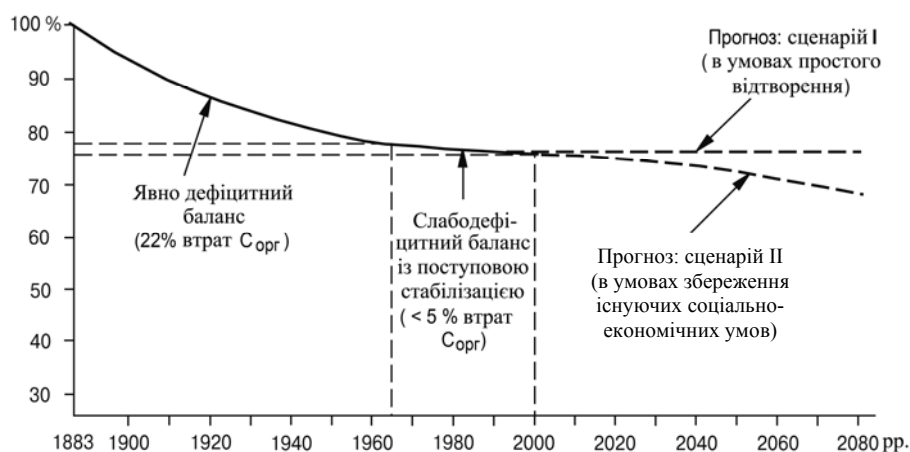


Рис. 3. Динаміка вмісту гумусу в чорноземних ґрунтах середнього гранскладу за період 1883–2000 рр. і прогноз його зміни до 50-х – 80-х рр. 21 сторіччя

Нарешті, важливо відзначити цікаву закономірність: середні втрати гумусу в орних ґрунтах України за 100 років майже повністю збігаються із втратами водостійкості структури (нагадаємо, що вона зменшилася приблизно з 70–80 % на цілині до приблизно 50 % на орних ґрунтах). Хіба це не доказ недосконалості традиційного землеробства й необхідності заміни його на ґрунтозберезувальне? Тому нам варто уважніше поставитися до досвіду дослідження процесу секвестрації вуглецю в США й, головне, до заходів, які реально здатні повернути тенденцію в протилежну сторону, як це знов-таки цілком переконливо демонструється в згаданій книзі.

Відразу ж підкреслимо, що в контексті статті ми не можемо не помітити, що підтримка структури ґрунту й недопущення її руйнування саме є чи не головним фактором секвестрації вуглецю. Більше того, майже всі заходи, відзначені в роботі Р. Лала і його співавторів як високоефективні в аспекті секвестрації, одночасно є й структурозберезувальними. Це – переведення частини оброблюваних земель під пасовища й ліси, сівоzmіна й мінімальна (нульова) технологія обробітку, залишення рослинних залишків на поверхні поля, мульчування, зменшення частки в сівоzmіні просапних культур і парів, посів поzhнивних і поукісних культур, особливо обережна оранка органогенних ґрунтів, підвищення родючості малопродуктивних ґрунтів, внесення речовин, що сповільнюють нітритифікацію, й інші.

Фізична деградація і врожайі сільськогосподарських культур. Нами узагальнено власні та літературні дані про зниження врожайності культур за умов зростання щільності. Виявилось, зниження врожайності від збільшення щільності підкоряється квадратичній залежності, типова форма якої демонструється на рис. 4. Подальша обробка отриманих даних дозволила одержати наступні нормативні параметри (табл. 7).

Характерно, що майже для всіх досліджених культур пік кривих розташовується в інтервалі щільності будови 1,1–1,3 г/см³. За подальшого наростання щільності врожай

різко знижується і навіть може досягти нуля, якщо щільність стане більше 1,5–1,6 г/см³. Для зернових колосових культур криві мають більш пологий вид, ніж для просапних, що означає: останні культури більш вимогливі до умов щільності і потенційно відгукуються більш значним зниженням урожаю на деградованих ґрунтах. Для просапних культур більш значний норматив зниження врожайності при зростанні щільності (на спадаючій частині кривої). Розрахунок нормативу зроблено з використанням правої частини апроксимованої кривої.

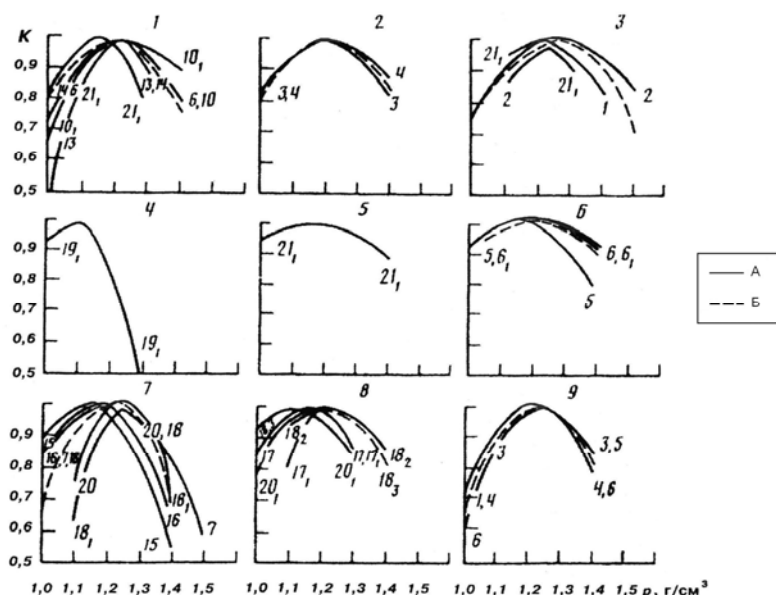


Рис. 4. Динаміка врожайності польових культур за різної рівноважної будови орного шару чорноземів типових середньосуглинкових (1–5) і важкосуглинкових – легкоглинистих (6–9): 1 – озимі, $K=1-6,78(p-1,22)^2$; 2 – цукрові буряки, $K=1-4,37(p-1,21)^2$; 3 – кукурудза, $K=1-4,17(p-1,24)^2$; 4 – горох, $K=1-10,83(p-1,08)^2$; 5 – ярі, $K=1-2,07(p-1,17)^2$; 6 – цукрові буряки, $K=1-2,50(p-1,20)^2$; 7 – озимі, $K=1-8,33(p-1,21)^2$; 8 – ярі, $K=1-4,37(p-1,19)^2$; 9 – кукурудза, $K=1-6,81(p-1,24)^2$.
 А – залежність урожаю культури в конкретному досліді; Б – узагальнена залежність;
 К – відношення фактичної щільності до оптимальної.

Таблиця 7

Нормативи зниження врожайності польових культур за підвищення рівноважної щільності будови на 0,1 г/см³

Культура	Нормативи, ц/га
Озима пшениця	4–5
Ячмінь	3–4
Горох	3–4
Цукрові буряки	20–30
Кукурудза	10–12

Також виразне зниження врожаю за накопичення в ґрунті брилих або пилуватих структур.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

У статті звертається увага на деякі прояви фізичної деградації в орних чорноземах, що є наслідком використання в землеробстві машинно-тракторних агрегатів з високим тиском ходових систем. Зокрема: підвищена брилистість

посівного шару, формування надмірних показників щільності будови в піднасіньному прошарку і особливо в плужній підшві, виникнення небажаних преференційних потоків доступної вологи за межі кореневмісного шару, від'ємна пластична деформація ґрунтових агрегатів. Ці прояви погіршують якість сівби, сходів і гальмують їхню появу, перешкоджають розвитку кореневої системи та її якості. Для зменшення негативних наслідків переущільнення потрібно за обробітку дотримувати стандарту припустимого тиску ходових систем МТА на ґрунт, скоротити число їхніх проходів по полях, а також поширити застосування заходів, що сприяють оструктуренню ґрунтів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Begun, O. M., 2012. Vzayemodiya ґruntu ta yoho strukturnykh komponentiv z volohoyu yak kryteriy fizychnoho stanu chornozemu [The interaction of soil and its structural components from moisture as a criterion the physical condition of black soil] Candidate thesis. Agricultural Science. Kharkiv (in Ukrainian).
- Borodin, A. L., 2016. Ahrofizychni vlastyivosti posivnoho sharu ґruntu pered sivboyu yarykh kultur [Agrophysical properties sowing soil before sowing of spring crops]. Agrochemistry and soil science 85, 96–99 (in Ukrainian).
- Boxing, J., Jenkins, G., 1974. Analiz vremennykh ryadov. Prognoz i upravleniye [Time series analysis. Forecast and Management] Moscow. 1 (2), 406, 197 (in Russian).
- Bulyhin, S. Yu., Tymchenko, D. O., 1998. Vplyv eroziyi na stan zemelnykh resursiv [The impact of erosion on the state of land resources]. Land Resources of Ukraine, 36–38 (in Ukrainian).
- Dumas, W. T., Komurer, F. A., Smith, K. A., 1972. Controlling traffic increases cotton yields. Highlights Agr. Res. 19(2), 16.
- Durr, H. J., Petelkau, H., Sommer, C., 1995. Literaturstudie Bodenverdichtung. Institut fur Betriebstechnik der Bundesforschungsanstalt fur Landwirtschaft Braunschweig-Volkenrode (Fal), 203 p.
- Gordienko, V. P., Malienko, A. M., Grabak, N. H., 1998. Progresivni sistemi obrobítku ґruntu [Progresivni Sistemi obrobítku ground]. Simferopol (in Russian).
- Hakansson, I., 2005. Machinery-induced compaction of arable soils. Incidence-consequences-counter measures. Uppsala. Report of Soils Sciences Department. Swedish University of Agricultural Sciences 109, 153 p.
- Hattori, T., Hattori, R. 1976. The physical environment in soil microbiology: an attempt to extend principles of microbiology to soil microorganisms. Crit. Rev. Microbiol. 4, 423–461.
- Jastrow, J. D., Miller, R. M., 1991. Methods for assessing the effects of biota on soil structure. Agric. Ecosyst. Environ. 34, 279–303.
- Kovda, V. A., Samoilova, E. M., 1983. Russkiy chernozem. 100 let posle Dokuchayeva [Russian black earth. 100 years after Dokuchaev]. Moscow (in Russian).
- Krylach, S. I., 2014. Vliyaniye agrofizicheskikh parametrov pakhotnogo sloya pochvy na rost i razvitiye sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Influence of agro parameters topsoil on the growth and development of crops]. Soil Science and Agricultural Chemistry 2(53), 51–58 (in Russian).
- Kushnarev, A. S., 1987. Mekhanika pochv: zadachi i sostoyaniye rabot Soil [Mechanics: challenges and status of work]. Mechanization and electrification of agriculture 3, 9–13 (in Russian).
- Lal, R. et al., 1998. Potentsial obrabatyvayemykh zemel' SSHA po sekvestratsii ugleroda i smyagcheniyu parnikovogo efekta [US potential arable land for carbon sequestration and mitigate the greenhouse effect]. Sleeping Bear Press, Inc. (in Russian).
- Medvedev, V. V. et al., 2006. Innovatsiyi tendentsiyi v obrobítku hruntiv (za rezultatamy mizhnarodnoho proektu) [Innovative trends in tillage (according to the international project)]. Agricultural Chemistry and Soil Science. Special edition 7 USSA Congress, Kharkiv, 1, 79–94 (in Ukrainian).
- Medvedev, V. V., 2007. Neodnorodnost' pochv i tochnoye zemledeliye [Soil Heterogeneity and precision farming]. Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., 2008. Struktura pochvy (metody, genezis, klassifikatsiya, evolyutsiya, geografiya, monitoring, okhrana) [Soil structure (methods, genesis, classification, evolution, geography, monitoring, security)]. Kharkiv (in Russian).

- Medvedev, V. V., 2013. Fizicheskiye svoystva i obrabotka pochv v Ukraine [Physical properties of soils and treatment in Ukraine]. Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., Laktionova, T. N., 2011. Granulometricheskii sostav pochv Ukrainy (geneticheskii, ekologicheskii i agronomicheskii aspekty) [Particle size distribution of soils of Ukraine (genetic, environmental and agronomic aspects)]. Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., Lyndina, T. E., Laktionova, T. N., 2004. Plotnost' slozheniya pochv [The density of the soil adding]. Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., et al., 2003. Osobennosti formirovaniya vertikal'nykh vodnykh potokov v chernozeme tipichnom [Features of formation of the vertical water flows in a typical black soil]. News HNA 1, 37–43 (in Russian).
- Pereuplotneniye pakhotnykh pochv, 1987 [Compaction of arable soils]. Ed. V. A. Kovda. Moscow (in Russian).
- Rovira, A. B., Greacen, E. L., 1957. The effect of aggregate disruption on the activity of microorganisms in the soil. Austral. J. of Agr. Res. 8 (6), 659–663.
- Seech, A. G., Beauchamp, E. G., 1998. Denitrification in soil aggregates of different sizes. Soil Sci. Soc. Am. J. 52, 1616–1621.
- Sextone, A. J., et al., 1985. Direct measurement of oxygen profile and denitrification rates in soil aggregates. Soil Sci. Soc. Am. J. 49, 645–651.
- Shein, E. V., Mylanovsky, E. Y., 2001. Prostranstvennaya neodnorodnost' svoystv na razlichnykh iyerarkhicheskikh urovnyakh – osnova struktury i funktsiy pochv. Masshtabnyye effekt pri issledovanii pochv [Spatial heterogeneity of the properties on the various hierarchical levels – the basis of soil structure and functions. Scale effect in soil research], 47–61 (in Russian).
- Tijink, F.G.J., van den Linden, J. P., 2001. Engineering approaches to prevent subsoil compaction in cropping system with sugar beet. Advances in Geoecology 32, 442–452.
- Trofimov, S. Y., Bobrov, A. J., Dorofeeva, E. I., 2004. Pochvy i raznoobraziye – analiz vzaimnogo vliyaniya [Soils and diversity – an analysis of mutual influence]. Moscow State University and Russian Academy of Sciences Proceedings 4, 8–20 (in Russian).
- Van Veen, J. A., Kuikman, P. J., 1990. Soil structure aspects of decomposition of organic matter by microorganisms. Biogeochemistry 11, 213–233.
- Vershynyn, P. V., et al., 1959. Osnovy ahrofyziky [Fundamentals ahrophysics]. Moscow (in Russian).
- Winding, A., 1994. Fingerprinting bacterial soil communities using Biolog microtitre plates. Beyond the biomass: Compositional and Functional Analyses of soil Microbial Communities. Wiley, Chichester, UK, 85–93.
- Yevtenko, V. G., Lyndina, T. E., Medvedev, V. V., Tsybulko, V. G., 2007. Tekhnika silskohospodarska mobilna (normy diyi khodovykh system na hrunt) [Agricultural mobile (the norms of action on the ground running)]. DSTU 4521:2006. Kyiv (in Ukrainian).
- Zubetz, M. V. et al., 2007. Environmental protection in the Ukraine. Agro-ecosystems in technogenesis conditions. Proc. of Meeting of the Union of European Agrarian Academies. Kyiv, Agrarna nauka, 9–58.

Стаття надійшла в редакцію: 15.03.2017