



Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 632:125

© 2021

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЯВУ ФІЗИЧНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ В ОРНИХ ҐРУНТАХ УКРАЇНИ ТА РЕГІОНИ ПІДВИЩЕНОГО ЇЇ РИЗИКУ

І.В. Пліско¹, К.Ю. Уваренко², С.І. Криlach³, С.Г. Накісько⁴

¹доктор сільськогосподарських наук

^{2,3}кандидати сільськогосподарських наук

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: ¹irinachujan@gmail.com, ²katerina_uvarenko@ukr.net,

³svetlana.krylach@gmail.com, ⁴nakiskos-70@ukr.net

ORCID: ¹0000-0001-8111-7662, ²0000-0002-1150-3135,

³0000-0002-3347-6561, ⁴0000-0001-7845-0835

Надійшла 14.07.2021

Мета. Дослідити закономірності прояву фізичної деградації в орних ґрунтах України, виявити її особливості у різних природно-кліматичних зонах, установити регіони підвищеного ризику її прояву та запропонувати ефективні протидеградаційні заходи. **Методи.** Інформаційно-аналітичний — для аналізування літературних джерел з питань фізичної деградації орних ґрунтів; математико-статистичний — для виявлення достовірності здобутих результатів і розрахунку площ ґрунтів з ризиком прояву фізичної деградації; картографічний — для створення картографічних матеріалів щодо виокремлення проблемних територій прояву фізичної деградації. **Результати.** У результаті проведених досліджень виявлено основні причини поширення фізичної деградації орних ґрунтів: підвищена схильність гумусу до мінералізації та рухомості, переущільнення та знеструктурення, збільшення у макроагрегатах кількості великих і зменшення дрібних пор. Охарактеризовано особливості прояву фізичної деградації ґрунтів залежно від природно-кліматичної зони їх розташування. На основі створення та аналізу картографічних матеріалів виявлено проблемні території з фізичною деградацією ґрунту та розраховано їх площі за адміністративними областями України. Встановлено, що найбільшою схильністю до прояву фізичної деградації характеризуються ґрунти Херсонської обл. Також регіонами з підвищеним ризиком прояву фізичної деградації в ґрунтах є Запорізька, Полтавська та Київська області. Визначено принципи подолання фізичної деградації, запропоновано ефективні протидеградаційні заходи, головними з яких є мінімізація механічного впливу на ґрунт, дотримання бездефіцитного балансу органічної речовини

та збереження агрономічно корисної структури. Висновки. Окреслено причини та наслідки фізичної деградації орних ґрунтів. Доведено актуальність виявлення ареалів схильності ґрунтів до фізичної деградації, проаналізовано особливості її прояву у різних природно-кліматичних зонах країни. Запропоновано основні засоби і принципи подолання фізичної деградації ґрунтів.

Ключові слова: мінералізація, переущільнення, механічний вплив, протидеградаційні заходи.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202110-01>

За даними, опублікованими у звіті ООН про стан глобальних ґрунтових ресурсів [1], підтверджено, що більшість ґрунтових ресурсів світу перебуває у незадовільному стані. Визначено, що деградація ґрунту, як і раніше, є однією із основних екологічних і сільськогосподарських загроз, що перешкоджає забезпеченню продовольчої безпеки людства та екології довкілля. Останнім часом деградаційні процеси активно проявляються також в орних ґрунтах України.

Сучасні ґрунтові дослідження [2–8] підтверджують, що стан ґрунтового покриву в останні десятиліття погіршився і став близьким до катастрофічного. Зокрема, за даними міжнародного проєкту «Глобальна оцінка деградації ґрунтів» визначено, що процеси деградації ґрунтів поширені на площі близько 1,7 млрд га [9]. При цьому фізична деградація ґрунтів, що визначається як комплекс процесів, які призводять до руйнування, переміщення та відкладення частинок і маси ґрунту, спрощення будови і мікробудови ґрунту та негативні зміни його режимів (водного, повітряного та температурного), є найнебезпечнішою [10]. Зазвичай фізична деградація є результатом незбалансованого і надмірно інтенсивного використання ґрунтів [11]. Так, згідно з Національною науковою доповіддю про стан родючості ґрунтів України, ризик переущільнення ґрунтів зумовлює збитки на рівні 160–500 млн дол. щороку [12]. Зокрема, вміст агрономічно цінних агрегатів є нижчим за допустимий рівень майже на 30% площі орних ґрунтів, при цьому ймовірність утворення брил під час обробітку сягає 12%, що становить близько 3,5 млн га.

Вітчизняними вченими установлено, що на процеси деградації ґрунтів впливають як

природні, так і антропогенні чинники [13]. З природних чинників автори виділяють: особливості географічного розташування територій, низьку природну якість ґрунтів, наявність засушливих земель, високий температурний режим, недостатню кількість і нестабільність опадів, низьку природну родючість ґрунтів, зміну температури повітря (день/ніч) та глобальні зміни клімату. З антропогенних чинників найважливішими є: господарська діяльність людини, технології обробітку ґрунту та вирощування сільськогосподарських культур, меліорація, якість зрошувальної води та джерело зрошення, технічні і технологічні характеристики сільськогосподарської і дощувальної техніки.

Особливості прояву фізичної деградації визначаються природними, оптимальними та гранично допустимими фізичними параметрами ґрунтів, зокрема, щільністю будови, структурним складом, твердістю та ін. Ці параметри різняться залежно від типу ґрунту, його гранулометричного складу та природно-кліматичної зони розташування.

Нині надзвичайно актуальним є виявлення ареалів схильності ґрунтів до фізичної деградації, зокрема, втрати агрономічно корисної структури, збільшення брилистості та розпилення, що потребує застосування, насамперед, саме на цих територіях ефективних профілактичних заходів.

Україна характеризується значною площею орних земель (32,4 млн га), для яких ризик проявлення фізичної деградації ґрунтів є надто високим. Тому актуальним є проведення досліджень з метою виявлення закономірностей прояву фізичної деградації в орних ґрунтах і встановлення регіонів її підвищеного ризику з метою розробки ефективних протидеградаційних заходів,

які перешкоджатимуть розвитку цього вскрай негативного процесу.

Мета досліджень — дослідити закономірності прояву фізичної деградації в орних ґрунтах України, виявити її особливості у різних природно-кліматичних зонах, встановити регіони підвищеного ризику її прояву та запропонувати ефективні протидеградаційні заходи.

Матеріали та методи досліджень. У процесі досліджень використано інформаційно-аналітичний, математико-статистичний, а також картографічний методи. Для розробки картографічних матеріалів щодо регіонів підвищеного ризику прояву фізичної деградації використано вибірки з БД «Властивості ґрунтів України», створеної у лабораторії геоєкофізики ґрунтів ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського».

Результати досліджень та їх обговорення. Серед причин поширення фізичної деградації орних ґрунтів, що встановлено на основі аналізування літературних джерел [9, 14], основними є підвищена схильність до:

- мінералізації гумусу та його рухомості за впливу систематичного обробітку ґрунту, що призводить до його значних втрат порівняно з природними ґрунтами;
- переущільнення через низьку вихідну щільність будови за обробітку домінуючих на ріллі ґрунтів середнього і важкого гранулометричного складу;
- знеструктурення через збільшення: інтенсивного механічного обробітку на орний шар ґрунту та кількості великих і зменшення дрібних пор у макроагрегатах, тобто посилення потенційної сухості агрегатів;
- погіршення агрономічної цінності агрегатів, що загалом призводить до їх морфологічної деградації через тривале розорювання ґрунтів.

За даними академіка НААН В.В. Медведєва, який провів аналітичну оцінку деградації ґрунтів на підставі даних агрохімічної паспортизації полів [15], БД «Властивості ґрунтів України» [16] і матеріалів тривалих польових дослідів з обробітком й добривами, 39% від загальної площі ріллі (32,4 млн га) переущільнено, 38% схильні до замулювання та кіркування, 17 та

11% еродовано внаслідок водної та вітрової ерозії відповідно.

Використовуючи літературні дані та спираючись на власні дослідження, проаналізовано особливості прояву фізичної деградації у різних природно-кліматичних зонах України.

Полісся. Ґрунти Полісся, з огляду на переважний піщаний і супіщаний гранулометричний склад (грансклад), можна назвати пасивними у реологічному відношенні. В них майже не проявляється липкість, для них характерна низька деформація (внаслідок високої вихідної рівноважної щільності будови). Ці ґрунти через домінування піщаної фракції сприяють абразії (зношуванню) робочих органів ґрунтообробних машин, а за швидкого наростання температур навесні схильні утворювати кірку. За інтенсивного механічного обробітку домінуючі в Поліссі безструктурні ґрунти до того ж схильні до розпилення та вітрової ерозії.

Залучення до оранки щільних і малогумусних підорних горизонтів спричиняє ущільнення ґрунтів і погіршення структури. Вміст агрономічно цінних агрегатів розміром 0,25–10,0 мм становить 19,94–28,55%. Уміст брил (часточок розміром >10 мм) — 75,47–79,83%. Відповідно до прийнятих нормативних показників структурний стан підзолисто-дернових ґрунтів оцінюють як незадовільний та поганий. За оцінкою рівнів деградації структурно-агрегатного складу підзолисто-дернові ґрунти перебувають у кризовому стані.

Лісостеп. Ґрунти Лісостепу внаслідок одночасно вищого рівня гумусованості й сприятливих фізико-хімічних властивостей мають виражену структурність і завдяки цьому характеризуються оптимальним рівнем щільності будови та досить тривалим періодом перебування у стані фізичної стиглості [2].

На орних ґрунтах Лісостепу найчастіше виявляють такий вид фізичної деградації, як кіркування, яке з'являється в результаті руйнування структури під впливом тривалого й інтенсивного обробітку й деякого збільшення фактора дисперсності. Останній, як відомо, характеризує потенційну здатність ґрунтів формувати мікро- і макроструктуру. Після підсихання кірка розтріскується, створюючи тріщини діаметром до 5 см і більше.

Тріщини — звичайне явище у 2-й половині вегетаційного періоду практично на всіх орних ґрунтах цієї зони.

За останні десятиріччя у чорноземах типових зменшилася кількість вбирного кальцію — на 26–37%, водотривких агрегатів (розміром >0,25 мм) — на 33, мінерального азоту — на 34–40, розчинних фосфатів — на 39–40, обмінного калію — на 22–24% [17]. Інтенсивний обробіток ґрунту призводить до переуцільнення чорноземних ґрунтів, площа ріллі з критичною щільністю (понад 1,30 г/см³) становить майже 7,2 млн га, або 34,6% від загальної їх площі [10].

Степ. Ґрунти Степу — переважно важкосуглинкові та глинисті, тому їх обробіток є найвитратнішою операцією. Головні проблеми, які створює важкий грансклад — висока міцність у сухому стані й липкість у вологому, невелика тривалість періоду, коли ґрунт перебуває в м'якопластичному (спілому) стані. Недостатня зволоженість і підвищена небезпека прояву дефляції підсилює їхні негативні характеристики.

Наразі у Південному Степу відбуваються істотні кліматичні зміни (підвищення середньодобової річної температури повітря, зростання суми активних температур, кількості опадів зливового характеру; підвищення випаровування води з поверхні ґрунту за вегетаційний період; посилення посушливості клімату), що сприяють посиленню процесів деградації й опустелювання.

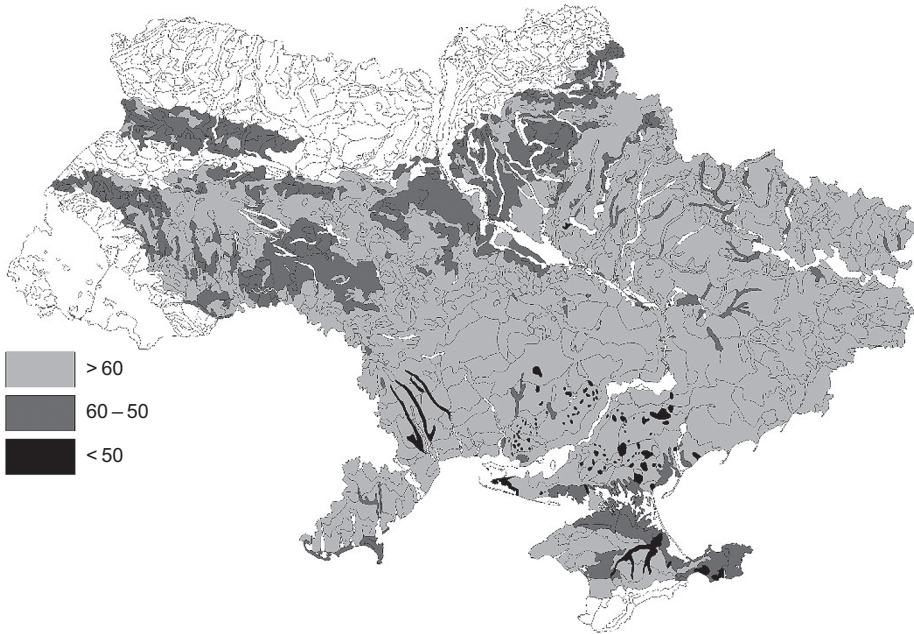
Багаторічними дослідженнями лабораторії родючості зрошуваних і солонцевих ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» [18] доведено, що найбільш сильні і стійкі деградаційні зміни агрофізичних властивостей спостерігаються у чорноземних ґрунтах в умовах негативного балансу гумусу і кальцію. За даними вчених, спостерігається досить чітка тенденція щорічного зниження вмісту гумусу на 1% [19]. Під впливом зрошення агрофізичні властивості чорноземних ґрунтів змінюються: втрачається структура орного шару, зростає брилистість і знижується вміст агрономічно цінних агрегатів; ущільнюється профіль, знижуються пористість і водопроникність. Водночас посилюється диференціація орного шару за щільністю будови і пористістю, величини яких можуть перевищу-

вати оптимальні параметри та критичні рівні.

Використовуючи власні та літературні критерії щодо оцінювання деградації ґрунтів за показниками структурного стану і водостійкості ґрунтової структури [20–23], співробітниками лабораторії геоєкофізики ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» побудовано відповідні картосхеми (рис. 1 і 2), на яких відображено деградовані ґрунти, ґрунти з можливим ризиком деградації і ґрунти зі сприятливим структурним станом. Картосхеми створено поєднанням карт адміністративних областей України і карт вмісту агрономічно цінних (розміром 10–0,25 мм) та водостійких агрегатів (розміром >0,25 мм) за допомогою програмного продукту MapInfo Professional. Картосхемною основою для побудови тематичних картосхем поширення фізичної деградації була оцифрована версія карти ґрунтів України масштабу 1:2,5 млн [24], що вміщує понад 1600 полігонів із атрибутами коду ґрунту згідно з легендою карти масштабу 1:2,5 млн, класами гранскладу, типами оглеєння і засолення ґрунту, материнською породою і ступенем еродованості ґрунту. Інформаційною основою для створення розширеної легенди була БД «Властивості ґрунтів України», що вміщує понад 2000 розрізів з показниками властивостей ґрунтових відмін [16].

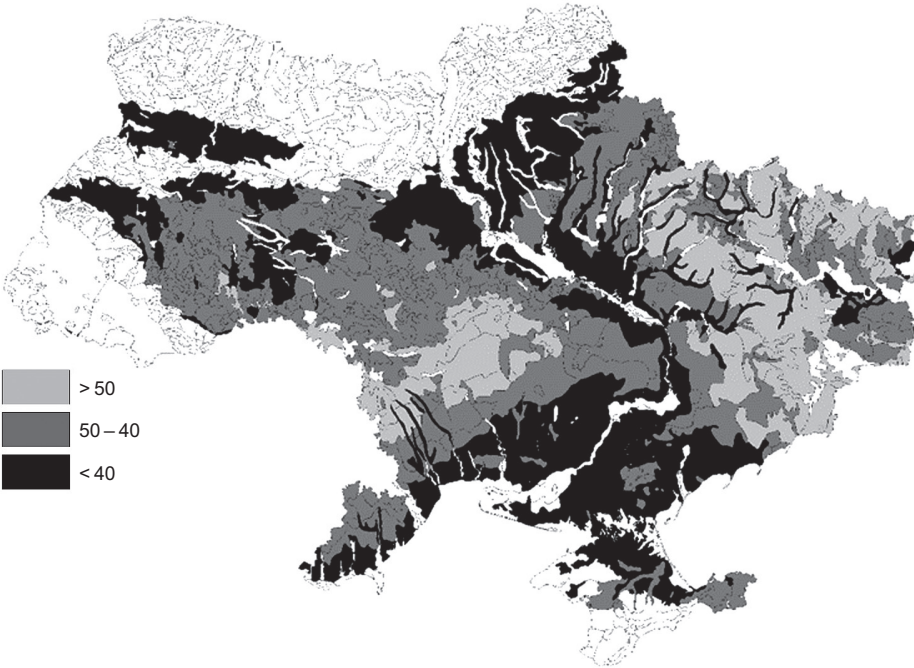
Вважаємо, що наявність менше 50% агрономічно цінних агрегатів розміром 10–0,25 см свідчить про нестабільність ґрунтового покриву та високий ризик виникнення деградаційних процесів у орному шарі ґрунтів (див. рис. 1). Якщо вміст цих агрегатів становить 60–50%, є ризик виникнення деградації, у разі зменшення їх вмісту до <50% орні ґрунти є деградованими.

Використання програми MapInfo дало змогу розрахувати площі орних ґрунтів, схильних до прояву фізичної деградації за вмістом агрономічно цінних агрегатів. Установлено, що 14,3% (4,3 млн га) орних ґрунтів є схильними до фізичної деградації; 1,0% (0,3 млн га) — є деградованими. В основу створення картографічних матеріалів щодо прояву фізичної деградації за вмістом водостійких агрегатів розміром >0,25 мм покладено те, що за вмістом цих агрегатів



Уміст структурних агрегатів розміром 10–0,25 мм, %

Рис. 1. Виокремлення проблемних територій щодо вмісту агрегатів розміром 10–0,25 мм, %



Уміст водостійких агрегатів розміром більше 0,25 мм, %

Рис. 2. Виокремлення проблемних територій щодо вмісту водостійких агрегатів розміром >0,25 мм, %

>50% в орному шарі ґрунту — деградації немає; від 50 до 40% — є ризик виникнення фізичної деградації; <40% — ґрунти є деградованими (див. рис. 2).

Розрахунок площ дав змогу зробити висновок, що лише 14% (4,2 млн га) із загальної площі ріллі містять >50% водостійких агрегатів >0,25 мм, тобто недеградовані. Водночас 30,1% (9 млн га) є потенційно деградованими; 25,5% (7,6 млн га) — деградовані.

Проведено розрахунок площ ґрунтів з ризиком прояву фізичної деградації за показниками структури за адміністративними областями України (таблиця).

За даними таблиці, близько 7% орних ґрунтів Херсонської обл. є схильними до прояву фізичної деградації, що є найбільшим показником серед адміністративних областей країни. Встановлено, що найстійкішими до прояву фізичної деградації є ґрунти Миколаївської, Кіровоградської та Донецької областей, понад 90% території яких займають орні ґрунти, де вміст агрономічно цінних агрегатів перевищує 60%.

Згідно з проведеними розрахунками щодо прояву деградації ґрунтів за показниками водостійкості ґрунтової структури виявлено найпроблемніші регіони, зокрема це Херсонська, Запорізька, Полтавська

Площі деградованих земель за адміністративними областями України, % від загальної площі області

Область	Уміст водостійких агрегатів розміром >0,25 мм, %			Уміст агрегатів розміром 10–0,25 мм, %		
	<40	40–50	>50	<50	50–60	>60
АР Крим	29,4	20,3	–	4,6	30,4	39,2
Вінницька	9,7	72,0	7,3	–	37,0	59,1
Волинська	15,3	0,3	–	–	14,5	3,5
Дніпропетровська	31,8	47,7	13,2	0,1	36,8	89,1
Донецька	1,8	14,7	67,9	–	0,9	97,8
Житомирська	4,3	14,6	–	–	7,7	13,1
Закарпатська	0,2	–	–	–	0,2	–
Запорізька	48,8	33,5	9,1	2,1	2,3	86,6
Івано-Франківська	3,3	17,3	–	–	5,1	19,6
Київська	40,9	7,5	–	–	34,5	18,9
Кіровоградська	4,7	46,9	40,5	–	0,9	97,2
Луганська	9,7	43,2	35,2	–	0,4	50,0
Львівська	27,0	0,8	–	–	20,5	9,1
Миколаївська	37,6	30,3	24,4	1,3	2,2	91,7
Одеська	27,6	45,0	17,1	3,7	4,1	83,9
Полтавська	40,5	36,6	7,9	0,2	9,4	76,5
Рівненська	25,1	–	–	–	22,2	2,5
Сумська	27,7	45,0	2,4	–	23,7	54,1
Тернопільська	20,2	69,3	–	–	24,4	69,1
Харківська	8,4	23,6	57,5	–	5,8	88,0
Херсонська	73,0	4,8	–	7	8,4	64,4
Хмельницька	33,0	39,2	2,6	–	33,1	48,3
Черкаська	25,0	55,9	1,3	–	27,0	60,7
Чернівецька	4,4	38,3	0,3	–	24,7	24,5
Чернігівська	26,0	–	–	–	18,0	8,8

та Київська області. Встановлено, що найбільшою за площею деградованих ґрунтів є Херсонська обл., уміст водостійких агрегатів менше 40% у ній становить 73% від загальної площі області. Запорізька обл. займає 2-ге місце за площею потенційно деградованих ґрунтів, загальна площа яких становить близько 49%, у Полтавській та Київській — близько 41%.

Враховуючи опрацьовані результати та багаторічні дослідження лабораторії геоєкофізики ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» [25], запропоновано ефективні протидеградаційні заходи: агротехнічні (заходи, що підвищують якість ґрунтового покриву, наприклад, висаджування покривних рослин, мульчування); заходи, що підвищують частку органічної речовини/родючість ґрунту (використання компосту), обробіток поверхні ґрунту (протиерозійний обробіток) і нижніх шарів (глибока оранка); заходи щодо рослинності (висаджування/висівання дерев і чагарників, трав та багаторічних трав'янистих рослин); структурні

заходи (формування терас, насипів, берегів (пологих і східчастих), гребель, балок, канав (пологих і східчастих), стін, бар'єрів, огорож.

Отже, фізичну деградацію ґрунтів можна успішно подолати при застосуванні заходів, перелік яких визначається, головним чином, залежно від вихідних (рівноважних) параметрів структури й щільності будови ґрунтів: це мінімізація механічного впливу на ґрунт аж до повної відмови від обробітку взагалі (там, де для цього є відповідні передумови); дотримання способів високої культури землеробства, мета яких полягає в підтримці бездефіцитного балансу органічної речовини, біофільних елементів і збереженні агрономічно корисної структури.

Для подолання фізичної деградації рілля країни також потрібне зусилля всього суспільства, особливо державних інститутів і землекористувачів. У суспільстві потрібно підтримувати атмосферу максимального сприяння збереженню ґрунтів як унікального і незамінного народного надбання.

Висновки

У результаті проведених досліджень виділено основні причини поширення фізичної деградації орних ґрунтів: підвищена схильність гумусу до мінералізації та рухомості, переущільнення та знеструктурення, збільшення у макроагрегатах кількості великих і зменшення дрібних пор. Охарактеризовано особливості прояву фізичної деградації залежно від природно-кліматичної зони розташування. На основі створення та аналізу картографічних матеріалів виявлено проблемні території з проявами фізичної деградації ґрунту та розраховано їх площі за адміністративними областями України.

Встановлено, що серед адміністративних областей України найбільшою схильністю до прояву фізичної деградації є ґрунти Херсонської обл. Також регіонами з підвищеним ризиком прояву фізичної деградації в грунтах є Запорізька, Полтавська та Київська області. Підсумовуючи багаторічні напрацювання, виокремлено принципи подолання фізичної деградації, запропоновано ефективні протидеградаційні заходи, головними з яких є мінімізація механічного впливу на ґрунт, дотримання бездефіцитного балансу органічної речовини та збереження агрономічно корисної структури.

Plisko I.¹, Uvarenko K.², Krylach S.³, Nakisko S.⁴
NSC «Institute of Soil Science and Agrochemistry named after O.N. Sokolovska», 4 Chaikovska Str., Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: ¹irinachujan@gmail.com, ²katerina_uvarenko@ukr.net, ³svetlana.krylach@gmail.com, ⁴nakiskos-70@ukr.net;

ORCID: ¹0000-0001-8111-7662, ²0000-0002-1150-3135, ³0000-0002-3347-6561, ⁴0000-0001-7845-0835

Regularities of physical degradation in arable soils of Ukraine and regions of its high risk

Goal. To study the patterns of physical degradation in arable soils of Ukraine, and identify its features in different climatic zones, as well as to identify regions of increased risk of its manifestation and propose efficient anti-degradation measures. **Methods.** Information-analytical — to analyze the literature on physical degradation of arable soils; mathematical and statistical — to identify the reliability of the results and calculate the area of soils at risk of physical degradation; cartographic — to create cartographic materials to identify problem areas of physical degradation. **Results.** The main reasons for the spread of physical degradation of arable soils were identified: the increased tendency of humus to mineralization and mobility, over compaction and destructurization, increase in the number of large and small pores in macroaggregates. The peculiarities of the manifestation of physical degradation of soils depending on the natural and climatic zone of their location are characterized. Based on the creation and analysis of cartographic materials, problem areas with physical soil degradation were identified and their areas were calculated by

administrative regions of Ukraine. It is established that the soils of the Kherson region are characterized by the greatest tendency to the manifestation of physical degradation. Also, regions with an increased risk of physical degradation in soils are Zaporizhzhia, Poltava and Kyiv. The principles of overcoming physical degradation are determined, effective anti-degradation measures are proposed, the main ones of which are minimization of mechanical impact on the soil, observance of the deficit-free balance of organic matter and preservation of the agronomically useful structure. **Conclusions.** The causes and consequences of the physical degradation of arable soils are outlined. The urgency of identifying areas of soil susceptibility to physical degradation is proved, the peculiarities of its manifestation in different climatic zones of the country are analyzed. The main means and principles for overcoming the physical degradation of soils are proposed.

Key words: mineralization, compaction, mechanical impact, anti-degradation measures.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202110-01>

Бібліографія

1. FAO. The Status of the World's Soil Resources: Main Report. 2015. Rome, 650 p.
2. Медведєв В.В., Пліско І.В., Крилач С.І. та ін. Фізична деградація орних ґрунтів України (оцінювання, профілактика, призупинення). Харків: ФОП Бровін О.В., 2020. 110 с.
3. Вожегова Р.А., Грановська Л.М. Чинники деградації та напрями відтворення родючості ґрунтів Південного Степу України. *Збалансоване природокористування*. 2019. № 1. С. 75–82.
4. Теорії и методы физики почв; под ред. Е.В. Шейна, Л.О. Карпачевского. Москва: Гриф и К, 2007. 616 с.
5. Li G., Li X., Chen W. et al. Effects of degradation severity on the physical, chemical and mechanical properties of topsoil in alpine meadow on the Qinghai-Tibet Plateau, west China. *Catena*, 2020. V. 187. doi: 10.1016/j.catena.2019.104370
6. Lema B., Mesfin S., Kebede F. et al. Evaluation of soil physical properties of long-used cultivated lands as a deriving indicator of soil degradation, north Ethiopia. *Physical Geography*, 2019. V. 40(4). P. 323–338. doi: 10.1080/02723646.2019.1568148
7. Sanchez P. Soil Physical Properties. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. 2019. V. 201. P. 134–175. doi: 10.1017/9781316809785.008
8. Zhang J., Buijzeel A., Quiñones C. et al. Soil physical characteristics of a degraded tropical grassland and a 'reforest': Implications for runoff generation. *Geoderma*, 2019. V. 333. P. 163–177. doi: 10.1016/j.geoderma.2018.07.022
9. Деградация и охрана почв; под ред. Г.В. Добровольского. Москва: МГУ, 2002. 654 с.
10. Медведєв В.В. Физическая деградация черноземов. Диагностика. Причины. Следствия. Предупреждение. Харьков: Городская типография, 2013. 324 с.
11. Балюк С.А., Медведєв В.В., Мирошниченко М.М. и др. Экологическое состояние почв Украины. *Украинский географический журнал*. 2012. № 2. С. 38–42.
12. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України; за ред. С.А.Балюка, В.В. Медведєва, О.Г. Тараріка, В.О. Грекова та А.Д. Балаєва. 2010. 111 с.
13. Вожегова Р.А., Грановська Л.М. Деградація та способи відтворення родючості ґрунтів Південного Степу України. *Землеробство*. 2018. Вип. 2. С. 7–13.
14. Lal R., Blum W.H., Valentine C. et al. Methods for assessment of soil degradation. *CRC Press. Boca Raton*, New York, 1998. P. 558.
15. Греков В.О., Дацько Л.В., Жилкін В.А. та ін. Методичні вказівки з охорони ґрунтів. Київ: Держ. наук.-техн. центр охорони родючості ґрунтів Мінагрополітики і продовольства, 2011. 108 с.
16. Лактіонова Т.М., Медведєв В.В., Савченко К.В. та ін. Структура та порядок використання бази даних «Властивості ґрунтів України» (інструкція). Харків: Апостроф, 2010. 96 с.
17. Носко Б.С. Антропогенна еволюція чорноземів. Харків, 2006. 240 с.
18. Балюк С.А., Воротинцева Л.І., Захарова М.А.

та ін. Трансформація властивостей ґрунтів степу сухого у зв'язку з аридизацією клімату. *Вісник ХНАУ. Серія: Ґрунтознавство*. 2017. № 2. С. 32–40.

19. *Гульванська Н.Л., Гелевера О.Ф.* Деградація ґрунтового покриву Кіровоградської області. *Охорона ґрунтів: зб. наук. праць*. 2016. Вип. 3. С. 38–45.

20. *Долгов С.И., Бахтин П.У.* Шкала для оцінки готовності почв к посеву по ее структурному состоянию. *Агрофизические методы исследования почв*. Москва: Наука, 1966. С. 67–94.

21. *Кузнецова И.В.* О некоторых критериях оценки физических свойств почв. *Почвоведение*. 1979. № 3. С. 81–88.

22. *Шеин Е.В.* Курс физики почв. Москва: МГУ, 2005. 430 с.

23. *Медведев В.В.* Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). Харьков: 13-я типография, 2008. 406 с.

24. *Атлас почв Украинской ССР*; под ред. Н.К. Крупского, Н.И. Полупана. Киев: Урожай, 1979. 160 с.

25. *Медведев В.В., Пліско І.В., Крилач С.І.* та ін. Комплекс заходів щодо попередження та усунення фізичної деградації на орних землях України та система бездеградаційного землеробства: наук.-метод. реком. Харків: ФОП Бровін О.В., 2020. 58 с.