

УДК 631.445.2:632.125(477.83)

ОСОБЛИВОСТІ КІНЕТИКИ ДЕГРАДАЦІЇ ТЕМНО-СІРИХ ОПІДЗОЛЕНИХ ҐРУНТІВ ЛЬВІВСЬКОГО РОЗТОЧЧЯ

Оксана Бонішко

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. П. Дорошенка, 41, 79007, м. Львів, Україна,
e-mail: obonishko@gmail.com*

Досліджено кінетику механічної, водної деградації та дефляції темно-сірого опідзоленого ґрунту Львівського Розточчя. За рівнянням швидкості цих процесів визначено їх константу та порядок реакцій: для дефляції ($V=4,0645 \cdot C^{0,8625}$), водної деградації ($V=0,2829 \cdot C^{0,7559}$), механічної деградації ($V=0,7363 \cdot C^{1,5173}$). Процеси дезагрегації ґрунтових частинок за водної та вітрової деградації темно-сірого опідзоленого ґрунту відбуваються як односторонні реакції першого порядку. Однак механічна деградація у ґрунті – складніший гетерогенний процес (порядок реакції 1,5), у якому утворення ядер (частинок розміром $< 0,25$ мм) на поверхні ґрунтового агрегату в декілька стадій сприяє зниженню протиерозійної стійкості. З'ясовано, що за механічної деградації темно-сірого опідзоленого ґрунту рівноважний стан досягається через 2–3 хв, за дефляції – через 10 хв дії вітру зі швидкістю 2,2 м/с, за водної деградації – через 12 хв, коли частки мікроагрегатів рівні 25 %, 16 % та 2 %, відповідно. Отже, темно-сірі опідзолені ґрунти виявляють нижчу здатність до водної деформації, ніж до дефляції, що узгоджується легкоглинистим гранулометричним складом, брилуватістю. По-перше, це обумовлено найповільнішою реакцією серед зазначених процесів. По-друге, розчинення ґрунтових агрегатів визначається товщиною, площею перерізу дифузного шару та коефіцієнтом дифузії.

Ключові слова: деградація, кінетика, макро- і мікроагрегати, константа рівноваги.

Львівське Розточчя – один з трьох підрайонів Українського Розточчя, специфічний у природному відношенні. Значна різноманітність ґрунтоутворюючих і підстилаючих порід, горбистість та розчленованість території зумовлює велике різноманіття ґрунтів як на родовому, так і на підтиповому та, навіть, типовому таксономічних рівнях [4]. Це зумовлює значні труднощі у сільськогосподарському використанні території та посилює розвиток різних типів деградаційних процесів.

Найпоширенішим і найнебезпечнішим деградаційним процесом у межах території дослідження є водна ерозія, яка домінує в ґрунтах уздовж схилу. Вітрова ерозія схильна виникати у ґрунтах легкого гранулометричного складу – дерново-підзолистих, дерново-

борових. Отож встановлення причин деградації, виявлення їх типів, усунення їх розвитку в ґрунтах – надзвичайно важливе питання.

Для Розточчя характерна доволі висока частка сільськогосподарських угідь у структурі земельного фонду регіону (53,5 %) і висока дефляційна (29 %), ерозійна (17 %) небезпека, надмірне перезволоження та заболочення (10 % усіх сільськогосподарських угідь) [3]. За даними американського вченого Х. Беннета, деградація ґрунтів на розораних ділянках, порівняно з територією, зайнятою лісом або трав'янистою рослинністю, відбувається в 100–1 000 разів швидше, а продуктивність еродованих ґрунтів знижується на 35–70 % за рахунок втрати елементів живлення, руйнування гумусового горизонту та ґрунту загалом. Перші ознаки деградації, їх розвиток у ґрунтах (зокрема тих, що залучені в сільське господарство) дає змогу фіксувати кінетичну складову цих процесів. У зв'язку з цим досліджено схильність темно-сірих опідзолених ґрунтів до різних типів деградації, оскільки їх частка використання в сільському господарстві висока.

Мета роботи – дослідити швидкість деградації темно-сірих опідзолених ґрунтів Львівського Розточчя (в межах с. Зашків Жовківського району) внаслідок сільськогосподарського використання та їх протиерозійну стійкість на основі гранулометричного, структурно-агрегатного складу ґрунтів для виявлення схильності ґрунтів до певного виду деградації.

Деградація ґрунтів вимагає жорсткого контролю, оскільки це доволі швидкий процес, здатний руйнувати не лише родючий шар, а й ґрунт загалом, та розповсюдитись на значні площі. Для виявлення схильності ґрунтів Львівського Розточчя до деградації досліджено кінетику деградаційних процесів, виражену через закономірність перебігу в часі хімічного процесу. Для цього знайдено частки мікрочастинок у початковий момент і після відповідного часу за відношенням зміни концентрації частинок через певний інтервал часу. Кінетику механічної, водної деградації та дефляції темно-сірого опідзоленого слабозмитого ґрунту на модальній ділянці “Зашків” вивчено за методикою В. С. Чепіла. За рівнянням швидкості цих процесів від концентрації пилюватих частинок визначено константу та порядок реакцій.

Стійкість ґрунтів до дії вітру визначено в аеродинамічній трубі, залежно від тривалості дії повітряного потоку. Їх стійкість оцінено за показником зв'язності (Є. Шиятий, А. Лавровський), який прямо пропорційний до вмісту частинок мулистої фракції та обернено пропорційний до вмісту дрібного та грубого піску. Авторами виділено 6 груп ґрунтів, стійкість яких до вітру зменшується в ряді від першої (понад 65 %) до шостої (менше 15 %) групи [1].

За фізико-географічним районуванням України Львівське Розточчя належить до Немирівсько-Брюховицького району Розточко-Опільської горбогірної області Західно-Українського краю зони широколистяних лісів. У лесовому районі Розточчя фоновими ґрунтами території є сірі лісові ґрунти на лесоподібних суглинках під широколистяними лісами. Територія дослідження розташована на південному заході Львівського Розточчя на північ від долини потоку Недільщина в межах прохідної долини Зашків–Брюховичі–Рясне, де поширені темно-сірі опідзолені ґрунти. Ці ґрунти займають близько 41 % території з крутістю 1–2°, а їхнє використання у сільському господарстві підвищує фізичну деградацію.

Темно-сірий опідзолений слабозмитий ґрунт на лесоподібних суглинках закладений на північному сході від села Зашків Жовківського району (49.963196, 24.008861) – в 350 м на північ уздовж автошляху від залізничного переїзду і перпендикулярно 25 м на захід. Угіддя – переліг. Закипання ґрунту відсутнє. У морфологічній будові цього ґрунту виявлені такі характерні риси: зменшення інтенсивності сірого кольору та ущільнення староорного горизонту, що спричинило утворення брилуватих агрегатів. Найбільших трансформацій зазнав гумусово-елювіальний горизонт, тоді як морфологічні ознаки інших генетичних горизонтів практично не змінилися. У профілі досліджуваного ґрунту виокремлено такі генетичні горизонти: $He_{op} + He_{n/op} - He - HPI - Pi(h) - P$.

Гранулометричний склад темно-сірого опідзоленого ґрунту на лесоподібних суглинках легкоглинистий. Частка елементарних ґрунтових частинок розміром менше 0,01 мм у ґрунті становить 63,4 % та з глибиною зменшується до 30,9 %. У гумусовому староорному горизонті переважає фракція середнього пилу, його вміст сягає 43,5 %, в той час як у підорному та перехідних горизонтах зростає частка грубого пилу від 24,4 %

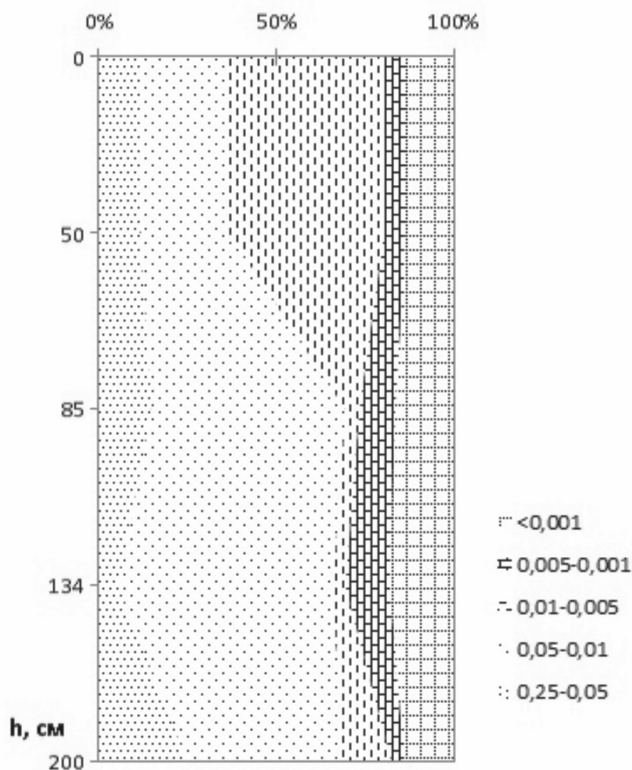


Рис. 1. Розподіл гранулометричного складу темно-сірого опідзоленого ґрунту Львівського Розточчя (в межах с. Зашків Жовківського району)

Fig. 1. Distribution of granulometric composition of dark gray podzolized soil of Lviv Roztochia (within Zashkiv village of Zhovkva district)

(He) до 64,4 % (HPi). З піщаних фракцій у ґрунті присутній лише дрібний пісок (рис. 1).

Важкий гранулометричний склад, ущільнення ґрунтової маси після виведення ґрунту з сільськогосподарського використання та формування щільного рослинного покриву спричинило ущільнення гумусового слабоелювійованого орного горизонту темно-сірого опідзоленого ґрунту, щільність будови якого становить 1,45 г/см³ (таблиця). Профільний розподіл щільності будови дослідженого ґрунту зростає з глибиною та досягає в ґрунотвірній породі максимальних величин за рахунок оглеєності нижніх горизонтів і зменшення шпаруватості до 29,1 %. Для гумусового горизонту шпаруватість також незадовільна (36 %) через осідання ґрунтових частинок.

Загальні фізичні властивості темно-сірого опідзоленого ґрунту Львівського Розточчя
(в межах с. Зашків Жовківського району)

General physical properties of dark gray podzolized soil of Lviv Roztochia
(within the village of Zashkiv, Zhovkivsky District)

Генетичний горизонт	Глибина відбору, см	Щільність будови ґрунту, г/см ³	Щільність твердої фази, г/см ³	Загальна шпаруватість, %	Шпаруватість аерації, %	Гігроскопічна вологість, %
$He_{op} + He_{п/ор}$	0-45	1,45	2,27	36,0	15,7	14,0
He	45-86	1,37	2,30	40,1	23,4	12,2
Phi	85-134	1,50	2,17	31,0	5,0	17,3
Phgl	134-200	1,54	2,17	29,1	1,3	18,1

У структурному складі темно-сірого опідзоленого ґрунту переважають мегаагрегати та макроагрегати (рис. 2). Брилуватість ґрунту пов'язано з високим вмістом агрегатів розміром понад 10 мм (71,45 %) та співмірною кількістю тонкодисперсних частинок (фракція фізичної глини 63,4 %) згідно з гранулометричним складом, які мають склеювальні властивості в ґрунті та зумовлюють угруповання ґрунтових агрегатів. Зважаючи на низькі величини коефіцієнтів структурності ($K_{стр} = 0,4$ в He_{op} , $K_{стр} = 0,7$ в $He_{п/ор}$), критерію Вільямса – 2,8 % за неагрегованим пилом (< 0,25 мм), незадовільний агрегатний стан з 28,6 % агрономічно-цінних агрегатів, темно-сірий опідзолений ґрунт виявляє низьку стійкість до деградаційних процесів.

Потенційну схильність до вітрової ерозії дослідженого ґрунту визначено за величиною зв'язності за Є. Шиятим, А. Лавровським. Темно-сірий опідзолений легкоглинистий ґрунт має 43,2 % зв'язності внаслідок високого складу фізичної глини, середньогумусованості, що дає підставу зачислити його до 4 групи з середньою протиерозійною стійкістю. Отже, виникнення вітрової ерозії в суглинкових ґрунтах (з дефляційністю

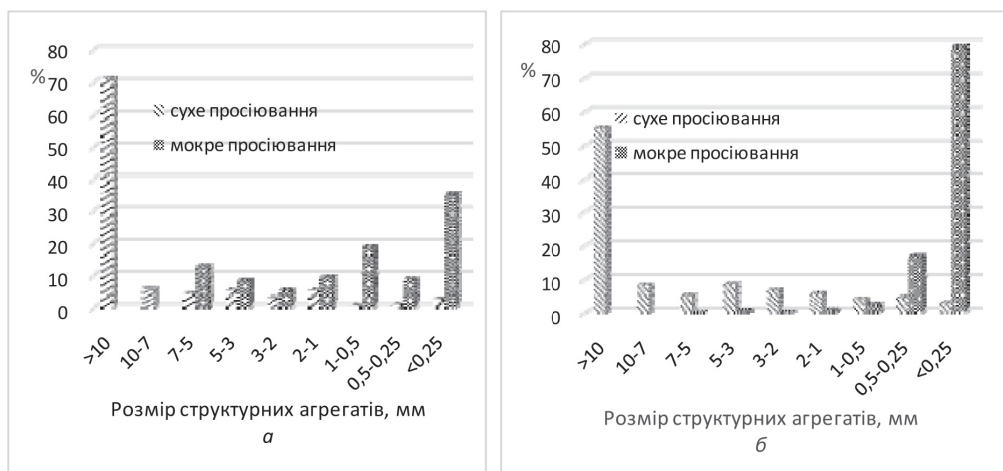


Рис. 2. Структурно-агрегатний стан темно-сірого опідзоленого ґрунту Львівського Розточчя ($He_{\text{орн}}$: а – (0–24) см; б – (24–46) см)

Fig. 2. Structural and aggregate state of dark gray podzolized soil of Lviv Roztochia (He_{arable} horizon: a – (0–24) cm; b – (24–46) cm)

4,5–5,0 т/га за В. С. Чепілом) на рівнинній території з крутістю 1–2° менш вірогідне, ніж у легких ґрунтах.

За результатами водостійкості ґрунтових агрегатів встановлено широке варіювання їх вмісту, де частка водостійких агрегатів розміром $> 0,25$ мм рівна 64,4 % (див. рис. 2, а), що обумовило добру водостійкість агрегатів темно-сірого опідзоленого ґрунту Львівського Розточчя. Їх стійкість до руйнівної дії води у слабоелювійованому горизонті оцінено за коефіцієнтом водостійкості В. Медведєва, рівний $K_M = 0,66$ від суми агрегатів розміром понад 0,25 мм за мокрого та сухого просіювання; критерієм Агрофізичного інституту з 1 468 % вмістом суми агрегатів (1–0,25 мм) за мокрого і сухого просіювання; показником водостійкості, рівним 240 %.

Для підтвердження визначених критеріїв щодо вищої стійкості темно-сірого опідзоленого ґрунту до водної деградації, ніж до вітрової деградації, досліджено швидкість цих процесів у темно-сірому опідзоленому ґрунті та проаналізовано кінетичні рівняння. Фізична деградація дослідженого ґрунту не проявляється впродовж 15 с механічного перемішування, однак подальше перемішування сприяє різкому зниженню протиерозійної стійкості агрегатів (рис. 3). Шляхом штучного руйнування ґрунтових частинок встановлено, що нагромадження мікроагрегатів у кількості 25 % після 2 хв фізичної дії на ґрунт сприяє встановленню балансу між агрегацією і дезагрегацією, що продемонстровано ділянкою насичення. Швидкість механічної деградації темно-сірого опідзоленого ґрунту внаслідок деформації макроагрегатів з утворенням мікроагрегатів можна описати рівнянням

$$V = 0,7363 \cdot C^{1,5173} \quad (1)$$

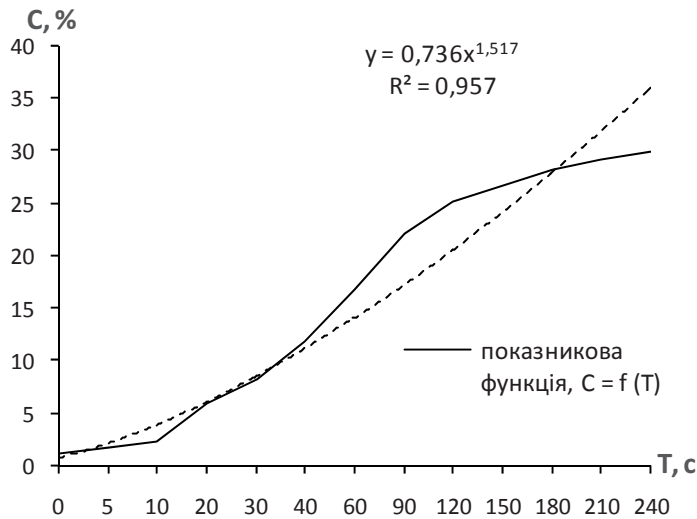


Рис. 3. Вміст ґрунтових мікроагрегатів залежно від тривалості механічної деградації темно-сірого опідзоленого ґрунту на лесоподібних суглинках Львівського Розточчя (с. Зашків Жовківського району)

Fig. 3. The content of soil microaggregates depending on the duration of mechanical degradation of dark gray podzolized soils on forest loam (Zashkiv, Zhovkva district)

Складність механізму фізичної деградація темно-сірого опідзоленого ґрунту підтверджується нецілочисельним значенням порядку процесу, де $n=1,5$, та формою кривої насичення, що вказує на двостадійність процесу. Це спричинено брилуватістю темно-сірого опідзоленого ґрунту та підвищеною механічною міцністю (30–40 кПа) і низькою шпаруватістю брил у ґрунті.

Оскільки цей процес супроводжується утворенням ядер мікроагрегатів на поверхні вихідних ґрунтових частинок, то подальший розпад вихідних і утворених частинок відбувається вже у потенційній залежності та виявляє значну руйнівну дію (адже в рівновазі 25 % мікроядер). Найчастіше поява мікроядер пов'язана з наявністю на поверхні різного типу дефектів: шпар (вакансій), дислокацій. Крім цього, їх виникнення вимагає подолання певного потенційного бар'єра, який уповільнює сам процес та переважно пояснюється термодинамічно.

Дефляційні процеси в ґрунті визначені за часткою ґрунтових мікроагрегатів при видуванні їх в аеродинамічній трубці зі швидкістю вітру 2,2 м/с. Дефляція темно-сірого опідзоленого ґрунту досягає рівноважного стану за 16,3 % мікроагрегатів після 10 хв дії вітру зі швидкістю 2,2 м/с (рис. 4). Їх утворення пов'язане з дезагрегацією найменш стійких частинок розміром 1–2 мм. Аналогічну залежність встановлено й для дерново-карбонатного ґрунту, однак найбільша руйнівна дія вітру спостерігається через 18 хв, коли частка мікроагрегатів досягає 20 %. Отже, встановлення рівноваги і втрата агрегатів темно-сірим опідзоленим ґрунтом відбувається швидше, ніж у

дерново-карбонатних ґрунтах, оскільки протидія ґрунту більша і показник зв'язності агрегатів високий.

На основі рис. 4 та його апроксимації вивчено кінетику дефляції темно-сірого опідзоленого і дерново-карбонатного ґрунтів Львівського Розточчя. Обчислено рівняння швидкості дефляції цих ґрунтів. Відповідно

$$V = 4,0645 \cdot C^{0,8625}; \quad (2)$$

$$V = 4,3759 \cdot C^{0,8665}. \quad (3)$$

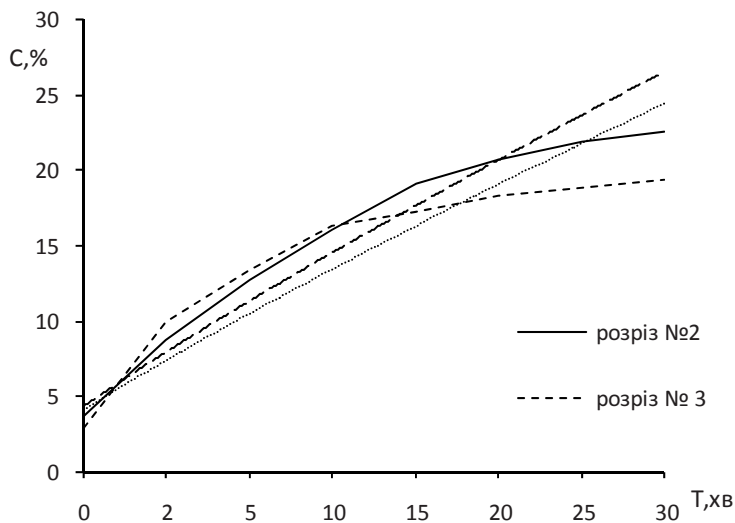


Рис. 4. Вітрова стійкість ґрунтів Львівського Розточчя: темно-сірий опідзолений ґрунт (розріз № 3, с. Зашків), дерново-карбонатний ґрунт (розріз № 2, с.Завадів)

Fig. 4. Wind resistance of soils of the Lviv Roztochia:

dark gray podzolized soil (section 3, Zashkiv village), sod-carbonate soil (section 2, Zavadiv)

Процес дезагрегації ґрунтових частинок у двох ґрунтах протікає за однаковим механізмом, оскільки він характеризується першим порядком згідно з рівняннями (2) та (3). Залежність утворення мікроагрегатів за певний час продування ґрунту характеризує цей процес як паралельну реакцію, згідно з якою ґрунтова частинка розпадається з утворенням декількох проміжних продуктів: $A \rightarrow B + C$. Константа деградаційного процесу ($K_p^2=4,06$; $K_p^3=4,38$) є результатом нагромадження мікроядер, однак їх вміст набуває рівноваги за довший час та вищий за показником, порівняно з механічним обробитком (1), що вказує на вищу стійкість ґрунту до вітрової ерозії.

Одержані результати добре корелюють з науковими даними [2] щодо дослідження ролі органічної речовини на вітрову ерозію ґрунтів: заковування рослинних решток у ґрунт менш ефективно, ніж застосування їх як мульчувальне покриття, оскільки на поверхні ґрунту рослинний матеріал повільніше руйнується, отож довше слугує

джерелом поповнення ґрунту клеючими речовинами, а також засобом захисту ґрунту від вітру. Відповідно, протидефляційна стійкість ґрунту на перелозі вища і підвищується на ріллі за відсутності ґрунтової кірки.

Швидкість розчинення ґрунтових агрегатів пов'язана з дифузією ґрунтової часточки з поверхневого шару в рідку фазу, яка є найповільнішою стадією процесу. Внаслідок цього водна деградація темно-сірих опідзолених ґрунтів Львівського Розточчя проходить повільніше, ніж за дефляції. Це одностороння реакція першого порядку, яку описує рівняння

$$V = 0,2829 \cdot C^{0,7559}, \quad (4)$$

коефіцієнти якого за показникового та диференційного способу обробки кривої ідентичні (рис. 5).

Для темно-сірого опідзоленого ґрунту константа розчинення ґрунтових агрегатів є найменшою, порівняно з константами механічної деградації (1) та дефляції (2). Це, по-перше, зумовлено складним гетерогенним процесом розчинення, в якому константа визначається товщиною, площею перерізу дифузного шару та коефіцієнтом дифузії. По-друге, наявність рослинного покриву на поверхні є потужним захистом від водної ерозії ґрунтів, оскільки рослинність захищає ґрунт від дощових крапель, збільшує водопроникливість ґрунту, створює високу шорстку поверхню, знижуючи швидкість стоку. Величина розмиваючої швидкості потоку для чистого пару впродовж сезонів майже не змінюється, а під озимими культурами та багаторічними травами стає більш

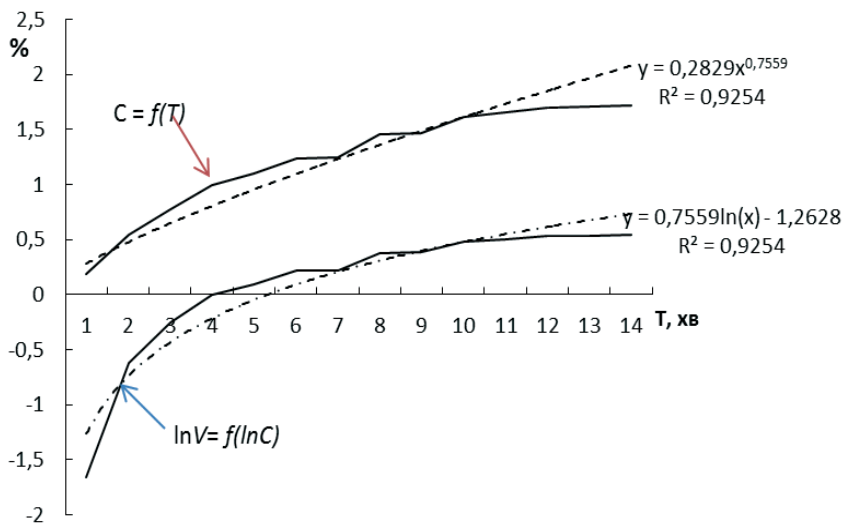


Рис. 5. Залежність кількості мікроагрегатів (%) у темно-сірому опідзоленому ґрунті Львівського Розточчя (с. Зашків Жовківського району) від тривалості штучного дощового потоку
Fig. 5. Dependence of the quantity of microaggregates (%) in the dark gray podzolized soils of Lviv Roztochia (village Zashkiv, Zhovkva district) on duration of artificial rain flow

стійкою в потоці води у весняний період, коли відбувається чергування процесів промерзання та відтаювання ґрунтів, що спричиняє розущільнення та руйнування структури. На ріллі ущільнення ґрунту відбувається наприкінці літа – на початку осені, а їх протиерозійна стійкість у цей період максимальна.

За ізотермою Вант-Гоффа, відповідних констант деградації ґрунтів, енергія Гібса має значення менше “0” лише при дефляції, за інших умов – більше “0”. Це дає підстави стверджувати, що дезагрегація ґрунтових частинок під дією вітрового потоку проходить самовільно за будь-яких умов, а рівновага реакції доволі сильно зміщена в бік утворення мікроагрегатів. У випадку водної та механічної деградації ґрунту процес відбувається лише за зовнішньої підведеної сили.

Отже, для темно-сірого опідзоленого ґрунту константа рівноваги при розчиненні ґрунтових агрегатів є найменшою ($K_p^3=0,28$), порівняно з константами механічної деградації ($K_p^2=0,74$) та дефляції ($K_p^1=4,06$). Це зумовлено складним гетерогенним процесом розчинення. Порядок кінетичних рівнянь, встановлений за різної деградації темно-сірого опідзоленого ґрунту, вказує на його механізм. Вищий порядок і складність процесу визначений за механічної деградації ($n=1,5$), на відміну від водної ($n=0,74$) та вітрової ($n=0,86$) деградації. Отож темно-сірі опідзолені ґрунти виявляють нижчу здатність до водної деформації, ніж до дефляції, в той час як механічна деградація виявляє сильнішу руйнуючу дію з 25 % мікроагрегатів упродовж 3 хв. Передусім це обумовлено найповільнішою реакцією серед зазначених процесів – дифузією мікрочасточки з твердої фази до рідкої. По-друге, розчинення ґрунтових агрегатів визначається товщиною, площею перерізу дифузного шару та коефіцієнтом дифузії. З точки зору термодинаміки, серед деградаційних процесів лише дефляція ґрунту проходить самовільно (енергії Гібса < 0), в той час як в інших процесах енергія Гібса > 0 .

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузнецов М. С., Глазунов С. П. Эрозия и охрана почв : учебник. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Изд-во МГУ; Колос, 2004. 352 с.
2. Медведєв В. В., Пліско І. В., Бігун О. М. та ін. Оптимальні фізичні властивості посівного шару ґрунту як агровимоги до передпосівного обробітку. Харків : Смуґаста типографія, 2016. 196 с.
3. Петровська М. А. Еколого-геоморфологічний аналіз Розточчя і прилеглої території : автореф. дис. ... канд. географ. наук. Львів, 2001. 20 с.
4. Підкова О. М., Кім М. Г. Літолого-генетична зумовленість формування ґрунтового покриву Розточчя : монографія. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010. 246 с.

REFERENCES

1. Kuznetsov, M. S., & Glazunov, G. P. (2004). *Erosion and soil protection*. (2d ed). M. Izd-vo MGU, Izd-vo “Kolos”, 352 pp. (in Russian).

2. Medvedev, V. V., Plisko, I. V., & Bihun, O. M. (Eds). (2016). *Optimal physical properties of the seed layer of soil as growing to pre-planting*. Kharkiv, Smuhasta typohrafiia, 196 pp. (in Ukrainian).
3. Petrovska, M. A. (2001). *Ecological-geomorphological analysis of Roztochia and adjoining territory*. (Abstract of the candidate's dissertation). Lvivskiy natsionalnyi universytet imeni Ivana Franka, 20 pp. (in Ukrainian).
4. Pidkova, O. M., & Kit, M. H. (2010). *Lithologic-genetic preconditioning of soil cover formation Roztochia*. Lviv, Vydavnychiy tsentr LNU imeni Ivana Franka, 246 pp. (in Ukrainian).

Стаття: надійшла до редакції 28.09. 2017

доопрацьована 27.10. 2017

прийнята до друку 08.12. 2017

FEATURES OF THE KINETICS OF DEGRADATION OF DARK GRAY PODZOLIZED SOIL OF LVIV ROZTOCHIA

Oksana Bonishko

*Ivan Franko National University of Lviv,
P. Doroshenko St., 41 UA – 79007 Lviv, Ukraine,
e-mail: obonishko@gmail.com*

The kinetics of mechanical, water degradation and deflation of dark gray podzolized soils of Lviv Roztochchya has been investigated. By the equation of the velocity of these processes, their constant of the reaction and order has been determined: for deflation ($V=4,0645 \cdot C^{0,8625}$), water degradation ($V=0,2829 \cdot C^{0,7559}$), mechanical degradation ($V=0,7363 \cdot C^{1,5173}$). The processes of disaggregation of soil particles due to water and wind degradation of dark gray podzolized soil had been occur as unilateral first-order reactions. Mechanical degradation in the soil is a more complex process of heterogeneity ($n = 1,5$), in which the formation of nuclei (particles $<0,25$ mm in size) on the surface of the soil aggregate occurs in several stages. Has been established that in the mechanical degradation of dark gray podzolized soil the equilibrium state reaches through 2–3 minutes, after deflation – after 10 minutes of wind action at a speed of 2,2 m/s, for water degradation – after 12 minutes, when the micro aggregate particles are 25 %, 16 % and 2 % respectively. Hence, dark gray podzolized soils exhibit a lower ability to aqueous deformation than to deflation, which is confirmed by a light-grit granulometric composition, brylove. First of all, this has been due to the slowest response among these processes. Secondly, the dissolution of soil aggregates has been due to the thickness, the area of the diffusive layer and the diffusion coefficient. Low anti-erosion resistance of dark gray podzolized soil due to mechanical degradation is associated with two-stage; cloakiness and low bending of brylove.

Key words: degradation, kinetics, macro and micro aggregates, equilibrium constant.