

**ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ ПРОФІЛЮ ҐРУНТУ ЗА ШВИДКІСТЮ ЛЕСІВАЖУ
В ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІЙ МОДЕЛІ****М. В. Нецветов¹, В. О. Корнієнко¹, В. М. Никулина¹, М. В. Роменський²**¹*Донецький національний університет; 83050, м. Донецьк, вул. Щорса, 46**e-mail: max@dongu.donetsk.ua*²*Донецький обласний центр гідрометеорології*

Нецветов М. В., Корнієнко В. О., Нікуліна В. М., Роменський М. В. Диференціація профілю ґрунту за швидкістю лесіважу в експериментальній моделі. – У роботі запропоновано експериментальну модель вертикальної міграції колоїдальних та суспензійних часток у ґрунті. Отримано нелінійний характер залежності швидкості проходження часток крізь ґрунт залежно від глибини горизонту в профілі чорнозему лісопокрашеного.

Ключові слова: лесіваж, експериментальна модель.

Вступ

У вивченні процесу ґрунтоутворення під лісом велике значення має визначення наявності механічного перенесення колоїдів і мікрочасток – лесіважу (від французького *лесіве* – прати). Сама можливість цього процесу тривалий час залишалася предметом гострих наукових дискусій. Ознаки підзолистих ґрунтів, що свідчать про пересування дрібнодисперсних часток з верхніх горизонтів до нижніх, було відзначено В. В. Докучаєвим. Його учень С. І. Тюремнов [15], досліджуючи механізми впливу кислот на ґрунт, дійшов висновку про можливість як хімічного руйнування часток, так і їх механічного переміщення. Засади сучасних уявлень про лесіваж чітко простежуються у поглядах К. Д. Глинки [6], який говорив про винесення "тонких суспензій" і пояснював його механізми й наслідки. Проте теорію лесіважу було розроблено в основному західними вченими [7]. У російському та радянському ґрунтознавстві цей процес недооцінювався або заперечувався послідовниками О. К. Георгіївського [3], який вважав, що переміщення мінералів є результатом хімічного руйнування мулистих часток. О. А. Роде [13] заперечував можливість процесів перенесення тонких часток на глинистих та суглинистих породах, посилаючись на експериментальні дані. В формуванні поглядів на лесіваж велике значення мало однозначне трактування ролі лісової підстилки. Так, В. Р. Вільямс [2] зазначав, що при розкладанні лісового опаду утворюється кренова кислота, що руйнує мінерали. Таким чином, серед авторитетних учених складалася думка про універсальні умови ґрунтоутворення під лісною рослинністю.

Підзолоутворення є надзвичайно поширеним у російській частині лісової зони, цьому сприяє низка чинників, серед яких: переважання кренової кислоти й фульвокислот, що утворюються при розпаданні опаду під хвойними породами; низька швидкість мінералізації органічних кислот; промивний режим. Крім того, під лісами Прибалтики, України, Білорусі, Молдови, на рівнинах й узгір'ї Далекого Сходу та Примор'я ґрунти так само, як і характерні підзоли, мають диференційовані горизонти. Складність в оцінюванні ґрунтових процесів під лісною рослинністю доповнювалася наявністю кремнеземистої присипки, яка може бути як результатом вилуговування продуктів хімічного розпаду ґрунтових мінералів [14], так і продуктом вторинного біогенного походження [1]. Про те, що процес ґрунтоутворення навіть у межах однієї географічної зони є неоднозначним, свідчить низка систематичних досліджень морфології та фізичної хімії ґрунтів, під час яких було вироблено та неодноразово підтверджено характерні діагностичні ознаки ґрунтів лесіве [4, 5, 7, 16]: хімічний склад мулу й колоїдів у профілі ґрунту з глибиною не змінюється, тоді як у генетичних горизонтах профілю підзолів він є різноманітним унаслідок руйнування мінеральної частини в верхніх шарах і виносу продуктів до нижніх з подальшим утворенням вторинних мінералів; другим важливим критерієм є оптична орієнтація мінеральних часток, яка є відсутньою у випадку новоутворення в підзолистих ґрунтах. Значну роль щодо особливостей ґрунтоутворення з диференційованими горизонтами відіграли праці С. В. Зонна. Вчений дає чітке пояснення зовнішньої подібності лесівованих ґрунтів до

підзолів. Так, якщо в результаті підзолювання відбувається освітлення верхніх шарів профілю в результаті накопичення кварцу й кремнезему при збідненні органічною речовиною, первинними й глинистими мінералами, то лесівування приводить лише до текстурної диференціації профілю за механічним складом [8]. Аналізуючи матеріали дослідження ґрунтів під широколистяними й хвойно-широколистяними лісами, С. В. Зонн обґрунтовує передумови для диференціювання ґрунтових процесів. Відзначається, що "всі вони генетично взаємопов'язані й утворюють кілька самостійних еволюційних рядів з відмінностями, зумовленими: складом ґрунтоутворюючих порід, типом диференціації ґрунтового профілю за механічним складом та впливом різних типів лісової рослинності" [8: с. 8].

Великим внеском до розуміння істинних напрямів ґрунтоутворення є монографія Н. А. Білової та А. П. Травлєєва [1], в якій на основі екологічного підходу, із застосуванням прогресивних методів мікроморфології та фізикохімії, подається обґрунтування думки про наявність механічної міграції колоїдів під лісом в українському степу. Пізніше, за припущенням А. П. Травлєєва, нами було проведено модельні експерименти з впливу вібрацій на вертикальне переміщення мікро- та наночастинок у ґрунті [9, 10]. Одержані дані дали можливість проілюструвати процес вібраційного переміщення модельних частинок у натуральних ґрунтових зразках. Використані нами частоти вібрацій у модельних експериментах відповідають природним вібраціям коренів дерев, що викликані дією вітру на стовбур [12]. Однак ці роботи ілюструють тільки вібраційний механізм транспортування частинок, тоді як, основною причиною цього процесу під лісом у степу слід вважати періодичне перезволоження та наявність гідро потоків у порах та тріщинах ґрунту. Для моделювання такого засобу переміщення більш придатною є гідродинамічна модель лесіважу [11]. Запропонована модель дає змогу не тільки проілюструвати процес ґрунтоутворення, але й дослідити відносні швидкості лесіважу у різних за походженням ґрунтах або у різних генетичних горизонтах ґрунту. Саме останнє і було основною метою цієї роботи

Методи дослідження

Динамічна локалізація магнітозрідженого шару. Застосовуваний у праці метод запозичено з магнітної гідродинаміки. Магнітозрідження створюється намагніченими частинками магнітотвердих матеріалів у змінному або обертовому магнітному полі, яке змушує їх обертатися навколо своєї осі. Внаслідок зіткнень одна з одною і зі стінками ємкості частки набувають й імпульсу поступального руху, в результаті чого весь об'єм часток переходить у зважений стан. Якщо магнітне поле є однорідним, зрідження починається зверху, а необхідна для "закипання" величина амплітуди поля є прямо пропорційною до розмірів частинок. Рух частинок у магнітозрідженому шарі нагадує броунівський, а його швидкість перебуває в прямій залежності від індукції поля. Зі зростанням інтенсивності руху збільшується й кількість зіткнень. Реалізація магнітозрідженого шару є можливою лише в певному діапазоні частот і величин індукції магнітного поля. За межами такого діапазону частинки виходять зі зваженого стану – конденсуються.

Описані характеристики магнітозрідження лежать в основі якісного моделювання руху частинок в істинних колоїдах, причому, варіюючи параметрами поля, можна досягати ефектів дифузії (циркуляція часток за і проти градієнта поля) і коагуляції (конденсація при надкритичних частотах і амплітудах поля). Однак до магнітозрідженого стану у змінному магнітному полі переходять лише частинки з залишковою намагніченістю, що істотно звужує перелік матеріалів для використання. Проте застосування пари електромагнітів, що по чергово вмикаються (метод динамічної локалізації магнітозрідженого шару), дозволяє використовувати як магнітотверді, так і магнітом'які частинки. У моделюванні лесіважу увага зверталася в першу чергу на імітацію зваженого стану часток і їх вертикальне переміщення в складі гідропотоку. Розміщуючи в пробірку зразок ґрунту так, щоб його

поверхня була вищою за лінію сердечників, шар магнітом'яких або магнітототвердих часток "закипає", як при магнітозрідженні в змінному полі, але окремі частки поступово переміщуються вниз (за градієнта поля). Однак між частками все-таки спостерігається деяка взаємодія, що відповідає стану золя. Таким чином, створюється максимальне наближення до природних умов переміщення мікро- й наночасток у ґрунті.

Об'єкт дослідження. Зразки ґрунту чорнозему лісового відбирали з розрізу, що знаходиться у липово-ясеневій діброві у середній третині схилу південної експозиції правого берегу р. Самара. Крутизна схилу 7-8⁰, відстань від р. Самари – 55 м. Тип лісорослинних умов – суглинок свіжий (СГ₂). Тип екологічної структури – напівтіньовий. Деревний ярус: *Quercus robur* L., *Fraxinus excelsior* L., *Tilia cordata* Mill. Вік дерев – 60-65 років, зімкнутість – 0,8-0,9, висота – 15-18 м. Морфологічний опис ґрунтового розрізу (№ 207) за Н. А. Беловою та А. П. Травлеєвим [1]:

HeI ₁	0-12 см	Сірий, сухуватий, гумусований, середньо суглинистий; корененасичений, відділяється шаром від нижнього горизонту, перехід слабо помітний.
HeI ₂	12-42 см	Гумусовий, середньо суглинистий, сірий від суміші кварцу, пухкий, свіжий, насиченість коренями знижується, пилювато-зернистої структури.
HiI	42-70 см	Суглинок темно-сірий, середній, гумусовий, комковатої структури. Перехід за кольором і за щільністю.
HP	70-98 см	Суглинок середній, темно-сірого кольору, делювіальний, ущільнений. Перехід до наступного горизонту чіткий.
P	98-150 см	Материнська порода – лісовидний суглинок від червоно-бурого до палевого кольору, ущільнений. Скіпання відсутнє.

Підготовка зразків та проведення дослідів. Зразки ґрунтів без пошкодження структури відбирали з профілю на глибині 0-10 см (HeI₁), 20-40 см (HeI₂), 40-60 см (HiI), 70-90 см (Ph), 110-120 (P). Потім їх зволожували з пульверизатора, після чого в них занурювали пробірки на 2 см. Кожен зразок акуратно просували вглиб на 2-3 см рівномірним натисканням на всю поверхню доти, поки зразок не упирався в целулоїдну пробку, попередньо поміщену в пробірку. Далі ґрунт висушували при 25-27°C на повітрі протягом трьох діб.

На зразки рівномірно насипали навішення (об'єм 0,5 мл) намагнічених магнітом'якого карбонільного заліза з середнім діаметром частинок – 5 нм. Пробірку з дослідними зразками поміщали в міжполюсний простір котушок електромагнітів (рис. 1) так, щоб поверхня ґрунту була на 1,5 см вищою за рівень залізних сердечників. У попередніх експериментах визначали найбільш ефективні для "зрідження" частинок параметри магнітного поля, які становили: частота магнітного – 40 Гц, напруженість – 150 Е. До того ж порошок на поверхні субстрату об'єднувався в легко вібруючі ланцюги або агрегати, які також переміщалися по поверхні. Поступово частинки проходили вглиб, заповнюючи простори пор і тріщин. Приблизно через 30 с на поверхні зразка практично не залишалось видимих агрегатів часток, помітно було лише легкий "наліт" з порошку. При зволоженні ґрунту, шляхом розпилення 3 мл води, частина навішення занурювалася на глибину 1-2 мл, тоді як решта залишалася на поверхні

після 5 хв. впливу полем. Коли зразок поступово й рясно змочували, а потім повністю занурювали в воду, то частки за одиниці секунд залишали поверхню й проникали вглиб, заповнюючи весь доступний вільний простір (незамкнуті пори й тріщини). Таким чином, було обрано два способи проведення дослідження з повітряно сухими зразками ґрунту та до насичення зволоженими.

В експерименті вимірювали час, за який магнітні частки занурювалися вглиб зразків (тобто зникали з поля зору). Потім розраховували відносну швидкість переміщення навішення частинок у об'єм зразка. Експеримент повторювали на п'яти-тринадцяти зразках з кожного горизонту профілю. Отримані для кожної глибини дані усереднювали та порівнювали між собою за використанням t-тесту.

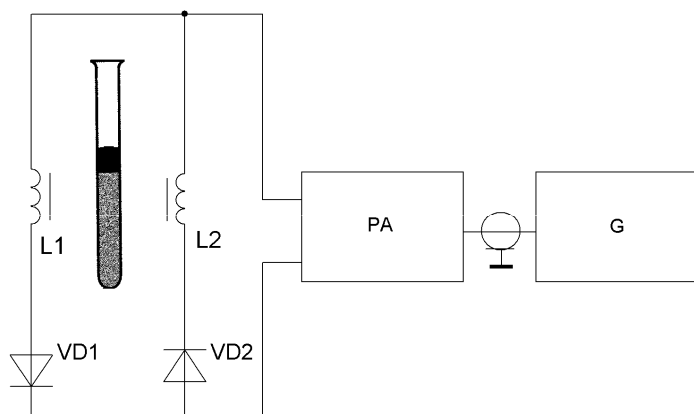


Рис. 1. Експериментальна установка для магнітозрідження наночастинок: генератор Г6-28, підсилювач, діоди, котушки електромагнітів, пробірка зі зразком ґрунту на целулоїдній пробці

Результати та їх обговорення

Як показано на рис. 2, у сухих та насичених вологою зразках швидкість занурення частинок у ґрунт максимальна у верхніх елювіальних горизонтах. У зволожених до насичення зразках вона вища ($p < 0.01$ для горизонтів He_1 , He_2 , Hi_1 и Hp). Крім того, в зволожених зразках відсутні відмінності у швидкості в обох елювіальних горизонтах (для сухого $p = 0,98$; для зволоженого $p = 0,64$).

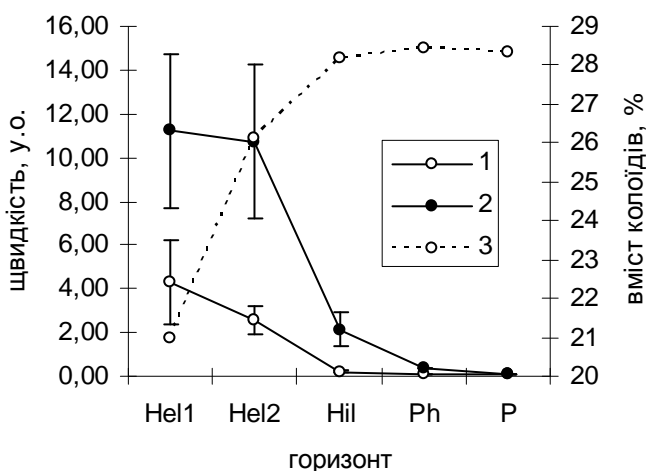


Рис. 2. Відносна швидкість вертикального переміщення наночастинок у ґрунтових зразках чорнозему лісового: 1 – повітряно сухі зразки; 2 – зволожені до насичення зразки; 3 – розподіл відносного вмісту колоїдної фракції по горизонтах [1]

Зрозуміло, що залежність, яку показано на рис. 2, відповідає структурній диференціації, густині, пористості, гранулометричному складу ґрунту та взагалі відображає характер ґрунтоутворення в місці відбирання зразків. Наприклад, якщо зіставити швидкість занурення колоїдних частинок карбонільного заліза в зразки ґрунту з різних горизонтів з їх механічним складом, становиться явною синхронна зміна вмісту колоїдної фракції (див. рис. 2) та швидкості переміщення частинок із глибиною (коефіцієнт лінійної кореляції $r = -0,98$ і $-0,93$ для сухих та зволжених зразків). Як видно з табл. 1 (дані надано В. Горбанем, Дніпропетровський університет) та рис. 2, максимальні швидкості лесіважу ймовірні у горизонтах з невеликим вмістом колоїдних часток, з низькою об'ємною масою скелета ґрунту та великою пористістю.

Таблиця 1

Фізичні властивості твердої фази ґрунту чорнозему лісового

Горизонт	Глибина, см	d_v , г/см ³	d , г/см ³	МГВ, %	S , м ² /г	P заг, %
He ₁	0-12	1,4	2,42	5,63	22,52	42,15
He ₂	12-20	1,65	2,58	4,83	19,32	36,05
	20-30	1,65	2,54	4,17	16,68	35,04
	30-42	1,6	2,49	4,17	16,68	35,74
Hi ₁	42-50	1,65	2,56	4,93	19,72	35,55
	50-60	1,55	2,44	4,9	19,6	36,48
H _p	70-80	1,75	2,6	4,86	19,44	32,69
	80-90	1,65	2,46	4,9	19,6	32,93
r r^*		-0,44	0,27	0,03	0,03	0,64
		-0,76	-0,36	0,47	0,47	0,88

Примітка. d_v – густина скелета ґрунту (об'ємна маса); d – густина твердої фази ґрунту (питома маса); МГВ – максимальна гігроскопічна вологість ґрунту; S – питома поверхня ґрунту; P заг – загальна пористість; r та r^* – коефіцієнт лінійної кореляції між швидкістю вертикальної міграції частинок у зволжених та сухих зразках ґрунту та його фізичними властивостями.

Висновки

Процес механічного переміщення наночастинок (карбонільне залізо) чітко простежується в сухих зразках ґрунту чорнозему лісового до глибини 42-70 см, тобто до ілювіального горизонту включно. Переміщення частинок істотно пришвидшується при значному зволоженні, коли пори та інші вільні простори заповнено водою. Якщо ґрунт зволожений до стану, коли простір пор не заповнено водою, процес переміщення частинок є украй обмеженим, бо частки злипаються з поверхнею пор. Зміна відносної швидкості переміщення наночастинок із глибиною горизонту тісно пов'язана з такими фізичними властивостями ґрунту, як об'ємна маса та загальна пористість, а також вмістом ґрунтових частинок колоїдної фракції. У цілому запропонована модель дозволяє оцінити відносну пропускну здатність різних горизонтів у межах профілю. Однак цей критерій – лише чисто фізична характеристика, яка не дає однозначної відповіді на питання про можливість лесіважних процесів у тому чи іншому ґрунті або горизонті. Висока пропускну спроможність ґрунту є необхідною, хоча і недостатньою, умовою для інтенсивного механічного транспортування мікро- і наночасток углиб ґрунту.

Список літератури

1. Белова Н. А., Травлев А. П. Естественные леса и степные почвы. – Д.: ДГУ, 1999. – 348 с.
2. Вильямс В. Р. Почвоведение / Избранные произведения. – М.: Сельхозгиз, 1949. – 455 с.
3. Георгиевский В. В. К вопросу о подзоле. – СПб., 1888.
4. Герасимов И. П. Глеевые псевдоподзолы Центральной Европы и образование двучленных покровных наносов // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1959. – № 3.
5. Герасимов И. П. Почвы Центральной Европы и связанные с ними вопросы физической географии. – М.: Изд-во АН СССР, 1960.
6. Глинка К. Д. Деградация и подзолистый процесс // Почвоведение. – 1924. – № 3-4.
7. Дюшофур Ф. Основы почвоведения. – М.: Прогресс, 1970. – 591 с.
8. Зонн С. В. О процессах подзоло- и псевдоподзолообразования и проявления последнего в почвах СССР // Почвоведение. – 1969. – № 3. – С. 3-11.
9. Нецветов М. В. Вертикальное перемещение микрочастиц в почве под действием вибрации сверхнизких частот // Грунтознавство. – 2003. – Т. 4, № 1-2. – С. 62-65.
10. Нецветов М. В. Влияние вибраций 1-100 Гц на перемещение микрочастиц в почве // Грунтознавство. – 2006. – Т. 7, № 3-4. – С. 92-96.
11. Нецветов М. В., Роменский М. В., Хиженков П. К., Нецветов В. И. Магнитные нано- и микроматериалы в моделировании лессиважа // Грунтознавство. – 2007. – Т. 8, № 3-4. – С. 36-40.
12. Нецветов М. В. Вибрационная экология леса // Экологія та ноосферологія. – 2008. – Т. 19, № 3-4. – С. 40-50.
13. Роде А. А. Подзолообразовательный процесс. – М.-Л., 1937.
14. Роде А. А., Феофарова И. И. Несколько данных о минералогическом составе "кремнеземистой присыпки" в лесостепных почвах // Почвоведение. – 1955. – № 9.
15. Тюремнов С. И. Об изменении механического состава глинистых пород под влиянием кислых растворов // Русский почвовед. – 1922.
16. Фридланд В. М. Об оподзоливании и иллиммеризации (обезыливания) // Почвоведение. – 1958. – № 1. – С. 27-38.

Нецветов М. В., Корниенко В. О., Никулина В. М., Роменский М. В. Дифференциация профиля почвы по скорости лессиважа в экспериментальной модели. – В работе предложена экспериментальная модель процесса вертикального перемещения коллоидальных и суспензионных частиц в почве. Показан нелинейный характер зависимости скорости прохождения частиц сквозь почву в зависимости от глубины горизонта в профиле чернозема лесоразведенного.

Ключевые слова: лессиваж, экспериментальная модель.

Netsvetov M. V., Kornienko V. O., Nikulina V. M., Romenski M. V. Differentiation of soil profile by lessivage speed at experimental model. – The experimental model of vertical migration of colloidal and suspension particles in the soil is proposed. It is showed a non linear character of the velocity of the lessivage dependently of the pattern depth.

Key words: lessivage, experimental model.