

ВЕРИФІКАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ДЕФЛЯЦІЇ ҐРУНТІВ З РАДІОЕКОЛОГІЧНИХ МІРКУВАНЬ

Проаналізовано моделі дефляції (вітрового переносу) ґрунтів, які використовуються або можуть бути використані для розрахунку втрат ґрунтів у вигляді модуля дефляції. Ґрунтуючись на аналізі існуючих моделей, експериментальному вивченні дефляції основних ґрунтів, забруднених радіоцезієм, запропонована методика розрахунку переносу еолового матеріалу, в якому міститься радіонуклід.

Постановка проблеми

Дефляція ґрунтів з позиції їх охорони від руйнування в Україні, особливо в степовій і лісостеповій зонах, вивчено досить детально.

Вивчення дефляції (вітрової ерозії) у різних природних зонах проводилося як з метою визначення сутності процесу, так і для кількісного виразу переміщення ґрунтової речовини у просторі. Проблема охорони ґрунтів від вторинного радіоактивного забруднення викликана вітровим переносом радіоактивної речовини і пов'язана з охороною ґрунтів від ерозії.

Експериментальна частина роботи виконувалася під науковим керівництвом члена-кореспондента РАСГН і УААН, доктора біологічних наук М.Й. Долгілевича, ідеї та поради якого багато у чому визначили науковий світогляд авторів.

На теперішній час достатньо досліджена й інформативно висвітлена радіоекологічна ситуація радіоактивного забруднення ландшафтів і ґрунтів, яка склалася в результаті аварії на Чорнобильській АЕС. Охарактеризовано види, масштаби і характер територіального розподілу забруднення. На початковому етапі радіоекологічних досліджень (ми їх оцінюємо десятирічним періодом до 1996 року) були зроблені прогностичні висновки зміни радіоекологічного забруднення за його складовими: зменшення радіоактивності і вмісту радіонуклідів у ґрунті внаслідок фізичного розпаду, а також їх перерозподіл за горизонтальними і вертикальними векторами міграції у ландшафтах різних структур.

Горизонтальна міграція радіоактивних речовин, які містяться в ґрунтах, призводить до забруднення або збільшення щільності радіаційного забруднення тих ділянок, які розташовані поруч з територіями, що піддаються дефляції [2, 3].

Інтенсивність і напрямки міграції пов'язані зі швидкістю вітру, його динамічними характеристиками, сприйнятливістю ґрунту до дефляції, ступенем захищеності його від впливу вітру [4]. Разом з тим, небезпека вторинного

радіоактивного забруднення територій пов'язана зі щільністю забруднення ґрунту, який піддається впливу вітрової ерозії, та питомою активністю радіонуклідів в еоловому матеріалі.

Існуючі матеріали щодо вітрової ерозії потребують нового аналізу в зв'язку з виникненням питання охорони ґрунтів від вторинного радіоактивного забруднення, а дефляція як агент горизонтальної міграції радіонуклідів набуває нового мало вивченого напрямку.

Необхідність аналізу результатів наших досліджень визначається також і тим, що в останній час зустрічаються публікації з радіоекології ґрунтів, які досить складно віднести до наукових, а окремі положення таких публікації за своєю сутністю виявляються абсурдними (наприклад, [9]).

Аналіз останніх досліджень

Інформація про рівень дефляції ґрунтів, включаючи і забруднення радіоактивною речовиною, пов'язана з розрахунками модуля дефляції. Такі розрахунки зручно виконувати, користуючись моделями дефляції. Проте існуюче різноманіття моделей дефляції та їх аналіз спричиняють вибір саме тих які дають можливість отримувати реальні дані про модуль дефляції для конкретних ґрунтів і природних умов.*

За своїм функціонуванням ці моделі неоднозначні і можуть бути об'єднані у декілька груп.

Моделі якісної оцінки очікуваної інтенсивності дефляції

Такі моделі ґрунтуються на показниках зв'язності ґрунтових агрегатів відносно зовнішнього навантаження [5]:

$$S = 34,7 - 0,91x_1 - 0,3x_2 - 0,4x_3, \quad (1)$$

де S – зв'язність грудочок ґрунту, %; x_1 – вміст мулу в ґрунті, %; x_2 – вміст мілкового (0,25...0,50 мм) піску, %; x_3 – вміст крупного піску і гальки, %.

Показникам зв'язності від 15 до 65% і більше відповідають групи ґрунтів з небезпекою прояву вітрової ерозії. Аналогічні моделі розроблені і для південних регіонів України.

Моделі непрогнозованої дефляції

До цієї групи належить модель інтенсивності ерозійного процесу (М.Е. Бельгибаев, 1993; Михальченко, 1976), де порівнюються втрати гумусу і шару ґрунту внаслідок дефляції та інші подібні моделі:

$$U = \frac{C100}{p^2 Yn} k(D_1 - D_2), \quad (2)$$

де C – вміст гумусу в ґрунті не ушкодженому ерозією (еталонному), т/га⁻¹; Y – об'ємна маса ґрунту, т×м⁻³; n – кількість років, що пройшли між дослідженнями ґрунту; k – допоміжний коефіцієнт; D_1, D_2 – вміст гумусу в ґрунті у попередні і останні роки, %

Автор не наводить розмірність моделі дефляції.

Моделі інтенсивності дефляції

До цієї групи належать ряд моделей, що розроблені М. Долгілевичем, 1978; М.Е Бельгибаєвим, 1993, а також Шиятим Е.И., 1970:

$$Q = \frac{qb}{0.1^{-3}Sb}, \quad (3)$$

де Q – інтенсивність дефляції, $\text{т} \times \text{га}^{-1} \times \text{год.}$; q – середня вага ґрунту (пилу), що вловлений пилосбірником під час чорної бурі, кг ; b – ширина поля, м ; a – ширина приймальної частини пиловловлювача, см ; S – площа поля, га

Той же автор [5] запропонував інтенсивність дефляції визначати за даними натурних спостережень:

$$Q = \frac{100qV_2^3}{atV_1^3}, \quad (4)$$

де: t – час дефляції, год. ; V_1, V_2 – середня та базисна ($10,5 \text{ м} \times \text{с}^{-1}$) швидкість вітру на висоті $0,5 \text{ м}$, $\text{м} \times \text{с}^{-1}$.

Моделі прогнозу дефляції, що спираються на математико-статистичні залежності факторів дефляції

Ця група моделей досить численна. Всі моделі близькі між собою і побудовані за даними вивчення дефляції в аеродинамічній трубці при різних режимах і параметрах ґрунту та характеристик його поверхні.

Проаналізуємо моделі, що розроблено в Україні [6]:

$$D = 3,3 \cdot 10^3 - 0,03 \cdot 10^{-3}K + 0,1295h + 0,2372S, \quad (5)$$

де: D – втрати ґрунту, $\text{г}/1,2 \text{ м}^2$ за день; h – висота поверхні ґрунту, см ; S – кількість нерівностей, % до площі.

Втрати чорнозему типового при грудочкуватості від 20 до 60 % становили від 586 до 36 $\text{г}/1,2 \text{ м}^2$ за 5 хвилин, а чорнозему південного – від 921 до 17 $\text{г}/1,2 \text{ м}^2$ за 5 хвилин або 92–1,7 $\text{т}/\text{га}$ за год^{-1} . Це великі втрати.

Інша модель, що розроблена в Україні [4]:

$$E = 5,5 \cdot 10^{-3}[A(d_{e1} \cdot d_e^{-1})^{0,5}]^{1,6}, \quad (6)$$

де E – еродованість ґрунту (модуль дефляції), $\text{т}/\text{га}$ за год^{-1} ; d_{e1} – кількість агрегатів у ґрунті з розміром 21 мм , %; d_e – еквівалентний діаметр еолового матеріалу, мм .

В даній групі моделей функціонували кліматичні фактори дефляції, але є й моделі, що об'єднують окремі кліматичні, ґрунтові фактори та наявність рослинних решток на поверхні ґрунту. Для умов України ця модель має такий вигляд [7]:

$$E = 10^{abk-cs} \cdot 0,1 \cdot K_s \cdot S \cdot V_{max}^3 \cdot t \cdot K_p \cdot V_a^{-3}, \quad (7)$$

де E – модуль дефляції, т/га за рік⁻¹; V_{max} – максимальна швидкість вітру під час чорних бур 20% забезпеченості, м/с⁻¹; V_a – швидкість вітру в аеродинамічній трубі, що переведена на швидкість вітру на висоті флюгера (23 м/с); t – середня річна тривалість пильових бурь, год.; a, b, c – коефіцієнти регресії, що залежать від генетичних особливостей ґрунту і рослинних решток на його поверхні; K – грудочкуватість (понад 1 мм) верхнього шару ґрунту, %; S – кількість рослинних решток висотою до 20 см на поверхні ґрунту, шт./м²;

K_s – коефіцієнт руйнації агрегатів, що дорівнює $\frac{100 - S_n}{100}$ (S_n – зв'язаність ґрунту, %);

ґрунту, %);

$$S_n = 47,57 + 3,8 \cdot 10^{-3} x_1^2 - 0,42 x_3^2 + 4,72 x_1 + 3,46 x_3 - 0,311 x_2 + 0,12 x_1 x_2,$$

де x_1, x_2, x_3 – вміст в ґрунті піску, мулу та карбонатів кальцію, %; K_p – коефіцієнт, що залежить від рельєфу місцевості.

Моделі дефляції, що спираються на результати досліджень фізичної природи ґрунтової аеродинаміки і кліматичних факторів

Дані моделі побудовано на даних фізичного моделювання дефляції в аеродинамічній трубі [1, 4 та ін.].

За результатами цих досліджень запропонована модель еродованості ґрунту вітром, за якою, знаючи річну тривалість пильових бурь заданої забезпеченості, можна розрахувати втрати ґрунтів за рік:

$$E = 0,1 \cdot (V_z - V_{kp})^2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot t_n \quad (8)$$

де E – модуль дефляції, т/га за рік; V_z, V_{kp} – задана і критична швидкість вітру на висоті z в аеродинамічній трубі, м/с; k_1, k_2 – коефіцієнти, що залежать від величини діаметра ґрунтових агрегатів розміром менше 2 мм і діаметра агрегатів, що становлять 90 % від маси зразка; t_n – річна тривалість пильових бурь заданої забезпеченості, год.

За використання даної моделі при розрахунках річних втрат ґрунту від дефляції (модуль дефляції) необхідно мати дані про гранулометричний склад цього ґрунту, відсоткового вмісту агрегатів певного розміру, задані максимальну швидкість вітру і тривалість пильових бурь.

Існує модель прогнозу переносу радіонуклідів при дефляції [2]:

$$A = 0,001 \cdot l \cdot b \cdot t \cdot (K_v \cdot V_m)^3 \cdot a^{-1} \cdot S^{-1} \cdot K_o \cdot K_i \cdot K_p \cdot \alpha, \quad (9)$$

де A – втрати ґрунту, т/га; l – довжина безперешкодного пробігу ерозійно небезпечного вітру (ширина поля), м; b – довжина поля у напрямку перпендикулярному ерозійно небезпечним вітрам, м; t – тривалість ерозійного вітру, год.; V_m – швидкість ерозійно небезпечного вітру (середнє значення), м/год⁻¹. K_v – коефіцієнт, що враховує зміну швидкості вітру на різних елементах рельєфу; a – відстань на якій перенесення ґрунтового матеріалу досягає максимуму; K_o, K_i, K_p – коефіцієнти ґрунтозахисної ефективності рослинності або

її решток, ефективності агротехнічних заходів і заходів постійної дії; α – вміст забруднюючих речовин.

В моделі (9) наведено непараметричні коефіцієнти (K_o , K_i , K_p), які мають суб'єктивний характер виявлення (розрахунку) модуля переносу радіоактивної речовини. Стосовно ж величини α , що позначена як вміст забруднюючих речовин, то в моделі це вірогідно концентрація (питома активність) радіонукліду у верхньому шарі ґрунту. Якщо це так, тоді вводити величину α в розрахунок переносу радіоактивних речовин при дефляції виявляється недоцільним – адже вітром переносяться лише структурні фракції ґрунту певного розміру, де концентрація радіонукліду відрізняється від концентрації радіонукліду в ґрунті в цілому. Модель представлена як така, що не враховує особливостей ґрунтових відмін, вона не містить інформацію про гранулометричний склад ґрунту, який є досить важливим показником.

Таким чином, проведений вище аналіз існуючих моделей дає нам підставу прийняти за базову модель (8) як таку, що найбільш повно враховує фізичну сутність дефляції та подає її об'єктивну параметричну оцінку у вигляді модуля.

Після проведення досліджень радіоекологічного характеру, основними з яких є розподіл питомої активності радіонуклідів у структурних фракціях ґрунтів різного генетичного типу, а також аеродинамічних досліджень цю модель можна буде використати в прогнозних розрахунках переносу радіоактивної речовини.

Результати експериментальних досліджень

Аналіз існуючих моделей дефляції ґрунтів з метою кількісного виявлення переносу ґрунтового матеріалу і, разом з тим, вітрового переносу радіоактивної речовини дав змогу використовувати для розрахунку реальних даних модель (8). Вибір даної моделі спирається передусім на те, що вона істотно розкриває природу дефляції та за додаткових досліджень, насамперед таких як відсотковий вміст ґрунтових агрегатів певного розміру, їх радіоактивність, максимальна швидкість вітру, тривалість пилових бурь, легко визначити за модулем дефляції перенос радіоактивної речовини.

Розподіл питомої активності радіоцезію в структурних фракціях ґрунтів залежить від їх генетичного типу. Не пояснюючи в межах даної роботи природу цього явища, що було предметом спеціальних досліджень [8], зазначимо, що в торф'яних і дерново-підзолистих суглинкових ґрунтах питома активність збільшується зі зменшенням діаметра структурних фракцій.

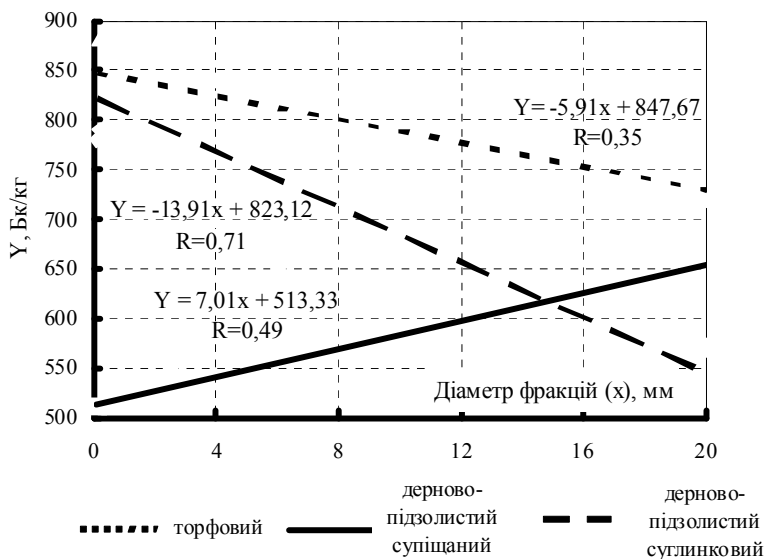


Рис. 1. Розподіл питомої активності ^{137}Cs (Y) за фракційним складом різних типів ґрунтів (x) у Народицькому районі Житомирської області

Проілюстровано дані, що отримані для ґрунтів, питома активність яких, як і щільність, варіюють. Проте верифікація великої кількості даних (біля 400 вимірів) дозволила виявити наведені закономірності.

З метою виявлення закономірностей розподілу активності ^{137}Cs у структурних фракціях ґрунтів та визначення її в тій частині ґрунту, що транспортується вітром (мова йде про структурні фракції розміром до 1 мм в діаметрі, про еоловий матеріал), нами були проведені спеціальні аеродинамічні дослідження шляхом продування ґрунтових монолітів в аеродинамічній трубі.

Для ґрунтів, що досліджувалися за базовою моделлю (8), були розраховані модулі дефляції та виявлені кореляційні зв'язки модулів дефляції зі швидкістю вітру.

Таблиця 1. Модулі дефляції ґрунтів (E) за швидкості вітру 20,4 м/с на висоті флюгеру та їх зв'язки зі швидкістю вітру на висоті флюгеру (U) за параметра шорсткості 1,0 см

Ґрунт	Модуль дефляції, т/га·год.	Рівняння зв'язку
Дерново-підзолистий піщаний	15,06	$E = 3,8 \cdot 10^{-3} U^{2,83}$
Дерново-підзолистий супіщаний	3,49	$E = 2,7 \cdot 10^{-3} U^{2,33}$
Дерново-підзолистий суглинковий	0,58	$E = 1,02 \cdot 10^{-4} U^{2,833}$
Торфовище осушене	1,39	$\log E = 0,128 U - 2,487$

Таблиця 2. Питома активність радіоцезію в ґрунтах та їх ерозійній фракції за моделювання в аеродинамічній трубі

Статистичний показник	Дерново-підзолистий супіщаний		Дерново-підзолистий суглинковий		Торфвий	
	ґрунт	еоловий матеріал	ґрунт	еоловий матеріал	ґрунт	еоловий матеріал
Середнє значення, Бк/кг	768,8	549,1	755,6	782,6	536,4	985,3
Стандартна похибка, Бк/кг	214,68	219,34	150,44	143,22	115,75	175,06
Стандартне відхилення	607,2	620,4	425,5	405,1	463,0	700,2
Дисперсія вибірки	368691,1	384881,8	181053,1	164100,8	214375,7	490327,5
Експес	4,647	6,846	0,845	0,208	3,995	0,747
Мінімум	200	70	270	250	113	187
Максимум	2150	2045	1575	1505	1810	2470
Коефіцієнт варіації	79,0	113,0	56,3	51,8	86,3	71,1

Активність ^{137}Cs у еоловому матеріалі трьох типів ґрунтів, що аналізувалися, коливалася у межах від 549 на мінеральних до 985 Бк/кг на органічних ґрунтах. Причому активність еолового матеріалу торфовищ перевищувала в 1,8 раза питому активність еолового матеріалу 0–5 см шару ґрунту.

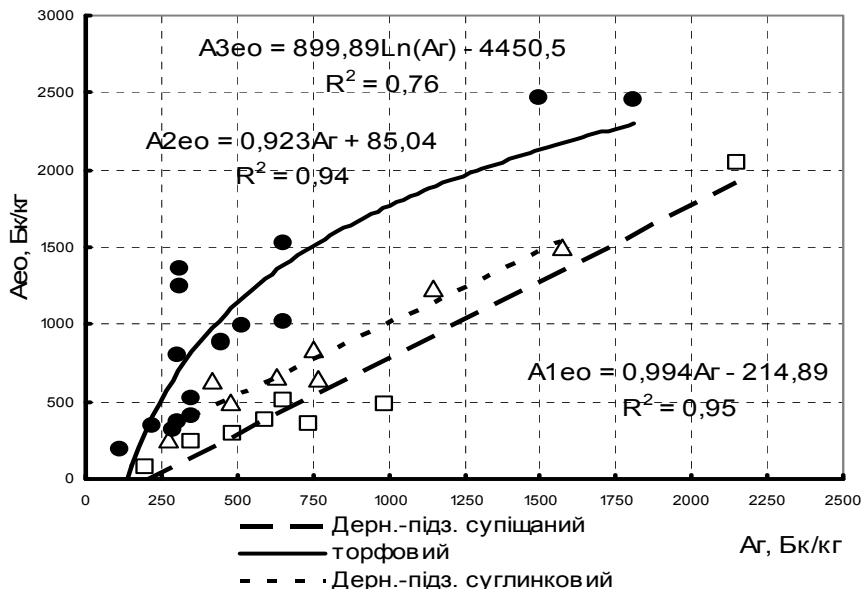


Рис.2. Залежність питомої активності ^{137}Cs у фракціях <1 від питомої активності ^{137}Cs у дерново-підзолисто-суглинковому (A1eo), торфовому (A2eo), дерново-підзолисто-суглинковому (A3eo) ґрунтах

Висновки

1. Ріст питомої активності ^{137}Cs в торфовому ґрунті супроводжується зростанням активності радіоцезію в ерозійній фракції, ця залежність логарифмічна і досить тісна при коефіцієнті кореляції 0,76.

2. Дана закономірність характерна і для дерново-підзолистих ґрунтів у вигляді прямої кореляційної залежності з коефіцієнтами кореляції (0,94 та 0,95).

Перспективи подальших досліджень

Існуючі матеріали стосовно вітрової ерозії потребують нового аналізу в зв'язку з виникненням питання охорони ґрунтів від вторинного радіоактивного забруднення, а дефляція, як агент горизонтальної міграції радіонуклідів набуває нового мало вивченого напрямку.

Література

1. Долгилевич М.И. Научные основы прогнозирования и система предупреждения эрозионных процессов / М.И. Долгилевич, Г.И. Швобс, И.Г. Зыков. – М. : Колос, 1992. – 147 с.

2. Ветроэрозионные процессы и особенности создания оптимальных комплексных решений охраны почв в зоне загрязнения радионуклидами / Б.С. Пристер и др. // Проблемы сельскохозяйственной радиозоологии: сб. научн. трудов Укр. НИИ сельскохоз. радиологии. – К., 1991. – С.64–74.

3. Васенков Г.І., Поліщук О.Є. Горизонтальна міграція цезію-137 при ерозійних процесах / Г.І. Васенков, О.Є. Поліщук // Вісник аграрної науки. – К., 1999. – № 9. – С. 37–39.

4. Долгилевич М.И. Пыльные бури и агромелиоративные мероприятия. / М.И. Долгилевич – М. : Колос, – 1978. – 160 с.

5. Методика картирования эрозионно-опасных земель и разработка противоэрозионных материалов при составлении проектов землеустройств / Е.И. Шиятий и др. // Оценка и картирование эрозионно-опасных и дефляционно-опасных земель. – М. : Изд-во МГУ, 1973. – С. 290–294.

6. Ветроустойчивость некоторых почв и основных форм почвенной поверхности на юго-востоке УССР / Д.П. Рыжиков и др. // Вопросы почвозащитной системы земледелия. – Целиноград, 1976. – С. 147–151.

7. Прогноз возможных потерь почвы в степной зоне Украины // Метод. указания. – Харьков, 1993. – 83 с.

8. Долгилевич М.И., К. Йохансон, Васенков Г.И. Функции органического вещества, определяющие поведение радиоцезия в системе почва-растение / М.И. Долгилевич, К. Йохансон, Г.И. Васенков // Вісн. аграр. науки. – 1997. – № 3.

9. *Борисюк Б.В., Трембіцький В.А., Лукомський О.М.* Агроекологічна оцінка радіоактивно забрудненого ґрунтового покриву виведеного із сільськогосподарського обігу / *Б.В. Борисюк, В.А. Трембіцький, О.М. Лукомський* // Зб. наук. праць Подільського ДАТУ. – 2009. – С. 131–136.
