

УДК 631.459:631.438

Г. І.Васенков
кандидат сільськогосподарських наук, доцент
О.Є.Поліщук
аспірант кафедри ґрунтознавства і землеробства

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ КІЛЬКІСНОЇ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ МІГРАЦІЇ РАДІОНУКЛІДІВ ПРИ ЕРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСАХ

Теоретично обґрунтовані і розроблені методи досліджень горизонтальної міграції довгоживучих радіонуклідів при водноерозійних процесах. Запропоновані методи полумодельних експериментів дозволяють вивчити інтегрований показник міграції «коефіцієнт змиву» в умовах максимально наближених до природних і в широкому спектрі факторів, визначаючих водноерозійні процеси.

За певний час після аварії на Чорнобильській АЕС і випадання радіоактивної речовини визначилася географія і рівень радіоактивного забруднення ландшафтів. Подальші дослідження виявили суттєві зміни в географії радіоактивного забруднення, що пов'язано з горизонтальною міграцією радіонуклідів в ландшафтах. Розширення зони з підвищеною радіоактивною забрудненістю ґрунтів і вод викликає радіоекологічні проблеми, які потребують ґрунтовних досліджень.

Процеси міграції радіонуклідів підпорядковуються загальним законам, які керують потоками речовин в ландшафті пов'язаними з гідродинамічними процесами на поверхні ґрунту. Дослідження дозволили виявити провідний фактор міграції радіонуклідів в ландшафті - поверхневий стік і пов'язані з ним ерозійно-аккумулятивні процеси.

При цьому отримано кількісні оцінки горизонтальної міграції переважаючого радіонукліда в загальному спектрі ізотопів, визначаючих радіоекологічний стан в лісоаграрних ландшафтах - радіоцезію-137 (В.А.Борзилов и др. (1988); А.В.Коноплев, А.А.Булгаков (1990); М.И.Долгилевич, Г.И.Васенков (1992); Г.И.Васенков, О.Е.Поліщук (1997) та ін.

Елементарно горизонтальну міграцію радіонуклідів при водноерозійних процесах визначає змив ізотопів стоком із забрудненої поверхні. Тому методики її досліджень повинні відтворювати суть вивчення параметрів ерозійно-гідрологічного процесу і формуючих його факторів.

Якщо вже відомі кількісні параметри ерозійно-гідрологічного процесу: об'єми поверхневого рідкого стоку (V , см³); твердого стоку (маса ґрунту, що змивається (W , кг)), а також концентрація радіонукліда в розчиненій - q_w , і сорбованій - q_s фазах, то кількість змитого ізотопу вираховується за співвідношеннями:

$$Q_w = \sum_{i=1}^l V_i \cdot q_{w_i}; \quad Q_s = \sum_{i=1}^l W_i \cdot q_{s_i}; \quad (1)$$

де: t - час проходження стоку.

Основною кількісною характеристикою поверхневого стоку є його коефіцієнт (K), який виражає відношення об'єму шару стоку до опадів.

При дослідженні ерозійно-гідрологічних процесів коефіцієнт стоку поза його кількісною оцінкою є інтегруючою характеристикою інших факторів визначаючих поверхневий стік (роль агрофону, ґрунтових умов, особливостей випадання опадів, сніготанення та ін.).

Аналогічно з коефіцієнтом стоку, основною кількісною характеристикою змиву радіонуклідів поверхневим стоком є коефіцієнт змиву, який виражає відношення концентрації радіонукліда в продуктах стоку до його вмісту в поверхневому шарі ґрунту.

Поскілки радіонуклід мігрує як в розчиненому стані так і в зваженому, виходячи із співвідношення (1), коефіцієнт змиву диференціюється на $K_{ж}$ - в розчиненому стані і K_m - на твердих продуктах стоку (у матеріалі що змивається). Коефіцієнти змиву розраховуються за співвідношеннями:

$$k_{ж} = \frac{q_s \cdot V}{q_p \cdot S}; \quad k_m = \frac{q \cdot h^e}{q_p}; \quad (2)$$

$$k_m = \frac{q_w \cdot \mu \cdot V}{q_p \cdot S} \quad k_m = \frac{q_w \cdot \mu \cdot h}{q_p} \quad (3)$$

де V - об'єм стоку; q_s - концентрація розчиненого радіонукліда в рідкому стоці; q_p - вміст радіонукліда у верхньому шарі ґрунту; q_w - вміст радіонукліда в продуктах змиву (твердого стоку); S - площа, на якій враховувався стік; h - шар стоку в досліді; μ - мутність стоку.

Параметр кількісної міграції радіонуклідів - коефіцієнт змиву за своєю суттю може бути використаний для прогностичних оцінок вносу ізотопів з водозборів, річкових басейнів.

Водний стік з водозборів характеризують модулем стоку

$$M_s = \frac{Q}{S}; \quad \text{м}^3 \text{с}^{-1}; \quad (4)$$

де Q - витрати, $\text{м}^3 \text{с}^{-1}$; S - площа водозбору, м^2
і коефіцієнтом стоку:

$$k = \frac{\Delta h_c}{\Delta h_o}; \quad (5)$$

де

$$\Delta h_c = \frac{Q \Delta t}{S} = M \Delta t \quad \text{- шар стоку, м;}$$

Δh_o - шар опадів за певний проміжок часу Δt , м.

Коефіцієнти у співвідношеннях (2) і (3) в додатках до водозбору можна розглядати як повний коефіцієнт вносу радіонукліда (K_e) за певний гідрологічний період (місяць, рік, паводок і т.п.), тобто відношення повної активності i -го нукліда у водному стоці через спостережаний створ гідрологічної сітки до запасу цього радіонукліда на всій водозбірній площі

$$K_e \frac{\Delta P_1}{P_2} = \frac{q_1 \cdot Q \cdot \Delta t}{q_2 S} \quad (6)$$

де P_2 - повний запас активності радіонукліда на водозборі, Бк; ΔP_1 - частина P_2 , яка вносився за час Δt , Бк; Q - витрати води в замикаючому створі, $\text{м}^3 \text{с}^{-1}$; S - площа водозбору, на якій зосереджений запас активності P_2 , м^2 ; q_1 - концентрація радіонукліда у водному потоці середня за гідрологічний період Бк м^{-3} ; q_2 - щільність забруднення на водозборі, Бк м^{-2} .

Коефіцієнт змиву вносу радіонукліда пов'язаний з параметрами водного стоку і з опадами через модулі і коефіцієнти стоку, які залежать від сукупності ландшафтно-екологічних характеристик водозбірної площі: ґрунтів, рослинності, схилу, ступеню антропогенного навантаження та багато ін. Велика кількість факторів, які впливають на коефіцієнт змиву, диктує необхідність проведення досліджень в широкому спектрі екологічних і геофізичних умов таких як площа, норма опадів, рельєф і екологічні характеристики.

Дослідження горизонтальної міграції радіонуклідів при водноерозійних процесах з врахуванням вище викладеного, достатньо інформативно реалізується методами, що застосовуються при вивченні ерозії ґрунтів (В.М. Івонин, Г.И. Васенков, 1982; Е.А. Гаршинев, Г.И. Васенков, 1987).

Дослідження змиву радіонуклідів при зливовому стоці

Оперативність, мобільність і інформативність експериментальних досліджень зливого стоку забезпечується використанням методу штучного дощування спеціально споруджених стокових ділянок на угіддях забруднених радіонуклідами. Основне завдання такого типу досліджень - відтворити природний процес зливи в умовах, максимально наближених до природних. Для цих завдань нами споруджена, виготовлена і використана в 5-ти літніх експериментах мобільна краплинно-струменева дощувальна установка, яка дозволяє імітувати дощ зливого характеру з інтенсивністю до 2 мм хв^{-1} , діаметром краплин переважно 3 мм при швидкості падіння $3 - 5 \text{ м с}^{-1}$. В експерименті при моделюванні руйнівної енергії W зливи - аналога витримувалась умова незмінності (і деп) енергії на одиниці площі за одиницю часу і рівній тривалості натурних (t_n) і модельних (t_m) опадів, тобто

$$\left. \begin{array}{l} W = \text{idem} \\ t_n = t_m \end{array} \right\} \quad (7)$$

При обґрунтуванні умов фізичного моделювання опадів за аналог була прийнята злива, що пройшла на околицях м. Житомира 15 червня 1990 року із структурою: діаметр краплин переважно 2,1 мм, середня інтенсивність 0,6 мм хв⁻¹, тривалість 17 хв.

Таблиця 1

Структура природної (аналога) і модельної зливи рівної енергії

Злива	Краплина				Злива		
	діаметр, мм	маса, кг (×10 ⁻⁵)	швидкість, м с ⁻¹	енергія, Дж (×10 ⁻³)	Інтенсивність, мм/хв	кількість крапл. за 1 хв на 1м ²	енергія, Дж за 1хв на 1м ²
Аналог (природний, м.Житомир, 15.07.90р.)	2,7	1,0	7,0	24,5	0,6	60600	14,7
Модельний (дошувальна установка)	3,8	2,8	3,9	21,0	2,0	70128	14,7

У розрахунку модельної і природної зливи за одиницю часу на одиниці площі W використовувалися залежності:

$$W = W_k N; \quad (8)$$

$$N = \frac{I \cdot S}{V}; \quad (9)$$

$$W_k = \frac{m \cdot v^2}{2}; \quad (10)$$

$$m = 10^{-5} \frac{\pi d^3}{\delta} \cdot v; \quad (11)$$

де W - енергія зливи на одиниці площі за одиницю часу, Дж; W_k - енергія краплини, Дж; N - кількість краплин, що випадають за одиницю часу на одиниці площі; I - інтенсивність зливи, мм хв⁻¹; V - об'єм краплини, мм³; S - площа дощування, мм²; m - маса краплини, кг; v - швидкість падіння краплини, м с⁻¹; δ - густина води (=1).

Проведені розрахунки (табл.1) обґрунтовують методичне рішення по моделюванню зливових опадів в польових умовах для завдань вивчення міграції радіонуклідів при зливовому стоці. Основна умова завдання (7) забезпечується відповідністю енергії модельної зливи і зливи-аналога.

Штучне дощування проводиться на площадках (схилових ділянках) в 1м². Вода витікає через мікроотвори у верхній частині трубок, розміщених на висоті 1,5м над поверхнею. Струмені спрямовані вгору під кутом. На висоті 1,7 - 2,0 м втрачається швидкість і струмені розсікаються на краплини, котрі у вільному падінні на поверхню набувають енергію зливи. Висота струменя (напор) визначає інтенсивність дощу. Живлення водою трубок (дошувачів) проводиться з ємкості з контрольною прозорою трубкою вмонтованою за типом посудини Маріотта. На трубці реєструється кількість опадів, що випали. Ємкість розміщується вище за рівнем над ділянкою, що забезпечує напор, її з'єднують з установкою через з'єднувач шлангом. Облік поверхневого стоку проводиться об'ємним методом. Продукти поверхневого стоку (суспензії) відбираються в ємкість через лоток, вмонтований у нижньому краю ділянки, і розділяються на рідку і тверду фази стоку шляхом фільтрування з подальшою спектрометрією на визначення в них концентрації радіонуклідів.

Вивчення змиву радіонуклідів при стоці талих вод

Дослідження стоку талих вод проводять виходячи із загального рівняння водного балансу елементарної ділянки угідь, забрудненої радіонуклідами. Складові водного балансу визначають гідродинаміку ерозійного процесу:

$$Wc + Wл + P = S + I + Wп \quad (12)$$

де Wc - запас вологи в снігу перед сніготаненням; $Wл$ - те ж в льодовій кірці; $Wп$ - те ж в активному шарі ґрунту; P - опади за період стоку; I - інфільтрація в ґрунт.

Методи розрахунку водного балансу традиційні. Рівняння водного балансу використовується за період часу від сніготанення до закінчення стоку. Техніка експерименту достатньо інформативно описана раніше (М.Й.Долгілевич, Г.І.Васенков 1990).

Стокові ділянки розміщують в типових ґрунтово-ландшафтних умовах на забрудненій території виходячи із завдань експерименту. На ділянках проводять регулярні спостереження за опадами, температурою, запасами води в сніговому покриві, вологістю ґрунту, стоком води і наносів традиційними методами.

Міграцію (злив) радіонуклідів досліджують по визначенню їх концентрації в поверхневому шарі ґрунту і продуктах стоку з розділенням їх на рідку і тверду фази.

Наші дослідження показали, що злив радіонуклідів стоком талих вод менший ніж при ливневих опадах. Коефіцієнти змиву $Cs-137$ в розчиненому стані на порядок менші ніж при ливневому стоці. Формування поверхневого стоку при сніготаненні відбувається при значно нижчих температурах ніж при дощовому, і при промерзломому ґрунті. Такі умови змінюють сорбційно-десорбційну рівновагу в напрямку сорбованого стану радіонукліда і утруднення вносу з твердою фазою стоку. Зменшується злив радіоцезію як в розчині так і на часточках ґрунту. Така закономірність характерна для орних агрофонів. На лісових ділянках, поверхневий шар складений із лісової підстилки і опаду, де сконцентровані основні запаси радіонуклідів. Його концентрація в розчиненому вигляді при стоці досягає 8 - 10 % від загального змиву, що значно переважає аналогічну частку нукліда, який переходить із дерново-підзолистого ґрунту в воду на оранці 2 - 3 %. Тому в експерименті по вивченню змиву радіонуклідів при стоці талих вод на лісових ділянках необхідне фракціонування продуктів стоку по рідкій, і твердій фазі з виділенням органічних залишків підстилки і опаду, що змиваються.

Таким чином, викладені методики вивчення змиву радіонуклідів дозволяють досліджувати закономірності та кількісні параметри їх горизонтальної міграції.

Література:

1. М.И.Долгілевич, Г.И.Васенков. Миграция радионуклидов на сельскохозяйственных водосборах притоков Днепра. - В сб.: Проблема экологической оптимизации землепользования и водохозяйственного строительства в бассейне р. Днепр.- СОПС АН Украины, Вып.1, часть I. - Киев, 1992, с. 108-112.
2. В.А.Борзилов и др. Экспериментальное исследование смыва радионуклидов, выпавших на почву в результате аварии на ЧАЭС. - Метеорология и гидрология, 1988, №11. - с. 43-53.
3. А.В.Коноплев, А.А.Булгаков, И.Г.Шкуратова. Миграция в почве и поверхностный сток некоторых радиоактивных продуктов в зоне Чернобыльской АЭС. - Метеорология и гидрология, 1989., №6. - с. 119-121.
4. Г.І.Васенков, Я.М.Боднарук, О.С.Поліщук. Радіоекологічна оцінка поверхневого стоку талих вод на сільськогосподарських угіддях Полісся України. - Вісник аграрної науки, №8. - с.31-33.
5. В.М.Ивонин, В.М.Уваров, Г.И.Васенков. Полумодельные исследования в противозерозионной агролесомелиорации. - Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 1982, №6. - с. 53-55.
6. Е.А.Гаршинев, Г.И.Васенков. Методические основы моделирования эрозионно-аккумулятивного процесса при стоке талых вод в полевом эксперименте. - Науч. тр. ВНИАЛМИ, 1987, вып 11(90). Агрлесомелиорация и интенсификация земледелия по природным зонам страны, с. 125-132.
7. М.И.Долгілевич, Г.И.Васенков. Вопросы методологии исследования миграции радионуклидов в ландшафтах Полесья. - В сб.: Проблемы сельскохозяйственной радиоэкологии - пять лет спустя после аварии на Чернобыльской АЭС. (Тез. докл. региональной научно-практической конференции). Житомир, 1994, с. 30-35.

Васенков Григорій Іванович - кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри ґрунтознавства і землеробства Державної агроекологічної академії України.

Наукові інтереси: закономірності прояву водно-ерозійних процесів, радіоекологія.

Поліщук Олег Євгенійович - аспірант кафедри ґрунтознавства і землеробства Державної агроекологічної академії України.

Наукові інтереси: міграція радіонуклідів при водно-ерозійних процесах.