

**О. В. Іваненко**  
Інститут агроєкології і природокористування НААН України

**О. В. Тогачинська**

к. с.-г. н.

**О. В. Ничик**

к. т. н.

Національний університет харчових технологій

**Т. М. Тимощук**

к. с.-г. н.

Житомирський національний агроєкологічний університет

## **ВПЛИВ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ СОЇ НА ВМІСТ РУХОМИХ ФОРМ ФТОРУ У СІРОМУ ОПІДЗОЛЕНОМУ ГРУНТІ**

*Наведено результати досліджень щодо впливу технологій вирощування сої на вміст лугорозчинної, кислоторозчинної та водорозчинної форм фтору у сірому опідзоленому ґрунті. Представлені різні дози внесення мінеральних добрив при вирощуванні сої, які*

---

© О. В. Іваненко, О. В. Тогачинська, О. В. Ничик, Т. М. Тимощук

впливають на накопичення рухомих форм фтору в акумулятивних шарах і міграція їх за профілем ґрунту. Визначено коефіцієнти концентрації і проведено екологічне оцінювання сірого опідзоленого ґрунту за показниками акумуляції і міграції форм фтору в ґрунті.

**Ключові слова:** водорозчинна, кислоторозчинна, лугорозчинна форми фтору, агротехнології, соя, коефіцієнти концентрації, сірий опідзолений ґрунт.

### **Постановка проблеми**

Контроль за станом забруднення ґрунтів фтором здійснюється за вмістом як валових так і рухомих форм. Але певна частина фтору у ґрунтах знаходиться у формі малорозчинних сполук. Найбільшою мірою беруть участь у процесах, які відбуваються в системі «ґрунт-добриво-рослина» рухомі форми, зокрема водорозчинні, лугорозчинні і кислоторозчинні форми фтору. Тому постійне використання мінеральних добрив призводить до збільшення кількості рухомих форм фтору у ґрунтах, який може легко вилугуватись із ґрунтів, створюючи при цьому загрозу для поверхневих вод [3, 4, 7].

Науково доведено, що фтор через ґрунт потрапляє в воду і рослини. Поглинання фтору рослинами залежить від фізико-хімічних властивостей ґрунту, концентрації фторидів, гранулометричного складу, типу ґрунту. Розчинні форми фтору поглинаються пасивно і легко потрапляють в вегетативні і генеративні органи рослин, погіршуючи при цьому якість сільськогосподарської продукції [4, 7].

### **Аналіз останніх досліджень**

Більшість ґрунтів України використовуються в сільськогосподарському виробництві, в результаті чого застосування мінеральних добрив і засобів захисту впливають на акумуляцію і міграцію токсичних речовин у ґрунті, зокрема рухомих форм фтору. За результатами наукових досліджень встановлено, що з мінеральними добривами, особливо з фосфорними у ґрунт може надходити від 1 до 20 кг/га фтору, в результаті чого змінюються фізико-хімічні властивості ґрунту і підвищуються процеси активізації, міграції і транслокації його в екосистемі.

Поведінка фтору в ґрунтах вивчалась багатьма дослідниками. Його вміст у ґрунтах є різним, це насамперед залежить від родючості ґрунту, величини рН середовища і концентрації кальцію і фосфору в ґрунті. Найбільша адсорбція фтору мінеральними компонентами ґрунтів відмічається в інтервалах рН ґрунтового середовища від 6 до 7 [1, 2, 6–8].

Питаннями вивчення впливу різних систем удобрення на процеси акумуляції і міграції форм фтору у ґрунтовій екосистемі займалися Халітов А. Х., Сдобнікова О. В., Мінеєв В. Г., Ліщук А. М., Макаренко Н. А. та ін. Однак, інформація щодо цих питань носить фрагментарний характер, потребує уточнення, аналізу і узагальнення.

### Мета, завдання та методика досліджень

Метою досліджень було вивчених впливу систем удобрення сої на процеси акумуляції і міграції водорозчинних, лугорозчинних і кислоторозчинних форм фтору у сірому опідзоленому ґрунті та проведення екологічного оцінювання ґрунту. Сівозмінна дослідного поля була короткоротаційна: на полі № 1 висівали пшеницю яру, на другому полі – ріпак ярий і на третьому – сою. Агротехніка вирощування сої сорту Київська 98 загальноприйнята для цієї зони. Дослідження проводили за такими варіантами: контроль – без добрив,  $N_{40}P_{60}K_{60}$ ,  $N_{20}P_{80}K_{30}$ ,  $N_{10}P_{10}K_{10}$ .

Об'єктом дослідження було вивчення акумуляційних і міграційних процесів рухомих форм фтору у сірому опідзоленому ґрунті при різних системах удобрення сої.

*Предметом досліджень* є ґрунт сірий опідзолений супіщаний слабоглейоватий на перемитій карбонатній супіщаній морені з такою характеристикою 0–20 см орного шар ґрунту, основних агрохімічних показників: рН – 5,4–6,1 у.о., вміст загального гумусу – 1,2–1,5 (за Тюріним), рухомого фосфору – 150–200 мг/кг (за Кірсановим), обмінного калію 170–220 мг/кг (за Кірсановим). Зразки ґрунту було відібрано одночасно з рослинними зразками, пошарово через 20 см до глибини 100 см.

У лабораторних умовах вміст рухомих форм фтору у ґрунті проводили у відділі агроекологічного моніторингу Інституту агроекології і природокористування методом хроматографії у тонкому шарі сорбенту з попередньою екстракцією зразків 1,0N HCL [10].

Статистичну обробку отриманих експериментальних даних проводили методом дисперсійного аналізу за допомогою прикладних комп'ютерних програм [9].

### Результати дослідження та їх обговорення

Застосування норм добрив призвело до підвищення водорозчинного і лугорозчинного форм фтору в акумулятивних шарах ґрунту, що відповідно становили в межах 1,45–6,45 мг/кг і 1,4–4,25 мг/кг. За результатами дослідження було також відмічено, що вміст водорозчинної форми фтору в орному шарі переважав над вмістом лугорозчинної форми фтору і складав на контрольному варіанті відповідно 6,45–4,2 мг/кг (рис. 1, 2).

Найменші концентрації фтору відмічено у кислоторозчинній формі, вміст його коливався в межах на всіх варіантах удобрення 1,3–2,5 мг/кг (рис. 3).

Сірий лісовий ґрунт характеризувався значним зниженням водорозчинної і лугорозчинної форм фтору вниз за профілем ґрунту на всіх варіантах удобрення, де концентрація ВФФ у шарі 80–100 см становила 1,7 мг/кг, у шарі 0–20 см його вміст становив 6,4 мг/кг, а вміст ЛФФ у шарі 40–60 см – 3,10 мг/кг, у шарі 0–20 см – 4,2 мг/кг (рис. 1, 2). Це пояснювалося поступовим вилуговуванням

концентрацій фтору з глибини 20–40 см, що призводило до зниження його вмісту в нижніх шарах ґрунту (80–100 см), порівняно з контролем (рис. 1, 2).

Тому з отриманих результатів видно, що внесення певних норм мінеральних добрив значно вплинуло на накопичення водорозчинної і лугорозчинної форм фтору і зниження концентрації кислоторозчинної форми фтору в сірому лісовому ґрунті (рис. 1, 2, 3).

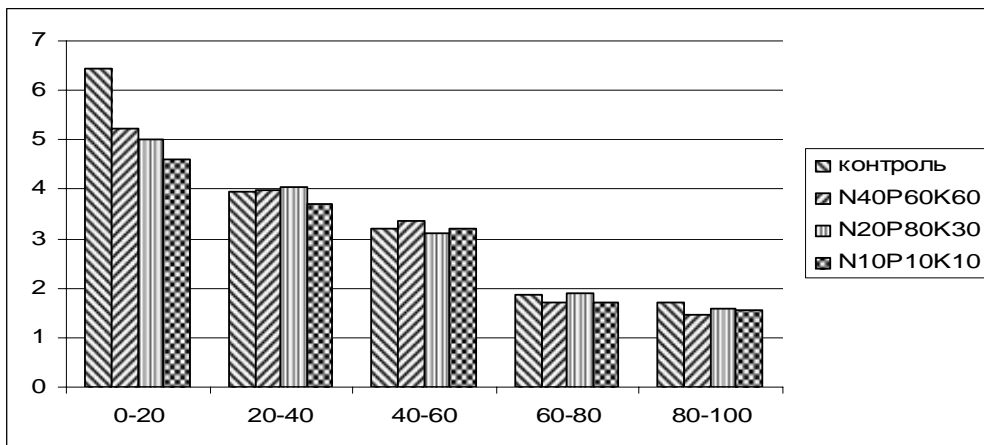


Рис. 1. Вміст водорозчинної форми фтору у ґрунті при вирощуванні сої, середнє за 2003–2006 рр. (НІР  $0,5, \text{мг/кг}$  –  $0,29 \text{ мг/кг}$ )

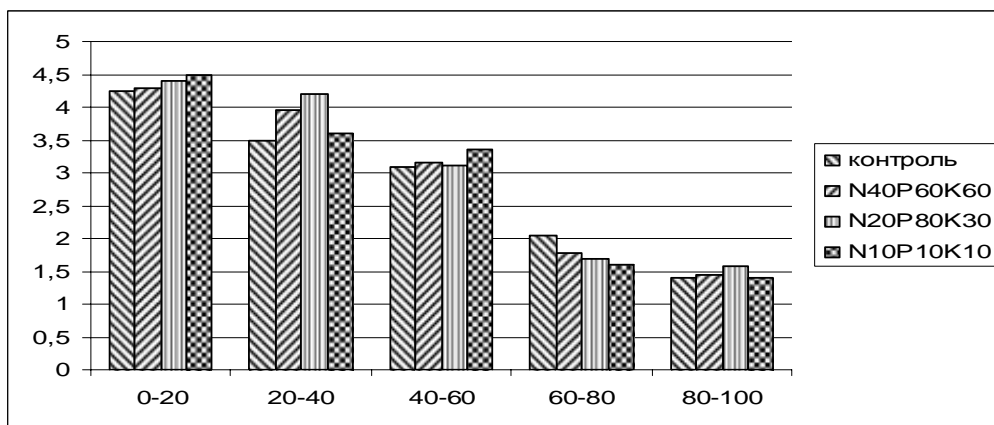


Рис. 2. Вміст лугорозчинної форми фтору у ґрунті при вирощуванні сої, середнє за 2003–2006 рр. (НІР  $0,5, \text{мг/кг}$  –  $0,31 \text{ мг/кг}$ )

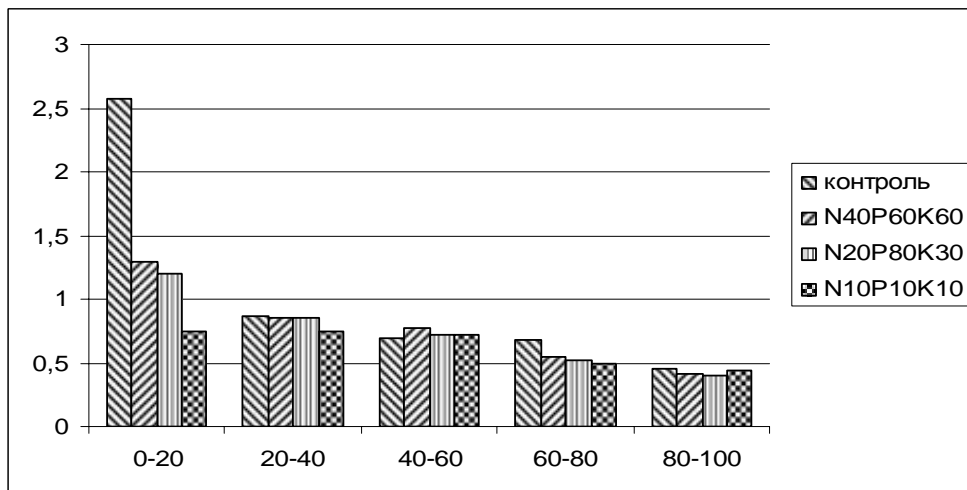


Рис. 3. Вміст кислоторозчинної форми фтору у ґрунті при вирощуванні сої, середнє за 2003–2006 рр. (НІР<sub>0,5, мг/кг</sub> – 0,28 мг/кг)

Екологічне оцінювання проводили за коефіцієнтом концентрації катіонів у генетичних горизонтах ґрунту, який характеризує рівень накопичення рухомих форм фтору у ґрунті відносно контролю:

$$K_c = k_i / K_i,$$

де:  $k_i$  – вміст і-того хімічного елемента у  $n$  – компоненті,  $K_i$  – вміст і-того хімічного елемента в еталоні (контролі).

Величина коефіцієнта концентрації свідчить про активність процесів вилугування ( $K_c < 1$ ) або накопичення ( $K_c > 1$ ) катіонів у генетичних горизонтах ґрунту. За величиною концентрації існує градація, наведена у таблиці 1.

Таблиця 1. Нормативи оцінювання екологічного стану ґрунту за показниками вертикальної міграції шкідливих речовин [5]

Екологічний стан	Клас	Коефіцієнт концентрації $K_c$	
		нагромадження ( $K_c > 1$ )	вилугування ( $K_c < 1$ )
Незадовільний	I	$K_c \geq 1,25$	$0,75 \geq K_c$
Задовільний	II	$1,25 > K_c > 1,1$	$0,9 > K_c > 0,75$
Нормальний	III	$1,1 > K_c > 1,0$	$1,0 > K_c > 0,9$
Оптимальний	IV	$K_c = 1,0$	$K_c = 1,0$

Міграція важких металів може бути небезпечною у випадку їх вимивання за межі ґрунтового профілю і надходження у ґрунтові води. Оцінити потенційну небезпеку цього процесу можливо за показниками  $K_c$  у горизонтах, які є

перехідними до материнської породи (Ih та Pk) і залягають на глибині 1 м і глибше. Тому, потенційну небезпеку технологій вирощування сої для ґрунтових вод проводили за  $K_c$  для шару 80–100 см, що відповідає переходу ілювіального горизонту до материнської породи.

Було проведено екологічне оцінювання сірого опідзоленого ґрунту за коефіцієнтом концентрації рухомих форм фтору за різних систем удобрення сої.

Процеси міграції водорозчинної, лугорозчинної і кислоторозчинної форми фтору при певних технологіях вирощування сої оцінювали за результатами аналізу їх розподілу у профілі сірого лісового ґрунту (табл. 1). Коефіцієнти концентрації показали, що системи удобрення мали значний вплив на перерозподіл ВФФ, ЛФФ у різних шарах ґрунту. У варіантах, де застосовували мінеральні добрива, мало місце нагромадження лугорозчинної форми фтору, де коефіцієнти концентрації досягали рівня 1,0–1,2 ( $N_{40}P_{60}K_{60}$ ,  $N_{20}P_{80}K_{30}$ ,  $N_{10}P_{10}K_{10}$ ), які характеризували нормальний екологічний стан. Це свідчило про процеси активізації фтору у орному і підорному шарах ґрунту. Крім того,  $K_c$  ВФФ і ЛФФ (шар 60–80, 80–100 см) становили в межах 0,8–0,92 у.о, які відображали нормальний екологічний стан. Це дозволило припустити, що в таких умовах відбувалося вилуговування фтору у генетичні горизонти ґрунту, яке в свою чергу могло сприяти забрудненню ґрунтових вод (табл. 1, 2). Відбувалася активізація кислоторозчинного фтору в орному та підорному шарах ґрунту і спостерігався рівномірний розподіл його по всій глибині, оскільки коефіцієнти концентрації КФФ на всіх варіантах удобрення в шарі 0–20 становили в межах 0,44–0,95 у.о.

Таблиця 2. Вплив технологій вирощування сої на концентрацію форм фтору у профілі сірого лісового ґрунту, середнє за 2003–2006 рр.

Варіанти дослідів	Глибина, см					Екологічний стан ґрунту
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100	
Коефіцієнт концентрації водорозчинної форми фтору						
$N_{40}P_{60}K_{60}$	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	оптимальний
$N_{20}P_{80}K_{30}$	0,77	1,02	0,96	1,01	0,9	нормальний
$N_{10}P_{10}K_{10}$	0,71	0,93	1	0,90	0,9	нормальний
Коефіцієнт концентрації лугорозчинної форми фтору						
$N_{40}P_{60}K_{60}$	1,0	1,1	1,0	0,85	1,0	оптимальний
$N_{20}P_{80}K_{30}$	1,0	1,2	1,0	0,82	0,94	нормальний
$N_{10}P_{10}K_{10}$	0,95	1,02	1,08	0,78	0,90	нормальний
Коефіцієнт концентрації кислоторозчинної форми фтору						
$N_{40}P_{60}K_{60}$	0,5	0,9	1,0	0,8	1,0	оптимальний
$N_{20}P_{80}K_{30}$	0,46	0,97	1,02	0,96	1,08	нормальний
$N_{10}P_{10}K_{10}$	0,29	0,9	1,02	0,92	1,1	нормальний

Таким чином, дослідженнями було встановлено, що мінеральна система удобрення може бути причиною нагромадження рухомих форм фтору у верхніх горизонтах ґрунту, а також сприяти їх міграції вниз за ґрунтовим профілем і створювати потенційну загрозу забруднення ґрунтових воді.

### Висновки та перспективи подальших досліджень

Таким чином доведено, що на акумуляцію і міграцію водорозчинної, лугорозчинної і кислоторозчинної форм фтору впливають певні дози мінеральних добрив. Так, на варіантах:  $N_{40}P_{60}K_{60}$ ,  $N_{20}P_{80}K_{30}$  відмічено підвищений вміст рухомих форм фтору в акумулятивних шарах ґрунту (0–20, 20–40 см). Суттєвий міграційний процес водорозчинного і лугорозчинного форм фтору спостерігався вниз за профілем сірого лісового ґрунту з глибини 40–60 см, у результаті чого відбувалося поступове вилуговування фтору і тим самим сприяло забрудненню поверхневих вод.

При внесенні мінеральних добрив у нормі  $N_{40}P_{60}K_{60}$ ,  $N_{20}P_{80}K_{30}$ ,  $N_{10}P_{10}K_{10}$  концентрація кислоторозчинної форми фтору підвищувалася не суттєво і розподіл його за профілем спостерігався рівномірним. Оскільки процес підзолювання в сірому лісовому ґрунті протікав повільніше, тому кислоторозчинна форма фтору сорбувалася повільно і при цьому органічні кислоти (фульвокислоти) були здатні зв'язувати КФФ.

Встановлено, що мінеральна система удобрення сої може бути причиною нагромадження рухомих форм фтору у верхніх горизонтах ґрунту, а також призводити до їх міграції вниз за ґрунтовим профілем і створювати потенційну загрозу забруднення ґрунтових вод, оскільки коефіцієнти концентрації ВФФ і ЛФФ у шарі 80–100 см становили в межах 1,0–1,15 у.о.

Подальші дослідження слід зосередити на вивченні транслокації переходу рухомих форм фтору з ґрунту в вегетативні та генеративні органи сільськогосподарських культур.

### Література

1. Жовинский Э. Я. Геохимия фтора / Э. Я. Жовинский, И. В. Кураева. – К., 1967. – 160 с.
2. Крупкин П. И. Пути рационального использования почв, загрязненных фтором / П. И. Крупкин // Агрехимия. – 2005. – № 3. – С. 79–87.
3. Лицук А. М. Екотоксикологічна оцінка ґрунтів України за вмістом фтору при застосуванні мінеральних добрив / А. М. Лицук // Наук. вісн. НАУ. – 2003. – Вип. 64. – С. 233–237.
4. Лицук А. М. Екотоксикологічна оцінка небезпечності фтору залежно від ґрунтово-кліматичних умов та застосування добрив: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.00.16 – екологія / А. М. Лицук. – К., 2004. – 16 с.
5. Методичні рекомендації „Екологічна експертиза технологій вирощування сільськогосподарських культур” / за ред. Н. А. Макаренко, В. В. Макаренко. – К., 2008. – 84 с.
6. Перельман А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман. – М., 1975. – 341 с.
7. Танделов Ю. П. Фтор в системе почва – растение / Ю. П. Танделов; под ред. В. Г. Минеева. – 2-е изд., перераб и доп. – Красноярск, 2012. – 146 с.

8. Чупрова В. В. Экологическое почвоведение / В. В. Чупрова. – Красноярск : КрасГАУ, 2007. – 172 с.

9. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

10. Методичні вказівки щодо визначення Hg, Zn, Ni, Co, Cd, Cu в ґрунті, рослинах, воді методом тонкошарової хроматографії / В. М. Кавецький, Н. А. Макаренко, А. М. Ліщук [та ін.] // Методические указания по определению пестицидов в пищевых продуктах, кормах и внешней среде. – К., 2001. – № 29. – С. 18–23.

---