

УДК 504.064.3 (477)

Л.Д. РОМАНЧУК, заступник директора Науково-дослідного інституту  
регіональних екологічних проблем  
Житомирський національний агроекологічний університет

## ОСОБЛИВОСТІ НАКОПИЧЕННЯ $^{129}\text{I}$ ТА ЙОГО МІГРАЦІЯ В ҐРУНТАХ ПІВНІЧНОЇ УКРАЇНИ

Тривалоіснуючий радіонуклід  $^{129}\text{I}$  ( $T_{1/2}=15,7 \cdot 10^6$  років,  $E_{\beta\text{max}}=0,2$  MeV,  $E_{\gamma}=39,58$  KeV,  $I_{\gamma}=0,0752$ ) утворюється в природі завдяки індукованому космічному опроміненню розпаду ксенону в атмосфері та спонтанному розщепленню у геосфері. Встановлено, що загальна природна кількість  $^{129}\text{I}$  в літосфері становить

• Антропогенний  $^{129}\text{I}$  потрапляє в кругообіг йоду в навколишньому середовищі та змінює природні ізотопні кількості йоду.

50000 кг (327 ТБк), з цієї кількості лише 263 кг (1,7 ТБк) знаходяться у вільному стані в атмосфері, гідросфері та біосфері, змішуючись зі стабільним  $^{127}\text{I}$  [3, 9]. Природні кількості  $^{129}\text{I}$  постійно змінювались через викиди йоду в навколишнє середовище в результаті антропогенної діяльності.  $^{129}\text{I}$  антропогенного походження утворюється в першу чергу як результат розщеплення  $^{235}\text{U}$  та  $^{239}\text{Pu}$  з ізобаричними потужностями розщеплення, індукованого термальними нейтронами 0,68 % і 1,6 % відповідно. Йод утворюється при термальній розщепленні  $^{235}\text{U}$  з ізотопними співвідношеннями  $^{131}\text{I}/^{129}\text{I}$ , що дорівнюють 3,82 та  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ , що дорівнюють 6,06 [8, 9]. Було підраховано, що кількість  $^{129}\text{I}$ , який потрапив у навколишнє середовище в результаті вибухів ядерної зброї, коливається між 43 кг (0,28 ТБк) та 150 кг (0,98 ТБк) [1, 7].

А. Шмідт та інші (1998р.) встановили, що в результаті Чорнобильської аварії у навколишнє середовище потрапило менше 2 кг (0,013 ТБк)  $^{129}\text{I}$ . Більша кількість  $^{129}\text{I}$  антропогенного походження в довкіллі пояснюється викидами переробних заводів. Наприклад, близько 3500 кг (23 ТБк)  $^{129}\text{I}$  потрапило у навколишнє середовище з переробних заводів Європи до 2000 р., 70 % з цієї кількості припадає на переробний завод в Гаазі [6]. Із всієї кількості  $^{129}\text{I}$ , що потрапив у навколишнє середовище з Гаазького заводу, 97 % припадає на рідкі випадіння, і тільки на Селлафільдському заводі рідких викидів було 85%. Велика кількість антропогенного  $^{129}\text{I}$  все ще знаходиться у відпрацьованому ядерному паливі. Як підраховано, в 1990 р. його було 5660 кг (37 ТБк) [8, 9]. Є мало інформації щодо викидів у навколишнє середовище на американських військових переробних заводах, практично не існує жодних публікацій про аналогічні заводи в колишньому СРСР та інших східних країнах [8].

Антропогенний  $^{129}\text{I}$  потрапляє в кругообіг йоду в навколишньому середовищі та змінює природні ізотопні кількості йоду. Природні співвідношення  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ , в океанічному шарі, що змішується, були змінені у всьому світі на 2 порядки приблизно  $1,5 \times 10^{-12}$  та в межах 10-10 в регіонах, віддалених від міських, де траплялись ці викиди, та на цілі порядки у бік збільшення в районах, близьких до джерел викидів [4, 8]. І хоча ці зміни мають безпосереднє відношення до радіології лише в регіонах, що розташовані в безпосередній близькості до переробних заводів, їх слід ретельно моніторити, а потенціал

$^{129}\text{I}$  як антропогенного ізотопного маркера процесів, що відбуваються в навколишньому середовищі, має бути використаний повністю. Це потребує детального розуміння базових значень доатомної ери, антропогенних змін, радіоекології  $^{129}\text{I}$  та його хімії. І все ж радіоекологія  $^{129}\text{I}$  все ще недостатньо зрозуміла через аналітичні і методологічні проблеми [1, 8]. Були проведені систематичні дослідження для того, щоб створити надійні аналітичні протоколи для проведення аналізу  $^{129}\text{I}$  в різних матеріалах навколишнього середовища, для того щоб заповнити окремі пробіли в наших знаннях з радіоекології  $^{129}\text{I}$  [2, 8, 5].

Аналіз  $^{129}\text{I}$  у зразках з навколишнього середовища, зокрема в ґрунтах, дає можливість провести ретроспективну дозиметрію радіоактивного опромінювання, викликаного короткоживучими ізотопами йоду, такими як  $^{131}\text{I}$ , через довгий час після того, як радіонукліди були викинуті в навколишнє середовище в результаті різного роду аварій. Існує декілька вимог щодо того, як можна провести ретроспективну дозиметрію  $^{129}\text{I}$ , який потрапив в навколишнє середовище в результаті аварії не повинен був зникнути з аналізованих ґрунтових горизонтів через міграцію в більш глибокі шари ґрунту, його слід відрізнити від радіоактивних опадів, які потенційно мали місце до аварії. І нарешті, радіоекологічне моделювання для виявлення зв'язку між щільністю випадіння  $^{131}\text{I}$ , яка прораховується по щільності випадіння  $^{129}\text{I}$ , та дозою, яку отримує щитовидна залоза, має бути абсолютно надійним.

Математична модель для ретроспективної дозиметрії опромінення  $^{131}\text{I}$  через дані по  $^{129}\text{I}$  представлена наступним рівнянням:

$$H_{\text{нш}} = (D(^{131}\text{I}) - D_{\text{нш}}(^{129}\text{I})) \frac{A_{131}}{A_{129}} DF(^{131}\text{I}) f(t)$$

де  $H_{\text{нш}}$  – очікувана еквівалентна доза в щитовидній залозі (в Зв.);  
 $D(^{129}\text{I})$  – інтегральна щільність  $^{129}\text{I}$  на досліджуваній ділянці (в Бк/м<sup>2</sup>);  
 $D_{\text{нш}}(^{129}\text{I})$  – інтегральна щільність  $^{129}\text{I}$  в дочорнобильських опадах (в Бк/м<sup>2</sup>);  
 $A_{131}/A_{129}$  – співвідношення рівня радіоактивності  $^{129}\text{I}$  і  $^{131}\text{I}$  під час аварії;  
 $DC_{31}$  – коефіцієнт сукупної дози опромінення щитовидної залози  $^{131}\text{I}$  за одне ядерне перетворення в процесі звільнення радіації (Зв. Бк/м<sup>2</sup>), вирахований за допомогою радіоекологічної моделі;  
 $f(t)$  – коефіцієнт, який пояснює розпад  $^{131}\text{I}$  в проміжку між аварією та його попаданням на місцевість, що піддається опроміненню.

У принципі,  $^{129}\text{I}$  в рівнянні міг би бути замінений іншими радіонуклідами, такими як  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$ , якби емісія та атмосферний транспорт були б гомогенними, як у випадку з випадінням радіоактивних опадів у результаті випробування ядерної зброї в світі. У випадку з Чорнобильською аварією різні елементи були видозмінені хімічно під час вибуху та наступних емісій,

вони видозмінювались і в подальшому в залежності від атмосферної міграції в тропосфері у вигляді радіоактивних шлейфів з різними складами елементів.

Метою дослідження було визначення концентрації йоду-129 та його міграція в глибоких профілях в ґрунтах північної частини України.

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження концентрації  $^{129}\text{I}$  та міграції його профілю ґрунту в північних районах України проводили в 47 населених пунктах Народницького, Коростенського та Овруцького районів Житомирської області та деяких населених пунктах Київської області. Зразки ґрунту відбирали в п'яти точках у кожному населеному пункті, на початку, всередині та в кінці села. Глибина відбору ґрунту становила 40 сантиметрів.

Глибокі профілі відбирали в трьох населених пунктах північних районів Житомирщини, які були відселені в перші дні після аварії на ЧАЕС. Глибокі профілі відбирали на глибину до 2-х метрів по шарах горизонтів. Після визначення ваги ґрунту його висушували при кімнатній температурі, розмелювали в спеціальних млинках, потім просіювали через сито з діаметром отворів 2 мм.

Зразки піддавалися аналізу на вміст  $^{129}\text{I}$  за допомогою радіохімічного аналізу нейтронної активації та ексалераційної мас-спектрометрії в центрі радіаційного захисту та радіоекології Ганноверського університету (Німеччина). Загальні значення повних аналізів  $^{129}\text{I}$  були встановлені за допомогою йоду Вудварда, який використовувався як уловлювач мікроелементів. Виявилось, що радіохімічний метод нейтронної активації підходить лише для виявлення  $^{129}\text{I}$  у верхньому шарі ґрунту, а для більш глибоких шарів ґрунту  $^{129}\text{I}$  можна визначати за допомогою АМС.

**Результати досліджень.** Оскільки концентрація  $^{129}\text{I}$  в зразках з навколишнього середовища, зокрема в ґрунтах, дає змогу провести ретроспективну дозиметрію радіоактивного опромінювання, спричиненого короткоживучими ізотопами йоду, такими як  $^{131}\text{I}$ , через довгий час після того, як радіонукліди були викинуті в навколишнє середовище в результаті різного роду аварій, тому наші дослідження присвячені саме визначенню концентрації  $^{129}\text{I}$  та міграції його в ґрунтах Північної України, яка постраждала внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Місця відбору зразків ґрунту в 47 населених пунктах показано на рис. 1.

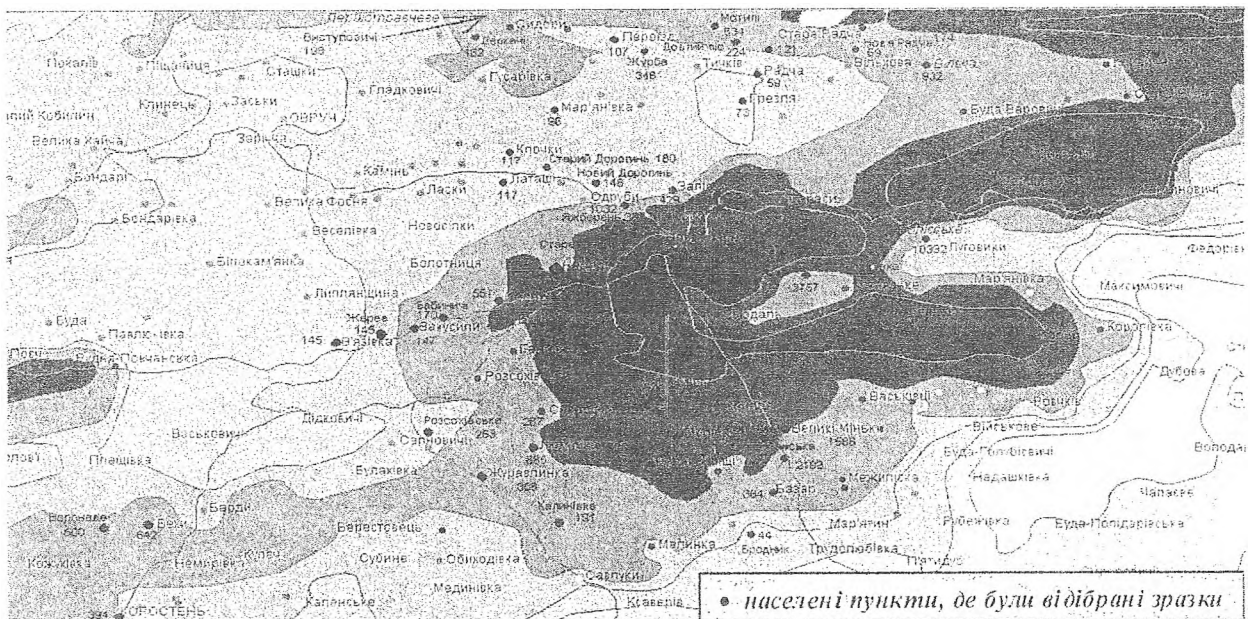


Рис.1. Карта відбору зразків у 47 населених пунктах Північної України

Ділянки, на яких проводився відбір зразків, охоплюють територію, що постраждала від випадіння радіоактивних речовин внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, а це, в переважній більшості, населені пункти, які були віднесені до 2-ої зони зі щільністю забруднення ґрунтів більше як  $555 \text{ кБк/м}^2$  ( $15 \text{ Кі/км}^2$ ) (рис.2).

За результатами досліджень щодо концентрації йоду-129 у зразках ґрунту в вищезазначених населених пунктах встановлено, що найвища його концентрація була в місті Польському –  $2060 \text{ мБк/м}^2$ , Старому Шарно –  $1281$ , Володимирівці –  $748$ , Рудні Осошні –  $748 \text{ мБк/м}^2$ . В 12-ти населених пунктах концентрація йоду-129 була в межах  $578 - 123 \text{ мБк/м}^2$ , у решті 31 населеному пунктах концентрація йоду-129 становила від  $120$  до  $44 \text{ мБк/м}^2$ .

Досліджені також глибинні зразки ґрунту ( $200 \text{ см}$ ) в трьох населених пунктах Півночі Житомирщини по міграції йо-

ду-129 по ґрунтовому профілю (рис. 3).

Вставлено, що і більше як через  $20$  років після аварії на Чорнобильській АЕС найвища концентрація  $^{129}\text{I}$  була у

профілю ( $200 \text{ см}$ ). Концентрація  $^{129}\text{I}$  в с. Журба у верхньому шарі ґрунту була в межах  $223 \text{ мБк/м}^2$  і по профілю ґрунту промігував на глибину  $150 \text{ см}$ , ґрунтові води знаходилися на глибині  $180-190 \text{ см}$ .

• Загальна природна кількість  $^{129}\text{I}$  в літосфері становить  $50000 \text{ кг}$  ( $327 \text{ ТБк}$ ), з цієї кількості лише  $263 \text{ кг}$  ( $1,7 \text{ ТБк}$ ) знаходяться у вільному стані в атмосфері, гідросфері та біосфері.

верхньому шарі ґрунту по всіх трьох глибоких профілях. Так, в селі Христинівка (неподалік річки Уж) концентрація  $^{129}\text{I}$  була в межах  $850 \text{ мБк/м}^2$  і цей ізотоп проник на глибину  $138 \text{ см}$ , а ґрунтові води залягали на глибині  $145-150 \text{ см}$ . В населеному пункті Довгий Ліс концентрація  $^{129}\text{I}$  становила  $485 \text{ мБк/м}^2$  і по профілю ґрунту його знайдено на глибині  $195 \text{ см}$ , ґрунтові води знаходилися нижче досліджуваного

**Висновки.** 1. Результати досліджень в 47 населених пунктах Північної України продемонстрували велику розбіжність у здатності ґрунтів накопичувати йод протягом тривалого періоду.

2. Найвища концентрація  $^{129}\text{I}$  була в містах Польському –  $2060 \text{ мБк/м}^2$ , Старому Шарно –  $1281$ , Володимирівці –  $748$ , Рудні Осошні –  $748 \text{ мБк/м}^2$ . В 12-ти населених пунктах концентрація

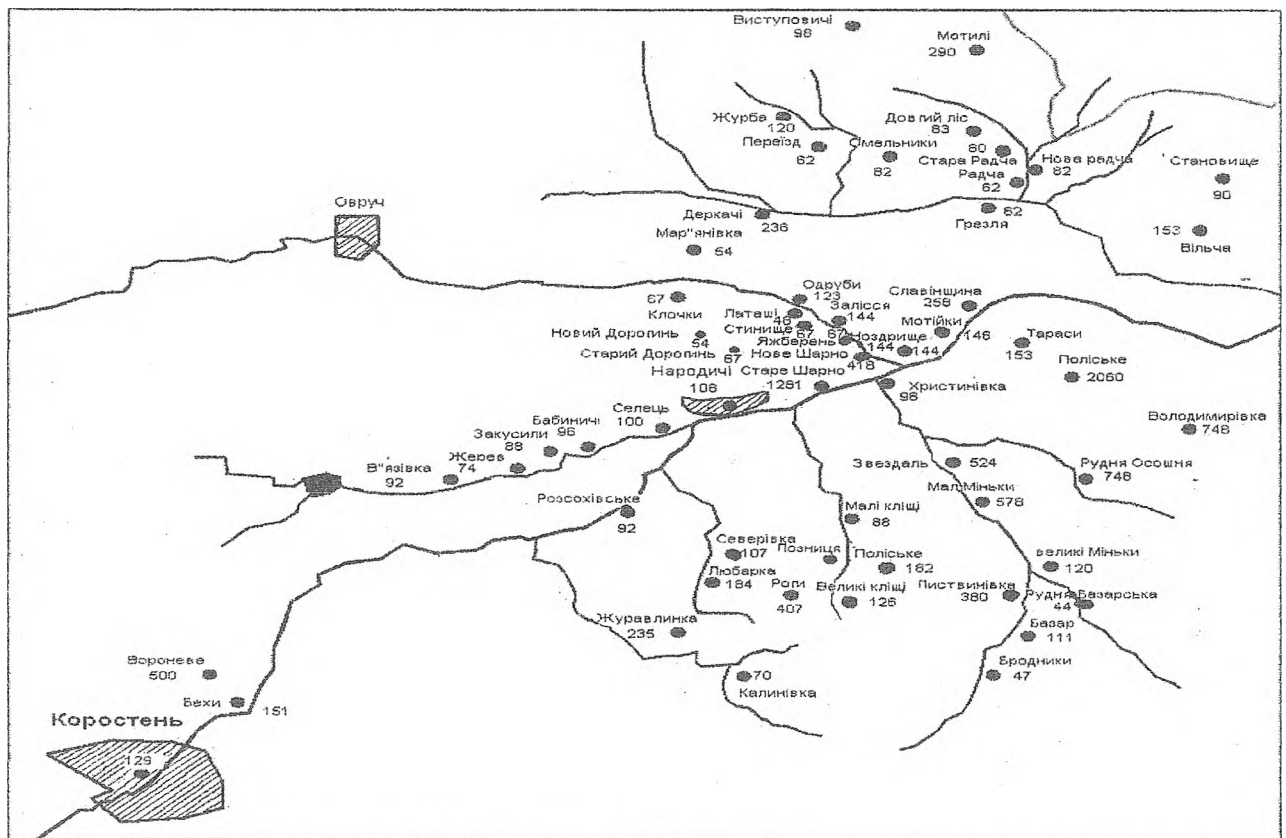
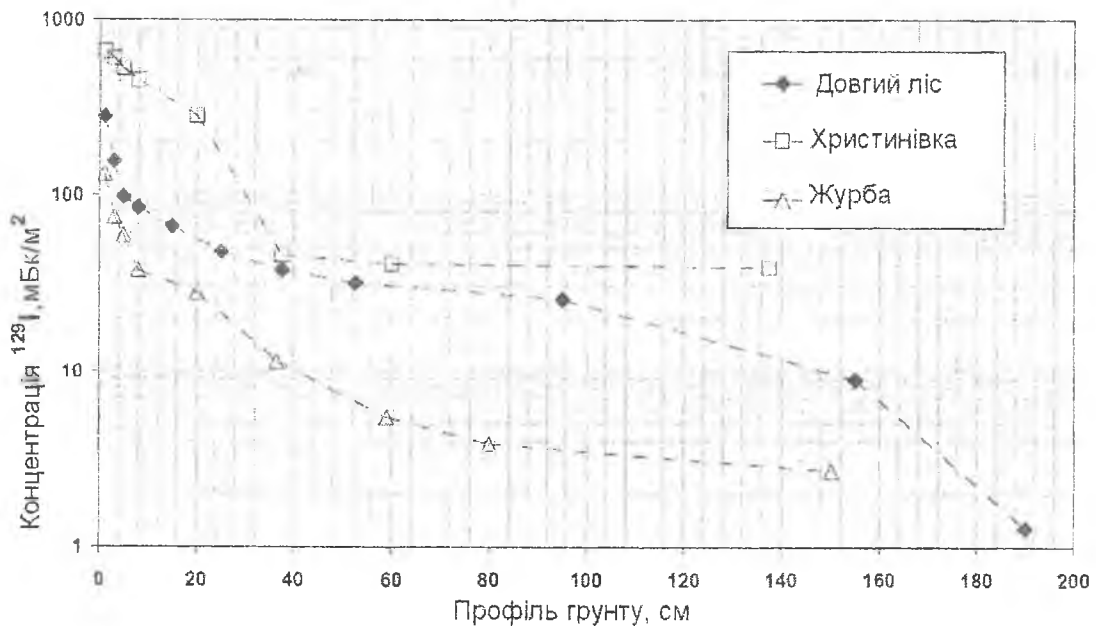


Рис. 2. Середні значення концентрацій  $^{129}\text{I}$  в 47 населених пунктах північних районів України, мБк/м<sup>2</sup>

Рис.3. Міграція  $^{129}\text{I}$  по профілях ґрунту

$^{129}\text{I}$  була в межах 578 – 123 мБк/м<sup>2</sup>, у решти 31 населеному пункті концентрація  $^{129}\text{I}$  становила від 120 до 44 мБк/м<sup>2</sup>.

3. Результати досліджень по міграції  $^{129}\text{I}$  в глибоких профілях

ґрунту показали, що найнижче, майже до 195 см, він промігрував в с. Довгий Ліс, де ґрунтові води залягають на глибині нижче двох метрів та безпосередньо впливають на ґрунтоутворення.

У перспективі було б доцільно провести дослідження по міграції цезію-137, стронцію-90, америцію по глибоких профілях ґрунту на територіях, які піддались радіоактивному забрудненню внаслідок аварії на ЧАЕС.

1. Застосування  $^{129}\text{I}$  як індикатора для реконструкції вмісту  $^{131}\text{I}$  в щитовидній залозі людини внаслідок аварії на ЧАЕС / [Миронов В., Кудряшов В., Кривомас М. та ін]. – Мінськ: Білоруська академія наук, Інститут радіобіології, 1999. – С. 534

2. Використання  $^{129}\text{I}$  та  $^{137}\text{Cs}$  в ґрунтах для оцінки розподілу  $^{131}\text{I}$  в Білорусії як наслідок Чорнобильської аварії / [Миронов В., Кудряшов В., Йоу Ф., Райсбек Г.М.] // Радіоактивність довкілля. – Мінськ. 2002. – С. 293–307.

3. Талерко Н. Реконструкція радіоактивного забруднення  $^{131}\text{I}$  в Україні, викликане Чорнобильською аварією, з використання атмосферного транспортного моделювання / Н.Талерко // Навк. середов. – К., 2004. – С. 49–67

4. Eisenbud M. Environmental Radioactivity / Eisenbud M, Gesell T.// 4th ed. San Diego – Academic Press, 1997 556 p.

5. England TR, Rider BF, 1994. ENDF-349 evaluation and compilation of fission product yields. Rep. LA-UR-94-3106.

6. Gray J. Discharges to the environment from the Sellafield Site, 1951 - 1992. // Gray J.,

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ  
Jones SR, Smith AD, J Radiol Prot 1995. – Vol. 15. – P. 99-131.

7. Michel R. Lang-fristige Entwicklung von Iod-129 in der Umwelt, Proc. Klausurtagung des Radioökologieausschusses der SSK 2001 / Michel R, Ernst T, Szidat S, Schnabel C, Synal H-A. // Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission – 2003/ – Band 49. – P. 26-56.

8. Moran J.E., Fehn U, Teng RTD. Variations in  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  ratios in recent marine sediments: evidence for a fossil organic component / Moran J.E., Fehn U, Teng RTD. // Chem Geol. – 1998. – Vol. 152. – P. 193–203.

9. Schmidt A.  $^{129}\text{I}$  und stabiles Jod in Umweltproben-Quahtatskontrolle von Analysenmethoden und Untersuchungen zur Radioökologie und zur retrospektiven Dosimetrie. – PhD thesis: University Hanover, 1998. – S.131–135.

**Особливості накопичення  $^{129}\text{I}$  та його міграція в ґрунтах Північної України**  
Л.Д. Романчук

Результати досліджень в 47 населених пунктах Північної України продемонстрували велику розбіжність у здатності

ґрунтів накопичувати йод протягом тривалого періоду. Глибокі профілі показали значні розбіжності у міграційній поведінці  $^{129}\text{I}$  по профілю ґрунту.

**Особенности накопления  $^{129}\text{I}$  и его миграция в почвах Северной Украины**  
Л.Д. Романчук

Результаты исследований в 47 населенных пунктах Северной Украины продемонстрировали большое расхождение в способности почв накапливать йод на протяжении длительного периода. Глубокие профили показали большие расхождения в миграционном поведении  $^{129}\text{I}$  по профилю почвы.

**Features of accumulation of  $^{129}\text{I}$  and his migration are in soils of North Ukraine**  
L. Romanchuk

The results of the investigation conducted in 47 settlements of the Northern Ukraine testify to a great discrepancy in the ability of soils accumulate iodine within a long period of time. Deep profiles show a great discrepancy in  $^{129}\text{I}$  migration behaviour along the soil profile.