

**Від редакції**

«Український географічний журнал» уже з другого номера 1993 р. започаткував окрему рубрику «Географія і Чорнобиль», у статтях якої висвітлюються питання, пов'язані з вивченням наслідків глобальної екологічної катастрофи техногенного походження, що сталася на Чорнобильській АЕС 26 квітня 1986 р.

Минуло 29 років з того часу, але ці питання залишаються актуальними і є предметом дослідження багатьох фахівців, серед них і географів різних установ, зокрема Інституту географії НАН України. Вони виконуються автономно, а також у рамках комплексних проектів, у тому числі міжнародних.

У цьому номері УГЖ вміщено статтю, підготовлену авторським колективом, очолюваним академіком НАН України В.М.Шестопаловим, присвячену ландшафтно-геохімічним передумовам міграції радіоцезію у контексті впливу на формування внутрішньої дози опромінення дітей та поширеність захворювань травної системи, а також необхідності розроблення відповідних лікувально-профілактичних заходів.

УДК 314.4:614.876

doi: 10.15407/ugz2015.02.059

**В.М. Шестопалов, М.В. Набока, О.О. Ліхошерстов, О.П. Чабан**

Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень НАН України, Київ

**ПОТЕНЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ГЕОХІМІЧНИХ ЛАНДШАФТІВ ДЛЯ ПЕРЕХОДУ РАДІОЦЕЗІЮ З ҐРУНТУ ПО ХАРЧОВИХ ЛАНЦЮГАХ ДО ЛЮДИНИ ТА БЕЗПЕКА НАСЕЛЕННЯ**

Вивченню міграції радіоцезію (Cs) з ґрунту до рослинності присвячено багато досліджень ще з часів його випадань після ядерних випробувань, а особливо після Чорнобильської аварії 1986 р. Але до цього часу це питання залишається актуальним, тому що, незважаючи на велику кількість окремих даних та накопичення значного обсягу польових та експериментальних даних про трансфер-фактори ґрунту, висловлювалися різні пояснення цього феномену аномальності. Важливо, що результати для одних і тих самих типів ґрунтів істотно коливалися у різних дослідників. Наприклад, коефіцієнт переходу (КП) торфово-болотних ґрунтів, визначений як найвищий серед поліських ґрунтів, коливався від 30,0 до 189,0 Бк/кг/кБк/м<sup>2</sup>.

Виходячи з того, що при однакових рівнях забруднення ґрунту Cs, забруднення молока у Рівненському Поліссі було у декілька разів вищим, ніж у Київському чи Житомирському, а доза опромінення – навпаки, важливо дослідити, як це має впливати на безпеку життєдіяльності місцевого населення.

Мета наших досліджень полягала у виявленні аномальних районів у Рівненській області, їх впливу на формування дози внутрішнього опромінення та показник захворюваності (поширеність хвороб травної системи) місцевого дитячого населення, а також порівняння з аналогічними показниками Житомирської області.

Було виявлено, що в умовах невеликих рівнів забруднення ґрунтів Cs, провідним природним трансфер-фактором стає кількість та розподіл зон підвищеної його міграції по території Рівненського Полісся. До таких аномальних зон відносяться торфово-болотні, торфувато-болотні та болотні ґрунти на кисло-глейових класах геохімічних ландшафтів (ГХЛ) та лучно-болотні ґрунти на кислих класах ГХЛ при підвищеній вологості ґрунту на окраїнах торфових боліт.

На території Рівненського Полісся площа, яку займають торфово-болотні, болотні, лучно-болотні ґрунти і торфовища, у 5 разів більша ніж на території Житомирського Полісся.

Динаміка накопиченої внутрішньої дози опромінення у дітей, що живуть на території з кисло-глейовими ГХЛ та торфово-болотними ґрунтами, має вигляд невинного монотонного зростання до кінця періоду спостережень 2011р., коли 14-річними стали діти, які народилися через 10 років після Чорнобильської аварії, на відміну від динаміки накопиченої внутрішньої дози опромінення у дітей, що живуть на території з кислими ГХЛ та піщаними підзолистими ґрунтами.

Тренди поширеності захворювань травної системи (ТС) у динаміці практично паралельні дозовим. Продовження зростання дози опромінення до цього часу свідчить про наявність депо Cs, яке концентрується на окраїнах боліт. Довший час накопичення максимальної хронічної дози внутрішнього опромінення впливає на динаміку поширеності хвороб ТС, тобто можна прогнозувати, що пік поширеності захворювань ТС, який вже реалізувався на територіях з дерново-підзолистими ґрунтами, ще попереду для мешканців торфово-болотних місцевостей.

Отже, були виявлені залежності: час – ефект, доза – ефект та доза – ГХЛ. Отримані дані важливі для виявлення медико-геоекологічної обстановки та розроблення превентивних і лікувально-профілактичних заходів, необхідних для успішного вирішення поточних і планування перспективних завдань економіки сільського господарювання та втілення в життя різних соціальних проектів, в основі яких має бути насамперед безпека дитячого сільського населення.

Необхідно продовжити спостереження за динамікою поширеності хвороб ТС у дитячого населення, що проживає на територіях з торфово-болотними ґрунтами, тому що вона продовжує зростати до цього часу у дітей, які народилися через 10 років після Чорнобильської аварії і проживають в умовах хронічного опромінення в малих дозах.

**Ключові слова:** ландшафтно-геохімічні фактори; забруднення ґрунту радіоцезієм; внутрішня доза хронічного опромінення; захворюваність дитячого населення.

**V.M. Shestopalov, M.V. Naboka, O.O. Likhoshevstov, O.P. Chaban**

*Scientific-Engineering Center for Radiohydroecological Field Research at Ukraine NAS, Kyiv*

**POTENTIAL PROPERTIES OF GEOCHEMICAL LANDSCAPES FOR RADIOCAESIUM TRANSFER FROM SOIL TO MAN THROUGH THE FOOD CHAIN, AND PUBLIC SAFETY**

The study of radiocaesium (Cs) migration from soil to vegetation is the subject of many studies since its fallout after nuclear tests, and especially after the Chernobyl accident in 1986 year. But by this time the issue is still important because, despite the large amount of some data, accumulation of a significant amount of field and experimental data on transfer factors of soil, there were different explanations for this phenomenon of anomaly. It is important that the results for the same soil types varied greatly among different researchers. For example, the conversion factor (CF) of the peat-bog soils is defined as the highest among the Polissya soils ranged from 30.0 to 189.0  $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{kBq}^{-1} \cdot \text{m}^2$ . Based on the fact that with the same levels of soil contamination by Cs, contamination of milk in Rivne Polissya was several times higher than in Kiev or Zhytomyr regions and the radiation dose – vice versa, which has to influence the local people life safety. The aim of our research was to identify anomalous areas in Rivne region, their impact on the internal radiation dose formation and morbidity (spread of digestive system diseases) among local child population and comparison with those of Zhytomyr region. It was found that when levels of soil Cs contamination are low, the number and distribution of its increased migration zones within the territory of Rivne Polissya becomes the leading natural transfer factor. These anomalous zones include peat bog, peat marsh and marsh soils on acid-clay classes of geochemical landscapes (GCL) and meadow-marsh soils on acid classes of GCL when soil is excessively wet at the outskirts of peat marshes. On the territory of Rivne Polissya the area of a predominantly peat-bog, marsh, meadow-bog and peat soils, is 5 times bigger than in Zhytomyr Polissya. Dynamics of internal radiation doses accumulated in children living within acid-clay GCL and peat-swamp soils displays a relentless steady growth towards the end of 2011 observations when 14 year old children were those born 10 years after the Chernobyl accident, unlike the dynamics of the accumulated internal dose in children living in the territory with acidic GCL and sandy-podosol soils. Trends in digestive system (DS) diseases prevalence are virtually parallel to the dose dynamics. Continued increase in radiation dose to date indicates the presence of Cs depot, which concentrates on the marshes outskirts. Longer time of the maximum chronic internal radiation dose accumulation influences the dynamics of the DS disease prevalence, i.e. the peak of DS diseases prevalence which has already realized in areas with sod-podosol soils still lies ahead for the residents of peat-bog areas. So the relationships: time – effect, dose – effect and dose – GCL have been revealed. The obtained data is important for adverse medical and geo-ecological situation detection and developing preventive and therapeutic measures necessary to successfully address current and planning future agricultural management challenges and implementation of various social projects, with safety of children in rural areas as first and foremost priority. We need to continue monitoring the dynamics of DS disease prevalence among children living in areas with peat-swamp soils, as it continues to grow to this day in children who were born 10 years after the Chernobyl accident and live in conditions of chronic low dose radiation exposure.

**Keywords:** landscape-geochemical factors; radiocaesium contamination of soil; internal dose of chronic radiation exposure; morbidity of child population.

## Вступ

Забруднюючі речовини (радіонукліди, важкі метали та інші токсиканти), що надходять до організму людини по харчових ланцюгах з ґрунту, залежно від ландшафтно-геохімічних умов місцевості можуть створювати небезпечну обстановку для проживання навіть при невеликих їх концентраціях у ґрунті.

Реалізація негативного сценарію відбувається при поєднанні всіх трьох складових: забруднювача, людини та природного середовища, яке сприяє переходу забруднення до організму. Наприклад, якщо відкрити для поселення населення 30-км зону відчуження, незалежно від рівня забруднення території, вона стає зоною небезпеки, тому що в сприятливих для трансферу радіонуклідів ландшафтах з'являється людина.

Вивченню міграції радіоцезію (Cs) з ґрунту до рослинності присвячено багато досліджень ще з часів його випадань після ядерних випробувань,

особливо після Чорнобильської аварії 1986 р. Але до цього часу це питання залишається актуальним, тому що, незважаючи на велику кількість даних з окремих територій та накопичення значного обсягу польових та експериментальних даних про трансфер-фактори ґрунту, висловлювалися різні пояснення цього феномену аномальності. Зокрема, результати для одних й тих самих типів ґрунтів істотно коливались у різних дослідників.

Наприклад, коефіцієнт переходу (КП) торфово-болотних ґрунтів, визначений як найвищий серед поліських ґрунтів, коливався в інтервалі від 30,0 до 189,0  $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{kBq}^{-1} \cdot \text{m}^2$  [2,5].

За існуючою класичною схемою міграція високорухомих складових геологічного середовища в умовах покривних відкладів підпорядковується ландшафтно-геохімічним закономірностям [4]. І подальші дослідження, у тому числі наші, виявили вплив комплексу геохімічних характеристик місцевості на міграцію радіонуклідів. За наши-

ми даними по Житомирській області найбільше сприяють міграції Cs кислі геохімічні ландшафти (ГХЛ) з дерново-підзолистими ґрунтами. Вони мали найбільший КП  $^{137}\text{Cs}$  в системі ґрунт – рослинність – молоко (2,9). Трохи менший КП мали кисло-глейові ГХЛ з дерново-оглеєними та лучно-болотними ґрунтами (2,8) [7].

Підвищена міграція Cs у Поліссі, порівняно з навколишніми територіями, була описана ще у 1974 р. А.Н. Мареем [3]. Він навіть запропонував назву «поліський тип ґрунтів».

Дослідження у роки після Чорнобильської аварії 1986 р. дали змогу виявити у межах Полісся зони з більшою чи меншою міграцією, в яких КП радіонукліда в рослинність чи молоко або м'ясо при однакових рівнях забруднення ґрунтів відрізнялися між собою та фоном у декілька разів залежно від типу ґрунту.

Складається картина розташування різних за розмірами аномальних зон міграції Cs: найбільша – це Полісся, всередині якого – ландшафтні виділи з ґрунтами, що відрізняються від фону або входять до сукупності таких самих ландшафтів, створюючи геохімічні райони, різні за міграцією радіоцезію.

Таким аномальним районом є Рівненське Полісся, яке відрізняється від Київського Полісся та Житомирського Полісся за інтенсивністю міграції радіоцезію з ґрунту по харчових ланцюгах – до тварини і людини. Після Чорнобильської аварії [2, 5] було встановлено, що при однакових рівнях забруднення ґрунту радіоцезим забруднення молока у Рівненському Поліссі у декілька разів було вищим, ніж у Київському чи Житомирському Поліссі [6], що, звичайно, має впливати на безпеку життєдіяльності місцевого населення.

Мета наших досліджень – виявити аномальні райони в Рівненській області, їх вплив на формування дози внутрішнього опромінення та захворюваність місцевого дитячого населення й порівняти з аналогічними показниками Житомирської області.

### Виклад основного матеріалу

#### Методика проведення досліджень

Виявлення впливу природних умов на проживання населення на території Рівненської області здійснено з використанням геоінформаційних (ГІС Arc-GIS) та статистичних методів досліджень. Для

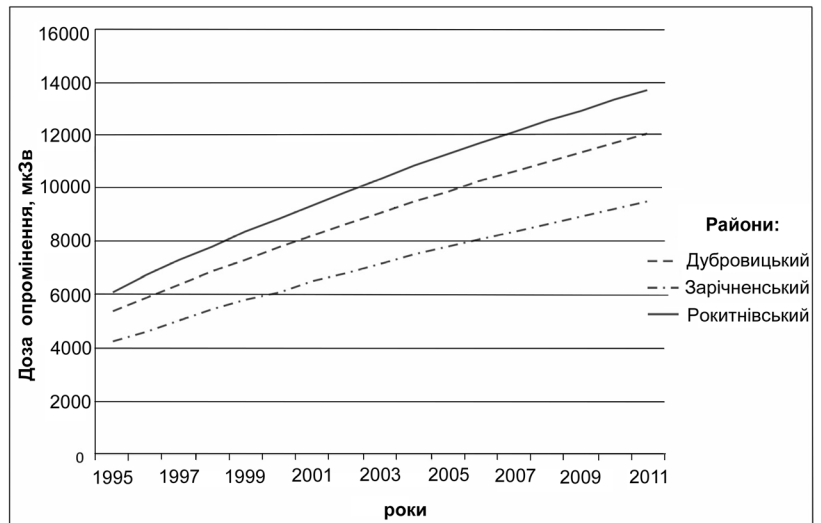


Рисунок 1. Внутрішня доза опромінення, накопичена за 14 років життя дітей, які проживають на території Рівненської області з торфво-болотними ґрунтами

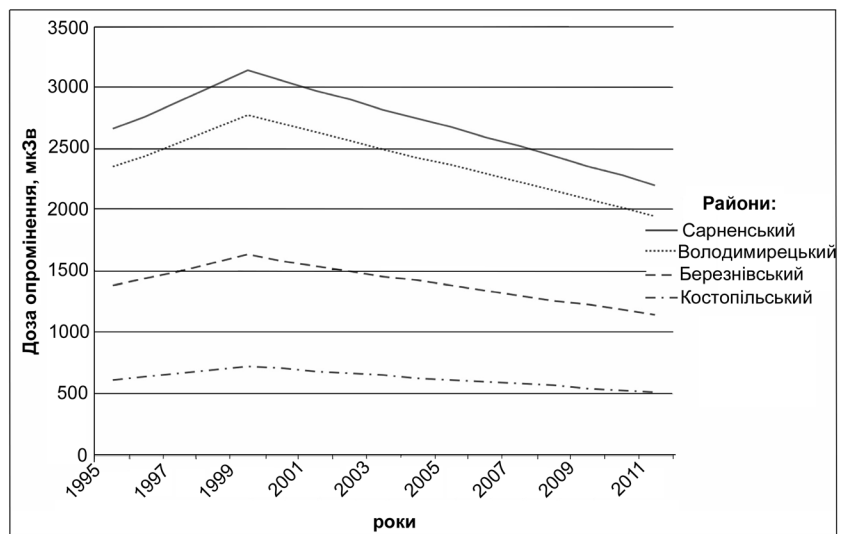


Рисунок 2. Внутрішня доза опромінення, накопичена за 14 років життя дітей, які проживають на території Рівненської області з дерново-підзолистими ґрунтами

розрахунку доз внутрішнього опромінення від Cs, з урахуванням визначених природних умов (рис. 1, 2), застосовано екологічну модель ЕМОПР [1]. Аналіз дитячої (0-14 років) захворюваності проведено на основі офіційних показників поширеності хвороб травної системи (ТС) у Рівненській області (рис. 3, 4); їх обробку виконано методами часових рядів і порівняльного аналізу з контролем трендів, атрибутивного та відносного ризику захворюваності. За допомогою статистичної програми Statistica проведено кореляційний та регресійний аналізи залежностей між часовими рядами дози опромінення та поширеністю хвороб органів травлення.

Створено електронні карти за типами ґрунтів і класів геохімічних ландшафтів та проаналізовано

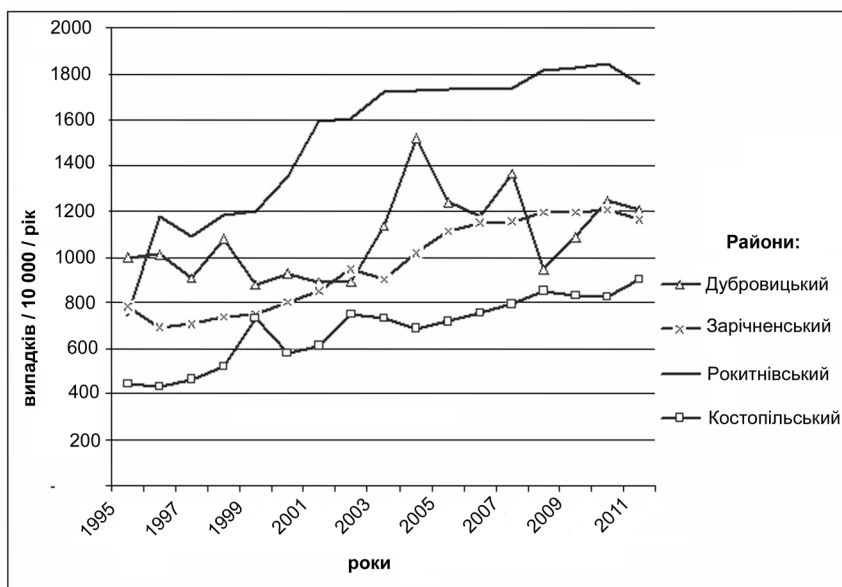


Рисунок 3. Динаміка поширеності хвороб травної системи у дітей 0-14 рр. по районах Рівненської області з кисло-глейовими геохімічними ландшафтами

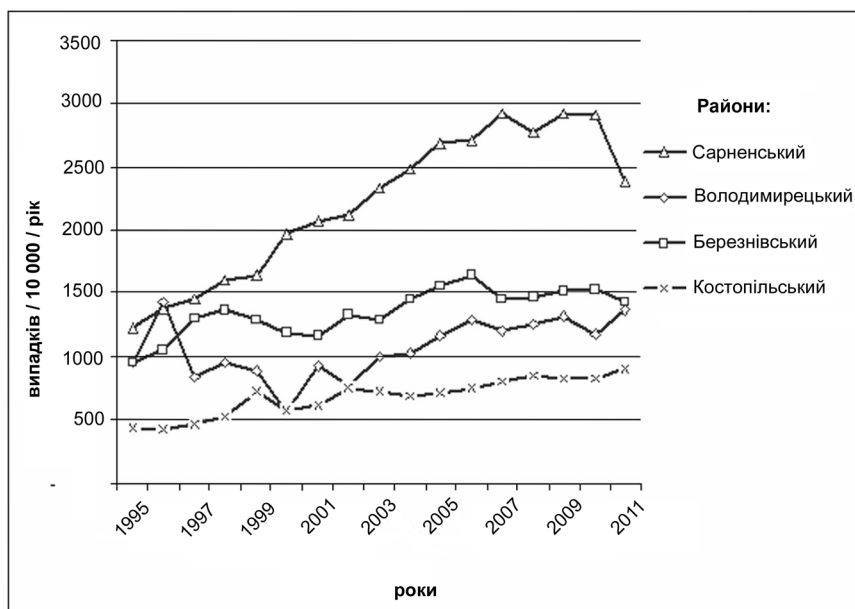


Рисунок 4. Динаміка поширеності хвороб травної системи у дітей 0-14 рр. по районах Рівненської області з кислими геохімічними ландшафтами

у межах районів, визначено їх площі, отримано перелік ґрунтів для кожного ГХЛ. Були визначені рівні міграції Cs за коефіцієнтом переходу: ґрунт – рослинність – молоко. Визначені середні рівні забруднення Cs по районах Рівненської області, розраховано динаміку дози опромінення за роки після аварії для дітей кожного району, проведено кореляційний та регресійний аналізи між часовими рядами дози опромінення та поширеністю хвороб органів травлення.

Використані ГІС технології та статистичний аналіз сприяли підвищенню достовірності при розрахунку величини коефіцієнтів переходу за типами ґрунтів для кислого та кисло-глейового класів геохімічних ландшафтів.

### Основні результати досліджень

У процесі дослідження було виявлено, що в умовах невеликих рівнів забруднення ґрунтів Cs провідним природним трансфер-фактором стає кількість та розподіл зон підвищеної його міграції по території Рівненського Полісся. До таких аномальних зон відносяться торфво-болотні, торфувато-болотні й болотні ґрунти на кисло-глейових ГХЛ та лучно-болотні ґрунти на кислих класах ГХЛ при підвищеній вологості ґрунту на окраїнах торфових боліт. Надмірно зволожені ділянки цих ґрунтів сильно звожують сусідні з ними ґрунтові комплекси, що підсилює міграцію біогенних елементів.

Співвідношення кількості та розподілу дерново-підзолистих і торфво-болотних типів ґрунтів істотно впливає на КП радіоцезію для кислого та кисло-глейового класів ГХЛ. Про це свідчить результат аналізу величин коефіцієнтів переходу та площі типу ґрунтів: найбільші КП (5,4-5,2) виявлені у Рокитнівському та Зарічненському районах Рівненської області, де на торфво-болотні ґрунти припадає понад 50% площі, а на дерново-підзолисті – майже 40%, найменші (0, 5) у Костопільському районі, де торфво-болотні ґрунти займають менше 10%, а дерново-підзолисті – понад 90% площі. У ландшафтах Житомирського Полісся дерново-підзолисті ґрунти є домінуючими.

На території Рівненського Полісся площа, яку займають торфво-болотні, болотні, лучно-болотні ґрунти і торфовища, у 5 разів більша ніж на території Житомирського Полісся. Це свідчить про те, що на території Рівненського Полісся ділянок для затримання води та зволоженості й підтоплення ґрунтів значно більше.

Динаміка накопиченої внутрішньої дози опромінення у дітей, що живуть на території з кисло-глейовими ГХЛ та торфво-болотними ґрунтами



(рис.1), має вигляд неспинного монотонного зростання до кінця періоду спостережень 2011р., коли 14-річними стали діти, які народилися через 10 років після Чорнобильської аварії, на відміну від динаміки накопиченої внутрішньої дози опромінення у дітей, що живуть на території з кислими ГХЛ та піщаними підзолистими ґрунтами (рис.2).

Продовження зростання дози опромінення до цього часу свідчить про наявність депо Cs, яке формується на окраїнах боліт. Довший час накопичення максимальної хронічної дози внутрішнього опромінення впливає на динаміку поширеності хвороб ТС (рис. 3-4), тобто можна прогнозувати, що пік поширеності захворювань ТС, який вже реалізувався на територіях з дерново-підзолистими ґрунтами, ще попереду для мешканців торфво-болотних місцевостей.

На основі проведених досліджень динаміки (1995-2011рр.) показників поширеності захворювань травної системи дитячого населення Рівненської області визначено залежності час – ефект; доза – ефект та доза – ландшафт (ГХЛ, ґрунт):

- в умовах хронічного опромінення поширеність хвороб зростає з часом дії;
- зі збільшенням дози збільшується рівень поширеності хвороб ТС;
- у межах геохімічних ландшафтів та на ґрунтах з більшою міграцією формуються більші дози опромінення й вищі рівні поширеності хвороб ТС у місцевого населення.

У районах з кислими глейовими ГХЛ і торфво-болотними ґрунтами Рівненської області рівень поширеності захворювань ТС достовірно зростає з часом спостереження на територіях з рівнями забруднення  $^{137}\text{Cs} > 50$  кБк/м<sup>2</sup> та залежить від дози опромінення. Доказом цього є виявлені статистично достовірні залежності час – ефект (рис. 2 – 3) і доза – ефект (рис. 5 – 6). Для залежності доза – ГХЛ виявлено модифікацію впливу домішок інших типів ґрунтів та боліт до домінуючого типу ґрунту на формування дози опромінення та динаміки поширеності хвороб ТС.

Максимальна різниця з контролем становила 1018 захворювань на 10000 дітей за рік, показник продовжував зростати до кінця періоду спостережень

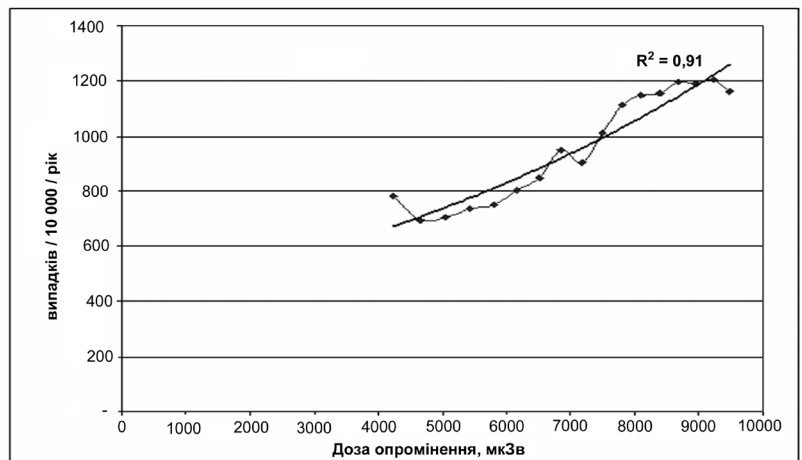


Рисунок 5. Залежність поширеності хвороб травної системи від дози опромінення для Заріченського району

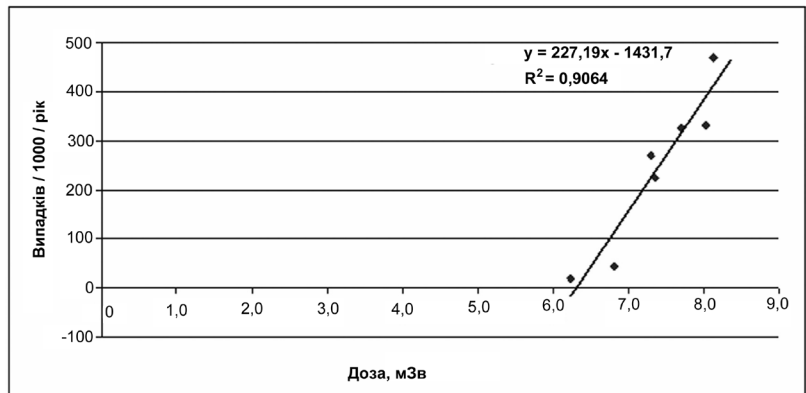


Рисунок 6. Залежність доза – поширеність хвороб травної системи у дітей в Овруцькому районі Житомирської області за 1992-2005 рр.

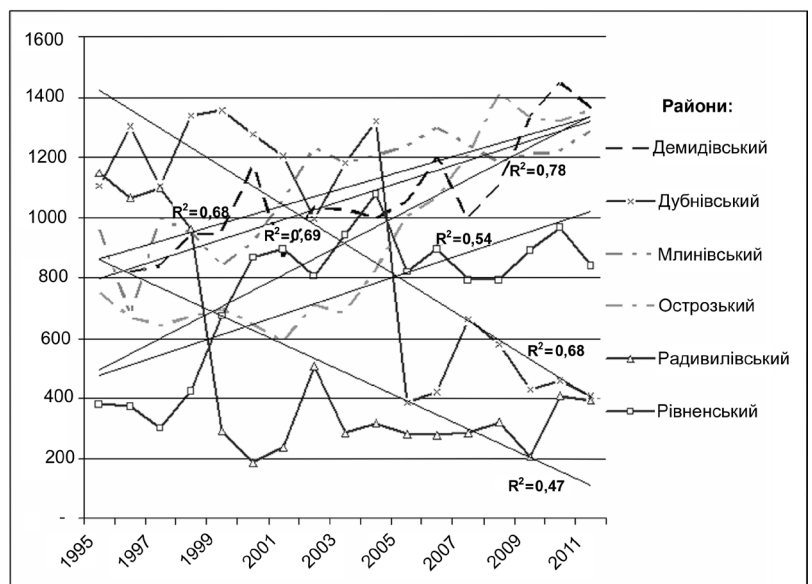


Рисунок 7. Динаміка поширеності хвороб травної системи у дітей 0-14 рр. по районах Рівненської області з кислими, перехідними до кальцієвих геохімічними ландшафтами

у районах з кисло-глейовими геохімічними ландшафтами.

Найвищий рівень поширеності захворювань за досліджений період спостерігався у районах з кислими ГХЛ (рис.4) та домінуючими дерново-підзолистими ґрунтами - максимальний рівень – 3000 випадків захворювань на 10000 дітей за рік (Сарненський район). У районах з кисло-глейовими ГХЛ показник продовжує зростати, а у районах з кислими перехідними до кальцієвих ГХЛ був мінімальний рівень поширеності захворювань, іноді з відсутністю тенденцій її зростання у часі (рис.7).

Аналіз динаміки поширеності хвороб ТС дозволив також виявити:

- різний вплив однакових ГХЛ зі зміною типів ґрунтів і різний вплив однакових рівнів забруднення Cs у торфяно-болотних і дерново-підзолистих ґрунтах на поширеність хвороб ТС у дітей;

- при однакових рівнях радіоактивного забруднення Cs ґрунтів максимальне накопичення хронічної дози опромінення дітей, які мешкають на території з дерново-підзолистими ґрунтами, дося-

гається швидше, ніж на торфяно-болотних ґрунтах;

- залежність доза – ефект краще проявляється саме при аналізі динаміки показника поширеності хвороб ТС у часі, ніж середніх показників за той же період часу.

### Висновки

Отримані дані дають змогу виявляти несприятливу медико-геоекологічну обстановку і розробляти превентивні та лікувально-профілактичні заходи, необхідні для успішного вирішення поточних і планування перспективних завдань економіки сільського господарювання та втілення в життя різних соціальних проектів, в основі яких має бути насамперед безпека дитячого сільського населення.

Необхідно продовжити спостереження за динамікою поширеності хвороб травної системи у дитячого населення, особливо у дітей, що народилися через 10 років після Чорнобильської аварії, які проживають на територіях з торфяно-болотними ґрунтами в умовах хронічного опромінення в малих дозах.

### Література

1. Кравец А.П. Радиологические последствия радионуклидного загрязнения почв и растений. – К.: Логос, 2006. –180 с.
2. Лихтарев И.А. и др. Десять лет после аварии на Чернобыльской АЭС. Национальный доклад Украины. – Минчернобыль. – К., 1996. – 250 с.
3. Марей А.Н., Бархударов Р.М., Новикова Н.Я. Глобальные выпадения <sup>137</sup>Cs и человек. – М.: Атомиздат, 1974. –168с.
4. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. – М.: Астерейя, 2000. – 767с.
5. Пристер Б.С. Последствия аварии на Чернобыльской АЭС для сельского хозяйства Украины. – Исследования ЦПЭР. – № 20. – К., 1999. – 101 с.
6. Проблеми безпеки атомної енергетики. Уроки Чорнобиля / Б.С. Пристер, О.О. Ключников, В.М. Шестопапов, В.П. Кухар. За ред. акад. Б. С. Пристера. – Чернобыль, НАНУ, 2013. – 200 с.
7. Радіаційний вплив і дитяче здоров'я (захворюваність шлунково-кишкового тракту в дітей у постчорнобильський період під впливом радіаційно-ландшафтних чинників). / В. Шестопапов, М. Набока, О. Ліхощерстов, О. Чабан, Е. Свендсен // - Вісн. НАН України. – 2011. – № 4. – С. 12–23.

### References

1. Kravets A.P. (2006). *The radiological consequences of radioactive contamination of soils and plants*. Kiev: Logos (in Russian).
2. Likhtarev I.A. et al. (1996). *Ten years after the Chernobyl accident. Ukraine National report*. Minchernobyl. Kiev (in Russian).
3. Marey A.N., Barkhudarov R.M., Novikova N.Ya. (1974). *Global <sup>137</sup>Cs fallout and people*. Moscow: Atomizdat (in Russian).
4. Perelman A.I., Kasimov N.S. (2000). *Geochemistry of the landscape*. Moscow: Astereya (in Russian).
5. Prister B.S. (1999). *The consequences of the Chernobyl disaster for agriculture in Ukraine*. Research CPER, 20. Kiev (in Russian).
6. Prister B.S., Kliuchnikov O.O., Shestopalov V.M., Kukhar V.P. Ed. Acad. Prister B.S. (2013). *Problems of nuclear power safety. The lessons of Chernobyl*. Chernobyl, UNAS (in Ukrainian).
7. Shestopalov V., Naboka M., Likhoshertov O., Chaban O., Svendsen E. (2011). Radiation effects and children's health (gastrointestinal tract morbidity in children in postchernobyl period under the influence of landscape radiation factors). *Ukraine NAS Bulletin*, 4, 12-23 (in Ukrainian).