

Екологія

УДК 550.84;504.54

**ОЦІНКА ДИНАМІКИ ЗАБРУДНЕННЯ ВЕРХНЬОГО ШАРУ ҐРУНТУ
ГАММА-ВИПРОМІНЮЮЧИМИ РАДІОНУКЛІДАМИ МЕТОДОМ
РАДІОМЕТРИЧНОГО ОЧІКУВАННЯ**

Д. Ганжа

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Галицька, 201, Івано-Франківськ 76000, Україна
e-mail: dmgan@rambler.ru*

Метод радіометричного очікування запропоновано для оцінки міграції гамма-випромінюючих радіонуклідів у верхньому шарі ґрунту. В основі методу лежить порівняння обчисленої за результатами раніше виконаних вимірювань очікуваної на поточний момент потужності дози з фактично існуючою. Для калібрування методу щодо умов території, яка обстежується, необхідно мати дані про вміст гамма-випромінюючих радіонуклідів у верхньому шарі ґрунту на окремих ключових ділянках. Показник радіометричного очікування розраховують як відношення поточного значення потужності дози до очікуваного. Наведено результати застосування методу на прикладі оцінки санітарно-захисної зони та території комплексу виробництв із дезактивації, транспортування, переробки та захоронення радіоактивних відходів з території, забруднених унаслідок аварії на Чорнобильській АЕС.

Ключові слова: гамма-радіометрія, ґрунт, екологія, цезій-137, зона відчуження Чорнобильської АЕС, потужність дози.

Виявлення тенденцій міграції гамма-випромінюючих радіонуклідів у ландшафтах є проблемою, що потребує значних затрат ресурсів і часу. Традиційно це вирішується з використанням схеми, що включає відбір польових проб, виготовлення аналітичних препаратів і лабораторне вимірювання. Останнім часом набули розповсюдження польові гамма-спектрометри, використання яких обмежується значною вартістю та складнощами, що виникають при застосуванні названої апаратури в гамма-полях низької інтенсивності. Тим не менш, практика проведення моніторингу й екологічної індикації потребує недорогих і експресних методів радіоекологічної оцінки забруднених територій.

Мета цього дослідження – розробка й експериментальне застосування методу радіометричного очікування для екологічної індикації радіаційного забруднення.

Дослідження виконане в санітарно-захисній зоні та на промисловому майданчику (в подальшому – територія) Комплексу “Вектор”, що будується в ЗВ ЧАЕС для перезахоронення відходів з підтоплених пунктів тимчасової локалізації радіоактивних відходів та для захоронення радіоактивних відходів, які утворюватимуться при будівництві конфайнменту об’єкта “Укриття” і при знятті з експлуатації енергоблоків ЧАЕС. Вимірювання потужності дози гамма-випромінювання (ПД) проводили на рівні 1 м над поверхнею більш ніж на 100 пікетах з використанням дозиметра-радіометра ДКС-96 з блоком детектування БДМГ-96 згідно з існуючими рекомендаціями [4]. На 15-ти пікетах було відібрано проби верхнього шару ґрунту (0–5 см). При вимірюванні ПД та відборі проб ґрунту розміри місця проведення спостережень не перевищували ділянки радіусом 30 см, оскільки відомо, що таким є середнє значення радіуса впливу окремої

грунтової проби [9]. У відібраних пробах гамма-спектрометричним методом згідно з чинною методикою визначали вміст радіонуклідів [1]. У місцях спостережень для встановлення їх положення щодо місцевого базису денудації, з застосуванням GPS-приймача проведено гіпсометричну зйомку. При проведенні всіх видів спостережень основна та додаткова похибки не перевищували $\pm 30\%$.

Територія Комплексу “Вектор” розташована на полого-хвилястій моренно-зандровій рівнині з перепадом висот у межах 15 м. Рельєф ускладнено акумуляційними водно-льодовиковими пагорбами висотою до 10 м. Грунтовий покрив одноманітний, представлений дерново-підзолистими ґрунтами на середньо-четвертинних флювіогляціальних пісках із прошарками супісків і суглинків. Рослинний покрив представлено сосновими молодняками зі значною площею лісових згарищ на північному сході території [2, 7]. На ландшафтній мапі території виділяють до 10-ти контурів, утворених поєднанням геохімічних і функціональних ландшафтів, що віддзеркалюють природно-господарську ситуацію та дають уявлення про принципи можливості перерозподілу речовини на досліджуваній території [7]. На півночі територія Комплексу “Вектор” межує із західним слідом радіаційного забруднення, що утворився внаслідок катастрофи на ЧАЕС (рис. 1).

При одноманітності природних умов забруднення ґрунтового покриву ^{137}Cs на території змінюється в 60 разів – від 550 до 31000 Бк/кг зі зменшенням рівня забруднення в напрямку з півночі на південь. Результати вимірювань вмісту гамма-випромінюючих радіонуклідів у пробах ґрунту показали, що з 1996 по 2007 рр. за рахунок ^{137}Cs утворюється більше 98% ПД над поверхнею ландшафту. Таким чином, за результатами радіометричної зйомки можна оцінювати стан поверхневого забруднення території ^{137}Cs . За період від 1996 по 2007 рр. проводився радіологічний моніторинг

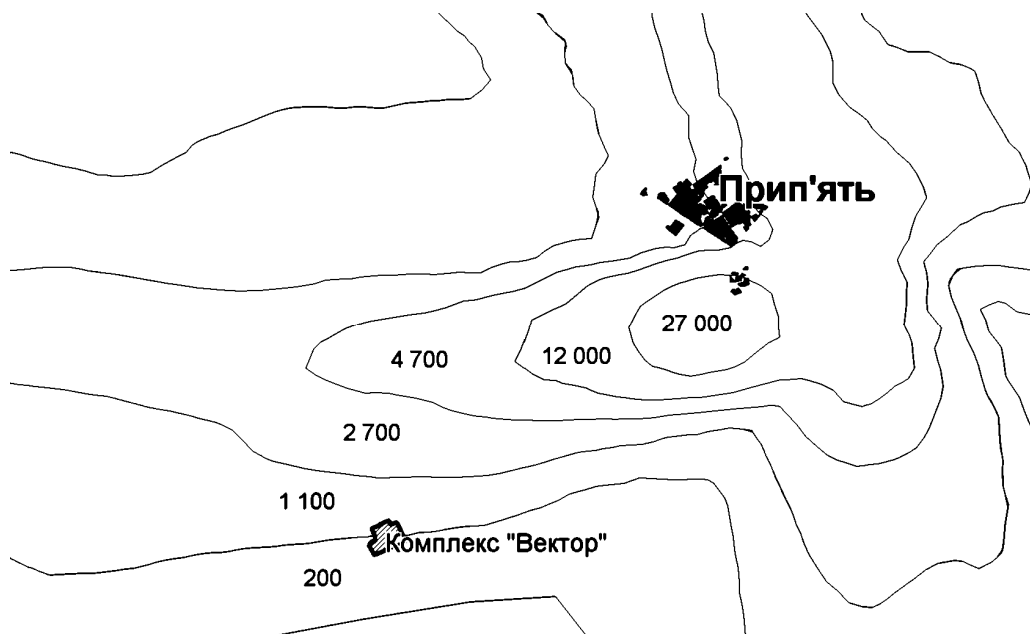


Рис. 1. Розташування Комплексу “Вектор” щодо західного сліду (числами позначено щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs , кБк/м²).

Комплексу “Вектор”. Мапу розподілу значення ПД, створену за результатами радіологічного обстеження в 1996 р. [3], представлено на рис. 2.

У 2007 р. нами було проведено радіометричну зйомку території. Пікети мережі розташовували аналогічно до пікетів при спостереженнях попередніх років. Результати вимірювань подано на рис. 3.

Порівняння мап просторового розподілу ПД у 1996 та 2007 роках не дає можливості виявити зони переважного накопичення або розсіювання ^{137}Cs . Для встановлення просторової динаміки ^{137}Cs у верхньому шарі ґрунту за період спостережень нами запропоновано застосовувати метод радіометричного очікування. В основі методу лежить порівняння розрахованої за результатами раніше виконаних вимірювань очікуваної на заданий момент ПД гамма-випромінювання над поверхнею ландшафту з фактично існуючою. Для реалізації методу необхідно мати інформацію про результати ретроспективної та сучасної гамма-зйомки території та вміст гамма-випромінюючих радіонуклідів у верхньому шарі ґрунту на ключових ділянках у межах території, що обстежується.

За ретроспективними результатами гамма-зйомки вираховується питома активність відповідного радіонукліда [5]:

$$Q = \frac{\mu P}{2\pi K_y}, \quad (1)$$

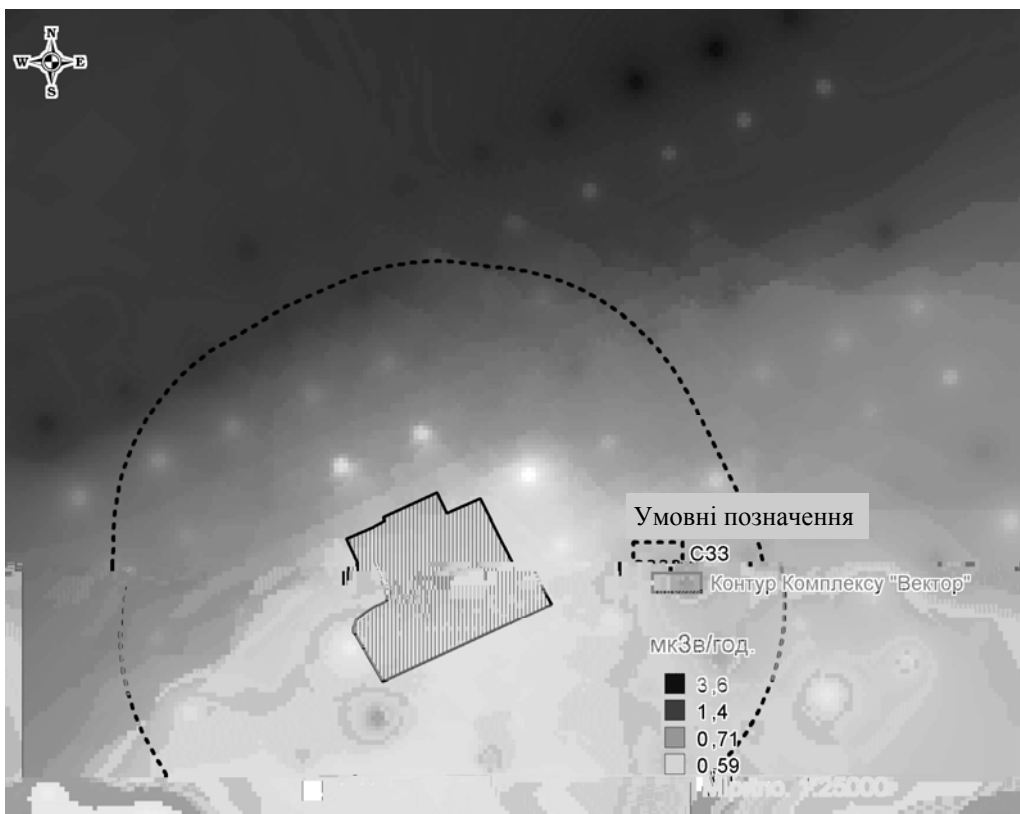


Рис. 2. Просторовий розподіл значення ПД в 1 м над поверхнею території Комплексу “Вектор” у 1996 р.

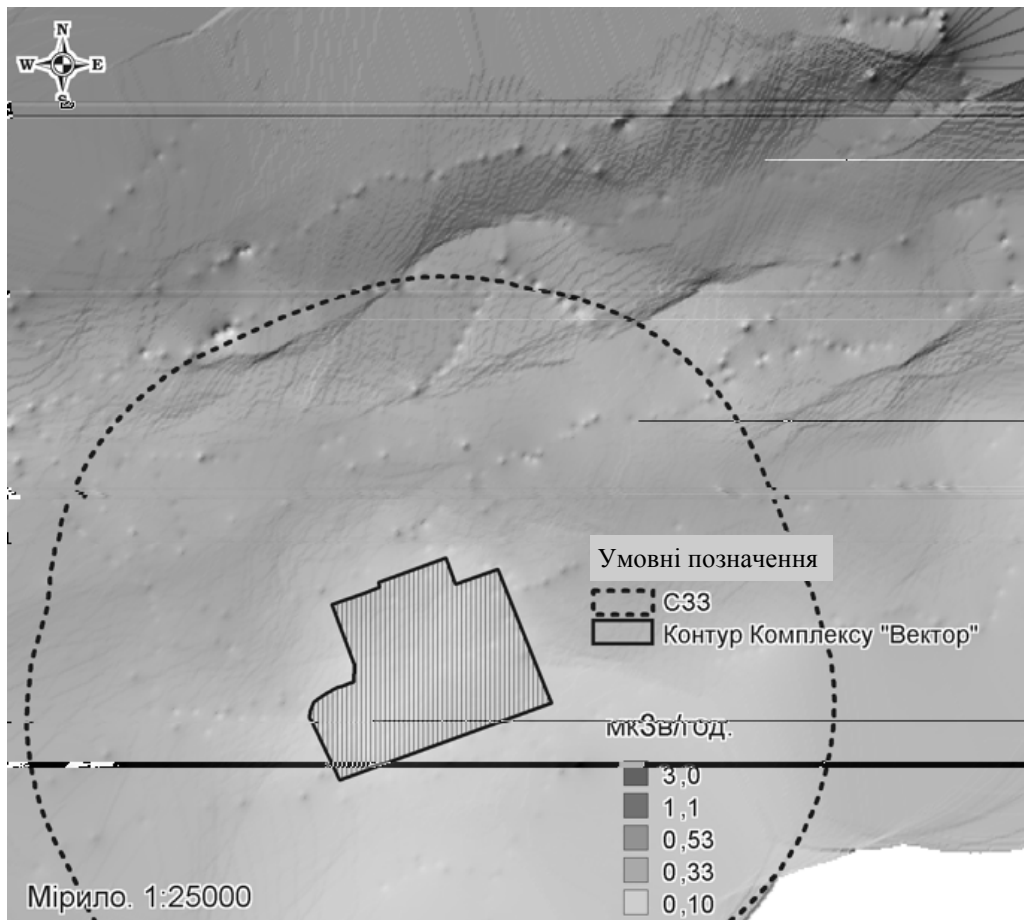


Рис. 3. Просторовий розподіл значення ПД в 1 м над поверхнею території Комплексу "Вектор" у 2007 р.

де Q – питома активність середовища, $МКі/г$; μ – масовий коефіцієнт ослаблення γ -променів у середовищі, $см^2/г$; K_γ – гамма-стала радіонукліда; P – потужність дози γ -променів у повітряному середовищі, $P/год$.

З використанням формули радіоактивного розпаду вираховується прогнозна питома активність відповідного радіонукліда у верхньому шарі ґрунту. Очікувана на поточний момент ПД вираховується за рівнянням [там само]:

$$P_i = \frac{2\pi K_i Q_i}{\mu}, \quad (2)$$

де P_i – потужність дози γ -променів i -го радіонукліда в повітряному середовищі, $p/год$; Q_i – питома активність i -го радіонукліда в середовищі, $МКюрі/год$; K_i – гамма-стала i -го радіонукліда; μ – масовий коефіцієнт ослаблення енергії фотонів у середовищі, $см^2/год$.

За очікуваним і поточним значенням ПД вираховується запропонований нами показник радіометричного очікування (K_{PO}):

$$K_{PO} = \frac{P_n}{P_o}, \quad (3)$$

де P_o – очікувана ПД; P_n – поточна ПД.

На рис. 4 представлено мапу просторового розподілу значення K_{PO} на території Комплексу “Вектор” у 2007 р., вираховану щодо 1996 р.

З рис. 4 видно, що значення K_{PO} на досліджуваній території змінюється від 0,2 до 5. Це означає, виходячи з суті показника, переважну акумуляцію ^{137}Cs в місцях максимальних значень і розсіювання – в мінімальних значеннях. Переважна більшість досліджуваної території, яку не зайнято техногенними об’єктами, покрита сосновим лісом. У перерозподілі ^{137}Cs по компонентах деревного ярусу через 5–6 років після надходження в біогеоценоз надовго настає стан, близький до квазірівноважного, коли з лісовим опадом до ґрунту потрапляє мінімальна кількість ^{137}Cs [10]. За таких умов з урахуванням часу, що минув після катастрофи на ЧАЕС 1986 р., основний вплив на сучасну міграцію ^{137}Cs становлять процеси техногенезу, рельєф, мінеральний склад і гумусність ґрунту, біогеоценотичні процеси. Аналіз розподілу значень K_{PO} показує, що переважна акуму-

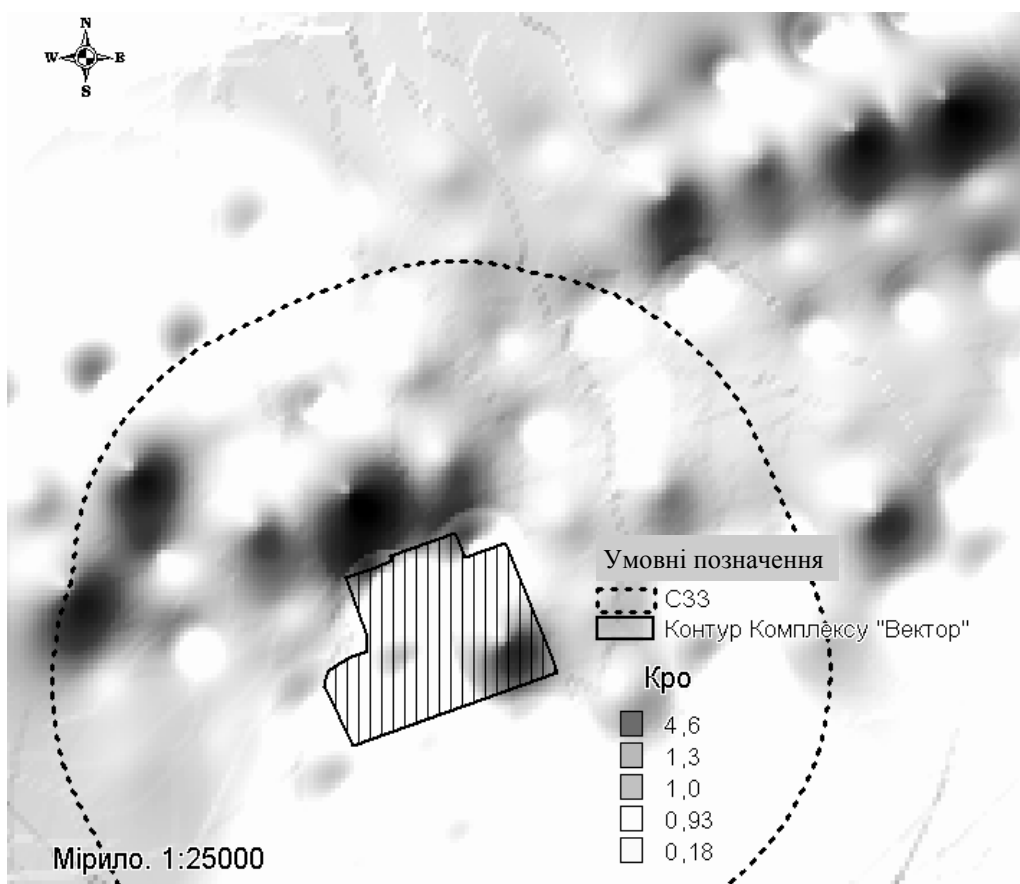


Рис. 4. Просторовий розподіл значення показника радіометричного очікування на території Комплексу “Вектор” у 2007 р. щодо 1996 р.

ляція ^{137}Cs відбувається на трьох основних ділянках – на лісовому згарищі (північно-східна частина території), на ділянці, що прилягає до північної частини промислового майданчика Комплексу “Вектор”, та на південно-західній частині території (рис. 4). Сучасний техногенез проявляється як в акумуляції, так і в розсіюванні ^{137}Cs у ландшафті. Накопичення ^{137}Cs при діяльності пункту захоронення радіоактивних відходів “Буряківка”, що межує з територією Комплексу “Вектор” на південному заході, призвело до утворення південно-західної аномалії значення K_{PO} . Разом з тим, зняття ґрунту при будівництві Комплексу “Вектор” призвело до розсіювання ^{137}Cs та, відповідно, до утворення зони аномально низьких значень K_{PO} . На ділянках території, де було зведено ліс і знято верхній шар ґрунту, але протягом останніх 10-ти років не відбувався техногенез, почав відновлюватися рослинний покрив. Така ділянка, що заселяється підростом сосни та берези, прилягає до північного заходу пром. майданчика Комплексу “Вектор”. Друга ділянка території, де під впливом біогеоценотичного фактору утворилися максимальні значення K_{PO} , склалася на північному сході території на лісовому згарищі, що також заселяється підростом берези і сосни. Тут під впливом біогеоценотичних процесів відбувається винесення ^{137}Cs з корененаселеного шару й акумуляція у верхньому шарі ґрунту зі щорічним опадом. Відомо, що активізація ростових процесів деревно-кущової рослинності може призводити до значного збільшення коефіцієнтів переходу ^{137}Cs з ґрунту в рослини [10].

Вплив мезорельєфу на перерозподіл у ландшафті ^{137}Cs оцінювали порівнянням висоти розташування місця спостережень щодо місцевого базису денудації зі значенням K_{PO} . Результати описуються рівнянням:

$$y = -0,0067x + 3,8367 \quad (\text{при } n=21, R^2=0,43 \text{ та } P=0,95),$$

де y – показник радіометричного очікування у 2007 р.; x – перевищення місця спостережень щодо місцевого базису денудації, м; n – кількість спостережень; R^2 – коефіцієнт детермінації; P – імовірність події.

Отриманий результат показує, що значення K_{PO} закономірно підвищується в пониженнях рельєфу, тобто в місцях, де збільшується зволоження та зростає кількість органічних речовин у ґрунті, утворюючи більш розвинені геохімічні бар'єри для накопичення ^{137}Cs .

Таким чином, застосування методу радіометричного очікування на території Комплексу “Вектор” дало змогу віднайти зони переважної акумуляції або розсіювання ^{137}Cs та встановити зв'язок тренду просторової міграції нукліда з основними природними і техногенними процесами на території.

Запропонований метод радіометричного очікування як один із методів індикації та діагностики біогеоценозів дає змогу швидко, з використанням радіометричної зйомки для суцільного обстеження території, виявити зони переважної акумуляції або розсіювання гамма-випромінюючих радіонуклідів і встановити тренди радіаційного забруднення ландшафтів.

Метод можна застосовувати на територіях, забруднених одним або більше гамма-випромінюючими радіонуклідами. В останньому випадку – тільки за умови, що нукліди розподілені на території пропорційно. Особливістю методу є те, що суцільне гамма-спектрометричне опробування території запропоновано замінити гамма-радіометрією з уточнюючими гамма-спектрометричними вимірюваннями на ключових ділянках. При проведенні спостережень з використанням запропонованого нами методу вимірюються характеристики гамма-поля, утворені радіоактивними речовинами, які входять до складу поверхні території, та вміст гамма-випромінюючих нуклідів у верхньому шарі ґрун-

ту. При виконанні вимірювань використовуються методики та доступні засоби вимірювальної техніки, які дають змогу проводити вимірювання на конкретній території з основною та додатковою відносною похибкою не більше $\pm 30\%$ при довірчій імовірності 0,95.

1. Активность, удельная активность и объемная активность гамма-излучающих радионуклидов в счетных образцах технологических и природных сред: МИ12-04-99. Методика утверждена в ГНПО "Метрология", 1999. 50 с.
2. Атлас Чорнобильської зони відчуження / За ред. Д.В. Ісаєва. К.: Науково-виробниче підприємство "Картографія", 1996. 26 с.
3. Виконання моніторингу майданчика Комплексу "ВЕКТОР" на етапі будівництва / Звіт про науково-дослідну роботу за п. 1.1.5 Комплексної програми ДСП "Техноцентр" на 2002 р. Мін. України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, Державне спеціалізоване підприємство Центр переробки та захоронення техногенних відходів "Техноцентр" (ДСП "Техноцентр"), Науково-інженерний центр; № держреєстрації 0102U006717. Київ, Чорнобиль, МПНС України, ДСП "Техноцентр", 2002 р.
4. Ганжа Д. Д., Назаров А. Б., Сплошной Б. Н. Методика проведения гамма-съемки при радиологическом обследовании территорий // Сахаровские чтения 2006 г. Экологические проблемы XXI века: Материалы 6-й международ. науч. конф., 18–19 мая 2006 г., Минск, Республика Беларусь / Под ред. С.П. Кундаса, А.Е. Океанова, В.Г. Шевчука. Ч. 2. Гомель: РНИУП "Институт радиологии", 2006. С. 26–29.
5. Дозиметрические и радиометрические методики / Под ред. Н.Г. Гусева и др. М.: Атомиздат, 1966. 444 с.
6. Моніторинг майданчика першої черги пускового комплексу "Вектор" / (п.1.1.6 КП-2001: "Моніторинг майданчика першої черги пускового комплексу "Вектор"), Мін. України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, Державне спеціалізоване підприємство "Центр переробки та захоронення техногенних відходів "Техноцентр", Науково-інженерний центр. Київ, Чорнобиль, МПНС України, ДСП "Техноцентр", 2001 р.
7. Створення та підтримка системи моніторингу комплексу "Вектор" / Звіт з НДР за 1996 р НІЦ "Мета". Мін. України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, Державне спеціалізоване підприємство Центр переробки та захоронення техногенних відходів "Техноцентр" (ДСП "Техноцентр"), Науково-інженерний центр "Мета". Київ, Чорнобиль, МПНС України, ДСП "Техноцентр", 1996 р.
8. Створення та підтримка системи моніторингу комплексу "Вектор" / Звітні матеріали за 1998 р. за п. 1.1.4. Плану робіт НІЦ "Мета". Мін. України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, Державне спеціалізоване підприємство Центр переробки та захоронення техногенних відходів "Техноцентр" (ДСП "Техноцентр"), Науково-інженерний центр "Мета". Київ, Чорнобиль, МПНС України, ДСП "Техноцентр", 1998 р.
9. Хомутини Ю. В. Кашипаров В. А., Жебровская Е. И. Оптимизация отбора и измерений проб при радиозоологическом мониторинге: Монография. К.: УкрНИИСХР, 2001. 160 с.
10. Щеглов А. И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: По материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС. М.: Наука,

1999. 268 с.

RATING OF RADIONUCLIDES CONTAMINATION DYNAMICS IN TOP LAYER SOIL BY USING RADIOMETRIC ANTICIPATION METHOD

D. Ganzha

*Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
201, Galytska St., Ivano-Frankivsk 76000, Ukraine
e-mail: dmgan@rambler.ru*

The method of radiometry anticipation is offered for the estimation of migration of gamma-active radionuclides in an upper soil layer. In basis of method comparison of expected lies as a result of previously executed measuring of the dose -rate expected on a present moment with actually existing. For calibration of method in relation to concerning of territory which inspects it is necessary to have given about maintenance of gamma-active radionuclides in an upper soil layer on separate key areas. The index of radiometry anticipation settles accounts as attitude current the importance, dose-rate toward expected. The results of application of method are resulted on the example of estimation of buffer area and territory of complex of productions of decontamination, transporting, processing and burial place of radio-active wastes from territories muddy as a result of failure on Chornobyl NPP.

Key words: cesium-137, Chornobyl NPP exclusive zone, dose rate, ecology, gamma-radiometry, soil.

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ПОЧВЫ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИМИ РАДИОНУКЛИДАМИ МЕТОДОМ РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ

Д. Ганжа

*Национальный Прикарпатский университет имени Василия Стефаныка
ул. Галицкая, 201, Ивано-Франковск 76000, Украина
e-mail: dmgan@rambler.ru*

Метод радиометрического ожидания предложен для оценки миграции гамма-излучающих радионуклидов в верхнем слое почвы. В основе метода лежит сравнение вычисленной по результатам ранее выполненных измерений ожидаемой на текущий момент мощности дозы с фактически существующей. Для калибровки метода относительно условий обследуемой территории необходимо иметь данные о содержании гамма-излучающих радионуклидов в верхнем слое почвы на отдельных ключевых участках. Показатель радиометрического ожидания рассчитывают как отношение текущего значения мощности дозы к ожидаемому. Приведены результаты применения метода на примере оценки санитарно-защитной зоны и территории комплекса производств по дезактивации, транспортировке, переработке и захоронению радиоактивных отходов с территорий, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Ключевые слова: гамма-радиометрия, зона отчуждения Чернобыльской АЭС, мощность дозы, почва, цезий-137, экология.

Стаття надійшла до редколегії 14.10.08
Надійшла після доопрацювання 30.01.09