

УДК 577.34(546.42:631.438)

**ОСОБЛИВОСТІ РАДІОМЕТРИЧНОЇ ЗЙОМКИ ПОВЕРХНЕВОГО
ЗАБРУДНЕННЯ ТЕРИТОРІЙ БЕТА-ВИПРОМІНЮЮЧИМИ НУКЛІДАМИ****Д. Ганжа*, С. Міцкевич**, Б. Сплошной***, М. Крачковський****

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

***Державне спеціалізоване підприємство "ТЕХНОЦЕНТР"
вул. Радянська, 10, Чорнобиль 07270, Україна
e-mail: rdi@ic-chernobyl.kiev.ua*

****Державне спеціалізоване підприємство "Регіональне управління
забезпечення організаційно-технічної і розпорядчої діяльності"
вул. К. Лібкнехта, 10, Чорнобиль 76000, Україна
e-mail: lmzo@ic-chernobyl.kiev.ua*

Метод польової бета-радіометрії дає змогу проводити радіаційний контроль поверхневого забруднення території бета-випромінюючими радіонуклідами, в першу чергу – ^{90}Sr , в умовах радіаційних аварій і експлуатації ядерних об'єктів у регламентному режимі. Метод також дає змогу проводити екологічну індикацію біогеохімічної міграції нуклідів і діагностику стану біогеоценозів. Для успішної реалізації методу запропоновано проводити вимірювання з урахуванням не тільки погодних умов, але і біогеоценологічної типології поверхонь. Наведено результати вимірювань поверхневої бета-активності у соснових лісах зони відчуження Чорнобильської АЕС.

Ключові слова: бета-радіометрія, ґрунт, екологія, зона відчуження Чорнобильської АЕС, лісова підстилка, моніторинг, радіаційна безпека, стронцій-90.

При проведенні робіт із джерелами іонізуючих випромінень у зонах захоронення радіоактивних відходів та при проведенні моніторингу територій, що зазнали радіаційного забруднення, передбачено, крім інших видів радіаційного контролю, оцінку щільності потоків бета-часток, у тому числі з поверхонь невиробничих територій [5, 12]. При проведенні вимірювань значну проблему створюють короткі треки пробігу бета-часток у повітрі, нерівномірність вертикального розподілу бета-випромінюючих радіонуклідів у верхніх шарах ґрунту та надґрунтового живого й неживого рослинного покриву, неоднакове поглинання бета-часток компонентами поверхні території. Названі фактори суттєво впливають на невизначеність узагальнених оцінок і можуть призводити до їх невідтворюваності. За таких обставин бета-радіометрію невиробничих територій або не передбачено, або рекомендовано проводити польовий відбір проб і вимірювання в них питомої активності бета-випромінюючих нуклідів у лабораторних умовах [5, 6, 9, 12].

Мета дослідження – вдосконалити метод польової бета-радіометрії природних і напівприродних (невиробничих) територій. Метод розробляється для радіаційного контролю санітарно-захисної зони та промислового майданчика Комплексу "Вектор" (комплексу виробництв із дезактивації, транспортування, переробки та захоронення радіоактивних відходів з територій, забруднених наслідком аварії на Чорнобильській АЕС).

Протягом 2007–2009 рр. на території Комплексу “Вектор” нами проведено кількарізові польові вимірювання щільності потоку бета-часток з поверхні території в різні пори року. Досліджувана територія охоплює промисловий майданчик Комплексу “Вектор” і покрити переважно сосновими молодняками санітарно-захисну зону. На півночі територія Комплексу “Вектор” межує із західним слідом чорнобильського викиду, що призвело до значних рівнів забруднення досліджуваної території ^{90}Sr і, як наслідок, до поверхневого бета-забруднення (рис. 1). Значення поверхневого забруднення території ^{90}Sr станом на 1996 р. наведено за даними відділу географічних інформаційних систем ЦНТІ ДСП “РУЗОД”.

Для проведення польових вимірювань використано дозиметр-радіометр гамма-бета-випромінювань пошуковий МКС-07 “Пошук” із блоком детектування БДИБ-07. Вимірювання проведено на пікетах, регулярно розташованих на території за прямокутною мережею з кроком 350×350 м. Радіоекологічні спостереження на території Комплексу “Вектор” проводяться з 1996 р. [10] Площа окремого пікету при проведенні робіт 2007–2009 рр. відповідає 1 м^2 у мірілі зйомки, що на місцевості становить 100 м^2 . На кожному пікеті вимірювання проводили в 5-ти місцях, розташованих “конвертом”. Окреме місце вимірювань за розмірами не перевищувало ділянку поверхні з радіусом 30 см, що зумовлено емпірично встановленим лінійним параметрам окремої проби ґрунту в умовах радіаційного забруднення зони відчуження Чорнобильської АЕС [11]. Результати вимірювань записували в польовий журнал. При виконанні вимірювань датчик радіометра розташовували безпосередньо над поверхнею ґрунту. Географічні координати пікетів визначали із застосуванням приймача глобальної системи позиціонуван-

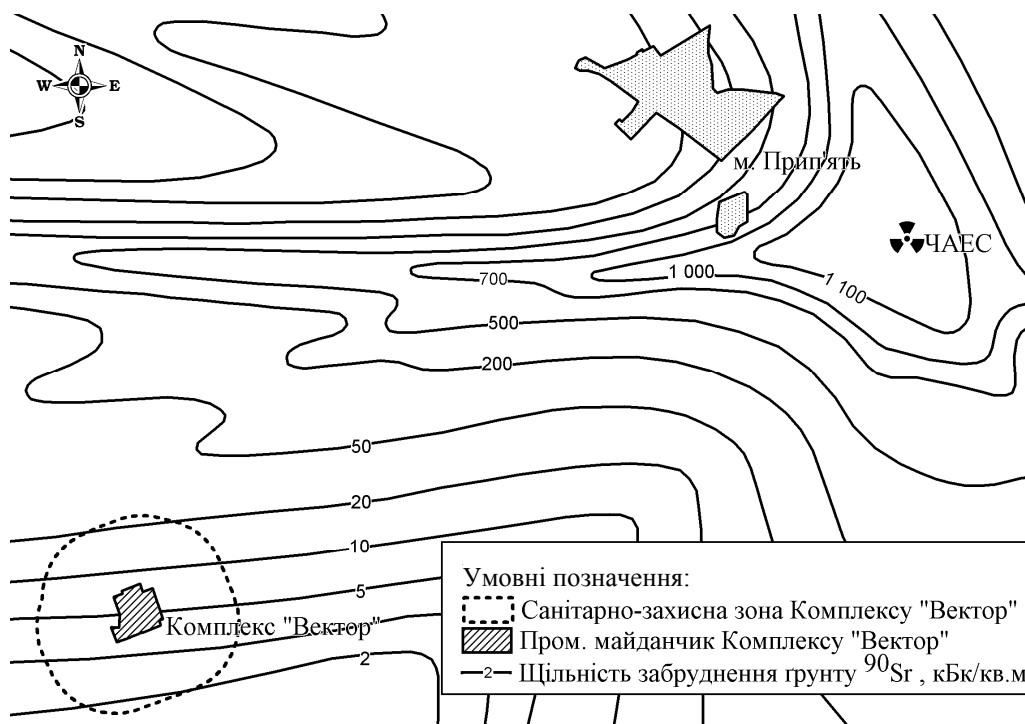


Рис. 1. Розташування Комплексу “Вектор” щодо західного сліду викидів аварії на Чорнобильській АЕС (щільність забруднення ґрунту – станом на 1999 р.).

ня iFinder Lowtance. У місцях спостережень також було відібрано проби ґрунту, живого (мохова подушка) і неживого (лісова підстилка) надґрунтового рослинного покриву. Відібрані проби, висушені до постійної ваги при 105°C, вимірювали щодо питомої бета-активності з застосуванням радіометра бета-випромінення “Бета”.

Коефіцієнти пропорційності бета-активності досліджуваного компонента біогеоценозу щодо підстилаючої поверхні обчислювали за формулою:

$$K_{np} = \frac{C_i}{C_j}$$

де C_i – бета-активність компонента біогеоценозу; C_j – бета-активність субстрату.

Вимірювання в межах даного дослідження проведені з розширеною невизначеністю, що не перевищує 30%. Значення розширеної невизначеності обчислювали згідно з існуючими рекомендаціями [8].

Обстеження території Комплексу “Вектор” показало, що її відкрита денному світлу поверхня представлена переважно такими типами місць вимірювань: 1) малогумусовані моренні кварцові піски в місцях, де внаслідок техногенного втручання зведено лісовий покрив. Обіймають до 6% території; 2) перелоги з задернованим і вкритим травостоем ґрунтом на місці колишніх сільськогосподарських угідь (8% території); 3) лісові згарища, що частково зайняті березовим підростом і залишками сосняку (до 10% території). У таких місцях поверхня ґрунту покрита травостоем, листяним опадом, місцями перемішаним із хвойним; 4) сосновий ліс із поверхнею ґрунту, вкритою хвойним опадом або мохом (73% території). У цих умовах на вкритий мохом ґрунт припадає до 15% місць спостереження.

У місцях спостережень товщина ферментативного та гумусового шарів ґрунту становить 3–5 і 1–2 см, відповідно. Ферментативний шар ґрунту під моховою подушкою є більш потужним, порівняно з хвойною підстилкою. Гумусовий шар під моховою подушкою – слабо виражений, а підстилаючий пісок має світліше забарвлення. Порівняння розподілу питомої та поверхневої бета-активності на покритій лісом території між верхніми шарами ґрунту та надґрунтового покриву показало, що найменшу активність мають підстилаючі моренні піски (див. таблицю), які є генетичною основою ґрунту в місцях спостережень і, як відомо, не накопичують радіонуклідів, а слугують тільки середовищем міграції [7]. У місцях розповсюдження хвойної підстилки найбільші бета-активності пов’язані з опадом поточного року та ферментативним шаром. Поверхнева активність гумусового шару в таких місцях закономірно нижча на 10–20%.

Співвідношення β-активності шарів поверхні в місцях спостережень

Коефіцієнти пропорційності	Кількість спостережень	Питома β-активність		Поверхнева β-активність	
		Середнє	V, %	Середнє	V, %
АоL/АоF	45	1,1	21	1	46
Ао(опад)/АоF	15	0,042	16	0,49	38
Мох/АоF	31	0,83	18	0,70	31
Ао(мох)/АоF	12	0,045	39	0,60	45

Примітки. АоL – хвойний опад; АоF – ферментативний шар ґрунту; Ао(опад) – малогумусований пісок під опадом, Ао(мох) – малогумусований пісок під мохом; V – значення коефіцієнта варіації.

Нами зафіксовано різницю між значеннями коефіцієнта пропорційності бета-активності шарів ґрунту під хвойною підстилкою та моховою подушкою, вимірними як на різних пікетах, так і в безпосередній близькості – на одному пікеті. Середнє значення коефіцієнта пропорційності ферментативного шару ґрунту щодо підстилаючого малогумусованого піску, під хвойним опадом, становить 34, під моховою подушкою – 47. Отримані результати показують, що під мохом ферментативний шар ґрунту більш інтенсивно накопичує ^{90}Sr , ніж під опадом. Знайдену закономірність було виявлено як у лабораторних умовах, так і в польових – при пошаровому вимірюванні поверхневої бета-активності ґрунтового профілю.

У місцях розповсюдження хвойної підстилки знайдено кореляційну залежність значень бета-забрудненості верхніх шарів ґрунту. Значення питомої бета-активності ферментативного шару ґрунту корелює з нижчим малогумусованим піском із квадратичним коефіцієнтом кореляції 0,9, з опадом поточного року – з коефіцієнтом 0,7. Отримані результати показують, що ферментативний шар ґрунту є основним джерелом бета-забруднення підстилаючого піску. Хвойний опад забруднюється ^{90}Sr через кореневу систему дерев, відповідно, кореляція між бета-активністю опаду та ферментативного шару є дещо меншою. Забруднення ферментативного шару ґрунту сформувалося внаслідок як первинних аварійних випадань 1986 р., так і внаслідок деструкції опаду.

Кореляції за ознакою питомої бета-активності між верхніми шарами ґрунту та моховою подушкою не знайдено. Відомо, що по мірі віддалення в часі від аварійних атмосферних випадань 1986 р., мохи, що живляться з повітря і мають верхівковий приріст, очищуються від нуклідів [1]. Таким чином, менше забруднені ^{90}Sr молоді мохи поглинають бета-випромінення підстилаючого ферментативного шару ґрунту. Не знайдено також кореляції між бета-активністю епігейних лишайників і підстилаючим ґрунтовим покривом. Лишайники, що, подібно до мохів, живляться з приземного шару повітря і накопичують радіонукліди з атмосферних випадань, не тільки не послаблюють випромінення підстилаючого малогумусованого піску, але й, навпаки, є найбільш бета-активним компонентом у вертикальному профілі відповідних біогеоценозів.

Зафіксована в польових умовах на одному пікеті різниця між щільністю потоку бета-часток над поверхнею мохової подушки та хвойного опаду, або над малогумусованим піском і епігейними лишайниками може сягати 30–40% та 40–80%, відповідно. При цьому поверхнева бета-активність над мохами знижується, а над епігейними лишайниками та хвойним опадом – зростає. Подібні обставини викликані особливостями міграції ^{90}Sr та його накопиченням на біогеохімічних бар'єрах. Названий нуклід накопичується глищею сосни через кореневе живлення дерев і збагачує опад поточного року. Мохова подушка, як і епігейні лишайники, накопичує ^{90}Sr з атмосферних випадань, із якими на поверхню території надходить значно менше радіонукліда, порівняно з хвойним опадом. Оскільки під мохом залягає більш радіоактивний ферментативний шар ґрунту, мохова подушка при проведенні радіометрії виступає як екран, що поглинає потік бета-часток, тоді як лишайниковий покрив і опад – як потужні, порівняно з сусідніми типами поверхонь, джерела бета-випромінення. Отримані результати показують, що міграція і накопичення ^{90}Sr , які відбуваються залежно від біогеоценотичних умов і визначають результати вимірювань поверхневої бета-активності, можуть призводити до зростання

невизначеності й навіть до невідтворюваності результатів, якщо вимірювання проводили без урахування біогеоценотичних особливостей поверхні.

Протягом післяаварійного часу особливості біогеохімічної міграції ^{90}Sr порізно впливали на результати польової бета-радіометрії. Із результатів спостережень, що проводились на території Комплексу “Вектор” з 1996 р. без урахування біогеоценотичних особливостей поверхні, видно, що до 2002 р. такий підхід при вимірюванні поверхневої бета-активності на відтворюваність результатів впливав незначно. Про це свідчать високі коефіцієнти кореляції при порівнянні результатів вимірювань різних років (рис. 2).

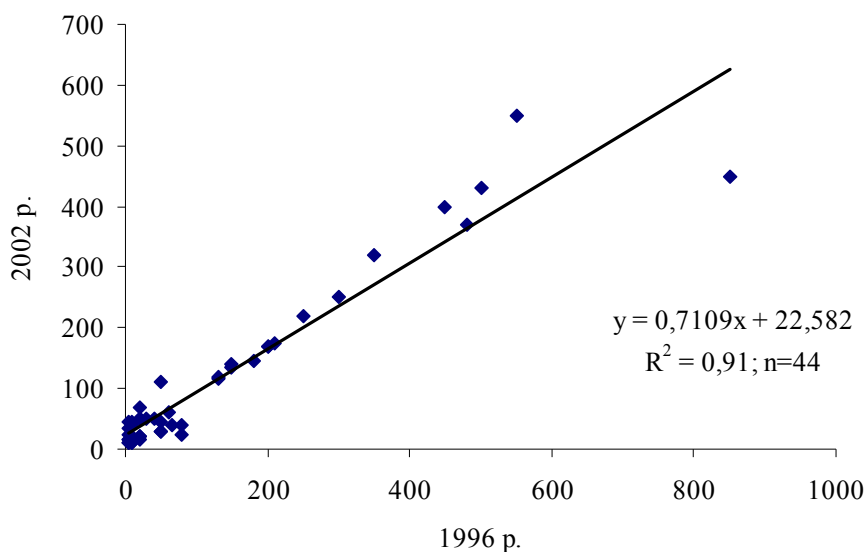


Рис. 2. Порівняння значень поверхневої бета-активності (част.·см²/хв) на території Комплексу “Вектор” за результатами спостережень 1996–2002 рр.

У вказаний період, тобто протягом перших 10–15 років після аварії, коли первинні випадання заглибились у ґрунті до рівня ферментного шару, щорічний опад ще не виносив на денну поверхню достатню кількість ^{90}Sr , щоби вплинути на результати польової бета-радіометрії. Мохова подушка вже почала очищуватися від первинних випадань [1]. Таким чином, лісова підстилка, як і мохова подушка в цей час поглинали бета-випромінення ферментного шару ґрунту. Через 10–15 років після аварії на Чорнобильській АЕС у біогеоценозах зони відчуження активізується геохімічна міграція ^{90}Sr , і роль цього нукліда в поверхневому забрудненні постійно зростає [3]. Сучасний складний розподіл поверхневої бета-активності в лісових біогеоценозах призводить до зниження відтворюваності результатів вимірювань (рис. 3) та до необхідності враховувати біогеоценотичні особливості поверхні в методиках виконання вимірювань.

Крім біогеохімічних, на результати вимірювань поверхневої бета-активності значно впливають погодні умови та їх першочерговий наслідок – вологість живого та неживого надґрунтового покриву. Складність цього фактора полягає в тому, що нема оператив-

ного і доступного польового методу оцінки вологості поверхні для урахування її впливу на результати вимірювань. Зниження рівня відтворюваності результатів польової бета-радіометрії хвойної підстилки в різних погодних умовах коливається на досліджуваній території від 3 до 70% при середньому – 40%, перш за все, внаслідок різної вологості поверхні під час вимірювань. При проведенні щорічних спостережень в однакову пору року з дотриманням вимоги проведення вимірювань не раніше ніж через три доби після останніх дощових опадів можна досягти значного рівня відтворюваності результатів, що не перевищуватиме 20%, як це видно з рис. 2, де порівняно результати 1996 та 2002 рр., коли в різні роки вимірювання проводили в червні-липні у суху ясну погоду. На рис. 4 наведено результати кореляційного порівняння вимірювань на 16 пікетах значень поверхневої бета-активності хвойного опаду протягом польового періоду (з квітня по листопад) 2008-2009 рр. Щоденні вимірювання проводили не раніше ніж через три доби після останніх дощових опадів. Тим не менш, вплив сезонних погодних умов утричі погіршує отримані результати, порівняно з отриманими протягом одного сезону.

Поряд із тим, обмеження щодо проведення спостережень протягом одного сезону і однакових погодних умов значно звужують можливості вимірювань у часі та ускладнюють їхню організацію. Іншим підходом до зменшення межі невизначеності та збільшення відтворюваності може бути створення еталонного пікету на території, що підлягає регулярним багаторічним обстеженням. На такому пікеті ми пропонуємо встановити внаслідок лабораторних і багаторазових польових вимірювань, при різних погодних умовах з урахуванням вологості надґрунтового покриву, еталонне значення поверхневої бета-активності. Щоденне проведення польових спостережень має починатися з вимірювань на еталонному пікеті. Значення відхилення результату контрольних вимірювань

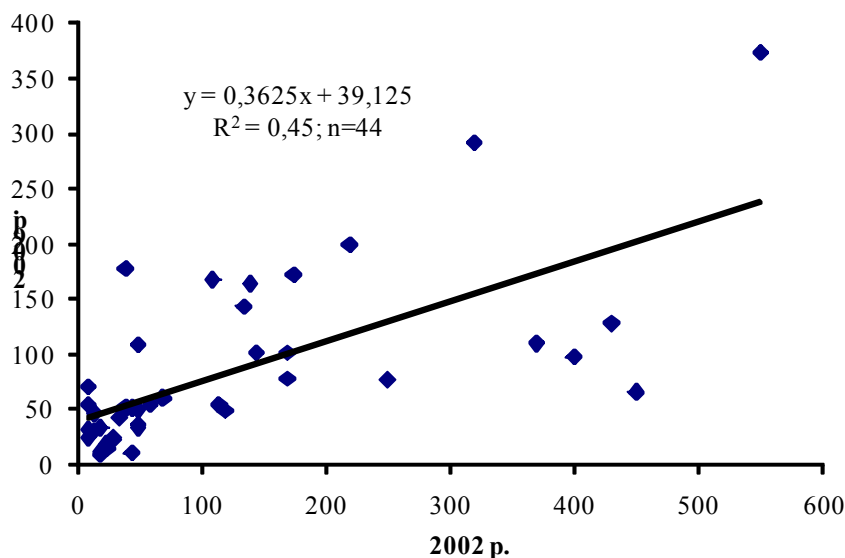


Рис. 3. Порівняння значень поверхневої бета-активності (част.·см²/хв) на території Комплексу “Вектор” за результатами спостережень 2002–2009 рр.

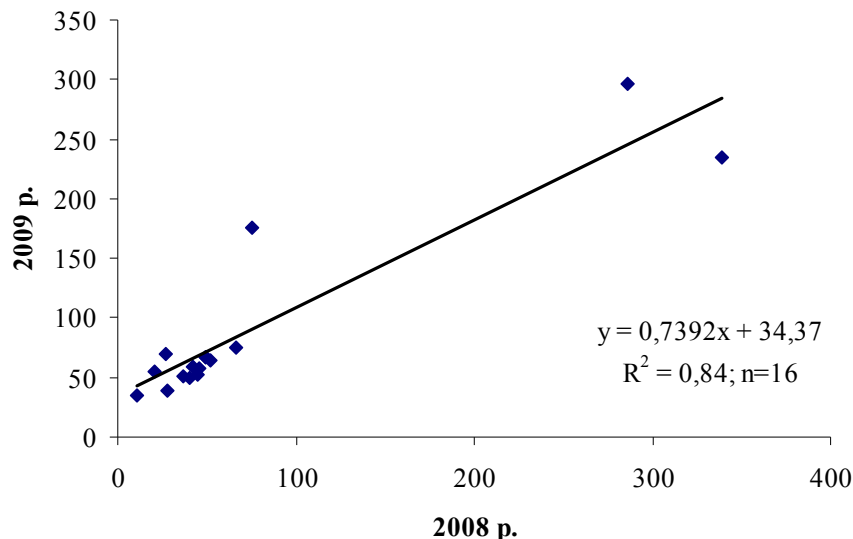


Рис. 4. Порівняння значень поверхневої бета-активності (част. · см²/хв) на території Комплексу "Вектор" за результатами спостережень 2002–2009 рр.

від еталонного на задану величину (наприклад, на 25%) ми пропонуємо вважати лімітуючою умовою для проведення вимірювань у певний день.

На невизначеність і відтворюваність результатів вимірювань при проведенні польової бета-радіометрії найбільше впливають фізичні параметри верхнього шару ґрунту і надґрунтового покриву (товщина, щільність і вологість), які перебувають у залежності від погодних та біогеоценотичних умов. Результати польової бета-радіометрії природних поверхонь на досліджуваній території без урахування фізичних параметрів поверхні у 30% випадків перевищують граничну невизначеність 40%. Відхилення відтворюваності результатів вимірювань може коливатися від 3 до 70%.

Для отримання порівнянних за різними погодними умовами результатів ми пропонуємо проводити вимірювання тільки за умови оцінки результату на еталонному пікеті. В такому випадку рішення про проведення бета-радіометрії території за певних погодних умов приймається за умови неперевищення відхилення виміряного значення поверхневої бета-активності еталонного пікету від контрольного на задану величину.

На розподіл ⁹⁰Sr і поверхневу бета-активність території значно впливають біогеоценотичні умови та пов'язані з ними біогеохімічні процеси. Для успішного проведення вимірювань необхідно виконати типізацію поверхонь досліджуваної території та проводити бета-радіометрію з урахуванням біогеоценотичного типу поверхні, наприклад, хвойна або листяна підстилка, мохова подушка, епігейні лишайники, малогумусований пісок тощо.

1. *Болюх В. О.* Радіоекологічний моніторинг мохоподібних // Укр. ботан. журн. 1994. Т. 51. № 2/3. С. 172–178.
2. Виконання моніторингу майданчику 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. К., Чорнобиль, МПНС України, ДСП " Техноцентр ", 2002 р.
3. *Ганжа Д. Д.* Біогеохімічна індикація довгоживучих радіонуклідів Чорнобильської зони відчуження / Наукові основи ведення сталого лісового господарства: Матеріали міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 80-річчю з дня народження В. С. Пастернака (Т. II). Держкомлісгосп України, НАН України, УкрНДІгірліс, Прикарпатський нац. ун-т. Івано-Франківськ, 2006. С. 61–65.
 4. Державна повірочна схема для засобів вимірювань активності, питомої активності та об’ємної активності радіонуклідів. Метрологія : ДСТУ 3743-98. К.: Держстандарт України, 1998. (Національний стандарт України).
 5. Контроль радиационный при захоронении радиоактивных отходов. Номенклатура контролируемых параметров: ГОСТ 12.1.048-85. Система стандартов безопасности труда. М.: Государственный комитет СССР по стандартам. 9 с.
 6. Методические рекомендации по оценке радиационной обстановки в населенных пунктах / Утверждено: зам. Министра здравоохранения СССР А. И. Кондрусов, 25.07.1990; зам. Председателя Государственного Комитета СССР по гидрометеорологии. 20 с.
 7. *Николаенко В. И., Семенюк А. В., Скаржинский А. В.* Фильтрационные свойства четвертичных покровных отложений Чернобыльской зоны отчуждения и их влияние на миграцию радионуклидов // 36. наук. праць. К.: Ін-т геохімії навколишнього середовища, 2004. С. 39–42.
 8. Применение Руководства по выражению неопределенности измерений. РМГ 43-2001 : Государственная система обеспечения единства измерений. Изд. официальное. Минск: ИПК, Изд-во стандартов, 2003. 19 с.
 9. Система радіоекологічного моніторингу селітебних територій. Метрологія: ДСТУ 4742:2007. К. : Держстандарт України, 2008. (Національний стандарт України).
 10. 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”. К.; Чорнобиль: МПНС України, ДСП " Техноцентр ", 1996.
 11. *Хомутинин Ю. В., Кашипаров В. А., Жебровская Е. И.* Оптимизация отбора и измерений проб при радиоекологическом мониторинге: Монография. К.: УкрНИИСХР, 2001. 160 с.
 12. Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual (MARSSIM) / August 2000 Revision 1. NUREG-1575, Rev. 1, EPA 402-R-97-016, Rev. 1, DOE/EH-0624, Rev. 1. 2000. 650 p.

SFEATURE OF RADIOMETRY SURVEY SUPERFICIAL OF TERRITORIES CONTAMINATION BETA-RADIATION NUCLIDES

D. Ganzha*, B. Mickevich, B. Sploshnoj***, M. Krachkovsky****

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

***State Specialized Enterprise "TECHNOCENTRE"
10, Radyanska St., Chornobyl 07270, Ukraine
e-mail: rdi@ic-chernobyl.kiev.ua*

****State Specialized Enterprise "RUZOD"
10, K. Libkneht St., Chornobyl 07270, Ukraine
e-mail: lmzo@ic-chernobyl.kiev.ua*

The field beta-radiometric method allows to conduct radiation superficial contamination control of territory by beta-radioactive radio nuclides, above all things – ^{90}Sr , in the conditions of radiation failures and exploitation of nuclear objects in the regulation mode. The method also allows to conduct the ecological indication of radionuclides biogeochemical migration and radioecological diagnostics of ecosystems. For successful realization of method it is suggested to conduct measuring a mode the account not only weather terms but also ecosystem typification of surfaces. Results over of measuring are brought superficial beta of activity in the Chornobyl NPP exclusive zone pine forests.

Key words: beta-radiometry, Chornobyl NPP exclusive zone, ecology, forest bedding, soil, monitoring, radiation safety, strontium-90.

ОСОБЕННОСТИ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ПОВЕРХНОСТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ БЕТА-ИЗЛУЧАЮЩИМИ НУКЛИДАМИ

Д. Ганжа*, С. Мицкевич, Б. Сплошной***, М. Крачковський****

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

***Государственное специализированное предприятие "ТЕХНОЦЕНТР"
ул. Советская, 10, Чернобыль 07270, Украина
e-mail: rdi@ic-chernobyl.kiev.ua*

****Государственное специализированное предприятие "Региональное
управление обеспечения организационно-технической
и распорядительной деятельности"
ул. К. Либкнехта, 10, Чернобыль 76000, Украина
e-mail: lmzo@ic-chernobyl.kiev.ua*

Метод полевой бета-радиометрии позволяет проводить радиационный контроль поверхностного загрязнения территории бета-излучающими радионуклидами, в первую очередь – ^{90}Sr , в условиях радиационных аварий и эксплуатации ядерных объектов в регламентном режиме. Метод также позволяет проводить экологическую индикацию биогеохимической миграции нуклидов и радиоэкологическую диагностику биогеоценозов. Для успешной реализации метода предложено проводить измерения с учетом не только погодных условий, но и биогеоценологической типологии поверхностей. Приводятся результаты измерений поверхностной бета-активности в сосновых лесах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС.

Ключевые слова: бета-радиометрия, зона отчуждения Чернобыльской АЭС, лесная подстилка, мониторинг, почва, радиационная безопасность, стронций-90, экология.

Стаття надійшла до редколегії 10.12.09
Надійшла після доопрацювання 20.09.10
Прийнята до друку 21.09.10