

О. О. Бурдо, А. І. Липська, В. І. Ніколаєв, В. А. Шитюк, Н. В. Куліч

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

ВПЛИВ РАДІАЦІЙНИХ УМОВ НА ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ МИШОПОДІБНИХ ГРИЗУНІВ ІЗ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС

Представлено результати комплексних радіоекологічних та цитогенетичних досліджень. Досліджено рівні радіоактивного забруднення ґрунтів на експериментальних полігонах зони відчуження ЧАЕС. Виявлено кореляцію між концентраціями радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr в тушках тварин та радіоактивним забрудненням ґрунтів. Показано, що хронічний вплив радіоекологічних умов зони відчуження призводить до зростання патологічних змін у клітинах кісткового мозку тварин, які визначали за мікроядерним тестом.

Ключові слова: радіоактивне забруднення, мишоподібні гризуни, питома активність, радіонукліди, мікроядра.

Незважаючи на роки, що минули після аварії, зона відчуження ЧАЕС і на сьогодні залишається привабливим дослідницьким полігоном для багатьох науковців. У зоні відчуження вплив антропогенного навантаження найменший, що дає змогу досліджувати міграційні процеси техногенних радіонуклідів у природних умовах. Територія зони відчуження залишається відкритим джерелом радіонуклідного забруднення, що має складну структуру розподілу радіаційних полів. Аварійні випадіння представлені різноманітними фізико-хімічними формами, різним співвідношенням конденсаційної та паливної компонент. Ґрунтово-кліматичні умови суттєво впливають на міграцію та перерозподіл радіонуклідів у біоценозах. В екосистемах радіонукліди мігрують по трофічних ланцюгах й активно акумулюються живими організмами. Усе вищезазначене вказує на те, що проведення радіоекологічних досліджень залишається актуальною задачею на сучасному етапі.

Мета роботи – дослідити радіоекологічні умови на моніторингових стаціонарах зони відчуження ЧАЕС та цитогенетичні показники в індикаторних видів мишоподібних гризунів.

Матеріали та методи

Дослідження виконано на чотирьох моніторингових полігонах зони відчуження ЧАЕС, що знаходяться на різній відстані від ЧАЕС (Янів, Чистогалівка, Ізумрудне, Казкове). На дослідних полігонах було виділено стаціонарні площадки, де було розміщено пастки-живоловки системи Шермана для відлову мишоподібних гризунів. Ділянки були майже однакові за біотопними характеристиками і кормовою базою, проте сильно відрізнялись за радіаційними умовами. Тварин відловлювали в осінній період. Вибірki були представлені особинами 2 - 3-місячного віку. В якості модельних об'єктів використовували

Clethrionomus glareolus, *Microtus arvalis*, *Microtus agrestis*, *Apodemus flavicollis*. Вид тварин визначали за морфологічними ознаками та за допомогою каріотипування.

У місцях відлову тварин вимірювали потужність експозиційної дози γ -випромінювання (ПЕД γ) та щільність потоку β -частинок над поверхнею ґрунту за допомогою радіометра γ - β -випромінювання «Прип'ять». Також були відібрані зразки ґрунту для оцінки вмісту радіонуклідів та визначення щільності забруднення територій.

Після стандартної лабораторної підготовки проб вимірювання проводили на γ -спектрометрі CANBERRA та β -спектрометрі «СББ-50». Обробку спектрів здійснювали за допомогою програми WINSPECRUM та модифікованої програми «БЕТА+». Калібрування спектрометрів проводили як за енергією, так і за ефективністю з використанням сертифікованих еталонних джерел з об'ємними характеристиками, близькими до експериментальних зразків. Похибка вимірювання радіонуклідів не перевищувала 10 - 20 %. Вибірково проводили радіохімічний аналіз дослідних зразків, розбіжність даних β -спектрометрії та радіохімії були в межах 15 - 17 %. Для дослідження цитогенетичних аномалій (виявлення цитогенетичних ушкоджень) тварин забивали методом цервікальної дислокації. Зі стегнових кісток тварин вимивали кістковий мозок гіпотонічним розчином KCL. Препарати клітин кісткового мозку готували за стандартною методикою без застосування колхіцину [1]. В усіх тварин досліджували кількість клітин з мікроядрами (МЯ) та іншими типами патології ядра (апоптоз, двоядерні клітини, передчасна конденсація хромосом). У кожної тварини було проаналізовано по 5 тис. клітин.

Статистичну обробку результатів проводили з використанням програм STATISTICA 7.0 та Origin Pro8.

Результати досліджень

Досліджено рівні радіоактивного забруднення на експериментальних полігонах. У пробах ґрунту виявлено присутність таких радіонуклідів: ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , ^{154}Eu , $^{238-240}\text{Pu}$, ^{40}K . Найбі-

льший внесок у загальну радіоактивність випадінь вносять ^{137}Cs , ^{90}Sr та ^{241}Am . Вміст інших радіонуклідів у ґрунтах був відносно невисокий.

ПЕДґ та щільність забруднення дослідних ділянок представлено в таблиці.

Загальна характеристика радіоактивного забруднення ділянок

Полігон	Відстань від ЧАЕС, км	ПЕД γ-випромінювання, мкР/год	Щільність забруднення території, МБк/м ²	
			^{137}Cs	^{90}Sr
Янів (№ 1)	2,5	550 - 1400	3,7 - 20,0	0,7 - 2,1
Чистогалівка (№ 2)	3,5	310 - 620	1,3 - 8,7	0,3 - 1,03
Ізмурдне (№ 3)	5	137 - 154	1,6 - 1,8	0,03 - 0,19
Казкове (№ 4)	25	20 - 22	0,2 - 0,3	0,01 - 0,02

Моніторингові полігони суттєво відрізняються за рівнем радіаційного забруднення й мають складну структуру розподілу радіаційних полів. На полігонах Янів і Чистогалівка, що розташовані в ближній зоні ЧАЕС, спостерігали виражену «плямистість», а на інших – дозові поля розподілялись більш рівномірно.

Визначено співвідношення між щільністю радіоактивного забруднення території та ПЕДґ. ПЕДґ на місцевості у віддаленій післяаварійний період створюється в основному ^{137}Cs . Дослідження показали, що співвідношення між щільністю забруднення території ^{137}Cs і ПЕДґ становить $11,3 \pm 1,1$. Ці дані можна використовувати для оцінки щільності забруднення території, не застосовуючи радіометрію.

Досліджено вертикальний розподіл радіонуклідів за профілем ґрунту на дослідних стаціона-

рах. Відомо, що вертикальна міграція може здійснюватись за рахунок конвективного переносу, дифузії вільних і адсорбованих іонів; механічного переносу на частках ґрунту та на колоїдних частках; рослинного кореневого переносу.

В якості прикладу на рис. 1 представлено вертикальний розподіл радіонуклідів у ґрунті на полігонах з максимальним (Янів) та мінімальним (Казкове) рівнем забруднення. З представлених даних видно, що на даний час аварійні радіонукліди в основному знаходяться у верхньому 10-сантиметровому шарі ґрунту. Проведені дослідження демонструють, що ^{90}Sr є більш рухливим радіонуклідом у порівнянні з іншими і реєструється в ґрунтах до глибини 30 см. У роботах [2 - 4] відзначали підвищену міграційну рухливість ^{90}Sr в ґрунтах на слідах паливних випадінь ЧАЕС.

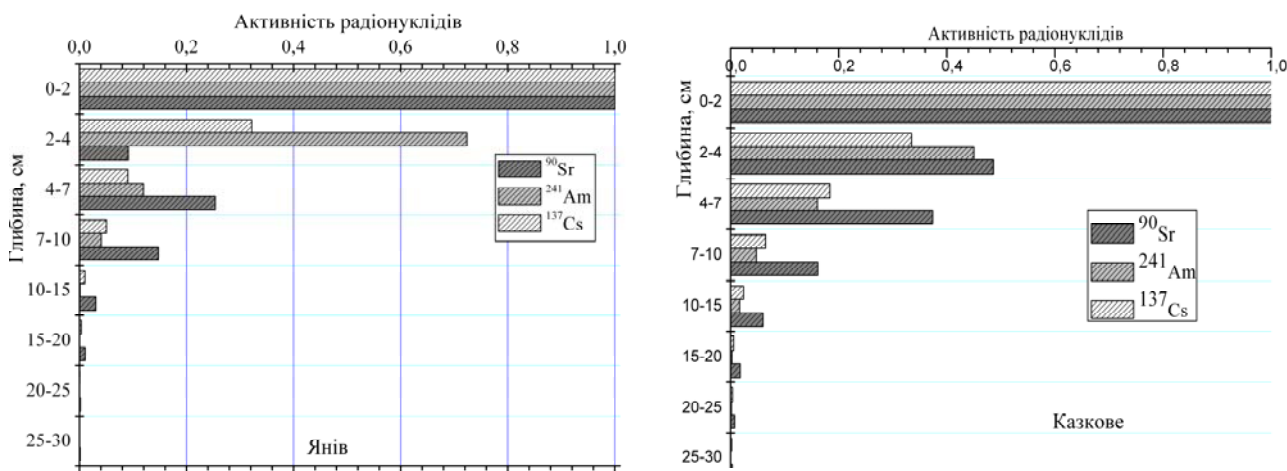


Рис. 1. Вертикальний розподіл радіонуклідів у ґрунті на полігонах Янів та Казкове відносно верхнього шару (0 - 2 см).

Радіонукліди у верхніх шарах ґрунту є постійним джерелом зовнішнього та внутрішнього опромінення тварин, зважаючи на те що мишоподібні гризуни живуть у тих пластах ґрунту, де знаходиться основна кількість аварійних радіонуклідів.

Ґрунти – початкова ланка більшості трофічних ланцюгів екологічного циклу переносу радіонуклідів із зовнішнього середовища до організму тварин, це відбувається за рахунок їхнього надходження через органи дихання та травлення [5, 6].

Досліджено вміст радіонуклідів у тілі мишо-подібних гризунів із полігонів із різним рівнем радіаційного забруднення у віддалений післяаварійний період. Проведені γ - і β -спектрометричні дослідження виявили в тушках тварин у значних кількостях ^{137}Cs та ^{90}Sr . Це, імовірно, обумовлено низькими значеннями коефіцієнтів переходу інших радіонуклідів у трофічному ланцюзі «грунт - рослина - тварина», а також слабким

їхнім всмоктуванням у шлунково-кишковому тракті тварин.

У результаті спектрометричних досліджень виявлено кореляцію між концентраціями інкорпорованих радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr та радіоактивним забрудненням ґрунтів на моніторингових полігонах (рис. 2). Це підтверджує провідну роль ґрунтового вмісту радіонуклідів у накопиченні їх в організмі дрібних гризунів.

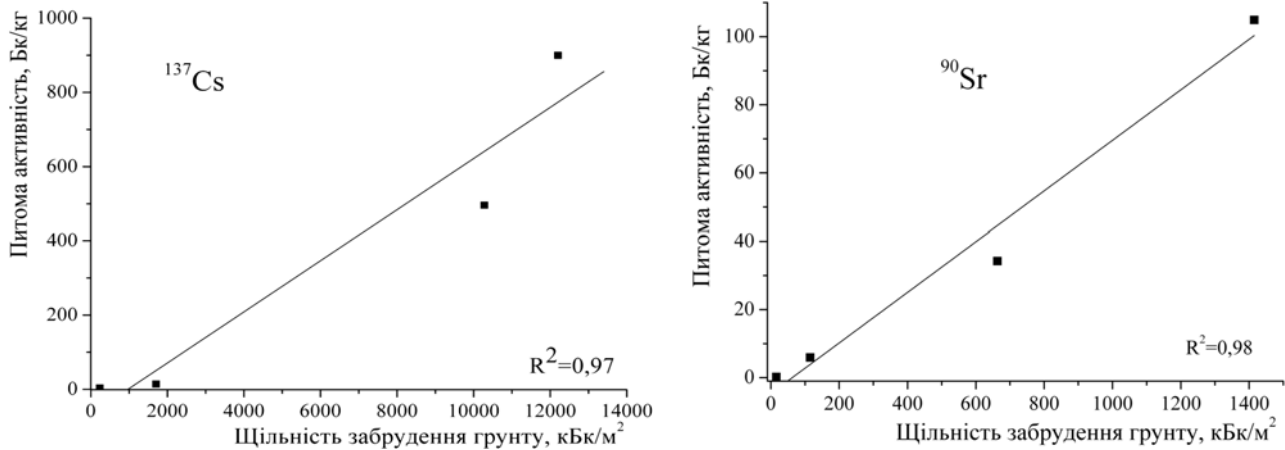


Рис. 2. Кореляція між концентраціями інкорпорованих радіонуклідів в організмі тварин та радіаційним забрудненням ґрунту радіонуклідами ^{137}Cs і ^{90}Sr .

Спостерігали суттєві міжвидові відмінності в накопиченні радіонуклідів у особин, які жили на одній території, аналогічні особливості реєстрували й раніше [7 - 9]. Ці відмінності можуть бути пов'язані з фізіологічними та морфологічними особливостями організмів, способом життя, специфікою харчування, поведінкою в природних умовах, особливостями розподілення популяції в біогеоценозі [6].

У результаті проведених досліджень встановлено, що руда нориця – найпоширеніший та домінуючий вид, який живе на всіх дослідних полігонах. Аналіз результатів спектрометричних досліджень показав, що даний вид тварин є найбільш радіаційно-забрудненим серед інших мишо-подібних гризунів.

Дані питомої активності інкорпорованих радіонуклідів у тушках рудих нориць з полігонів зони ЧАЕС представлено на рис. 3.

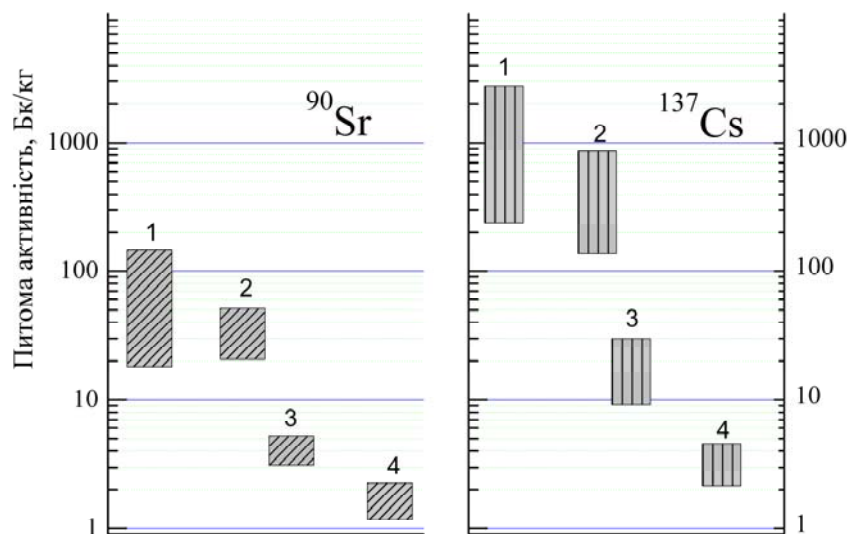


Рис. 3. Діапазон значень питомої активності інкорпорованих радіонуклідів ^{90}Sr та ^{137}Cs в тілі рудих нориць із полігонів: 1 – Янів; 2 – Чистогалівка; 3 – Ізумрудне; 4 - Казкове.

Слід відзначити, що радіоактивне забруднення рудих полівок суттєво варіювало серед особин одного виду, одночасно відловлених на одній ділянці, тому для аналізу результатів спектрометричних досліджень використовували середньогеометричні значення питомої активності радіонуклідів. Середньогеометричні значення питомої активності ^{137}Cs в тілі рудих нориць з полігона Янів були в 1,8, 8,8 і 200 разів вищими, ніж у тварин із Чистоголівки, Ізмурудного та Казкового, а ^{90}Sr – в 3, 25 і 48 разів відповідно.

Розрахунок потужностей поглинених доз у рудих нориць з дослідних полігонів зони відчуження ЧАЕС проводили з використанням [9, 10]. Величина потужності поглиненої дози у тварин з полігона Янів була 4,92 мГр/доба, Чистоголівка - 2,24; Ізмурудне – 0,16; Казкове – 0,05 мГр/доба. Слід зазначити, що у деяких особин даної популяції поглинені дози значно перевищували середньогрупові значення. Так, на полігоні Янів вони іноді досягали 8,5 мГр/доба.

Згідно з отриманими даними поглинені дози формуються головним чином за рахунок внутрішнього опромінення, при цьому роль ^{137}Cs і ^{90}Sr неоднакова. Руді нориці вирізняються високою інкорпорацією ^{137}Cs , це може призводити до домінуючого внеску даного радіонукліда в процес дозоутворення (полігони № 1 і 2). Проте на полігонах № 3 та 4 внесок ^{90}Sr і ^{137}Cs був майже однаковий.

Разом зі спектрометричними було проведено цитогенетичні дослідження нориць із дослідних полігонів. Дослідження генетичних порушень у клітинах кісткового мозку тварин є одним із найбільш поширених та інформативних методів оцінки радіоекологічного стану популяції тварин [11 - 15].

Дослідження мишоподібних гризунів із 30-кілометрової зони ЧАЕС показали високу генетичну ефективність усіх рівнів іонізуючого

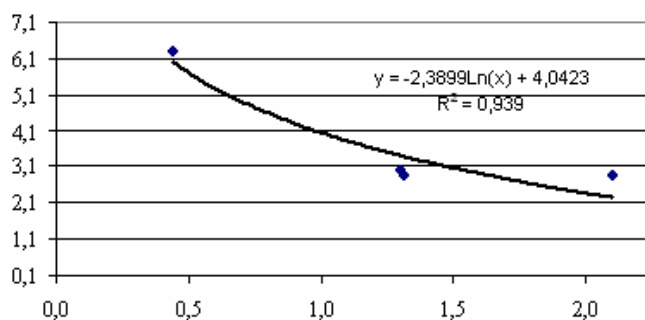


Рис. 4. Залежність частоти клітин з МЯ та клітин з іншими порушеннями структури ядра (на осях: ОХ – клітини з МЯ; ОУ – інші порушення ядра).

випромінювання, виявили збільшення як частоти клітин з МЯ, так і кількості МЯ у клітині. Винятком є тварини з полігона № 4 (Казкове). Радіаційні умови на даному полігоні суттєво не перевищують фонові рівні; що стосується цитогенетичних показників тварин, то їхні параметри знаходились у межах контролю. Тому тварин з цієї ділянки можна використовувати як групу умовного контролю.

Виявлено статистично достовірні відмінності між групами тварин із полігонів (Янів, Чистоголівка, Ізмурудне) та контрольною групою. Проведений аналіз показав, що у дослідних тварин частота однадерних клітин з МЯ у 8 - 13 разів, а середня частота МЯ у 13 - 24 разів перевищує спонтанний рівень. Проте слід зазначити, що між дослідними групами (з різним рівнем дозового навантаження) не виявлено достовірних відмінностей. Частота МЯ в клітинах суттєво не змінюється зі збільшенням потужності дози в діапазоні від 2 до 5 мГр/доба.

Утворення МЯ вказує на розвиток патологічних змін у структурі клітин кісткового мозку внаслідок дії радіаційного чинника. МЯ мають різні механізми утворення, однак більша частина з них формується під час патологічних мітозів, окрім того вони можуть з'являтися унаслідок апоптозу [12, 13]. Процеси, що лежать в основі утворення МЯ, безумовно свідчать про зниження життєздатності клітин. Якщо захисні механізми працюють неефективно, то можуть виникати вторинні порушення в структурі клітини, які можна розглядати як початкову стадію загибелі клітини.

При статистичному аналізі результатів цитогенетичних досліджень було виявлено обернену кореляцію залежності частоти клітин з МЯ та клітин з іншими порушеннями ядра (апоптоз, двоядерні клітини, передчасна конденсація хромосом) (рис. 4).

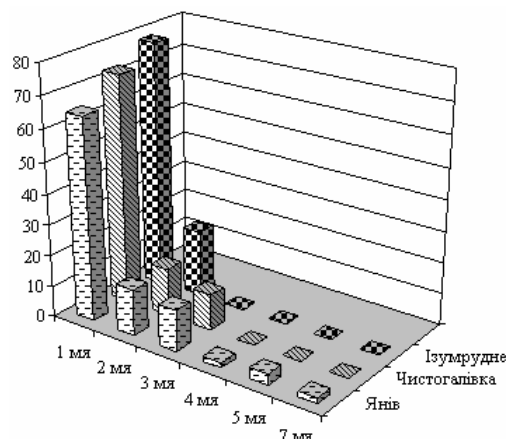


Рис. 5. Частота клітин з різною кількістю МЯ у рудих полівок з моніторингових полігонів.

Можна припустити, що процеси утворення МЯ мають зв'язок із процесами, що призводять до інших порушень структури ядра.

Цитогенетичний аналіз виявив достовірні відмінності за ступенем навантаження клітин МЯ залежно від рівня забрудненості території та інкорпорації радіонуклідів у тілі тварин, а також від дози опромінення. У рудих норичь із забруднених полігонів спостерігали появу клітин з множинними МЯ. Клітин з декількома МЯ в контрольній групі не виявлено. З рис. 5 видно, що лише у рудих норичь із найбільш забрудненого полігона Янів спостерігались клітини з множинними МЯ (4 - 7 на клітину). Отже, появу клітин із множин-

ними МЯ можна розглядати як специфічний радіаційний ефект і використовувати цей показник для індикації радіаційних ушкоджень.

Представлені дані свідчать про збільшенням цитогенетичних порушень у природних видових популяціях із радіаційнозабруднених територій. Отже, хронічне опромінення призводить до зростання патологічних змін у клітинах кісткового мозку тварин. Сукупність отриманих результатів та даних літератури [16] вказує на складні еколого-генетичні процеси, що відбуваються в популяціях у зоні радіоактивного забруднення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Shmid W.* // *Mutat. Res.* - 1975. - Vol. 31. - P. 9 - 15
2. *Kashparov V.A., Lundin S.V., Khomutinin Yu.V. et al.* Soil contamination with ^{90}Sr mobility in the Chernobyl accident // *J. of Environ. Radioact.* - 2001. - Vol. 56, No. 3. - P. 285 - 298.
3. *Иванов Ю.А., Левчук С.Е., Куреев С.И. и др.* Подвижность радионуклидов выброса ЧАЭС в почвах отчужденных территорий // *Ядерная физика та энергетика.* - 2011. - Т. 12, № 4. - С. 375 - 384.
4. *Желтоножская М.В., Кулич Н.В., Липская А.И., Садовников Л.В.* Исследование вертикальной миграции радионуклидов на территории полигона «Рыжий лес» // Там же. - С. 394 - 399.
5. *Гайченко В.А., Коваль Г.М., Титар В.М.* Особливості надходження і біогенного перерозподілу радіонуклідів, їх міграція по трофічних ланцюгах та формування дозових навантажень у диких тварин // *Чорнобиль. Зона відчуження / Під ред. В. Г. Бар'яхтара.* - К.: Наук. думка, 2001. - С. 299 - 324.
6. *Ильенко А.И., П.Т. Крапивко.* Экология животных в радиационном биогеоценозе. - М.: Наука, 1989. - 224 с.
7. *Липская А.И., Желтоножская М.В., Николаев В.И. и др.* Содержание техногенных радионуклидов в организме мелких грызунов чернобыльской зоны отчуждения в отдаленный послеаварийный период // *Ядерная физика та энергетика.* - 2011. - Т. 12, № 2. - С. 180 - 185.
8. *Lypska A.I., Zheltonozhskaya M.V., Burdo O.O. et al.* Spectrometric researches of *Clethrionomys* sp. from nearest 5 km ChNPP zone // III Междунар. конф. «Современные проблемы генетики, радиобиологии, радиозоологии и эволюции», посвященная 110-летию со дня рождения Н. В. Тимофеева-Ресовского: Тез. докл. (Алушта, Украина, 9 - 14 окт. 2010). - Дубна, 2010. - С. 112.
9. *Маклюк Ю.А., Гащак С.П., Максименко А.М. та ін.* Величина й структура дозових навантажень у дрібних ссавців чорнобильської зони через 19 років після аварії // *Ядерна фізика та енергетика.* - 2007. - № 3 (21). - С. 81 - 91.
10. *Гайченко В.А.* Особливості формування дозових навантажень деяких наземних тварин // *Наук. вісн. Національного ун-ту біоресурсів і природокористування України.* - 2009. - Вип. 134, ч. 1. - С. 134 - 141.
11. *Ильинских Н.Н., Новицкий В.В., Ванчугова Н.Н., Ильинских И.Н.* Микроядерный анализ и цитогенетическая нестабильность. - Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1992. - 272 с.
12. *Ковалева О.А.* Цитогенетические аномалии в соматических клетках млекопитающих // *Цитология и генетика.* - 2008. - № 1. - С. 58 - 72.
13. *Voitovich A.M., Afonin V.Y., Krupnova E.V. et al.* The level of aberrant cells in various tissues of bank vole depending on doses and radionuclide balance in organism // *Tsitol. Genet.* - 2003. - Vol. 37, No. 4. - P. 10 - 15.
14. *Костенко С.О., Глазко Т.Т.* Використання цитогенетичних параметрів мишоподібних гризунів для біоіндикації забруднених територій // *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. Біологія.* - 2002. - Вип. 30. - С. 23 - 29.
15. *Бурдо О.О., Вишневський Д.О., Мельник Т.В. та ін.* Микроядерний аналіз клітин кісткового мозку норичь з 30-кілометрової зони ЧАЕС // *Чорнобильський науковий вісник.* - 2010. - № 1 (35) - С. 52 - 54.
16. *Gudkov I.N., Gaychenko V.A., Pareniuk O.Yu., Grodzinsky D.M.* Changes in biocenoses in the Chernobyl NPP accident zone // *Ядерная физика та энергетика.* - 2011. - Т. 12, № 4. - С. 362 - 374.

Е. О. Бурдо, А. И. Липская, В. И. Николаев, В. А. Шитюк, Н. В. Кулич

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ НА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ ИЗ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

Представлены результаты комплексных радиозоологических и цитогенетических исследований. Изучено радиоактивное загрязнение почв на экспериментальных полигонах зоны отчуждения ЧАЭС. Выявлена корреляция между концентрациями радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в тушках животных и уровнем загрязнения почв. По-

казано, что хроническое воздействие радиоэкологических условий зоны отчуждения приводит к увеличению патологических изменений в клетках костного мозга животных, определяемых по микроядерному тесту.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, мышевидные грызуны, удельная активность, радионуклиды, микроядра.

O. O. Burdo, A. I. Lypska, V. I. Nikolaev, V. A. Shytiyk, N. V. Kulisch

INFLUENCE OF THE RADIATION ON CYTOGENETIC PARAMETERS MOUSELIKE RODENTS FROM THE CHORNOBYL NUCLEAR POWER PLANT EXCLUSION ZONE

Results of radioecological and cytogenetic studies are presented. The soil contamination on the testing experimental sites of Chernobyl exclusion zone was studied. The correlation between the concentrations of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the carcasses of animals and the level of soil contamination was revealed. The chronic exposure to radioecological conditions of the exclusion zone is shown to increase the pathological changes in bone marrow cells, which is determinates micronucleus test using.

Keywords: radiocontamination, mouselike rodents, specific activity, radionuclides, micronuclei.

Надійшла 01.11.2012

Received 01.11.2012