

© 2011 А. И. Липская, М. В. Желтоножская, В. И. Николаев, Е. О. Бурдо, Н. В. Кулич

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНИЗМЕ МЕЛКИХ ГРЫЗУНОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ В ОТДАЛЕННЫЙ ПОСЛЕАВАРИЙНЫЙ ПЕРИОД

Представлены данные исследований радиоактивного загрязнения и накопления радионуклидов в теле мышевидных грызунов, отловленных на полигоне «Янов» в зоне отчуждения ЧАЭС. Определен радионуклидный состав радиоактивного загрязнения территории, мощность эквивалентной дозы γ -излучения. Экспериментально определены уровни накопления радионуклидов в теле мышевидных грызунов, выявлены межвидовые особенности. Рассчитаны коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в одном из звеньев трофической цепи «почва - животное».

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, почвы, мышевидные грызуны, радионуклиды, коэффициенты перехода.

Зона отчуждения ЧАЭС является уникальной территорией, где миграцию выброшенных из разрушенного реактора радионуклидов можно изучать в природных условиях. Несмотря на то, что в течение всего послеаварийного периода многими научными подразделениями проводятся наблюдения за миграцией изотопов в почвах, а также их накоплением у разных представителей флоры и фауны [1 - 5], продолжение таких исследований остается актуальным и сейчас. Это связано с тем, что, во-первых, чернобыльские выпадения представлены различными физико-химическими модификациями, а также разным соотношением топливной и конденсационной форм выпадений [6 - 8]; во-вторых, постоянным изменением форм соединений, в которых находятся радионуклиды, под влиянием окружающей среды. Кроме того, особый интерес представляют исследования поведения радионуклидов в ближней зоне ЧАЭС, где выпадения, главным образом, представлены мелкодисперсными частичками облученного ядерного топлива.

Целью данного исследования было изучение радиоактивного загрязнения территории и уровня накопления техногенных радионуклидов у некоторых видов мелких грызунов, обитающих в ближней зоне ЧАЭС.

Материалы и методы

В качестве объекта исследований были выбраны мышевидные грызуны как индикаторная группа животных, широко используемая в радиобиологических и генетических исследованиях [9 - 13].

Для исследований животных отлавливали с помощью ловушек-живоловок системы Шермана [14] на территории исследовательского полигона «Янов» в ближней 5-километровой зоне ЧАЭС. В качестве приманки использовали обжаренные на

растительном масле кусочки белого хлеба. Ловушки размещали линиями через 4 м одна от одной и проверяли раз в сутки. Отлов животных проводили в осенний период 2009 - 2010 гг. Животных регистрировали с присвоением индивидуального номера и указанием даты и места отлова, видового названия, пола, возраста и массы тела. Животные были неполовозрелыми сеголетками (2 - 3 мес). Принадлежность отловленных животных к определенному виду устанавливали по морфологическим критериям и с помощью кариотипического анализа.

В работу включены данные по двум видам мышевидных грызунов: рыжая полевка (*Clethrionomys glareolus*) и желтогорлая мышь (*Apodemus flavicollis*)

В местах обитания животных измеряли мощность экспозиционной дозы с помощью радиометра γ - β -излучения «Припять». Для оценки плотности радиоактивного загрязнения территории и определения состава радионуклидных выпадений были отобраны образцы почв до глубины 30 см..

Измерения γ -спектров выполнялись на спектрометре фирмы CANBERRA с детектором из сверхчистого германия объемом 160 см³ с бериллиевым входным окном толщиной 250 мкм.

Для калибровки по энергии использовались стандартные γ -источники. Энергетическая шкала спектров была в диапазоне от 40 до 1700 кеВ. Это позволяло наблюдать характерные γ -линии таких изотопов, как: ^{241}Am (59,5 кэВ); ^{137}Cs (661,7 кэВ); ^{40}K (1460,8 кэВ).

Для калибровки по эффективности были использованы образцовые источники, имитирующие форму и размер мыши.

Время измерения образцов варьировалось в зависимости от скорости формирования пика линии 661 кэВ так, чтобы обеспечивалась стати-

стическая погрешность не более 3 - 5 % от площади пика. Обработку спектров проводили с использованием программы WINSPECRUM.

Содержание ^{90}Sr в большинстве образцов измеряли методом «толстых» проб без радиохимической подготовки образцов с использованием β -спектрометра «СЭБ-50» с программным обеспечением ESBS. Для контроля адекватности проведенных измерений проводили калибровку прибора. Погрешность определения содержания радионуклидов не превышала 30 %.

Избирательно проводили оценку содержания ^{90}Sr с использованием радиохимического анализа образцов. Сравнение результатов измерений, проведенных различными методами, показало корреляцию с точностью $\pm 15 - 20$ %.

Статистическую обработку данных проводили с использованием прикладных программ Microsoft Excel и Statistica.

Результаты исследований

Территория исследовательского полигона «Янов» расположена в ближней 5-километровой зоне ЧАЭС на участке хорошо увлажненных торфяных почв на границе между погибшим сосновым лесом «Рыжий лес» и рекультивиро-

ванными площадями тотальной дезактивации. Для него характерна хорошо развитая травяная растительность, малинники, заросли молодых берез, ольхи, крушины [15].

Широкомасштабное и неравномерное радиоактивное загрязнение территории является характерной особенностью аварии на ЧАЭС, не является исключением и исследовательский полигон «Янов».

Согласно проведенным полевым измерениям, радиационные условия на участке были весьма неоднородны и имеют «пятнистый» характер. Мощность эквивалентной дозы γ -излучения на разных участках экспериментального полигона варьировала в пределах от 5,0 до 14,50 мкЗв/ч. Плотность загрязнения территории полигона ^{137}Cs составляла 1,26 - 3,19, а ^{90}Sr – 0,72 - 2,26 МБк/м².

Почва является основным депо радионуклидов в природных экосистемах зоны отчуждения (ЗВ). Используя методы γ - β -спектрометрии, изучено содержание радионуклидов в почвах. В качестве примера на рис. 1 представлен γ -спектр верхнего слоя почвы (0 - 2 см), низкоэнергетическая область спектра (40 - 130 кэВ) представлена на рис. 1, а.

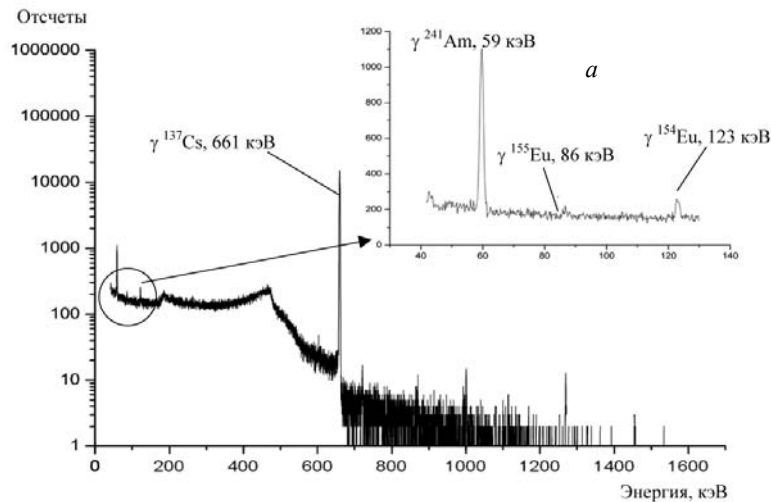


Рис. 1. Фрагмент γ -спектра верхнего слоя почвы (0 - 2 см) исследовательского полигона «Янов»; а - низкоэнергетическая область спектра (40 - 130 кэВ).

На представленном рисунке четко видны γ -линии радионуклидов ^{137}Cs , $^{154,155}\text{Eu}$ и ^{241}Am .

Поскольку в радиоактивных выпадениях аварийного выброса ^{137}Cs занимает лидирующее место среди долгоживущих радионуклидов, мы

представили данные о величине относительной активности радионуклидов, находящихся в верхнем слое почвы (0 - 2 см) исследовательского полигона «Янов» относительно ^{137}Cs , %:

^{241}Am	^{243}Am	^{243}Cm	^{155}Eu	^{154}Eu	^{137}Cs	^{134}Cs	^{60}Co	^{40}K
4,42	0,01	0,01	0,30	1,00	100,00	0,02	0,01	0,07

Из представленных данных видно, что в верхних слоях почв исследовательского полигона в

значительных количествах присутствует ^{241}Am , который является α -излучателем с периодом

полураспада более 400 лет; это высокотоксичный радионуклид с достаточно высокой миграционной способностью. Активность ^{241}Am достигнет максимума к середине XXI в., превысив свой начальный уровень в 40 раз, а суммарную α -активность остальных изотопов плутония более чем в 2 раза. Изучение поведения ^{241}Am в природных экосистемах будет актуальным для многих поколений исследователей.

В результате проведенных β -спектрометрических исследований были определены уровни загрязнения почв ^{90}Sr , его активность в верхних слоях почвы составляла 18 - 71 % от активности ^{137}Cs .

Количественный вклад радионуклидов в общую радиоактивность по мере убывания был следующим: $^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr} > ^{241}\text{Am} > ^{154}\text{Eu} > ^{155}\text{Eu} > ^{40}\text{K} > ^{134}\text{Cs} > ^{243}\text{Am} \geq ^{243}\text{Cm} \geq ^{60}\text{Co}$. Наибольший вклад в суммарную радиоактивность выпадений в месте обитания мышевидных грызунов вносят

^{137}Cs и ^{90}Sr .

Установлено, что распределение радионуклидов в исследуемых почвенных горизонтах (0 - 30 см) было неравномерным. На данной территории основной запас (90 % активности) радионуклидов находится на глубине до 4 см.

Наличие радионуклидов в корнеобитаемом слое грунта определяет существование долгоживущего источника поступления радионуклидов по трофическим цепям. Одними из основных факторов, которые определяют уровень накопления радионуклидов у диких животных, есть источник поступления радионуклидов, изотопный состав и загрязненность территории (особенности пространственного распределения радионуклидов в окружающей среде).

Изучены особенности накопления радионуклидов в организме мышевидных грызунов. На рис. 2 представлены характерные γ -спектры мышей, отловленных на полигоне "Янов".

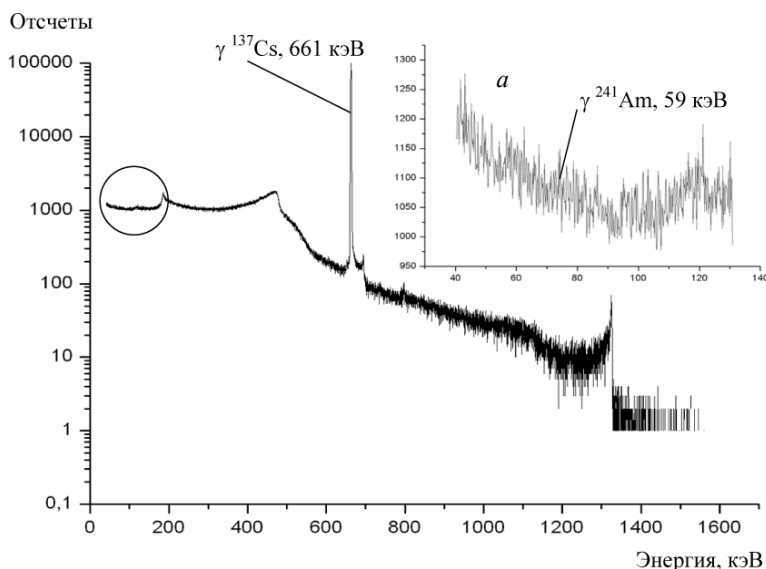


Рис. 2. Фрагмент γ -спектра тушки мыши, отловленной на полигоне; а - низкоэнергетическая область спектра (40 - 130 кэВ).

Данные γ - β -спектрометрических исследований выявили наличие только ^{137}Cs и ^{90}Sr в исследуемых образцах мышей. Это, по-видимому, обусловлено низкими значениями коэффициентов перехода «почва – растение» остальных радионуклидов, присутствующих в почве, а также слабым всасыванием изотопов америция и европия в пищеварительном тракте мышей. Величина коэффициентов всасывания для америция лежит в пределах 0,03 – 0,05 %, для европия - 0,04 – 0,07 % [16, 17].

Радиоактивное загрязнение животных, отловленных на одном участке, варьировало в широком диапазоне. Уровни накопления у разных особей ^{137}Cs составляли 9,53 – 3424, а ^{90}Sr 0,1 –

227 Бк/г. Следует отметить, что были выявлены особи с аномально высоким содержанием ^{137}Cs в организме – 16715 Бк/г.

Различное содержание радионуклидов в теле мышевидных грызунов можно объяснить высоким уровнем обмена веществ в организме, изменениями активности радионуклидов в ежедневном поступлении с продуктами питания. Известно, что для мелких животных периоды полувыведения ^{137}Cs из организма составляют 1,5 - 4,4 сут, а ^{90}Sr от 10 до 50 [18 - 21]. Таким образом, изменения в радиоактивности пищевого рациона могут оказывать существенное влияние на уровни накопления радионуклидов в организме.

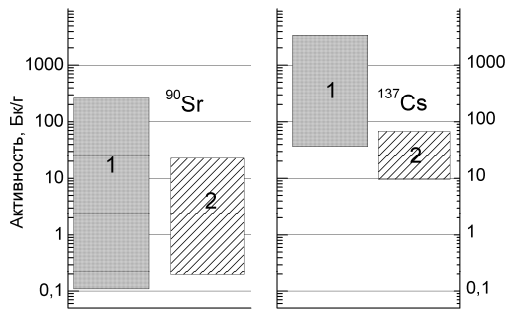


Рис. 3. Диапазон значений удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs у особей рыжей полевки (1) и желтогорлой мыши (2).

В эксперименте нами выявлены существенные межвидовые различия в накоплении радионуклидов у особей, отловленных на одной территории. В научной литературе [22, 23] имеется информация о наличии видовых отличий, связанных с особенностями питания. Питание животного зависит от сезона года, особенностей растительного комплекса и других факторов. На рис. 3. представлены данные об удельной актив-

ности инкорпорированных радионуклидов в теле рыжей полевки и желтогорлой мыши.

Среднее значение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr инкорпорированных в теле рыжей полевки было в 17 и 4,5 раза выше, чем у желтогорлой мыши соответственно.

Различия в накоплении, по-видимому, обусловлены видовыми особенностями пищевого рациона животных, именно составом и величиной активности радионуклидов в продуктах их питания. Пищевой рацион рыжих полевок очень разнообразен: могут питаться зелеными частями растений, семенами, грибами, подземными частями растений. Желтогорлые мыши питаются в основном семенами деревьев и кустарников, орехами и ягодами.

На рис. 4 представлено процентное распределение животных в зависимости от накопленной активности ^{137}Cs . Из представленных данных видно, что все особи желтогорлой мыши попадают в диапазон активностей от 1 - 100 Бк/г, а у большинства особей рыжей полевки (75 %) γ -активность тушки была намного выше.

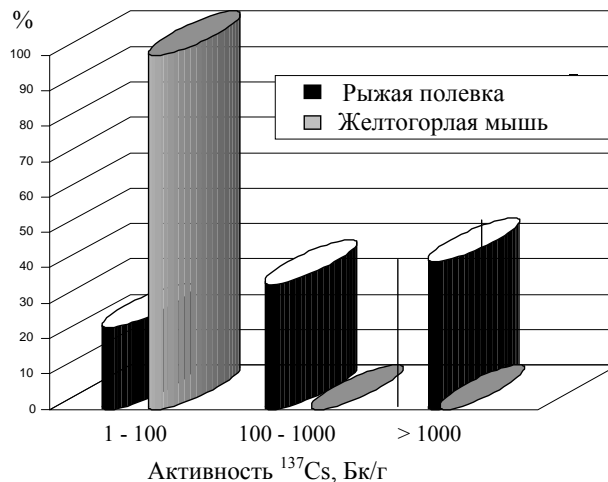


Рис. 4. Частотное распределение животных разных видов в зависимости от величины содержания в тушке ^{137}Cs .

На рис. 5 представлено процентное распределение животных в зависимости от накопленной активности ^{90}Sr .

На рисунках видно, что на диапазон активностей от 0,1 - 10 Бк/г приходится 50,0 % особей рыжей полевки, от 10 - 100 Бк/г – 38,9 %, а > 100 Бк/г всего 11,1 %. Иную картину распределения наблюдаем в группе особей желтогорлой мыши – в диапазоне активностей 0,1 - 10 Бк/г находится 80,0 % животных, а в диапазоне от 10 - 100 Бк/г – 20,0 %.

Нами были рассчитаны коэффициенты перехода (K_n) в цепочке “почва - животное” основных дозообразующих радионуклидов: ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Величину K_n рассчитывали как отношение удельной активности радионуклида в теле животных к активности радионуклида на единицу площади того участка, где было отловлено животное.

На рис. 6 представлены данные о K_n ^{137}Cs и ^{90}Sr в одном из звеньев трофической цепи “почва - животное” для разных видов животных.

Межвидовые различия K_n радионуклидов у животных, отловленных на одном участке, обусловлены пространственной неравномерностью радиоактивного загрязнения, временными изменениями в биологической доступности радионуклидов, а также перемещением животных по участку.

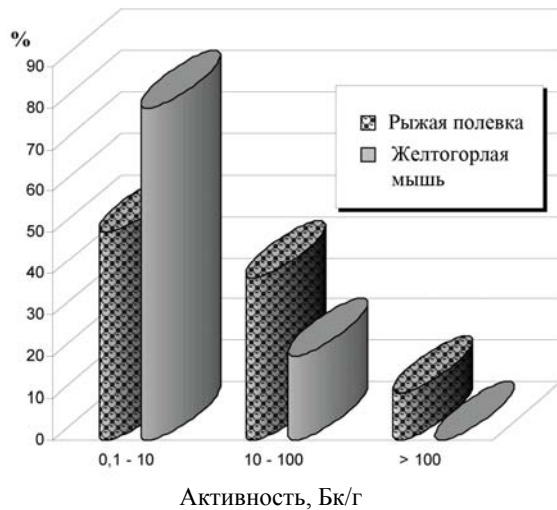


Рис. 5. Частотное распределение животных разных видов в зависимости от величины содержания в тушке ^{90}Sr .

Диапазон значений $K_{\text{п}}^{137}\text{Cs}$ у рыжих полевок был $1,6 \cdot 10^{-2}$ – $1,5$, у желтогорлой мыши $4,3 \cdot 10^{-3}$ – $3,1 \cdot 10^{-2}$. Среднее значение $K_{\text{п}}^{137}\text{Cs}$ у рыжих полевок было выше в 16,7 раз. Диапазон значений $K_{\text{п}}^{90}\text{Sr}$ у полевок ($0,71 \cdot 10^{-4}$ – $1,5 \cdot 10^{-1}$), у желтогорлой мыши ($0,13 \cdot 10^{-4}$ – $1,4 \cdot 10^{-2}$). Среднее значение $K_{\text{п}}^{90}\text{Sr}$ у полевок выше в 3,2 раза.

Анализируя полученные данные за 2009 – 2010 гг., нами не выявлено статистически достоверных изменений $K_{\text{п}}^{137}\text{Cs}$ и ^{90}Sr из почвы в жи-

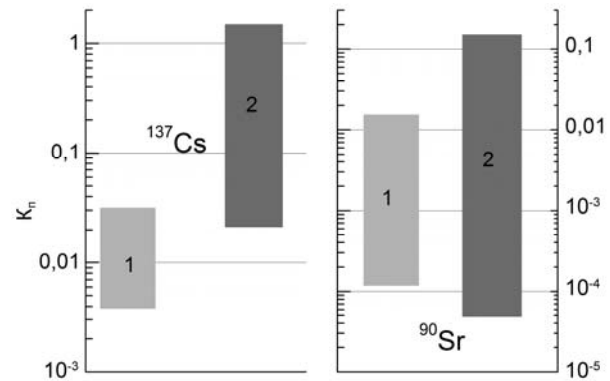


Рис. 6. $K_{\text{п}}^{137}\text{Cs}$ и ^{90}Sr в одном из звеньев трофической цепи “почва – животное”: 1 – желтогорлая мышь; 2 – рыжая полевка, $(\text{кБк} \cdot \text{кг}^{-1})/(\text{кБк} \cdot \text{м}^{-2})$.

вотное за этот временной период.

В результате проведенных исследований определен изотопный состав радионуклидов в почвах в местах обитания животных; оценены уровни накопления радионуклидов у мышевидных грызунов; выявлены межвидовые различия в уровнях накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr ; рассчитаны $K_{\text{п}}^{137}\text{Cs}$ и ^{90}Sr в одном из звеньев трофической цепи “почва – животное”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чернобыльская катастрофа* / Под ред. В. Г. Барьяхтара. - К.: Наук. думка, 1995. - 558 с.
2. *Радиобіологічні ефекти хронічного опромінення рослин у зоні впливу Чернобильської катастрофи* / Д. М. Гродзинський, М. І. Гуща, О. П. Дмитрієв та ін. - К.: Наук. думка, 2008. - 373 с.
3. *Радиоэкологические исследования в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС: к 20-летию аварии на Чернобыльской АЭС.* - Сыктывкар: Коми науч. центр УрО РАН, 2006. - 231 с.
4. *Гайченко В.А., Жежерин И.В., Небогаткин И.В.* Изменение видового состава и численности мелких млекопитающих в 30-км зоне ЧАЭС в послеаварийный период // Млекопитающие Украины. - К.: Наук. думка, 1993. - С. 153 - 164.
5. *Гераськин С.А., Фесенко С.В., Алексахин Р.М.* Воздействие аварийного выброса Чернобыльской АЭС на биоту // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2006. - Т. 46, № 2. - С. 178 - 188.
6. *Иванов Ю. А., Кашипаров В.А., Лазарев Н. М. и др.* Физико-химические формы выброса ЧАЭС и долгосрочная динамика поведения радионуклидов выброса в компонентах агроэкосистем // Итоги 8 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС “Чернобыль-94”: IV междунар. науч.-техн. конф., декабрь 1994 г.: Сб. докл. - Чернобыль, 1996. - Т. 1. - С. 256 - 269.
7. *Абагян А.А.* Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // Атомная энергия. - 1986. - Т. 61, вып. 5. - С. 301 - 320.
8. *Лоцилов Н.А., Кашипаров В.А., Юдин Е.Б. и др.* Физико-химические характеристики радиоактивных выпадений, образовавшихся в результате аварии на ЧАЭС // Проблемы сельскохозяйственной радиологии: Сб. науч. тр. / Под. ред. Н. А. Лоцилова. - К., 1991. - Вып. 1. - С. 8 - 12.
9. *Гайченко В.А., Коваль Г.М., Титар В.М.* Особенности надходження і біогенного перерозподілу радіонуклідів, їх міграція по трофічних ланцюгах та формування дозових навантажень диких тварин // Чернобыль. Зона відчуження: Зб. наук. праць. - К., 2001. - С. 299 - 316.
10. *Померанцева М.Д., Рамая Л.К., Рубанович А.В., Шевченко В.А.* Генетические последствия повышенного радиационного фона у мышевидных грызунов // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2006. - Т. 46, № 3. - С. 279 - 286.
11. *Ryabokon N.I., Smolich I.I., Kudryashov V.P. et al.* Long-term development of the radionuclide exposure of murine rodent populations in Belarus after the Chernobyl accident // Radiat. Environ. Biophys. -

2005. - Vol. 44, No. 3. - P. 169 - 181.
12. Гончарова Р. И., Рябоконь Н.И. Биологические эффекты в природных популяциях мелких грызунов на радиационно-загрязненных территориях // Радиационная биология. Радиоэкология. - 1998. - Т. 38, вып. 5. - С. 737 - 745.
 13. Маклюк Ю.А., Гацук С.П., Максименко А.М. и др. Величина и структура дозовых нагрузок у мелких млекопитающих Чернобыльской зоны через 19 лет после аварии // Ядерная физика та енергетика. - 2007. - № 3 (21). - С. 81 - 91.
 14. Maly M.S., Cranford J.A. Relative capture efficiency of large and small sherman live traps // Acta theriol. - 1985. - Vol. 30, No. 1 - 8. - P. 165 - 167.
 15. Атлас Чернобыльської зони відчуження / Під ред. В. М. Шестопалова. - К.: НВП "Картографія", 1996. - 26 с.
 16. Журавлев В.Ф. Токсикология радиоактивных веществ. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 336 с.
 17. Баженов В.А., Булдаков Л.А., Василенко И.Я. и др. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества: Справ. изд. / Под ред. В. А. Филова и др. - Л.: Химия, 1990. - 464 с.
 18. Richmond C.R. Retention and Excretion of Radionuclides of the Alkali Metals by Five Mammalian Species // Health Phys. - 1980. - Vol. 38. - P. 1111 - 1153. (USAEC Report LA-2207. Los Alamos Scientific Laboratory, 1958).
 19. Булдаков Л.А., Ерохин Р.А. К обмену стронция-90 в организме крыс, содержащихся на избыточном кальциевом рационе при хроническом внутрижелудочном введении // Распределение, биологическое действие и ускорение выведения радиоактивных изотопов (Симп., 1964 г.: Сб. рефер. докл.). - М., 1964. - С. 8 - 9.
 20. Ильенко А.И., Крапивко Т.П. Экология животных в радиационном биогеоценозе. - М.: Наука, 1989. - 224 с.
 21. Маклюк Ю.А., Гацук С.П., Максименко А.М. и др. Оценка параметров выведения ^{90}Sr и ^{137}Cs из организма диких и лабораторных мелких млекопитающих *in vivo*, после их естественного загрязнения в Чернобыльской зоне // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2007. - Т. 47, № 5. - С. 530 - 542.
 22. Животный мир в зоне аварии Чернобыльской АЭС / Под ред. Л. М. Сушени, М. М. Пикулика, А. Е. Плениной. - Минск: Наука и техника, 1995. - 263 с.
 23. Ильенко А.И., Крапивко Т.П. Результаты радиоэкологического мониторинга популяции рыжей полевки после Чернобыльской аварии // Зоол. журн. - 1998. - Т. 77, вып. 1. - С. 108 - 116.

А. І. Липська, М. В. Желтоножська, В. І. Ніколаєв, О. О. Бурдо, Н. В. Куліч

ВМІСТ ТЕХНОГЕННИХ РАДІОНУКЛІДІВ В ОРГАНІЗМІ ДРІБНИХ ГРИЗУНІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ У ВІДДІЛЕНІЙ ПІСЛЯВАРІЙНИЙ ПЕРІОД

Представлено дані комплексних досліджень радіоактивного забруднення територій у зоні відчуження ЧАЕС та експериментально визначено рівні накопичення радіонуклідів у тілі мишовидних гризунів, виявлено міжвидові особливості. Розраховано коефіцієнти переходу радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr в одній з ланок трофічного ланцюга "грунт - тварина".

Ключові слова: радіоактивне забруднення, ґрунти, мишовидні гризуни, радіонукліди, коефіцієнти переходу.

A. I. Lypska, M. V. Zheltonozhskaya, V. I. Nikolaev, O. O. Burdo, N. V. Kulisch

CONTENT OF THE TECHNOGENIC RADIONUCLIDES ACCUMULATION IN SMALL MAMMALS FROM THE EXCLUSION ZONE OF CHORNOBYL IN REMOTE PERIOD AFTER THE ACCIDENT

The data of the researches of radioactive contamination territory and the levels of the radionuclides' accumulation in the body of the small rodents from the exclusion zone of Chornobyl are presented in this work. Interspecies differences in the levels of the accumulation of the radionuclide's ^{137}Cs and ^{90}Sr were found. Transition coefficients radionuclide ^{137}Cs and ^{90}Sr in one of the links of the trophic chain - «soil - animal» were calculated.

Keywords: radioactive contamination, soils, small rodents, radionuclide, transition coefficients.

Поступила в редакцию 19.04.11,
после доработки - 15.06.11.