

ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДИКАТОРНИХ ВИДІВ МИШОПОДІБНИХ ГРИЗУНІВ З ТРАНСФОРМОВАНИХ БІОЦЕНОЗІВ ВОДОЙМИ-ОХОЛОДЖУВАЧА ЧАЕС

Н.М. Рябченко, А.І. Липська, О.О. Бурдо, Н.К. Родіонова, О.Б. Ганжа

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна  
natalia.ryabchenko@gmail.com

**Вступ.** Показники соматичного мутагенезу у представників індикаторних видів дрібних ссавців Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) активно досліджувались вітчизняними та зарубіжними фахівцями у перші роки після аварії та протягом наступних десятиліть минулого століття. Проте станом на цей час відсутні переконливі дані щодо популяційно-генетичних наслідків хронічного опромінення низької потужності у представників індикаторних видів дрібних ссавців. Одержані нами дані свідчать про фізіологічну та генетичну нестабільність системи крові у мишовидних гризунів з території ЧЗВ з різним рівнем радіоактивного забруднення. Зокрема, у досліджених тварин у віддалений період після аварії реєструється нестабільність хромосомного апарату соматичних клітин – одна з основних фенотипових ознак радіаційно-індукованої нестабільності геному.

У відділі радіоекології та радіоекології Інституту ядерних досліджень НАН України вперше здійснено цитогенетичний моніторинг елементарних популяцій індикаторних видів мишоподібних гризунів на ділянках осушеного ложа водойми-охолоджувача (ВО) ЧАЕС, в умовах заміщення водної екосистеми на наземну. Радіоекологічні умови на цих ділянках формуються за рахунок донних відкладень з високим вмістом паливних частинок та їхньої поступової деструкції, що призводить до зміни біодоступності радіонуклідів паливної матриці у ланцюзі «грунт-рослина-тварина». Разом з тим, на осушених ділянках ложа ВО спостерігається інтенсивне; формування наземних фітоценозів, що сприяє міграції та розмноженню дрібних ссавців з прилеглих територій, насамперед мишоподібних гризунів.

**Метою роботи** було оцінити рівні цитогенетичних порушень в клітинах кісткового мозку у мишоподібних гризунів з біоценозів, що зазнали трансформації внаслідок осушення ложа ВО ЧАЕС.



Рис.1. Розташування місць відлову тварин.

**Матеріали і методи.** Об'єктом дослідження були представники родин мишоподібних гризунів *Rodentia Muroidea*: нориця руда (*Myodes glareolus* (Schreber, 1780)) та мишак жовтогорлий (*Apodemus flavicollis* (Melchior, 1834)), що є доміантними видами на всій території ЧЗВ. Виллов тварин здійснювали на дослідних полігонах: 1 – територія берегової лінії ВО до проведення гідротехнічних робіт; полігон 2 – осушене дно гарячої частини ВО ЧАЕС, що межує з північною частиною розподільчої дамби (Рис.1).

Було обстежено 13 статевонезрілих особин *Myodes glareolus* з полігону 1 та 14 особин – з полігону 2; 12 статевонезрілих особин *Apodemus flavicollis* з кожного полігону. Контрольну групу склали 11 статевонезрілих особин нориці рудої та 13 особин *Apodemus flavicollis*.

Обстеження території дослідних полігонів проводили з використанням радіометра  $\gamma$ -  $\beta$ -випромінювання «Прип'ять». Вимірювали потужність експозиційної дози (ПЕД) та щільність потоку  $\beta$ -частинок на висоті 5 см над поверхнею ґрунту. Дозу зовнішнього опромінення дослідних тварин визначали з урахуванням добової активності окремих видів.

Визначали вміст  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  в організмі тварин за результатами  $\gamma$ -  $\beta$ - спектрометричних вимірювань на спектрометрах Canberra, USA, модель GX40185 та «СЕБ-50». Обробка спектрів здійснювалась із використанням програм WINSPECTRUM і BETAfit. Похибка  $\gamma$ - та  $\beta$ -спектрометричних вимірювань не перевищувала 3 - 5 та 10 - 20 % відповідно. Розраховували індивідуальні потужності дози внутрішнього опромінення, що формувались за рахунок інкорпорованих радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  з використанням програми BiotaDC (<http://biotadc.icrp.org/>).

Цитогенетичну оцінку здійснювали за частотою поліхроматофільних еритроцитів (ПХЕ, ретикулоцитів) із мікроядрами (МЯ) (у перерахунку на 1000 ПХЕ) методом протокової цитометрії. Клітини кісткового мозку із стегнової кістки тварин фіксували та фарбували акридиновим оранжесом для аналізу на протоковому цитофлуориметрі EPICS XL (Beckman Coulter, США, ЦККП НАН України Інституту біохімії НАН України).

**Результати.** Найвищі дози зовнішнього опромінення реєстрували у тварин, які мешкали на полігоні 1, і складали для рудої нориці 239 мкГр/доба, мишака жовтогорлого – 303 мкГр/доба. Потужність дози зовнішнього опромінення тварин родів *Apodemus* та *Myodes* з полігону 2 була 71 та 59 мкГр/доба, відповідно. Слід зазначити, що суттєвий вклад у дозу зовнішнього опромінення мишоподібних гризунів із дослідних полігонів ВО ЧАЕС вносить зовнішнє  $\beta$ -випромінювання, потужність зовнішньої дози Р $\beta$  у дрібних гризунів перевищувала в 2-3 рази зовнішню Р $\gamma$ . Результати спектрометричних досліджень тварин із дослідних полігонів представлено на рис. 2.

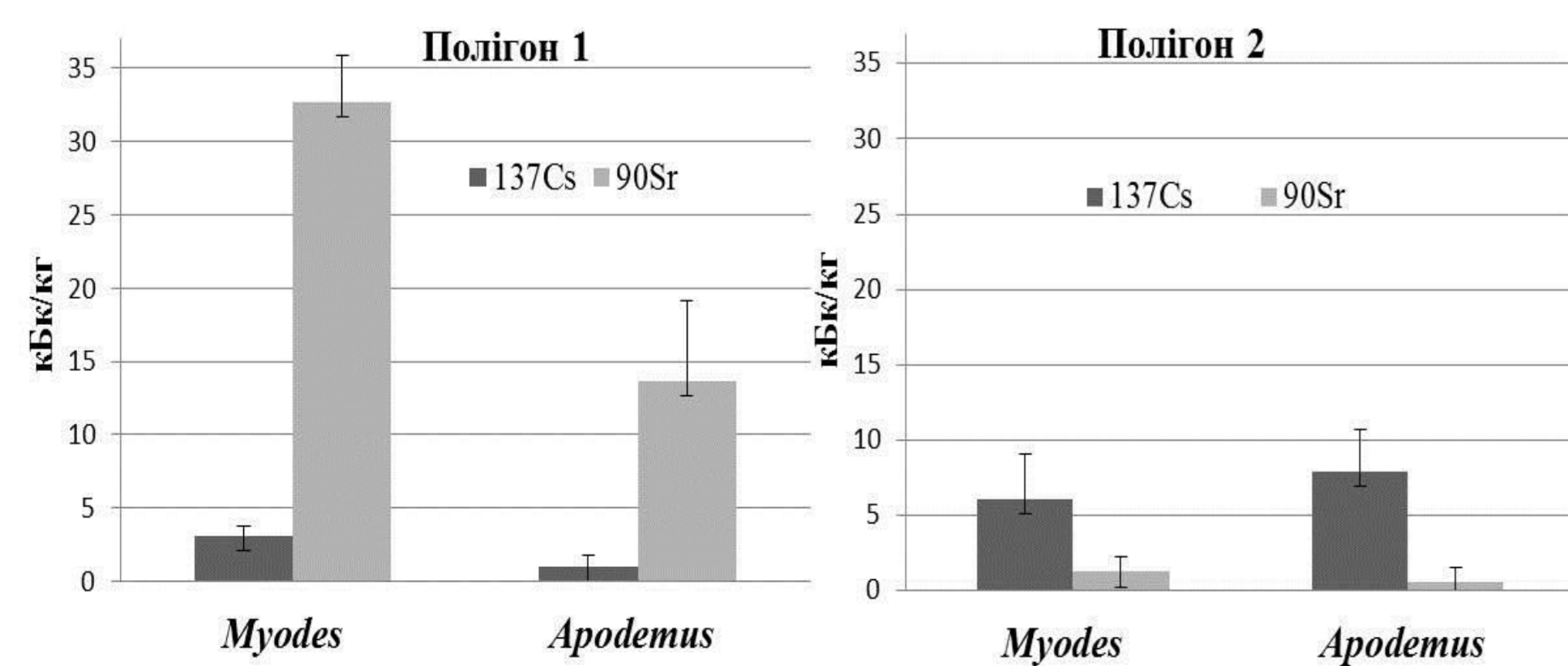
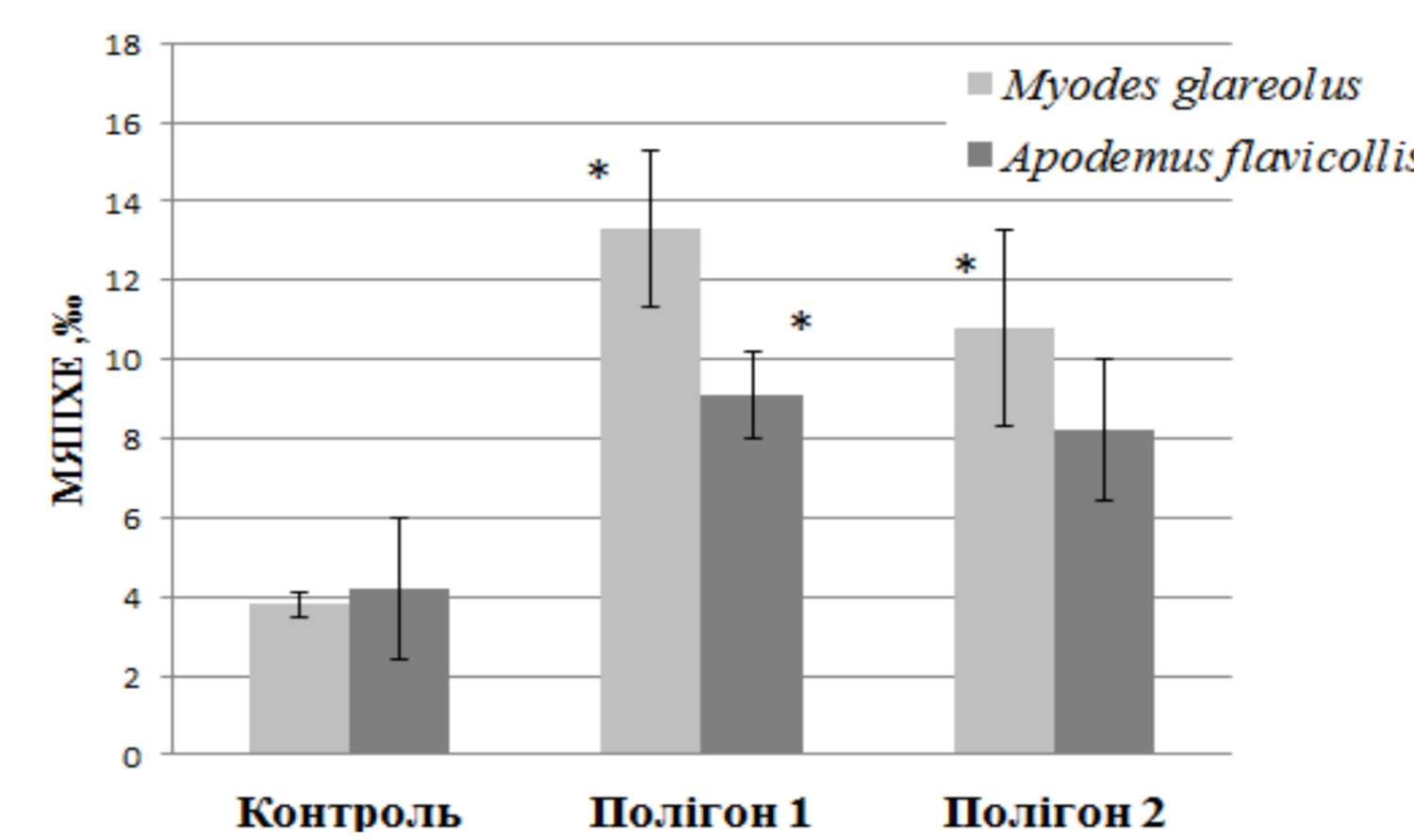


Рис. 2. Вміст  $^{137}\text{Cs}$  у тілі та  $^{90}\text{Sr}$  у скелеті тварин з дослідних полігонів

Виявлено суттєві відмінності у накопиченні радіонуклідів у тварин із різних полігонів та видів. Одержані дані свідчать, що у нориці рудої з полігону 1 вміст інкорпорованих радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  вищий, ніж у особин мишака жовтогорлого. У тварин з полігону 1 середньогрупові значення концентрації радіонуклідів у тілі нориць становили:  $^{137}\text{Cs}$  –  $3,12 \pm 0,67$ ,  $^{90}\text{Sr}$  –  $32,67 \pm 3,21$ ; у мишака жовтогорлого  $^{137}\text{Cs}$  –  $1,04 \pm 0,71$ ;  $^{90}\text{Sr}$  –  $13,63 \pm 6,54$  кБк/кг. На полігоні 2 рівні накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у тварин були у 2 рази вищими, ніж у тварин, що мешкали на полігоні 1, а вміст  $^{90}\text{Sr}$  у скелеті був значно меншим. Дослідні тварини з полігону 2 мали наступні концентрації радіонуклідів: у тілі нориці рудої  $^{137}\text{Cs}$  –  $6,11 \pm 3,01$ ,  $^{90}\text{Sr}$  –  $1,26 \pm 0,49$ ; у мишака жовтогорлого  $^{137}\text{Cs}$  –  $7,93 \pm 2,82$  кБк/кг та  $^{90}\text{Sr}$  –  $0,43 \pm 0,12$  кБк/кг. Реєстрували індивідуальну варіабельність та міжвидові особливості у накопиченні радіонуклідів у тварин, які мешкали на території одного полігону.

Нами вперше здійснено цитогенетичний моніторинг у елементарних популяціях індикаторних видів мишоподібних гризунів в умовах радіонуклідного забруднення територій ЧЗВ, на яких відбувається поступова трансформація водної екологічної системи у наземну. У цих складних процесах важливу адаптивну роль популяції до нових умов навколишнього середовища відіграють мікроеволюційні процеси, що зумовлюють зміни у генетичній структурі популяцій. При цьому на цитогенетичний гомеостаз клітин на індивідуальному та популяційному рівні може впливати не лише зміна радіаційних умов на нових заселених територіях, а й зміна основних еколого-популяційних параметрів.



Цитогенетичний аналіз виявив статистично значущі відмінності у частоті МЯ ПХЕ як у групах тварин з різних полігонів ВО відносно контролю, так і видові особливості (рис. 3).

Рис.3. Частота поліхроматофільних еритроцитів кісткового мозку з мікроядрами у нориці рудої та мишака жовтогорлого з дослідних полігонів на осушеній території водойми-охолоджувача ЧАЕС. \*вірогідна різниця з контролем,  $p \leq 0,05$ .

У нориці рудої з полігону 1 та 2 середньогрупова частота МЯ ПХЕ вірогідно перевищувала контрольні значення, проте не відрізнялась між полігонами, спостерігалась лише тенденція до більш підвищеної частоти МЯ ПХЕ на полігоні 1. При цьому за нашими даними у цих тварин виявлено найвищий вміст  $^{90}\text{Sr}$  –  $32,67 \pm 3,21$  кБк/кг у скелеті – остеотропного радіонукліду, що є визначальним для формування генотоксичних ефектів у кістковому мозку в умовах внутрішнього опромінення. У нориць з полігону 2 вміст  $^{90}\text{Sr}$  у скелеті був істотно нижчим ( $1,26 \pm 0,49$  кБк/кг) на фоні підвищеної концентрації  $^{137}\text{Cs}$  (у 6 разів вищою, ніж у тварин з полігону 1), проте це не позначилось на рівні цитогенетичних аномалій у клітинах кісткового мозку. У нориці рудої не виявлено вірогідної різниці досліджуваного показника між самцями та самицями ( $13,1 \pm 1,8\%$  та  $10,6 \pm 3,9\%$ , відповідно). Видові особливості поглинених доз внутрішнього та зовнішнього опромінення дослідних тварин представлено в таблиці.

Дозові навантаження у мишоподібних різних видів, що мешкали на дослідних полігонах

Група	Потужність дози, мкГр/доба			
	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	Зовнішнє опромінення	Загальна доза
<i>Myodes</i>	40,1	12,6	239	291,7
	<i>Apodemus</i>	3,8		
<i>Myodes</i>		1,5	21,6	59
	<i>Apodemus</i>	0,6	27,7	

Аналогічно, частота МЯ ПХЕ у мишака жовтогорлого з полігону 1 вірогідно не відрізнялась від значень на полігоні 2. Проте для цього виду значущої різниці у частоті МЯ ПХЕ між контрольними тваринами та тваринами з полігону 2 не виявлено, ймовірно внаслідок високої варіабельності цього показника як у контрольних тварин, так і дослідних. Слід відмітити високу міжіндивідуальну варіабельність показника у обох видів: у нориць з полігону 1 коефіцієнт варіації (CV) складав 42% , з полігону 2 – 30% у контролі – 15%; у мишака з полігону 1 CV= 32%, 43% з полігону 2 та 46% у контрольній групі. Коливання частоти МЯ ПХЕ можуть бути зумовлені багатьма факторами: різницею у індивідуальній радіочутливості тварин, зумовленій генетичними факторами, а також впливом екологічних чинників, пов'язаних із нестабільною/лабільною популяцією на забруднених територіях, де зміна харчового раціону та його доступності, щільність та процеси міграції тварин можуть слугувати додатковим навантаженням на генетичний апарат клітин в умовах прихованої радіаційно-індукованої нестабільності геному. Частота МЯПХЕ у самців і самок мишака вірогідно не відрізнялась і складала  $8,5 \pm 2,8\%$  та  $8,0 \pm 2,4\%$ , відповідно. Виявлено тенденцію до видоспецифічності рівня цитогенетичних аномалій в умовах радіаційного забруднення: у нориці рудої на полігоні 1, де потужність експозиційної дози була істотно вищою і становила 290-510 мкР/год частота МЯ ПХЕ була вірогідно вищою. На полігоні 2, де потужність експозиційної дози була у 3,5 рази нижчою і складала 80-163 мкР/год, цей зв'язок спостерігався на рівні тенденції.

Таким чином, вперше виконано цитогенетичне дослідження біоіндикаторних видів мишоподібних гризунів в умовах трансформації водної екосистеми внаслідок осушення ВО ЧАЕС. У тварин з дослідних полігонів ВО зареєстровано підвищену частоту цитогенетичних аномалій в клітинах кісткового мозку та їхню високу міжіндивідуальну варіабельність у порівнянні з даними контрольної групи. Можна припустити, що на формування та маніфестацію хромосомної нестабільності в процесі адаптації тварин до хронічної радіаційної дії впливають як зміни радіоекологічних умов довкілля, так і зміни основних екологічних характеристик популяцій (як то міграційна активність, щільність популяції, харчовий раціон тощо) дрібних ссавців в умовах трансформації радіоактивно забруднених екосистем.