

Н. К. Родіонова, А. І. Липська*, О. А. Сова, О. О. Бурдо, В. А. Шитюк, В. І. Ніколаєв

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: lypska@kinr.kiev.ua**ВПЛИВ РАДІАЦІЙНИХ УМОВ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС
НА КРОВОТВОРНУ СИСТЕМУ НОРИЦІ РУДОЇ**

Досліджено радіогенні зміни в системі крові рудих нориць із полігонів 30-км зони ЧАЕС із різним рівнем радіаційного забруднення. Показано, що хронічна дія іонізуючого випромінювання призводить до порушень у гемопоезі тварин. Виявлено дисбаланс в усіх ростках кровотворення, особливо еритроїдному. У тварин, які мешкали на території з високим рівнем радіаційного забруднення й відповідно отримували найбільше радіаційне навантаження, спостерігали й більш суттєве зниження гематологічних показників. У всіх групах дослідних тварин наряду з ураженням спостерігали також компенсаторно-відновлювальні процеси, що проявлялись у підвищенні захисних сил організму шляхом активації імунної системи за рахунок лімфоцитарної ланки.

Ключові слова: радіонуклідне забруднення, хронічне опромінення, нориця руда, система кровотворення.

1. Вступ

Дослідження дії радіоактивного забруднення оточуючого середовища на організм ссавців є однією з важливих задач сучасної радіобіології та радіоекології. Актуальність даної проблеми визначається не тільки теоретичною, але і практичною значимістю, оскільки це зумовлено наявністю значних забруднених територій унаслідок радіаційних аварій та інцидентів. Зона відчуження ЧАЕС, Фукусіми, Східно-уральський радіоактивний слід (Киштимська аварія, 1957 р.), Тоцький полігон та райони з підвищеною природною радіоактивністю є унікальними територіями для досліджень віддалених наслідків опромінення біоти протягом багатьох десятиліть [1 - 7].

Ефекти дії хронічного опромінення в малих дозах у природному середовищі суттєво відрізняються від лабораторних досліджень, оскільки вплив радіаційного фактора поєднується з рядом інших екзогенних чинників нерадіаційного походження, до яких імунна система диких тварин більш пристосована. Таку складну систему взаємодії сукупності різних факторів, що мають місце в природних біоценозах, змоделювати практично неможливо в лабораторних умовах.

Для оцінки впливу радіоактивного забруднення навколишнього середовища на організм в якості біоіндикаторів широко використовують дрібних гризунів. Мишоподібні гризуни є зручним об'єктом для проведення радіобіологічних досліджень завдяки широкому ареалу розповсюдження, високим чисельності та репродуктивному потенціалу, швидкій зміні поколінь (не менше двічі на рік), постійному перебуванню в найбільш забруднених радіоактивними випадіннями

шарах екосистеми [8, 9]. У радіоекологічних дослідженнях широко використовують норицю руду *Myodes glareolus* (Schreber, 1780) [10, 11], яка за результатами [12] є домінантним видом на більшості дослідних полігонів зони відчуження (ЗВ) ЧАЕС.

На сьогодні немає однозначної думки про віддалені наслідки впливу радіації на організм тварин, які мешкають на ділянках ЗВ з різним рівнем радіаційного забруднення. Отже, оцінка впливу радіаційного чинника на екосистеми, у тому числі на тварин, залишається важливою проблемою [13 - 15]. Для оцінки стану організму та дослідження механізмів адаптивної відповіді на зміни оточуючого середовища в експериментальних дослідженнях застосовують комплекс кількісних та структурно-функціональних інтегральних параметрів системи крові, що є високочутливою до впливу будь-яких зовнішніх та внутрішніх факторів.

Метою роботи було дослідження впливу радіаційних умов ЗВ ЧАЕС на кровотворну систему нориць рудих із природних біотопів з різним рівнем радіаційного забруднення.

2. Матеріали і методи

Радіоекологічні дослідження проводились на трьох полігонах у межах ЗВ ЧАЕС, що знаходились на різній відстані від аварійного блока: полігон I («Дитятки», поблизу КПП) на відстані 25 км, полігон II (Чорнобиль-2) - 9 км, полігон III (район «Рудого лісу») - 2,7 км.

Контрольним полігоном був Міжрічинський регіональний ландшафтний парк із радіаційним фоном 10 - 12 мкР/год, що знаходиться на відстані 63 км від ЧАЕС.

Відлов тварин для досліджень здійснювали за допомогою пасток системи Шермана у вересні 2016 р. Тривалість відловів на кожному полігоні становила 3 доби при щоденному огляді пасток. Тварин після відлову доставляли в лабораторію, реєстрували з присвоєнням індивідуальних номерів та значеннями дати та місць відлову, видової назви, статі, маси тіла. Видову приналежність особин визначали за морфологічними ознаками та підтверджували методом каріотипування. Вік визначали за комплексом ознак: маси, довжини тіла, розвитку генеративних органів та тимуса [16, 17].

В якості об'єкта досліджень серед мишоподібних гризунів вибрано норицю руду *Myodes glareolus*, оскільки даний вид був широко представлений на всіх дослідних полігонах. Досліди проводили на тваринах 2- і 3-місячного віку. Вибірki тварин були такі: полігон I – 18 тварин, II – 14, III – 12 тварин. Контрольна група 15 тварин. Визначали статеве співвідношення тварин із різних полігонів.

Спектротричні дослідження тварин проводились із використанням γ -спектрометра CANBERRA і β -спектрометра «СЕБ-50». Обробка спектрів здійснювалась із використанням програм WINSPECTRUM і BETAfit. Похибка γ - та β -спектротричних вимірювань не перевищувала 3 - 5 та 10 - 20 % відповідно.

Для досліджень периферичну кров у тварин відбирали із сонної артерії після ефірного нарко-

зу. Аналіз гематологічних показників проводили стандартним (пробірковим) методом, підрахунок клітин периферичної крові (еритроцитів, лейкоцитів) здійснювали в камері Горяєва. Лейкоцитарну формулу визначали на 200 клітинах у мазках крові, фарбованих за Паппенгеймом [18]. Розраховували індекси ядерного зсуву нейтрофільних лейкоцитів (співвідношення паличкоядерних нейтрофілів до сегментоядерних нейтрофілів). Кістковий мозок вимивали зі стегнових кісток 3 %-ним розчином оцтової кислоти, готували суспензію, у камері Горяєва підраховували кількість клітин. Визначали масу тимуса та розраховували також індекс маси тимуса [17].

Експериментальні дані аналізували за допомогою програм Microsoft Excel і Statistica 7.0, для оцінки статистичної достовірності різниці використовували Mann-Whitney U-test. Статистично значимі відмінності були прийняті при $p \leq 0,05$. Середньогрупові показники представлені в таблицях із стандартним відхиленням ($M \pm \sigma$).

3. Результати та обговорення

На дослідних полігонах проводили дозиметричне обстеження території, а саме: вимірювали потужність експозиційної дози γ -випромінювання та визначали щільність радіаційного забруднення ґрунту. Радіаційні умови на дослідних полігонах ЗВ ЧАЕС представлено в табл. 1.

Таблиця 1. Діапазон потужності експозиційної дози γ -випромінювання та щільність радіаційного забруднення ґрунту на дослідних полігонах

Полігон	Потужність дози зовнішнього γ -випромінювання, мкЗв/год	Щільність забруднення ґрунту, МБк/м ²	
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
I	0,15 - 0,25	0,003 - 0,025	0,0008 - 0,0015
II	0,50 - 1,25	1,6 - 1,8	0,03 - 0,19
III	5,0 - 20,1	20 - 25	6 - 8

У табл. 2 представлено дані вмісту ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr в організмі тварин дослідних полігонів з різним рівнем радіаційного забруднення.

Таблиця 2. Вміст ¹³⁷Cs в організмі та ⁹⁰Sr у скелеті імпактних тварин

Полігон	Діапазон концентрацій ¹³⁷ Cs, Бк/г	Діапазон концентрацій ⁹⁰ Sr, Бк/г
I (n = 18)	1,1 - 1,9	0,2 - 0,4
II (n = 14)	0,8 - 4,0	6,5 - 62,5
III (n = 12)	50,0 - 115,0	260,0 - 330,0

Середні значення вмісту ¹³⁷Cs (Бк/г) у тварин суттєво відрізнялись між собою: полігон I - 1,5; II - 2,1; III - 89,1. Середні значення концентрацій ⁹⁰Sr (Бк/г) у скелеті тварин становили: на полігоні I - 0,4; II - 42,0; III - 303,2. Варіації вмісту ра-

діонуклідів у тварин, які мешкали на одному й тому ж полігоні ЗВ ЧАЕС, імовірно, пов'язані зі змінами, що відбувались у складі раціону та добовому надходженні радіонуклідів.

Результати досліджень загальної кількості

клітин кісткового мозку (із розрахунку на стегнову кістку), вміст еритроцитів, лейкоцитів у периферичній крові, дані підрахунку лейкограми у тварин усіх дослідних груп наведено в табл. 3.

У зв'язку з практичною відсутністю різниці між гематологічними показниками у самців і самиць вони для статистичного аналізу були об'єднані в одну групу.

Таблиця 3. Гематологічні показники нориці руді з дослідних полігонів з різним рівнем радіаційного забруднення

Показник	Полігон дослідження			
	Контроль (n = 15)	I (n = 18)	II (n = 14)	III (n = 12)
Мієлокаріюцити 10^6 /на стегнову кістку	8,33 ± 0,71	6,60 ± 0,36	10,47 ± 0,45**	5,1 ± 0,14* ***
Еритроцити, 10^{12} /л	11,07 ± 0,60	8,77 ± 3,21*	5,83 ± 1,68* **	3,37 ± 0,62* ** **
Лейкоцити, 10^9 /л	2,83 ± 0,29	4,27 ± 1,55*	4,78 ± 1,85*	2,60 ± 0,5** ***
Нейтрофільні гранулоцити, %	24,83 ± 7,25	13,17 ± 2,51*	7,23 ± 4,49* **	10,00 ± 3,32*
абсолютна кількість, 10^9 /л	0,70 ± 0,21	0,57 ± 0,24	0,34 ± 0,19* **	0,26 ± 0,10* **
Паличкоядерні, %	4,17 ± 1,60	3,94 ± 2,56	3,46 ± 0,55	3,60 ± 0,55
абсолютна кількість, 10^9 /л	0,12 ± 0,04	0,18 ± 0,15	0,17 ± 0,10	0,09 ± 0,03
Сегментоядерні, %	20,67 ± 5,99	9,24 ± 3,38*	3,46 ± 1,98*	6,40 ± 2,97*
абсолютна кількість, 10^9 /л	0,59 ± 0,17	0,39 ± 0,19*	0,17 ± 0,13* **	0,16 ± 0,08* **
Еозинофільні гранулоцити, %	4,00 ± 1,41	0,88 ± 0,99*	2,00 ± 1,15* **	3,60 ± 1,52** ***
абсолютна кількість, 10^9 /л	0,11 ± 0,04	0,04 ± 0,07*	0,09 ± 0,05**	0,10 ± 0,05**
Моноцити, %	2,50 ± 1,05	3,76 ± 1,30	1,85 ± 2,03	3,00 ± 1,00
абсолютна кількість, 10^9 /л	0,07 ± 0,03	0,16 ± 0,07*	0,08 ± 0,08**	0,08 ± 0,03**
Базофіли, %	-	0,29 ± 0,46	0,15 ± 0,38**	0,20 ± 0,45***
абсолютна кількість, 10^9 /л	-	0,01 ± 0,02	0,01 ± 0,02	0,01 ± 0,01
Лімфоцити, %	68,33 ± 8,33	79,82 ± 5,46*	84,31 ± 9,71*	85,60 ± 6,15*
абсолютна кількість, 10^9 /л	1,94 ± 0,31	3,39 ± 1,21*	4,06 ± 1,82*	2,22 ± 0,48***
Індекс ядерного зсуву	0,20 ± 0,06	0,69 ± 1,00	1,15 ± 0,69* **	0,72 ± 0,46*

* Статистично значимі відмінності (* $p \leq 0,05$) від контролю.

** Від полігону I.

*** Від полігону II.

Гематологічний профіль нориць контрольної групи (див. табл. 3), які обстежувались паралельно з дослідними тваринами, знаходився в межах фізіологічної норми даного виду тварин [19]. Кількість мієлокаріюцитів в окремих особин була від 7,3 до $9,2 \cdot 10^6$. Не було у них і значних коливань вмісту еритроцитів та лейкоцитів у периферичній крові (від 10,1 до $12,0 \cdot 10^{12}$ /л та від 2,5 до $3,0 \cdot 10^9$ /л відповідно). Лейкоцити представлені такими формами: паличкоядерні та сегментоядерні нейтрофіли, базофіли, еозинофіли, лімфоцити, моноцити, молоді клітини гранулоцитарного та еритроїдного рядів практично не зустрічались. Серед окремих лейкоцитарних фракцій переважали лімфоцити – до 70 %, частка нейтрофілів становила 24,8 %, з перевагою зрілих (сегментоядерних) форм – 20,1 %.

У нориць з полігону I, які мешкали в зоні з відносно низьким рівнем радіонуклідного забруднення, що незначно перевищував фонові радіаційні показники умовно чистих регіонів, відзначено суттєві відмінності в системі крові від контрольних тварин. У тварин відзначали значну варіабельність дослідних показників. Так, кількість клітин кісткового мозку в стегновій кістці

змінювалась у діапазоні $3,0 \div 16,0 \cdot 10^6$. При цьому в більшості нориць полігону I (73,3 %) кількість мієлокаріюцитів була меншою, ніж у контролі, а в одному випадку відзначено гіперплазію кісткового мозку. Кількість еритроцитів у всіх тварин була нижчою відносно контролю і коливалась у межах $5,2 \div 9,9 \cdot 10^{12}$ /л. Рівень лейкоцитів за середніми показниками, навпаки, був збільшеним в 1,5 раза (від 2,5 до $7,5 \cdot 10^9$ /л), і лише у 30 % нориць вміст лейкоцитів був близьким до контрольних значень. Такі зміни стану системи крові вказують на неоднорідність реагування організмів тварин природних популяцій на дію негативних факторів навколишнього середовища за різного рівня неспецифічної резистентності, радіочутливості, а також концентрацій радіонуклідів в організмі.

У даному випадку ми схильні трактувати це явище як наслідки хронічного опромінення тварин у малих дозах у ряді поколінь нориць, що пов'язано зі складними компенсаторно-приспосувальними та адаптаційними механізмами [20]. На дисбаланс у системі крові вказують і зміни у співвідношенні окремих форм лейкоцитів. У тварин відмічали достовірне (відносно контро-

лю) зниження вмісту сегментоядерних нейтрофілів як у відсотковому, так і абсолютному значеннях. Реєстрували зсув лейкоцитарної формули ліворуч, що є типовим для інфекційних захворювань, але, обов'язково, при наявності нейтрофілозу. У даному випадку при відсутності підвищення вмісту нейтрофілів цей факт, скоріш за все, є проявом гіпопластичних процесів, що відбуваються в кістковому мозку. Підтвердженням цього є виявлене нами зменшення кількості мієлокаріоцитів у дослідних тварин полігону I. Слід також відзначити достовірне зниження вмісту еозинофілів у периферичній крові тварин, що може бути ознакою порушення механізмів імунного захисту організму за тривалої дії різних стресових факторів. Таким чином, ми реєстрували в периферичній крові зниження тих формених елементів, що продукуються саме в кістковому мозку (еритроцити, нейтрофілі та еозинофілі гранулоцити), за винятком моноцитів, кількість яких у тварин була достовірно збільшеною, але на незначну величину.

При аналізі стану лімфоцитарного ланцюга кровотворення спостерігалось достовірне збільшення їхньої кількості в периферичній крові як за відносними (з $68,33 \pm 8,33$ % у контролі до $79,82 \pm 5,46$ % у досліді), так і за абсолютними (з $1,94 \pm 0,31$ до $3,39 \pm 1,21 \cdot 10^9$ /л) величинами. Кількість лімфоцитів в окремих нориць з полігону I також суттєво різнилась – від 2,0 до $5,8 \cdot 10^9$ /л, як і у випадку з еритроцитами та мієлокаріоцитами.

Особливість змін у системі крові нориць з полігону II у порівнянні з тваринами полігону I полягала в наявності значної кількості тварин із підвищеним вмістом клітин кісткового мозку. Якщо в 73 % тварин з полігону I кількість мієлокаріоцитів була нижчою в порівнянні з контрольною групою, то у нориць з полігону II в більшості випадків відзначали підвищення клітинності кісткового мозку (ККМ) (54 %), однак зустрічались і тварини з низькими значеннями цього показника (23 %), а у решти показники знаходились у межах контролю. Отримані дані дозволяють зробити припущення, що за сумісної хронічної дії більшого радіаційного навантаження на полігоні II (концентрація ^{90}Sr у скелеті більша, ніж на порядок, вміст ^{137}Cs в тілі практично в 2 рази, потужність дози γ -зовнішнього випромінювання перевищувала в 2,5 - 5 разів, порівнюючи з полігоном I) у значної кількості особин відбувається стимуляція кістковомозкового кровотворення. Проте при подальшому комплексному аналізі експериментальних даних виявилось, що в кістковому мозку тварин має місце порушення процесів диференціювання та дозрівання клітин,

що ми спостерігали й у тварин з полігону I. Цей висновок базується на дослідженні вмісту клітин у периферичній крові: кількість еритроцитів достовірно знижена як відносно контролю, так і даних полігону I (полігон II $5,83 \pm 1,68 \cdot 10^{12}$ /л проти $11,07 \pm 0,60 \cdot 10^{12}$ /л у контролі та $8,77 \pm 3,21 \cdot 10^{12}$ /л у тварин полігону I); вміст нейтрофілів був також зниженим як за відносними, так і абсолютними показниками (полігон II – $7,23 \pm 4,49$ %, $0,34 \pm 0,19 \cdot 10^9$ /л; полігон I – $13,17 \pm 2,51$ %, $0,57 \pm 0,24 \cdot 10^9$ /л; контроль $24,83 \pm 7,25$ %, $0,70 \pm 0,21 \cdot 10^9$ /л відповідно), при значному збільшенні індексу ядерного зсуву ($1,15 \pm 0,69$ – полігон II, $0,69 \pm 1,00$ – полігон I, $0,20 \pm 0,06$ – контроль). У нориць полігону II, як і полігону I, у периферичній крові був знижений вміст еозинофілів.

Схожість змін у системі крові, що були виявлені у нориць I та II полігонів, полягали не тільки в односпрямованості процесів, що відбувались в еритроцитарній, лейкоцитарній, а також лімфоцитарній ланці. У тварин полігону II теж спостерігали значне збільшення вмісту лімфоцитів у периферичній крові. Відомо, що утворення лімфоцитів відбувається не тільки в кістковому мозку, а й у лімфоїдних органах (тимусі, селезінці, лімфатичних вузлах тощо), на які більшою мірою впливає не інкорпорований у скелеті ^{90}Sr , а ^{137}Cs , що відносно рівномірно розподіляється в органах і тканинах організму, циркулює у кров'яному та лімфатичному судинному руслі і, окрім тотального зовнішнього опромінення всього організму, може безпосередньо опромінювати лімфоїдні клітини в органах їх проліферації та диференціювання. Рівень накопичення ^{137}Cs в організмі тварин полігону II перевищував дані полігону I у 1,4 рази (II – 2,1 Бк/г; I – 1,5 Бк/г), що, імовірно, й обумовило трохи більшу реакцію лімфоцитарного паростка кровотворення у нориць полігону II.

Найбільше радіаційне навантаження серед дослідних груп отримали нориці полігону III. Потужність дози зовнішнього γ -випромінювання становила 5,0 - 20,1 мкЗв/год, концентрація радіонуклідів ^{137}Cs в тілі тварин та ^{90}Sr в скелеті була в межах 50,0 - 115,0 та 260,0 - 330,0 Бк/г відповідно. За таких радіаційних умов спостерігали й найбільш суттєві зміни у кровотворній системі зі значущим зниженням кількості мієлокаріоцитів, еритроцитів та гранулоцитів (див. табл. 3). У цьому діапазоні потужностей доз відзначали значно меншу варіабельність гематологічних показників тварин. Такий діапазон концентрацій інкорпорованих радіонуклідів призводить до патологічних змін у кровотворній системі тварин, що, імовірно, нівелюють індивідуальні реакції організму на опромінення.

Таким чином, при дослідженні стану системи крові рудих нориць із полігонів 30-км ЗВ ЧАЕС із різним рівнем радіаційного забруднення виявлено особливості радіогенних змін, що проявля-

ються, з одного боку, у пригніченні міелоїдного та еритроїдного рядів кровотворення (зниження вмісту еритроцитів та гранулоцитів), а з іншого – у підвищенні вмісту лімфоцитів (рис. 1).

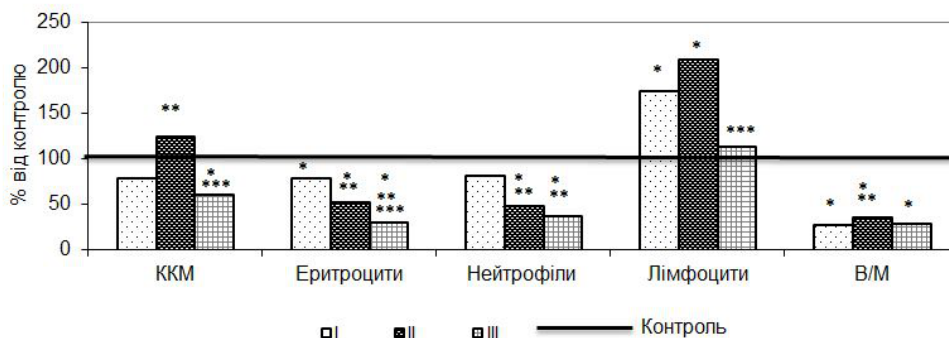


Рис. 1. Зміни гематологічних показників у нориць із дослідних полігонів ЗВ ЧАЕС відносно даних контрольної групи: * – статистично значимі відмінності ($p \leq 0,05$) від контролю, ** – від полігону I, *** – від полігону II.

Зниження клітин гранулоцитарної ланки, що відповідають за неспецифічний імунітет, указує на низький рівень протиінфекційного, протипухлинного, антипаразитарного захисту організму. Проте слід відзначити, що у дослідних тварин спостерігали активацію гуморального та клітинного імунітету, в якому провідну роль виконують лімфоцити, що розпізнають чужорідні (сторонні) структури в організмі та виробляють на них антитіла. У тварин полігонів I та II реєстрували збільшення кількості лімфоцитів на 75 та 110 % у порівнянні з контролем, а у тварин полігону III

була лише тенденція до збільшення. При дослідженні співвідношення великих і малих лімфоцитів (В/М) у лейкограмах встановлено зниження цього показника до 70 % у нориць усіх груп, що обумовлено переважанням у периферичній крові вмісту малих лімфоцитів, серед яких більшість – це Т-лімфоцити (тимус-залежні лімфоцити). Тобто лімфоцитози у тварин обумовлені саме Т-фракцією лімфоцитів.

На рис. 2 наведено дані індексу маси тимуса та кількості малих лімфоцитів.

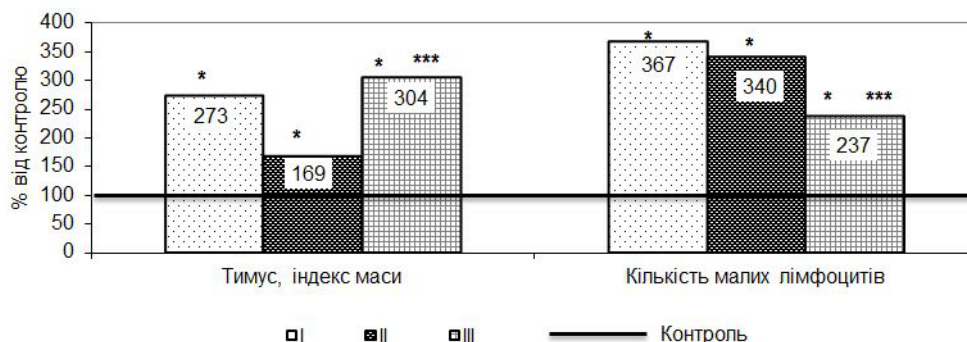


Рис. 2. Зміни індексу маси тимуса та кількості малих лімфоцитів у нориць із дослідних полігонів ЗВ ЧАЕС відносно даних контрольної групи.

У тварин усіх полігонів відзначалась гіперплазія тимуса, що корелює зі збільшенням вмісту малих лімфоцитів у периферичній крові та опосередковано свідчить про активацію процесів дозрівання та диференціювання Т-лімфоцитів у даному органі. Такі зміни вказують на активацію специфічної ланки імунітету [9]. Слід відзначити, що дозової залежності змін у лімфоцитарній ланці кровотворної системи з потужністю хронічного опромінення не виявлено. Аналогічні зміни описані в роботі [11].

Таким чином, при дослідженні стану системи крові рудих нориць із полігонів 30-км зони ЧАЕС із різним рівнем радіаційного забруднення вияв-

лено специфічність радіогенних змін, що проявляються, з одного боку, у пригніченні кістково-мозкового кровотворення (дозозалежне зниження вмісту еритроцитів та нейтрофільних лейкоцитів), а з іншого – у підвищенні вмісту лімфоцитів, обумовленого активацією компенсаторно-приспосувальних механізмів імунітету, що не залежали від величини дозового навантаження. Проте слід зазначити, що зміни в системі кровотворення дослідних гризунів є результатом не тільки опромінення, а також виникають унаслідок успадкованих патологічних змін, що сформувались у ряді поколінь тварин, які постійно мешкають на радіоактивно забруднених територіях ЗВ ЧАЕС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Отдаленные эколого-генетические последствия радиационных инцидентов: Тоцкий ядерный взрыв (Оренбургская область, 1954 г.)*. Под ред. А.Г. Васильева (Екатеринбург, 2000) 288 с.
2. В.И. Глазко, Б.Л. Зыбайлов, Т.Т. Глазко. Повышение уровня ионизирующего облучения: «горизонтальные» и «вертикальные» биологические и биосоциальные последствия (на примере аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима-1). *Сельскохозяйственная биология* 51 (2015) 141.
3. Радиэкологические исследования в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС (к 20-летию аварии на Чернобыльской АЭС). Тр. Коми НЦ УрО РАН 180 (2006) 232.
4. *Вплив радіаційного фактора Чернобильської зони відчуження на організм тварин*. Під ред. Я.І. Серкіза, М.Ю. Алесіної (К.: Атіка, 2006) 320 с.
5. Е.Б. Григоркина, Г.В., Оленев, М.В. Модоров. Мелкие млекопитающие в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа: 50 лет спустя. Вопросы радиационной безопасности: науч.-практ. журн. ПО «Маяк». Спец. вып.: Восточно-уральскому радиоактивному следу - 50 лет (2007) 68.
6. Yoshihisa Kubota et al. Chromosomal Aberrations in Wild Mice Captured in Areas Differentially Contaminated by the Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant Accident. *Environmental Science & Technology* 49 (2015) 10074.
7. К.И. Маслова и др. *Атлас патоморфологических изменений у полевок-экономок из очагов локального радиоактивного загрязнения* (Москва: Наука, 1994) 187 с.
8. Э.А. Гилева. *Эколого-генетический мониторинг с помощью грызунов (Уральский опыт)*. (Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 1996) 106 с.
9. О.И. Кульгина. Гематологические и цитогенетические последствия аварии на ЧАЭС для трех видов мышевидных грызунов, обитающих в зоне отчуждения. Автореф. дис. ... канд. биол. н. (Москва, 2001) 22 с.
10. А.Г. Кудяшева и др. Мониторинг популяций мышевидных грызунов, обитающих в условиях повышенного радиационного фона. *Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля* 3(2) (2005) 119.
11. И.А. Пашнина. Анализ иммунологических и гематологических особенностей грызунов, обитающих в радиоактивной среде. Автореф. дис. ... канд. биол. н. (Екатеринбург, 2003) 17 с.
12. О.О. Бурдо та ін. Вплив радіаційних умов на цитогенетичні показники мишоподібних гризунів із Зони відчуження ЧАЕС. *Ядерна фізика та енергетика* 14(1) (2013) 69.
13. N.I. Ryabokon et al. Long-term development of the radionuclide exposure of murine rodent populations in Belarus after the Chernobyl accident. *Radiat. Environ. Biophys.* 44 (2006) 169.
14. С.А. Гераськин, С.В. Фесенко, Р.М. Алексахин. Воздействие аварийного выброса ЧАЭС на биоту. Радиационная биология. *Радиоэкология* 46 (2006) 213.
15. В.Е. Rodgers, R.J. Baker. Frequencies of micronuclei in bank voles from zones of high radiation at Chernobyl, Ukraine. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19 (2000) 1644.
16. С.Н. Варшавский, К.Т. Крылова. Основные принципы определения возраста мышевидных грызунов. Бюл. МОИП. Нов. сер. Отд. биол. 17 (1948) 179.
17. С.С. Шварц, В.С. Смирнов, Л.Н. Добринский. *Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных* (Свердловск: Труды ИЭРиЖ, 1968) 387 с.
18. О.С. Монастирська. *Клінічні лабораторні дослідження*. Під ред. М.Б. Шегедин (Вінниця: Нова книга, 2007) 165 с.
19. Т.А. Моисеева. Показатели белой крови рыжих полевок, обитающих на территории северного Приладожья. *Ученые записки петрозаводского государственного университета* 157 (2016) 76.
20. Д.З. Шибкова, А.В. Аклев. *Адаптационно-компенсаторные реакции системы кроветворения при хроническом радиационном воздействии* (Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2006) 328 с.

Н. К. Родионова, А. І. Липская*, Е. А. Сова, О. О. Бурдо, В. А. Шитюк, В. И. Николаев

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

*Ответственный автор: lypska@kinr.kiev.ua

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС НА КРОВЕТВОРНУЮ СИСТЕМУ РЫЖЕЙ ПОЛЕВКИ

Исследованы радиогенные изменения в системе крови рыжей полевки, обитающей на полигонах 30-км зоны ЧАЭС с различным уровнем радиационного загрязнения. Показано, что хроническое воздействие ионизирующего излучения приводит к нарушениям в гемопоэзе животных. Выявлен дисбаланс во всех ростках кроветворения, особенно в эритроидном. У животных, обитавших на территории с высоким уровнем радиационного загрязнения и соответственно получавших большие радиационные нагрузки, наблюдали и более существенное снижение гематологических показателей. Во всех группах опытных животных наряду с повреждением наблюдали также компенсаторно-восстановительные процессы, которые проявлялись в повышении защитных сил организма путем активации иммунной системы за счет лимфоцитарного звена.

Ключевые слова: радионуклидное загрязнение, хроническое облучение, рыжая полевка, система кроветворения.

N. K. Rodionova, A. I. Lypska*, O. A. Sova, O. O. Burdo, V. A. Shityuk, V. I. Nikolaev

Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: lypska@kinr.kiev.ua

INFLUENCE OF RADIATION CONDITIONS OF THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE ON THE HEMATOPOIETIC SYSTEM OF BANK VOLE

Radiogenic changes in the blood system of *Myodes glareolus* inhabiting the sites of the 30-km ChNPP zone with different levels of radiation contamination were studied. It is shown that the chronic ionizing radiation exposure results in disorders in the animals' hemopoiesis. The imbalance in all blood cell lineages, especially erythroid one, was revealed. Animals inhabiting highly contaminated areas and exposed to the higher radiation doses had more steady changes in blood parameters, in particular their significant decrease. In all groups of the examined animals, in addition to radiation induced effects, compensatory repair processes were observed. They were manifested in the intensification of organism self-protection by activating the lymphoid components of immune system.

Keywords: radionuclide contamination, chronic irradiation, bank vole, hematopoiesis system.

REFERENCES

1. *Distant Environmental-Genetic Consequences of Radiation Incidents: Totsky Nuclear Explosion (Orenburg Region, 1954)*. Ed. A.G. Vasilyeva (Ekaterinburg, 2000) 288 p. (Rus)
2. V.I. Glazko, B.L. Zybaylov, T.T. Glazko. Increasing the level of ionizing radiation: "horizontal" and "vertical" biological and biosocial consequences (on examples of accidents at the Chernobyl Nuclear Power Plant and Fukushima-1 Nuclear Power Plant). *Agricultural Biology* 51 (2015) 141. (Rus)
3. Radioecological studies in the Exclusion Zone of the Chernobyl NPP (to the 20-th anniversary of the accident at the Chernobyl NPP). Proc. of the Komi SC UB RAS 180 (2006) 232. (Rus)
4. Influence of the Radiation Factor of the Chernobyl Exclusion Zone on the Organism of Animals. Ed. Ya.I. Serkiz, M.Yu. Alesin (Kyiv: Atika, 2006) 320 p. (Ukr)
5. E.B. Grigorkina, G.V. Olenov, M.V. Modorov. Small mammals in the zone of the East Ural radioactive trace: 50 years later. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti*. Special edition: East Ural radioactive trace - 50 years (2007) 68. (Rus)
6. Yoshihisa Kubota et al. Chromosomal Aberrations in Wild Mice Captured in Areas Differentially Contaminated by the Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant Accident. *Environmental Science & Technology* 49 (2015) 10074.
7. K.I. Maslova et al. *Atlas of Pathological Changes in Vole-Housekeepers from Local Radioactive Contamination Foci* (Moscow: Nauka, 1994) 187 p. (Rus)
8. E.A. Gilev. *Ecological Genetic Monitoring with the Help of Rodents (Ural experience)*. (Ekaterinburg: Publishing House of the Ural University, 1996) 106 p. (Rus)
9. O.I. Kulygina. Hematological and Cytogenetic Consequences of the Chernobyl Accident for Three Types of Mouse-Like Rodents Living in the Exclusion Zone. Dissertation author's abstract (Moskva, 2001) 22 p. (Rus)
10. A.G. Kudyasheva et al. Monitoring populations of mouse rodents in conditions of elevated radiation background. *Problemy Bezpeky Atomnykh Elektrostantsiy i Chornobylya* 3(2) (2005) 119. (Rus)
11. I.A. Pashnina. Analysis of the Immunological and Hematological Characteristics of Rodents that Live in the Radioactive Environment. Dissertation author's abstract (Ekaterinburg, 2003) 17 p. (Rus)
12. O.O. Burdo et al. Influence of the radiation on cytogenetic parameters mouselike rodents from the Chernobyl Nuclear Power Plant exclusion zone. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 14(1) (2013) 69. (Ukr)
13. N.I. Ryabokon et al. Long-term development of the radionuclide exposure of murine rodent populations in Belarus after the Chernobyl accident. *Radiat. Environ. Biophys.* 44 (2006) 169.
14. C.A. Geraskin, S.V. Fesenko, R.M. Alexakhin. Impact of accidental discharge of ChAES on biota. *Radiatsionnaya Biologiya. Radioyekologiya* 46 (2006) 178. (Rus)
15. B.E. Rodgers, R.J. Baker. Frequencies of micronuclei in bank voles from zones of high radiation at Chernobyl, Ukraine. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19 (2000) 1644.
16. S.N. Varshavskiy, K.T. Krylova. The basic principles for determining the age of mouse-like rodents. *Bul. MOIP. New Ser. Otd. Biol.* 17 (1948) 179. (Rus)
17. S.S. Schwartz, V.S. Smirnov, L.N. Dobrinsky. *The Method of Morphophysiological Indicators in the Ecology of Terrestrial Vertebrates* (Sverdlovsk: IEPR Proc., 1968) 387 p. (Rus)
18. O.S. Monastyr'ska. *Clinical Laboratory Studies*. Ed. M.B. Shegedin (Vinnitsa: Nova Knyga, 2007) 165 p. (Ukr)
19. T.A. Moiseyeva. Indicators of white blood of red voles that live in the northern part of the Priladozhye. *Uchenyye Zapiski Petrozavodskogo Gosudarstvennogo Universiteta* 157 (2016) 76. (Rus)
20. D.Z. Shibkova, A.V. Akleyev. *Adaptation-Compensatory Reactions of the Hematopoietic System under Chronic Radiation Exposure* (Chelyabinsk: Publishing of ChGPU, 2006) 328 p. (Rus)

Надійшла 27.12.2018

Received 27.12.2018