

О. Б. Ганжа*, В. В. Павловський

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна**Відповідальний автор: olganzha@ukr.net**ОЦІНКА РЕЗЕРВНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ОРГАНІЗМУ *MYODES GLAREOLUS* ПІСЛЯ ГОСТРОГО ОПРОМІНЕННЯ ЗА ГЕМАТОЛОГІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ**

Проблема визначення чутливості живих організмів до дії іонізуючих випромінювань наразі залишається актуальною, зважаючи на поширення антропогенного забруднення довкілля. Проведено дослідження впливу одноразового рентгенівського опромінення (1,5 Гр) на периферичну кров мишоподібних гризунів виду нориця руда (*Myodes glareolus* (Schreber, 1780)), відловлених на території з природним (фоновим) радіаційним рівнем. Гематологічні показники, що характеризують загальний стан функціонування організму тварин, визначали в динаміці на першу та сьому добу після опромінення для виявлення як ранніх змін, так і швидкості процесів відновлення. Обговорюються відмічені у периферичній крові опромінених тварин закономірності та особливості основних компонентів лейкоцитарної формули. Показано відмінності між опроміненими і контрольними мишоподібними гризунами за показниками еритроцитів та тромбоцитів. Аналіз змін у периферичній крові опромінених особин нориці рудої вказує на високі резервні можливості організму відповідно до його здатності до відновлення гомеостазу.

Ключові слова: нориця руда, рентгенівське опромінення, периферична кров, гематологічні показники.

1. Вступ

Розповсюдження антропогенного забруднення довкілля, зокрема радіогенної природи, що є найбільш небезпечним для існування біотичних спільнот, актуалізує питання щодо стану біоти та ризиків виникнення віддалених наслідків. Це підкреслює важливість проблеми визначення чутливості живих організмів до впливу негативних чинників різної інтенсивності, серед яких значними стресорами є іонізуючі випромінювання.

Зазвичай дослідження дії іонізуючих випромінювань на організм дрібних ссавців, до яких належать і мишоподібні гризуни, проводять на тваринах, які мешкають на забруднених радіонуклідами територіях, де прямо чи опосередковано зазнають постійного впливу опромінення, що відображається як на загальному стані організму, так і на системі кістково-мозкового кровотворення, яка є високочутливою до радіаційного чинника. Відповідна наукова робота впродовж багатьох років проводиться співробітниками відділу радіобіології та радіоекології Інституту ядерних досліджень НАН України [1, 2].

Проте, на нашу думку, актуальним є питання про резервні можливості організму мишоподібних гризунів, які мешкають на територіях із природним (фоновим) радіаційним рівнем, та їхню здатність відновлювати гомеостаз за впливу опромінення.

Натурні експерименти, як відомо, слід проводити з використанням біоіндикаторних видів, які

повинні відповідати необхідним вимогам: бути типовими для даних умов існування, мати високу чисельність, мешкати в даній місцевості протягом ряду років тощо. У даній роботі представлено результати дослідження за гематологічними показниками радіочутливості нориці рудої, яка є одним із найбільш розповсюджених у природних умовах індикаторних видів дрібних гризунів, що активно використовуються в радіоекологічних та радіобіологічних наукових експериментах.

Показники периферичної крові чітко характеризують загальний стан функціонування організму, мають діагностичну і прогностичну значущість у разі виникнення патологічних процесів, що дає змогу встановити рівень реакційної здатності організму за впливу негативних чинників оточуючого середовища, серед яких іонізуюче випромінювання є одним із потужних стресорів. Проте більшість експериментальних наукових робіт з дослідження впливу опромінення на стан системи кістково-мозкового кровотворення дрібних гризунів проводять, як правило, у лабораторних умовах на лінійних тваринах, що не відображає реального стану існування особин у природних умовах. При цьому застосовують крім рентгенівського різні види іонізуючих випромінювань, про що зазначено, наприклад, у публікаціях [3 - 5].

Дані наукової літератури, що наразі є доступними для ознайомлення, про зміни показників кровотворної системи у мишоподібних гризунів із природних популяцій з фоновим радіаційним

рівнем за впливу разового рентгенівського опромінення є недостатніми для конкретного аналізу внаслідок своєї різноплановості. Тому дослідження, представлені в роботі, відзначаються актуальністю.

Метою роботи була оцінка резервних можливостей організму мишоподібних гризунів із природних популяцій, що мешкають на території з фоновим радіаційним рівнем, за змінами показників периферичної крові після разового гострого рентгенівського опромінення (1,5 Гр).

2. Матеріали та методи

Дослідження проведено на мишоподібних гризунах виду нориця руда (*Myodes glareolus* (Schreber, 1780)), вилонених на території проєктованого національного парку Чернечий ліс (Київська область, Україна), що характеризується природним (фоновим) радіаційним рівнем. Для природної ділянки характерними були мішані хвойно-широколистяні ліси.

Оцінку ступеня ураження та ефективності відновлення організму, тобто його резервних можливостей, за реакцією периферичної крові на вплив опромінення проводили із застосуванням стрес-тесту: одноразове тотальне опромінення експериментальних тварин на рентгенівському апараті РУМ-17. Умови опромінення: напруга струму 10 мА; напруга на трубці 180 кВ; фільтр 0,5 мм Cu + 1 мм Al; потужність дози 0,63 Гр/хв; поглинена доза 1,5 Гр. Досліджувані показники визначали в динаміці на першу та сьому добу після опромінення, що охоплюють як ранні зміни, так і швидкість процесів відновлення в організмі опромінених тварин.

Визначали вміст лейкоцитів, еритроцитів, тромбоцитів у периферичній крові мишоподібних гризунів та кількість клітин кісткового мозку. Аналізували склад лейкоцитарної формули, показники червоної крові та тромбоцитів. Для оцінки змін у системі кровотворення тварин розраховували гематологічні індекси в периферичній крові: індекс ядерного зсуву – співвідношення паличкоядерних до сегментоядерних нейтрофілів; лімфоцитарний індекс – співвідношення лімфоцитів до нейтрофільних гранулоцитів; індекс лімфоцитарно-гранулоцитарний – співвідношення лімфоцитів до сегментоядерних нейтрофілів [6].

Кількість формених елементів периферичної крові тварин визначали на гематологічному аналізаторі “Mindray BC-2008 Vet”. Підрахунок лейкоцитарної формули здійснювали при світловій імерсійній мікроскопії, аналізували по 200 клітин у фарбованих за Папенгеймом мазках крові [7]. Експериментальні дані аналізували за допомогою програмного забезпечення “Microsoft Excel”.

Дослідження виконано відповідно до Міжнародних принципів Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей (м. Страсбург, Франція, 1986 р.) та Закону України № 3447 IV «Про захист тварин від жорстокого поводження» [8].

3. Результати дослідження та обговорення

Реакції організму ссавців, зокрема мишоподібних гризунів, у відповідь на дію радіації (як і інших стрес-факторів) не вичерпуються автономними змінами фізіологічних параметрів та функцій, а є інтегральною відповіддю різних функціональних систем. Суттєву роль в їхній інтеграції відіграють кровотворна та імунна системи, що несуть інформацію про стан внутрішніх резервів організму. Стрес як неспецифічна реакція організму на дію зовнішніх чи внутрішніх чинників різної природи характеризує стан напруженої життєдіяльності організму, що протидіє порушенню його гомеостазу [9].

Зазначимо, що для визначення резервних можливостей організму варто застосовувати функціональне навантаження. Унормоване разове рентгенівське опромінення у діапазоні малих доз, що не призводить до летальних подій, виявляє в лабільних, чутливих системах захисно-компенсаторні, регуляторні резерви, що сприяють відновленню організму. З огляду на це, ми опромінювали мишоподібних гризунів рентгенівськими променями в дозі 1,5 Гр. Дану дозу опромінення для нориці рудої можна віднести до діапазону малих доз, оскільки вона не призводить до летальних ефектів, але при цьому викликає достовірні зміни, що можуть бути виявлені у відносно невеликих вибірках. Це узгоджується з даними наукової літератури про визначення летальної дози опромінення для мишоподібних гризунів [10]: зокрема для нориці рудої LD_{50/30} становить 12,7 Гр.

Дослідження периферичної крові інтактних особин нориці рудої показало, що лейкоцитарна формула була типовою для здорової популяції мишоподібних гризунів і містила лімфоцити, паличкоядерні та сегментоядерні нейтрофільні гранулоцити, моноцити та еозинофільні гранулоцити [11].

У периферичній крові опромінених тварин не було відмічено суттєвої різниці вмісту лейкоцитів, порівняно з контролем, за кількісними параметрами. Однак було зафіксовано зміни у співвідношенні окремих лейкоцитарних фракцій. У опромінених тварин на 1-шу добу спостерігали збільшення вмісту сегментоядерних і паличкоядерних нейтрофілів як за відсотковою, так і

абсолютною кількістю, порівняно з контролем (рис. 1).

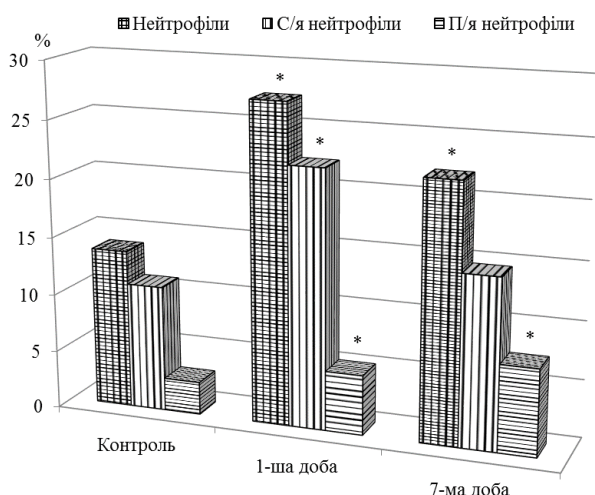


Рис. 1. Відсоток загальної кількості нейтрофілів, сегментоядерних (с/я) і паличкоядерних (п/я) у нориці рудої після опромінення: * – достовірна різниця порівняно з контролем ($p \leq 0,05$).

Дослідження, проведене на 7-му добу після опромінення, показало, що кількість паличкоядерних нейтрофілів продовжувала зростати (в 1,5 раза порівняно з 1-ю добою), тоді як відсоток сегментоядерних знизився, відповідно, в 1,5 раза.

Зазначимо, що зміни співвідношення між фракціями сегментоядерних та паличкоядерних нейтрофільних гранулоцитів відображаються на значеннях індексу ядерного зсуву. У опроміненних особин нориці рудої зазначений індекс (рис. 2) збільшився у 2 рази на 7-му добу після опромінення, порівняно з контролем.

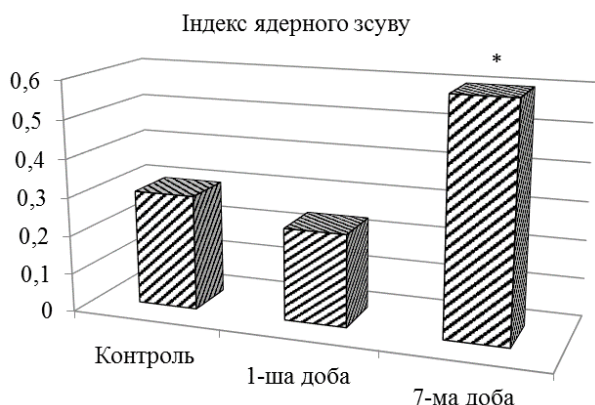


Рис. 2. Індекс ядерного зсуву у нориці рудої після опромінення: * – достовірна різниця порівняно з контролем ($p \leq 0,05$).

Підвищення індексу ядерного зсуву, що характеризує швидкість процесів диференціювання та дозрівання гранулоцитів у кістковому мозку, на фоні зафіксованого на 7-му добу зростання кількості мієлокаріоцитів вказує на подразнення

кісткового мозку та активацію процесів кістково-мозкового кровотворення у опроміненних особин нориці рудої (як і збільшення фракції паличкоядерних нейтрофілів із підвищенням їхньої загальної кількості) у період відновлення після гострого опромінення. Відзначено, що на 1-шу добу після опромінення загальна кількість клітин кісткового мозку у тварин була зниженою на 18 %, тоді як на 7-му добу цей показник збільшився і перевищував значення контролю.

Дослідження фракції лімфоцитів у опроміненних особин нориці рудої показало збільшення частки великих форм, у тому числі великих гранульованих лімфоцитів, починаючи з 1-ої доби після опромінення. На 7-му добу відсоток великих форм лімфоцитів у тварин перевищував контрольне значення в 1,5 раза, тоді як відсоток великих гранульованих лімфоцитів збільшився у 8 разів. Відповідно спостерігали зміни у співвідношенні великі/малі лімфоцити, що збільшувалося порівняно з контролем: на 1-шу добу після опромінення – в 1,6 раза, а на 7-му добу – у 2 рази (рис. 3). Збільшення частки великих форм лімфоцитів, зокрема великих гранульованих лімфоцитів, свідчить про відповідне підвищення відновлювальних можливостей організму опроміненних особин нориці рудої.

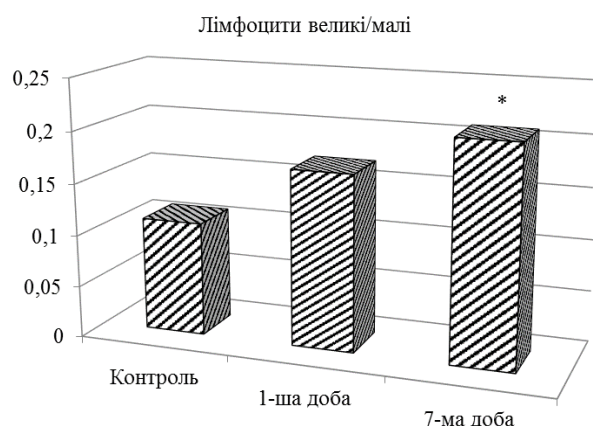


Рис. 3. Співвідношення великі/малі лімфоцити у нориці рудої після опромінення: * – достовірна різниця порівняно з контролем ($p \leq 0,05$).

Зазначимо, що зміни співвідношення різних форм лімфоцитів та нейтрофільних гранулоцитів у периферичній крові опроміненних особин нориці рудої можуть призводити до активації неспецифічної імунореактивності, що буде відображатися і на значеннях лейкоцитарних індексів, які базуються на показниках лейкограми. Лейкоцитарні індекси зазвичай застосовують для цілісного уявлення про реакції системи крові та організму на вплив різноманітних факторів. Вони дадуть змогу оцінити роботу імунної системи та рівень імунологічної реактивності, що визнача-

ють процес формування неспецифічних відновлювальних реакцій в організмі ссавців.

За співвідношенням між фракціями лімфоцитів та нейтрофільних гранулоцитів у периферичній крові нориці рудої було визначено лейкоцитарні індекси: лімфоцитарний та лімфоцитарно-гранулоцитарний (рис. 4). Установлено, що на 1-шу добу після опромінення відбулось однакове за значенням зниження обох індексів порівняно з контролем. На 7-му добу спостереження відмічено підвищення лімфоцитарного індексу в 1,5 раза порівняно з 1-ю добою, тоді як значення лімфоцитарно-гранулоцитарного індексу збільшилося, відповідно, у 2 рази. Це свідчить про наявність антистресової реакції підвищеної активності лімфоїдної ланки кровотворної системи, внаслідок чого підвищуються резерви неспецифічної резистентності в організмі опромінених особин нориці рудої. Зазначимо, що результати дослідження вказують на ефективність застосування лейкоцитарних індексів при оцінці кровотворення у дрібних гризунів після одноразового гострого опромінення.

■ Лімфоцитарний індекс ▨ Лімфоцитарно-гранулоцитарний індекс

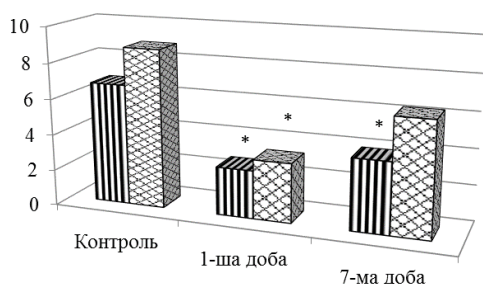


Рис. 4. Лімфоцитарний та лімфоцитарно-гранулоцитарний індекси у нориці рудої після опромінення: * – достовірна різниця порівняно з контролем ($p \leq 0,05$).

При аналізі лейкограм у особин нориці рудої було виявлено атипові лімфоцити – клітини Рідера, що зустрічалися з частотою, яка не перевищувала 2 % у контрольних тварин і є нормальною для здорової популяції мишоподібних гризунів. На 1-шу добу після опромінення їхня кількість збільшилась у 5 разів відносно контролю, що є ознакою напруженості імунної системи. Але вже на 7-му добу спостереження цей показник знизився до 4 %, що свідчить про наявність процесів відновлення в організмі опромінених особин нориці рудої.

Збільшення кількості атипових лімфоцитів у периферичній крові вказувало на те, що імунна система опромінених тварин працювала у напруженому режимі. Серед основних факторів, за впливу яких у периферичній крові спостерігають лімфоцити атипової форми, відмічають

алергії, вірусні та бактеріальні інфекції, генетичні та онкологічні патології, іонізуючі випромінювання [12]. Відповідно характер механізму появи атипових лімфоцитів визначають як інфекційний, злоякісний та реактивний. Вплив іонізуючих випромінювань проявляється саме у реактивному характері утворення атипових лімфоцитів, що і відбувається у опромінених особин нориці рудої.

При підрахунку лейкоцитарної формули у опромінених особин нориці рудої відмічали зміни моноцитів як за відсотковою, так і абсолютною кількістю з максимумом на 7-му добу спостереження: збільшення відносно контролю у 2 та 2,4 раза відповідно. Моноцити, як відомо, виконують макрофагоцитарну функцію, беруть участь у регуляції та диференціації кровотворення і відповідають за початкову активацію імунної системи організму.

У периферичній крові опромінених особин нориці рудої було зафіксовано зміни як відсоткового, так і абсолютного вмісту еозинофільних гранулоцитів. Виявлено збільшення кількості еозинофілів відносно контролю вже на 1-шу добу після опромінення, яке на 7-му добу перевищувало контрольне значення у 2 та 6 разів за відсотковим і кількісним вмістом відповідно. Зазначимо, що еозинофільні гранулоцити, крім макрофагоцитарної активності, мають протиалергійні та цитотоксичні властивості по відношенню до багатьох видів паразитів. Також відомо, що підвищення вмісту еозинофілів у периферичній крові може свідчити про появу неспецифічної реакції організму у відповідь на дію подразника – стресора, зокрема опромінення.

Дослідження червоної крові у опромінених особин нориці рудої не виявило суттєвих змін порівняно з контролем за більшістю основних показників (табл. 1).

Однак були відмічені найбільш значні зміни вмісту гемоглобіну та гематокриту: їхні значення на 1-шу добу після опромінення знижувались у 1,2 раза, тоді як на 7-му добу відбувалося відновлення показників до рівня контролю.

Слід відзначити, що для всіх зазначених показників червоної крові у опромінених особин нориці рудої виявлено однакову закономірність: зниження на 1-шу добу після опромінення та повернення значень до рівня контролю на 7-му добу. Це стосувалося, зокрема, кольорового показника та середнього вмісту гемоглобіну в еритроциті, що вказує на насиченість еритроцитів гемоглобіном та їхню функціональну здатність і свідчить про наявність процесів відновлення у периферичній крові тварин на 7-му добу після опромінення.

Таблиця 1. Показники червоної крові у тварин виду *Myodes glareolus*

Показник	Контроль	1-ша доба після опромінення	7-ма доба після опромінення
Еритроцити, $10^{12}/л$	$12,3 \pm 1,4$	$11,19 \pm 0,10$	$12,83 \pm 0,26$
Середній об'єм еритроцитів, 10^{-15} л	$42,0 \pm 1,9$	$37,18 \pm 0,56^*$	$38,6 \pm 1,0^*$
Коефіцієнт варіації об'єму еритроцитів, %	$15,17 \pm 0,32$	$13,93 \pm 0,33^*$	$15,26 \pm 0,48$
Гемоглобін, г/л	165 ± 13	$132,25 \pm 0,75^*$	$161,8 \pm 1,6$
Середній вміст гемоглобіну в еритроциті, 10^{-12} г	$13,47 \pm 0,55$	$11,75 \pm 0,12^*$	$12,6 \pm 0,3^*$
Середня концентрація гемоглобіну в еритроцитах, г/л	$321,7 \pm 2,4$	$318,3 \pm 3,3$	328 ± 4
Кольоровий показник	$0,41 \pm 0,02$	$0,350 \pm 0,003^*$	$0,38 \pm 0,01$
Гематокрит, %	$51,1 \pm 3,7$	$41,53 \pm 0,55^*$	$49,36 \pm 0,86$

* Достовірна різниця порівняно з контролем ($p \leq 0,05$).

Подальше дослідження показників периферичної крові нориці рудої було спрямоване на аналіз тромбоцитарної ланки гемограми (табл. 2). Відомо, що в організмі ссавців, зокрема мишо-подібних гризунів, тромбоцити виконують декілька основних функцій: формують тромбоцитар-

ний агрегат, що закриває місце ушкодження судини, та сприяють прискоренню ключових реакцій згортання плазми. Тромбоцити також відіграють важливу роль у загоєнні та регенерації ушкоджених тканин, виділяючи фактори росту, що стимулюють поділ і ріст клітин.

Таблиця 2. Показники тромбоцитів у периферичній крові тварин виду *Myodes glareolus*

Показник	Контроль	1-ша доба після опромінення	7-ма доба після опромінення
Тромбоцити, $10^9/л$	441 ± 66	$311 \pm 25^*$	360 ± 21
Середній об'єм тромбоцитів, 10^{-15} л	$4,13 \pm 0,24$	$3,88 \pm 0,08$	$4,18 \pm 0,12$
Коефіцієнт варіації об'єму тромбоцитів, %	$16,47 \pm 0,03$	$16,38 \pm 0,08$	$16,46 \pm 0,12$
Тромбокрит, %	$0,18 \pm 0,04$	$0,12 \pm 0,01^*$	$0,15 \pm 0,01$

* Достовірна різниця порівняно з контролем ($p \leq 0,05$).

У нашій роботі було зафіксовано зміни кількості тромбоцитів у периферичній крові опромінених особин нориці рудої. Цей показник знизився майже в 1,5 раза порівняно з контролем на 1-шу добу після опромінення, але вже на 7-му добу відбувалося підвищення в 1,2 раза порівняно з 1-ою добою. Зазначимо, що аналогічні зміни було відмічено і для тромбокрити. Водночас такі показники як середній об'єм і коефіцієнт варіації об'єму тромбоцитів у опромінених тварин суттєво не відрізнялися від значень групи контролю.

Таким чином, при дослідженні мишо-подібних гризунів виду *Myodes glareolus* (нориця руда) було визначено і проаналізовано основні кількісні та якісні показники периферичної крові контрольних і опромінених особин, що дало можливість, на нашу думку, досягти поставленої мети та зробити заключні висновки.

4. Висновки

У результаті дослідження мишо-подібних гризунів виду *Myodes glareolus* встановлено відмінності між контрольними та опроміненими особинами, що проявляються у перебудові кровотворної системи з підвищенням функції гранулоцитарного ряду кровотворення та В-фракції лімфоцитарного ланцюга периферичної крові.

Вищезазначене свідчить про активацію кістково-мозкового кровотворення та наявність процесів відновлення у периферичній крові після опромінення, що відповідає високим резервним можливостям організму мишо-подібних гризунів виду *Myodes glareolus*.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Н.К. Родіонова та ін. Вплив радіаційних умов зони відчуження ЧАЕС на кровотворну систему нориці рудої. *Ядерна фізика та енергетика* 20(1) (2019) 44.
2. А.І. Липська та ін. Оцінка стану природних популяцій дрібних гризунів із трансформованих екосистем зони відчуження ЧАЕС за комплексом біологічних показників. *Ядерна фізика та енергетика* 21(4) (2020) 328.
3. X.H. Li et al. Effects of Low-to-Moderate Doses of Gamma Radiation on Mouse Hematopoietic System. *Radiat. Res.* 190 (2018) 612.
4. J.G. Kiang et al. Female Mice are More Resistant to the Mixed-Field (67% Neutron + 33% Gamma)

- Radiation-Induced Injury in Bone Marrow and Small Intestine than Male Mice due to Sustained Increases in G-CSF and the Bcl-2/Bax Ratio and Lower miR-34a and MAPK Activation. *Radiat. Res.* 198 (2022) 120.
5. J.H. Ware et al. Effects of Proton Radiation Dose, Dose Rate and Dose Fractionation on Hematopoietic Cells in Mice. *Radiat. Res.* 174(3) (2010) 325.
 6. R.E. Raskin, K.S. Latimer, H. Tvedten. Chapter 4. *Leukocyte Disorders*. In: M.D. Willard, H. Tvedten (Eds.) *Small Animal Clinical Diagnosis by Laboratory Methods*. 4th ed. (W.B. Saunders, 2004) p. 63.
 7. О.С. Монастирська. *Клінічні лабораторні дослідження*. Під заг. ред. М.Б. Шегедін (Вінниця: Нова книга, 2007) 168 с.
 8. Закон України № 3447 IV «Про захист тварин від жорстокого поводження». *Відомості Верховної Ради України* 27 (2006) 230.
 9. Г. Селье. *Стресс без дистресса*. Пер с англ. А.Н. Лука, И.С. Хорола. Под ред. Е.М. Крепса (Москва: Прогресс, 1979) 128 с.
 10. Е.В. Grigorkina. Natural radioresistance as a criterion of species (as exemplified by large taxa of the order rodentia). *Dokl. Biol. Sci.* 385 (2002) 371.
 11. В.М. Запорожан та ін. *Морфологія клітин крові лабораторних тварин і людини: атлас* (Одеса: Одеський держ. мед. ун-т, 2002) 118 с.
 12. Т.А. Shiftan, J. Mendelsohn. The circulating “atypical” lymphocyte. *Human Pathology* 9(1) (1978) 51.

O. B. Ganzha*, V. V. Pavlovskiy

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

*Corresponding author: olganzha@ukr.net

ESTIMATION OF THE RESERVE CAPACITY OF *MYODES GLAREOLUS* AFTER ACUTE IRRADIATION USING HEMATOLOGICAL INDICATORS

The problem of identifying the sensitivity of living organisms to ionizing irradiation remains relevant, considering the spread of anthropogenic environmental pollution. The study on the effect of single X-ray irradiation (1,5 Gy) on peripheral blood of bank voles (*Myodes glareolus* (Schreber, 1780)) captured within territories with background radiation level was conducted. Hematological indicators, characterizing the overall condition of performance of the body, were determined dynamically on the first and seventh days after exposure to detect both early changes and the rate of recovery processes. The patterns and features of the main components of leukocyte formula found in peripheral blood of irradiated animals are being discussed. Differences between irradiated and control mouse-like rodents are shown, using parameters of erythrocytes and leukocytes. The analysis of changes in the peripheral blood of irradiated bank voles indicates the high reserve capacity of the body, according to its ability to restore homeostasis.

Keywords: bank vole, X-ray irradiation, peripheral blood, hematological indicators.

REFERENCES

1. N.K. Rodionova et al. Influence of radiation conditions of the Chernobyl Exclusion Zone on the hematopoietic system of bank vole. *Nucl. Phys. At. Energy* 20(1) (2019) 44. (Ukr)
2. A.I. Lypyska et al. Estimation of status of small rodents' natural populations from the transformed ecosystems of the Chornobyl exclusion zone according to the complex of biological indicators. *Nucl. Phys. At. Energy* 21(4) (2020) 328. (Ukr)
3. X.H. Li et al. Effects of Low-to-Moderate Doses of Gamma Radiation on Mouse Hematopoietic System. *Radiat. Res.* 190 (2018) 612.
4. J.G. Kiang et al. Female Mice are More Resistant to the Mixed-Field (67% Neutron + 33% Gamma) Radiation-Induced Injury in Bone Marrow and Small Intestine than Male Mice due to Sustained Increases in G-CSF and the Bcl-2/Bax Ratio and Lower miR-34a and MAPK Activation. *Radiat. Res.* 198 (2022) 120.
5. J.H. Ware et al. Effects of Proton Radiation Dose, Dose Rate and Dose Fractionation on Hematopoietic Cells in Mice. *Radiat. Res.* 174(3) (2010) 325.
6. R.E. Raskin, K.S. Latimer, H. Tvedten. Chapter 4. *Leukocyte Disorders*. In: M.D. Willard, H. Tvedten (Eds.) *Small Animal Clinical Diagnosis by Laboratory Methods*. 4th ed. (W.B. Saunders, 2004) p. 63.
7. О.С. Монастирська. *Clinical Laboratory Tests*. М.Б. Шегедін (Ed.) (Vinnytsia: Nova Knyha, 2007) 168 p. (Ukr)
8. Law of Ukraine No. 3447 IV “On the Protection of Animals from Cruelty”. *Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrayiny* 27 (2006) 230. (Ukr)
9. H. Selye. *Stress Without Distress*. Transl. from Eng. by A.N. Luka, I.S. Khorol. E.M. Kreps (Ed.) (Moskva: Progress, 1979) 128 p. (Rus)
10. Е.В. Grigorkina. Natural radioresistance as a criterion of species (as exemplified by large taxa of the order rodentia). *Dokl. Biol. Sci.* 385 (2002) 371.
11. В.М. Запорожан et al. *Morphology of Blood Cells of Laboratory Animals and Humans: Atlas* (Odesa: Odesa State Medical University, 2002) 118 p. (Ukr)
12. Т.А. Shiftan, J. Mendelsohn. The circulating “atypical” lymphocyte. *Human Pathology* 9(1) (1978) 51.

Надійшла/Received 30.10.2023