



Науковий вісник Львівського національного університету  
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.

Серія: Ветеринарні науки

Scientific Messenger of Lviv National University  
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.

Series: Veterinary sciences

ISSN 2518–7554 print

ISSN 2518–1327 online

doi: 10.32718/nvlvet10827

<https://nvlvet.com.ua/index.php/journal>

UDC 614.8:502.5:623.453.6

## Weapons of mass destruction and their effects on animals

N. M. Slobodyuk✉

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Lviv, Ukraine

### Article info

Received 24.10.2022

Received in revised form  
24.11.2022

Accepted 25.11.2022

Stepan Gzhytskyi National  
University of Veterinary  
Medicine and Biotechnologies Lviv,  
Pekarska Str. 50, Lviv,  
79010, Ukraine.  
Tel.: +38-067-706-44-48  
E-mail: [slobodjuknm@gmail.com](mailto:slobodjuknm@gmail.com)

**Slobodyuk, N. M. (2022). Weapons of mass destruction and their effects on animals. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary sciences, 24(108), 187–191. doi: 10.32718/nvlvet10827**

Unfortunately, in the 21st century, humanity is pondering the devastating consequences that weapons of mass destruction can inflict on us. The reason for this is the inevitable severe damage to animals and people in this case and the first steps of medical care that must be provided to the victims. Weapons of mass destruction are nuclear, chemical, and biological, each of which has uniquely harmful effects on macroorganisms and the environment. The result of a nuclear explosion is radioactive pollution of the environment and the occurrence of radiation sickness in animals under the influence of radionuclides. The nuclear wave causes injuries and burns in animals of varying degrees of complexity and localization. Xenobiotics, as a quick-acting chemical weapon, cause skin-burning (moisture, nitrogen mustard, lewisite), nerve-paralytic (zoman, sarin, V-gases (Vx-gases), suffocating (phosgene, diphosgene, triphosgene, thiophosgene, chlorine), general poisoning (hydrocyanic acid and chlorocyanine) and irritating (chloroacetophenone, Ci-Es (CS), Ci-Ap (CR), adamsite) effects on macroorganisms with specific clinical manifestations. The characteristic of substances with a skin-irritating effect is the ability to affect the skin by forming blisters and ulcers, which are difficult to treat. Disorders of the functions of the nervous system, muscle spasms, and paralysis are characteristic clinical signs of exposure to nerve-paralytic substances. Suffocating xenobiotics causes pulmonary edema and respiratory arrest, and overall tissue respiratory depression. Irritation of the eyes with subsequent development of conjunctivitis and upper respiratory tract with the rapid development of edema is characteristic of substances with an irritating effect. In most cases, each chemical compound received its name after the developer's name. Most of them were first used in the First World War. Most of the xenobiotics mentioned above are prohibited by the Chemical Weapons Convention of 1993.

**Key words:** nuclear explosion, chemical weapons, xenobiotics, damage to animals.

## Зброя масового ураження та її вплив на тварин

Н. М. Слободюк✉

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, Україна

На жаль, у 21 столітті людство розмірковує над тими нищівними наслідками, котрі може завдати нам зброя масового ураження. Підставою є ті неминучо важкі ураження тварин та людей, що виникають при цьому, а також і ті перші кроки лікарської допомоги, що необхідно надати потерпілим. Зброєю масового ураження є: ядерна, хімічна та біологічна, кожна з яких несуть неповторно шкідливі наслідки як на макроорганізм, так і на навколишнє середовище. Результатом ядерного вибуху є радіоактивне забруднення довкілля й виникнення променевої хвороби у тварин під впливом радіонуклідів. Ядерна хвиля викликає травми та опіки у тварин різного ступеня складності та локалізації. Ксенобіотики як хімічна зброя швидкої дії, викликають шкірнонаривну (іприт, азотистий іприт, люїзит), нервово-паралітичну (зоман, зарин, V-гази (Vx-гази), задушливу (фосген, дифосген, трифосген, тіофосген, хлор), загальноотруйну (синильна кислота та хлороціан) та подразнюючу (хлорацетофенон, Ci-Ec (CS), Ci-Ap (CR), адамсит) дії на макроорганізм зі специфічними клінічними проявами. Характерним для речовин шкірнонаривного впливу є здатність уражати шкіру з утворенням пухирів та виразок, що важко піддаються лікуванню. Розлад функцій нервової системи, м'язові судоми та паралічі є характерними клінічними ознаками впливу речовин нервово-паралітичної дії. Задушливі ксенобіотики викликають на-

*бряк легень і зупинку дихання, а загальної отруйної дії – пригнічення тканинного дихання. Подразнення очей із подальшим розвитком кон'юнктивіту, верхніх дихальних шляхів зі швидким розвитком набряку характерне для речовин подразнювальної дії. Кожна хімічна сполука отримала свою назву, переважно за іменем розробника. Більшість із них вперше були застосовані у першій світовій війні. Конвенцією про хімічну зброю з 1993 року більшість із вищеперерахованих ксенобіотиків є забороненими.*

**Ключові слова:** ядерний вибух, хімічна зброя, ксенобіотики, ураження тварин.

Захист населення, тварин та й загалом довкілля від наслідків зброї масового ураження, на жаль, стало одним із актуальних питань 21 століття в Україні.

Ядерна, хімічна та біологічна зброї – це та “потужна машина”, що знищує все живе і робить його нежиттєздатним, а також має важкі віддалені наслідки як на макроорганізм, так і на доколішні середовище. Своєчасна діагностика, “правильна” тактика й послідовність виконання дій у наданні допомоги та ліквідації наслідків є вкрай важливими та необхідними (Dobrov & Sorokoumov, 2005).

За ядерного вибуху виникає: ударна хвиля, світлове випромінювання, проникаюча радіація, радіоактивне забруднення та електромагнітний імпульс (Matviichuk et al., 2018).

При дії ударної хвилі на людину чи тварину виникають травматичні ураження різних тканин та органів (забої, відкриті й закриті переломи тощо). Ступінь ураження залежить від величини тиску ударної хвилі, виду тварини та структури внутрішніх органів. Від ударної хвилі найшвидше травмуються кровонаповнені органи (печінка, селезінка), органи, що містять повітря чи газ (кишечник, легені), рідини (жовчний та сечовий міхурі). Зокрема клінічна картина у тварин за ударної хвилі є різною і може проявлятися у різних ступенях: за легкого – присутні загальне збудження, збільшення частоти серцевих скорочень та дихання, переляк тощо. При середньому ступені виявляють виражене збудження, котре швидко переходить у пригнічення. З'являється кашель, хрипи та досить швидкий набряк легень (особливо в овець). Виділяється піниста кров'яна рідина з носових отворів і ротової порожнини. За важкого ступеня – коматозний стан, котрий має різну тривалість. До тридцяти хвилин – ураження центральної нервової системи. У випадку, якщо такий стан продовжується понад тридцять хвилин, це призводить до незворотних змін і загибелі тварини (Kravtsiv et al., 2006; Spatola et al., 2021).

За ядерного ураження виникає пожежа як окремих споруд, так і масових площ територій. Такі світлові ураження викликають опіки різних ступенів, серед яких вирізняють: I ступінь – характеризується припухлістю, почервонінням та болючістю уражених ділянок; II – утворенням пухирців, що наповнені рідиною та болючістю уражених ділянок. Характерними ознаками опіків III ступеня є змертвіння шкіри, підшкірної клітковини, утворення виразок, що довго не загоюються. Обуглення тканин, некроз підшкірної клітковини, м'язів і навіть кісток – характерні клінічні ознаки для IV ступеня опікового ураження тварин. Світлове випромінювання найбільш небезпечне для очей. У перші хвилини спалах викликає тимчасову сліпоту, надалі проявляється болючість, сльозотеча, набряк повік і розвиток кон'юнктивіту (найбільш чутливі коні). Більш виражені опіки очей виникають саме в

нічну пору, оскільки в темноті зіниця розширюється і на сітківку потрапляє велика кількість світлової “шкідливої” енергії. Якщо дивитися на спалах в момент вибуху, то така світлова хвиля може викликати опік очного дна ока. За світлової дії також виникають і ураження шкірного покриву тварини. Більш незахищені ділянки тіла (вим'я, вуха тощо) страждають найбільше. За важкістю опіки шкіри поділяють на чотири ступені: I – характеризується почервонінням, припухлістю та болючістю. Виникає опік із серозною рідиною, котрий загоюється з утворенням коричневих кірочок. До шести днів усі явища запальної реакції зникають і уражені ділянки повністю загоюються. II ступінь має ознаки вираженої місцевої болючості та підвищення температури. Тварини надмірно пригнічені, відмовляються від корму. Наприклад, у ВРХ дуже високий больовий поріг в ділянці опіку, у свиней виникає відшарування верхніх шарів епітелію шкіри і згодом утворюються струпи темно-жовтого кольору. У коней по краях ураженої ділянки тіла з'являються краплини жовтувато-рожевого забарвлення, що швидко підсихають. У овець ніс та повіки спочатку болючі та припухлі. Через декілька днів з'являється кірка і підвищена місцева температура. III ступінь опіку шкіри характеризується ураженням глибоколежачих тканин, уражена ділянка має некротизовані краї темного кольору, рана покривається серозним ексудатом, що переходить у гнійний. Після відторгнення некротизованих тканин ділянки повільно наповнюються грануляцією, у місці ураження є кровоточиві виразки, котрі довго не загоюються. Одночасно проявляються розлади центральної нервової, серцево-судинної, травної систем. Тварини різко втрачають вагу, відмовляються від корму, апатичні.

Ядерний вибух завжди супроводжується радіоактивним забрудненням атмосфери, водоймищ, ґрунту, а радіоактивні речовини викликають комбіноване опромінення живих організмів. У перші години і навіть дні після ядерного вибуху особливу небезпеку для людей і тварин становить зовнішнє опромінення. Радіоактивний пил після контакту зі шкірою і слизовими оболонками викликає місцеву запальну реакцію (Skaletskoho & Mysuly, 2003). Внутрішнє опромінення в макроорганізмі відбувається під впливом радіонуклідів, котрі потрапляють із ураженими кормами та водою або інгаляційно з вдихуванням повітрям. Тому відповідно уражаються травна та дихальна системи. Депонуючими органами для радіонуклідів є легені, кістки, печінка, селезінка, нирки. Елімінаційними секретами є молоко, сеча, кал. Під впливом іонізуючого випромінювання може розвиватися променева хвороба у гострій чи хронічній формах. Гостра форма виникає після навіть одноразового, але у високій дозі опромінення, а хронічна – після тривалої у невеликих дозах проникаючої радіації. У тварин вирізняють чотири ступені променевої хвороби: I – легкий; II –

середній, III – важкий, IV – дуже важкий. У момент опромінення чи в першу добу в тварин виявляють порушення координації рухів, недовготривале збудження, відмову від корму. В різних видів тварин є характерні клінічні ознаки: у ВРХ – проноси, м'язове дрижання, гіпертермія, у свиней і собак – часте блювання, гіперемія слизових оболонок, незначне збільшення кількості лейкоцитів та еритроцитів, різке зниження лімфоцитів. Відновлення тварин відбувається орієнтовно до 6 діб. Надалі настає латентний період, який залежить від дози опромінення. Основними проявами цього періоду є зміни в крові (зниження кількості лейкоцитів, лімфоцитів і тромбоцитів). Після латентного – настає розпал променевої хвороби у тварин, що мали легкий і середній ступені ураження й залишилися живими. Орієнтовно через 15 діб після опромінення у тварин підвищується температура тіла, порушується серцево-судинна діяльність, розвивається загальне пригнічення і спрага, кровоточивість ясен і стоматити, носові кровотечі, кон'юнктивіт, набряк в ділянці голови, кал із домішками крові, зниження гемоглобіну крові, випадіння шерсті. Для різних видів тварин існують характерні для них особливості променевої хвороби: у птиці – загальне пригнічення, посмикування голови, набряк і синюшність борідки та гребеня, витоки з носових отворів, проноси; у свиней – блювота, набряк легень; у собак – блювота, кал з домішками крові; у овець – риніт, кон'юнктивіт, випадіння шерсті, підвищення температури тіла; у коней – манежні рухи, намагання йти вперед; у ВРХ – кал із домішками крові, порушення серцево-судинної діяльності. Якщо тварини і птиця не гинуть до місяця часу, то настає їхнє поступове одужання. Однак неповноцінна годівля, невідповідні умови утримання, супутні захворювання тощо можуть призвести до рецидиву.

Отже, ядерний вибух викликає опіки й рани різного ступеня ураження та локалізації, переломи кісток, справляє негативний вплив на центральну нервову, дихальну і травну системи тощо. Радіоактивний пил забруднює усю екосистему, а його радіонукліди розвивають у тварин променево хворобу різної форми складності.

Зброєю масового ураження тварин і людей є отруйні хімічні ксенобіотики зі специфічними фізико-хімічними властивостями, котрі після застосування здатні викликати зараження ґрунту, води, повітря тощо. Стосовно впливу на макроорганізм, їх класифікують з урахуванням характеру дії та симптомів ураження на отруйні речовини: шкірнонаривної дії (іприт, азотистий іприт, люїзит). Характерною для цих речовин є здатність уражати шкіру з утворенням пухирів та виразок, а оскільки вони є універсальними клітинними отрутами, то уражають також органи зору, дихання та інші внутрішні органи; нервово-паралітичної дії (зоман, зарин, V-гази (Vx-гази)). Ці речовини викликають розлад функцій нервової системи, м'язові судоми та паралічі; задушливої дії (фосген, дифосген, трифосген, тіофосген, хлор) – уражають легені, що призводить до порушення або зупинки дихання внаслідок розвитку набряку легень; загальноотруйної

дії (синильна кислота та хлороціан). Дані речовини викликають загальне отруєння організму внаслідок пригнічення тканинного дихання; подразнювальної дії (хлорацетофенон, Сі-Ес (CS), Сі-Ар (CR), адамсит). Вони подразнюють слизові оболонки очей і верхніх дихальних шляхів, викликають сильну сльозотечу та поколювання в очах і носі, нестримне чхання, біль у грудях (Dukhnytskyi, 2022).

Іприт у часи Першої світової війни застосовувався як бойова зброя шкірно-наривної дії. Термін "іприт" походить від назви бельгійського міста Іпр, бо саме поблизу нього вперше німецькі війська застосували цю речовину як хімічну зброю. Міжнародне позначення іприту як хімічної зброї – HD. З 1993 року, на основі підписаної Конвенції про хімічну зброю, іприт заборонений. Токсична дія іприту полягає в ушкодженні шкіри, очей і дихальної системи. Перші клінічні ознаки проявляються через дві години. Після контакту на шкірі pojawiaються пухирці з жовтуватою рідиною, котрі довго загоюються, а на місці залишаються рубці. Концентрація іприту в повітрі 0,03 мг/л викликає смерть упродовж п'яти хвилин. Іприт легко кумулюється в гумових, паперових, текстильних предметах тощо, а контакт із останніми теж викликає отруєння (Institute of Medicine, 1993; Khudetskyi & Levchenko, 2004).

Люїзит отримав назву на честь американського хіміка Вінфорда Ле Льюїса і є хімічною зброєю, яка також із 1993 року – заборонена. Він належить до стійких отрут загальної та шкірно-наривної дії. Також викликає подразнення слизових оболонок і органів дихання. Токсична дія проявляється через п'ять хвилин незалежно від шляху потрапляння (Li et al., 2016; Srivastava et al., 2018; Manzoor et al., 2020).

Наприкінці 1944 року німецьким хіміком Ріхардом Куном був синтезований зоман, котрий також мав призначення хімічної зброї, хоча за звичайних умов має приємний фруктовий запах. Зоман у США має позначення GD, у Німеччині – трилон. У США та країнах НАТО боєприпаси із зоманом кодуються трьома зеленими кільцями і написом GD GAS. З 1993 року (Конвенція про хімічну зброю) зоман є заборонений як хімічна зброя (Kitsno et al., 2009).

Високим хімічним бойовим потенціалом володіє зарин, як і ще один фосфорорганічний ксенобіотик, котрий також заборонений із 1993 року. Ще одним представником отрут нервово-паралітичної дії є V-гази, хімічна назва яких фосфорилтіохоліни. Представником таких газів є 0-етил-3-диметиламіноетилметил-тіофосфат. Останній є стійким і високоотруйним, а тому й забороненим. Отруєння нервово-паралітичними ксенобіотиками призводять до інтенсивної гіперсалівації, сльозотечі, звуження зіниць, втрати зору, задухи, судом, мимовільних сечовипускань та дефекації, парезу, паралічів, швидкої загибелі.

До списку заборонених належить безбарвна газоподібна речовина із запахом прілих фруктів чи сіна – фосген (Lu et al., 2021). Останній був відкритий британським хіміком Джоном Деві у 19 ст. Під час Першої світової війни фосген використовувався як хімічна зброя, оскільки він володіє задушливою активніс-



тю при інгаляційному потраплянні в організм. Отруєння фосгеном може протікати у легкій, середній та важкій формах (Pauluhn, 2021). Легкий ступінь характеризується ознаками подразнення слизових оболонок, незначним набряком легень, а одужання настає на п'яту добу. Кашель, подразнення слизових оболонок, набряк легень, збудження – це ознаки середнього ступеня отруєння (Hobson et al., 2021; Cao et al., 2022). Одужання тварин настає в середньому до десяти діб при наданні лікарської допомоги тваринам. При тяжкій формі виявляють швидкий набряк легень, згущення крові, тромбоз судин, а смерть настає від асфіксії. Хлор – це токсичний газ жовто-зеленого кольору з різким запахом хлорного вапна, належить до бойової зброї. Ознаками отруєння є сухий кашель, задуха, блювота, порушення координації рухів, слезотеча. Дія хлору на шкіру викликає її подразнення, виникнення пухирів і опіків (Teploukhov, 2008).

Дуже токсичною є безбарвна, прозора й летка синильна кислота зі своєрідним мигдальним запахом. Найшвидший шлях проникнення парів синильної кислоти в організм – інгаляційний. У концентрації 0,1–0,12 г/м<sup>3</sup> при експозиції до 20 хвилин викликає важке отруєння. Смертельними вважають концентрації 0,2–0,3 г/м<sup>3</sup> при експозиції до 10 хвилин і 0,4–0,8 г/м<sup>3</sup> при експозиції до 5 хвилин. Із клінічних ознак вирізняють судоми, ціаноз слизових оболонок і шкіри, блювоту, біль в ділянці живота, загальну слабкість, задишку, пришвидшене серцебиття, судоми. Смерть настає від серцево-судинної недостатності. До списку надзвичайно токсичних речовин загальноотруйної дії належить хлорціан. Останній є безбарвним газом із перцевим запахом. У часи Першої світової війни застосовувався як бойова отрута, а у військовій справі є під позначенням СК. Як уже згадувалося, Конвенцією про хімічну зброю із 1993 року хлорціан є забороненим. Після потрапляння в організм дія хлорціану подібна до дії синильної кислоти: подразнює верхні дихальні шляхи та слизову очей. Наслідком дій є запалення та кон'юнктивіт (Verbytskyi & Dostoievskiy, 2004).

Із групи лакриматорів відомий хлорацетофенон як бойова токсична сполука. Синтезований німецьким вченим Гребе у 19 ст. У хімічному плані це білі кристали із приємним запахом черемхи. Після потрапляння в очі викликає опік, помутніння рогівки й послаблення зору. При наявності у повітрі реакція очей – це виникнення різкого болю та слезотеча. При вдиханні хлорацетофенон викликає пирхоту в горлі, пощипування в носі, провокує виділення носового слизу, утруднене дихання і кашель. При потраплянні на шкіру ксенобіотик викликає локальний опік з утворенням пухирів. До цієї ж групи належить кристалічна речовина жовтого кольору адамсит, котрий вперше був синтезований у Німеччині Генріхом Отто Віландом і належить до бойових отруйних речовин.

### Висновки

Хімічна зброя – одна із найнебезпечніших отрут швидкої дії, що спроможна викликати складні патології органів дихання, центральної нервової системи,

шкіри та слизових. Більшість ксенобіотиків бойового призначення заборонені Конвенцією про хімічну зброю.

### Відомості про конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів.

### References

- Achanta, S., & Jordt, S.-E. (2021). Toxic effects of chlorine gas and potential treatments: a literature review. *Toxicol Mech Methods*, 31(4), 244–256. DOI: 10.1080/15376516.2019.1669244.
- Cao, C., Zhang, L., & Shen, J. (2022). Phosgene-Induced acute lung injury: Approaches for mechanism-based treatment strategies. *Front Immunol*, 13, 917395. DOI: 10.3389/fimmu.2022.917395.
- Dobrov, I. O., & Sorokoumov, O. P. (2005). Toksykologhiia, radiologhiia i medychnyi zakhyst. Vynnytsia (in Ukrainian).
- Dukhnytskyi, V. B. (2022). Veterynarna toksykologhiia: pidruchnyk. 2-he vydannia, dopovnene i pereroblene, Vydannia prysviacheno 125-richchiu Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy 100-richchiu kafedry farmakologhii. Kyiv: Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukrainy (in Ukrainian).
- Hobson, S. T., Richieri, R. A., & Parseghian, M. H. (2021). Phosgene: toxicology, animal models, and medical countermeasures. *Toxicol Mech Methods*, 31(4), 293–307. DOI: 10.1080/15376516.2021.1885544.
- Institute of Medicine (US) Committee on the Survey of the Health Effects of Mustard Gas and Lewisite; Pechura CM, Rall DP, editors (1993). *Veterans at Risk: The Health Effects of Mustard Gas and Lewisite*. Washington (DC): National Academies Press (US) URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25144024>.
- Khudetskyi, I. Yu., & Levchenko, O. Ye. (2004). Boiovi otrui ni rechovyny (BOR). Entsyklopediia Suchasnoi Ukrainy: entsyklopediia (elektronna versiia). NAN Ukrainy, NTSh. Kyiv: Instytut entsyklopedychnykh doslidzen NAN Ukrainy, 2004. T.3 (in Ukrainian).
- Kitsno, V. O., Polishchuk, S. V., & Hudkov, I. M. (2009). Osnovy radiobiologhii ta radioekologhii: navch. posib. 2-e vydannia. Kyiv: «Khay-Tek Pres» (in Ukrainian).
- Kravtsiv, R. Y., Kozak, M. V., Stoianovskiy, V. H., Kabanets, S. I., & Slobodiuk, N. M. (2006). Diia zbroi masovoho urazhennia na liudei i tvaryn: navchalnyi posibnyk. Lviv: LNAVМ imeni S.Z.Hzhytskoho (in Ukrainian).
- Li, C., Srivastava, R. K., Weng, Z., Croutch, C. R., Agarwal, A., Elmets, C.A., Afaq, F., & Athar, M. (2016). Molecular Mechanism Underlying Pathogenesis of Lewisite-Induced Cutaneous Blistering and Inflammation: Chemical Chaperones as Potential Novel Antidotes. *Am J Pathol*, 186(10), 2637–2649. DOI: 10.1016/j.ajpath.2016.06.012.
- Lu, Q., Huang, S., Meng, X., Zhang, J., Yu, S., Li, J., Shi, M., Fan, H., & Zhao, Y. (2021). Mechanism of Phosgene-Induced Acute Lung Injury and Treatment

- Strategy. *Int J Mol Sci*, 22(20), 10933. DOI: 10.3390/ijms222010933
- Manzoor, S., Mariappan, N., Zafar, I., Wei, C. C., Ahmad, A., Surolia, R., Foote, J. B., Agarwal, A., Ahmad, S., Athar, M., Antony, V. B., & Ahmad, A. (2020). Cutaneous lewisite exposure causes acute lung injury. *Ann N Y Acad Sci*, 1479(1), 210–222. DOI: 10.1111/nyas.14346.
- Matviichuk, M. V., Tarasiuk, V. S., Korolova, N. D., & Podolian, V. M. (2018). *Metodychni materialy do praktychnoho zaniattia dlia studentiv 5 kursu medychnoho fakultetu z dystsypliny «Viiskova toksykolohiia, radiolohiia ta medychnyi zakhyst». Tema № 4. Otruini rehovyny shkirno-naryvnoi dii. Vinnytsia (in Ukrainian).*
- Pauluhn, J. (2021). Phosgene inhalation toxicity: Update on mechanisms and mechanism-based treatment strategies. *Toxicology*, 450, 152682. DOI: 10.1016/j.tox.2021.152682.
- Skaletskoho, Yu. M., & Mysuly, I. R. (2003). *Viiskova toksykolohiia, radiolohiia ta medychnyi zakhyst. Ternopil: Ukrmedknyha (in Ukrainian).*
- Spatola, G. J., Ostrander, E. A., & Mousseau, T. A. (2021). The effects of ionizing radiation on domestic dogs: a review of the atomic bomb testing era. *Biol. Rev.*, 96(5), 1799–1815. DOI: 10.1111/brv.12723.
- Srivastava, R. K., Traylor, A. M., Li, C., Feng, W., Guo, L., Antony, V. B., Schoeb, T. R., Agarwal, A., Athar, M. (2018). Cutaneous exposure to lewisite causes acute kidney injury by invoking DNA damage and autophagic response. *Am J Physiol Renal Physiol*, 314(6), F1166–F1176. DOI: 10.1152/ajprenal.00277.2017
- Teploukhov, B. P. (2008). *Zbroia masovoho urazhennia ta zakhyst vid nykh: navchalnyi posibnyk. Kyiv, VIKNU (in Ukrainian).*
- Verbytskyi, P. I., & Dostoievskyi, P. P. (2004). *Dovidnyk likaria veterynarnoi medytsyny. Kyiv: Urozhai (in Ukrainian).*