

УДК 614.8 (075.3)

DOI <http://doi.org/10.32782/2226-2008-2023-3-12>*К. В. Ординська<sup>1</sup>, Б. В. Приступа<sup>1,2</sup>, С. І. Богату<sup>2</sup>, Я. В. Рожковський<sup>2</sup>***МЕДИЧНИЙ ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ ТА ВІЙСЬКОВИХ  
У РАЗІ ЗАГРОЗИ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ**<sup>1</sup>Військово-медичний клінічний центр Південного регіону, Одеса, Україна<sup>2</sup>Одеський національний медичний університет, Одеса, Україна

УДК 614.8 (075.3)

**К. В. Ординська<sup>1</sup>, Б. В. Приступа<sup>1,2</sup>, С. І. Богату<sup>2</sup>, Я. В. Рожковський<sup>2</sup>****МЕДИЧНИЙ ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ ТА ВІЙСЬКОВИХ У РАЗІ ЗАГРОЗИ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ**<sup>1</sup>Військово-медичний клінічний центр Південного регіону, Одеса, Україна<sup>2</sup>Одеський національний медичний університет, Одеса, Україна

У статті наведено данні стосовно надання військовим і населенню алгоритму дій із профілактики та лікування в разі загрози ядерної катастрофи під час українсько-російської війни. Висвітлені дані базуються на аналізі нормативно-правових документів, наукових публікацій і джерел державних засобів масової інформації.

Було запропоновано алгоритм дій під час ядерної катастрофи та методи діагностики та лікування наслідків для організму людини. Також було проведено аналіз перспективних лікарських засобів як для профілактики опромінення, так і для лікування його руйнівних наслідків.

**Ключові слова:** радіаційне забруднення, іонізуюче випромінювання, ядерна катастрофа, медичний захист.

UDC 614.8 (075.3)

**K. V. Ordynska<sup>1</sup>, B. V. Prystupa<sup>1,2</sup>, S. I. Bogatu<sup>2</sup>, Ya. V. Rozhkovsky<sup>2</sup>****MEDICAL PROTECTION OF THE POPULATION AND THE MILITARY AT THE THREAT OF RADIOACTIVE CONTAMINATION**<sup>1</sup>Military Medical Clinical Center of the Southern Region, Odesa, Ukraine<sup>2</sup>Odesa National Medical University, Odesa, Ukraine

The article provides data on providing the military and the population with an algorithm for prevention and treatment in the event of a nuclear disaster during the Ukrainian-Russian war. The highlighted data is based on the analysis of normative and legal documents, scientific publications and sources of state mass media. An algorithm of actions during a nuclear disaster and methods of diagnosis and treatment of consequences on the human body were proposed. An analysis of promising medicinal products was also carried out both for the prevention of exposure and for the treatment of its destructive consequences.

**Key words:** radiation pollution, ionizing radiation, nuclear disaster, medical protection.

**Вступ.** Наприкінці вересня 2022 р. більшість світових таблоїдів почала поширювати заяву президента РФ щодо використання «усіх наявних засобів» для захисту «своїх територій». До «своїх територій» Росія також відносить окуповані території України. Відтоді неодноразово лунали заклики від високопосадовців та пропагандистів РФ щодо застосування ядерної зброї по центрах ухвалення рішень в Україні й інших країнах Європи. На дану заяву майже відразу було надано відповідь радником президента США з національної безпеки Джейком Салліваном, який заявив, що їхня країна надасть рішучу відповідь на будь-яке застосування Росією ядерної зброї проти України, і пояснив Москві «катастрофічні наслідки», з якими вона зіткнеться [1].

Якщо розглянути в історичному аспекті, то розроблення ядерної зброї почалось ще на початку ХХ ст. Під час Другої світової війни ядерну зброю активно розробляли Німеччина, а також США в колаборації з Великою Британією в «Мангеттенському проєкті».

Єдиний в історії випадок використання ядерної зброї – це скидання двох бомб на Хіросіму та Нагасакі, японські міста, у серпні 1945 р. На той час Німеччина

вже капітулювала, а Японія ще не здавалась. Після ультиматумів американців було застосовано дві бомби потужністю приблизно 21 кілотонну у тротиловому еквіваленті [2].

У сучасній історії України є своя «трагічна сторінка», пов'язана з ядерним забрудненням. У ніч із 25 на 26 квітня 1986 р. в місті Прип'ять Київської області стався тепловий вибух четвертого атомного реактора на Чорнобильській АЕС. Ця катастрофа, яку називають найстрашнішим цивільним ядерним інцидентом у світі, є однією із двох аварій атомної енергетики, оцінених як 7 (найбільший ступінь тяжкості) за Міжнародною шкалою ядерних подій. Іншою є ядерна катастрофа на Фукусімі в Японії у 2011 р. Ученні стверджують, що відбулось виверження радіації потужністю 300 Хіросімі. Унаслідок трагедії радіоактивного ураження зазнали понад 600 тисяч осіб, а навколо ЧАЕС створено зону відчуження радіусом 30 км.

Припинення експлуатації Чорнобильської АЕС проводиться поступово: 2-й енергоблок – з 1991 р., після пожежі в машинному залі, 1-й енергоблок – з 1996 р., за рішенням українського Уряду, 3-й блок зупинено наприкінці 2000 р.

Після закриття Чорнобильської АЕС в Україні залишилися в експлуатації 4 атомні електростанції з реакто-

рами типу ВВЕР: Запорізька, Рівненська, Хмельницька та Південно-Українська, на яких працюють 15 ядерних енергетичних установок із загальною встановленою потужністю 13 835 МВт [3].

На початку повномасштабного вторгнення Росії на територію нашої держави військовими країни-агресорки було окуповано Запорізьку АЕС в м. Энергодар, яка є найбільшою в Європі та 6 у світі.

Уночі 6 червня 2023 р. сталась техногенна катастрофа, спричинена підривом Каховської ГЕС російськими окупантами. Рівень води в Каховському водосховищі почав стрімко знижуватись, що стало загрозою для належного функціонування окупованої ЗАЕС. Вода з водосховища необхідна для того, щоб АЕС отримувала підживлення для конденсаторів турбін і своїх систем безпеки. МАГАТЕ повідомило, що безпосередньої загрози ядерній безпеці на станції немає, ставок, який забезпечує потреби ЗАЕС, наповнений належною кількістю води [4; 5].

Начальник Головного управління розвідки Міністерства оборони України генерал-майор Кирил Буданов повідомив, що РФ розмістила техніку з вибухівкою біля ставка-охолоджувача та 4-х із 6-ти реакторів на ЗАЕС і має намір підірвати їх. За його словами, ядерні реактори без охолодження можуть розплавитись за період від 10 годин до 14 днів [6].

22 червня 2023 р. Президент України Володимир Зеленський заявив про плани Росії влаштувати теракт на Запорізькій АЕС [7].

Із 23 червня було розпочато навчання на випадок радіаційної аварії, до яких долучились ДСНС, поліція, енергетики та медики.

Отже, беручи до уваги аргументовані докази ймовірного скоєння збройними силами Росії радіаційного теракту, доречно зробити висновок, що трагедія на ЗАЕС належить до зброї масового ураження та може призвести до колосальних втрат серед цивільного населення та військових.

**Результати дослідження та їх обговорення.** До основних джерел законодавчої бази щодо охорони здоров'я населення України від негативного впливу іонізуючого випромінювання можна віднести такі: Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», Закон України «Основи законодавства України про охорону здоров'я», постанову Кабінету Міністрів України від 31 жовтня 2018 р. № 910 «Про затвердження Воєнно-медичної доктрини України», Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання», Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», Кодекс цивільного захисту України.

Радіаційне забруднення – це контакт із радіоактивним матеріалом, зазвичай ненавмисний, та його затримання, здебільшого у вигляді пилу або рідини. Радіаційне забруднення ділять на внутрішнє (радіоактивний матеріал у формі газів, рідин або твердих речовин потрапляє в навколишнє середовище та забруднює людей зовні (на шкірі), усередині (через ковтання) або одночасно) та зовнішнє (потрапляння радіоактивного матеріалу на шкіру або одяг, звідки він може відпасти чи стертися, що призведе до забруднення інших людей або предметів) [8]. Важливо зазначити, що вплив раді-

аційного поля під час зовнішнього забруднення не призводить до того, що людина стає радіоактивною. Опромінення припиняється як тільки людина залишає радіаційно забруднену територію.

Іонізуюче випромінювання – це випромінювання радіоактивних променів, які в разі взаємодії з речовиною передають їй енергію, що спричиняє іонізацію атомів або молекул. Відрив електрона від атома або молекули називається іонізацією. Це веде до пошкодження їхньої структури й утворення вільних радикалів, які відіграють роль оксидантів і мають підвищену реакційну здатність.

Усі випромінювання поділяються на два класи: корпускулярні (альфа-випромінювання ( $\alpha$ ), бета-випромінювання електрони ( $\beta^-$ ), позитрони ( $\beta^+$ ), протони ( $P^+$ ), нейтрони ( $n^0$ ) і електромагнітні (квантове гамма- ( $\gamma$ ) та рентгенівське випромінювання) [9].

Традиційними одиницями вимірювання є рентген, рад і бер. Рентген (Р) – це одиниця експозиції, яка вимірює іонізуючу здатність рентгенівського або гамма-випромінювання в повітрі. Поглинена доза радіації (рад) – це та кількість радіаційної енергії, яка поглинається одиницею маси. Оскільки біологічне пошкодження в одиницях «рад» відрізняється залежно від типу випромінювання (наприклад, для нейтронів воно вище, ніж для рентгенівського або гамма-випромінювання), доза в радах коригується з урахуванням коефіцієнта якості, а отримана еквівалентна доза є біологічним еквівалентом рентгена (бер). Одиницею вимірювання поглиненої дози в системі SI прийнятий грей (Гр). Грей дорівнює поглиненій дозі іонізуючого випромінювання, за якої речовині масою 1 кг передається енергія іонізуючого випромінювання будь-якого виду 1 Дж (1 Гр = 1 Дж/кг) [8].

**Профілактика.** До основних профілактичних вимог під час радіологічної небезпеки відносять такі:

- пошук і перебування в захищених приміщеннях (споруди, підвали);
- герметизацію приміщень та перебування в них від години до декількох днів;
- перебування в засобах індивідуального захисту та захист дихальних шляхів (протигази, респіратори, ватно-марлеві пов'язки);
- санітарну обробку після залишення забрудненого місця;
- кількадеennisий запас води в герметичних ємностях. Продукти треба загорнути у плівку та покласти в холодильник або шафу. Питну воду вживати в бутильованому виді;
- увімкнути транслятори засобів масової інформації (телевізор, радіо, месенджери в телефоні) та дотримуватись подальших інструкцій, зокрема й щодо можливої евакуації [10].

Високу ефективність радіопротекторної дії мають препарати групи тіоалкіламінів (аміфостин і цистамін). Але натепер такі препарати не внесено до державного реєстру лікарських засобів України.

Для усунення ймовірності потрапляння ізотопів цезію та прискорення їх елімінації з організму людини треба використовувати препарати діоксиду кремнію (ентеросгель і атоксил) [11].

Згідно з наказом Міністерства охорони здоров'я (далі – МОЗ) України, йодна профілактика населення починається негайно після особливого розпорядження офіційних джерел масової інформації та проводиться шляхом прийому внутрішньо пігулок йодистого калію, а в разі його відсутності – водно-спиртового розчину йоду.

Регламентом встановлено такі вікові групи та дозування препарату стабільного йоду (калій йодид): діти до 1 місяця (немовлята й діти, які перебувають на грудному вигодовуванні) – 16 мг, діти від 1 місяця до 3 років – 32 мг, діти від 3 до 12 років – 62,5 мг, підлітки від 13 до 18 років, дорослі до 40 років, матері, які годують груддю – 125 мг.

До основних протипоказань прийому препаратів стабільного йоду відносять: наявність захворювань щитоподібної залози; фурункульоз; підвищену чутливість до йоду; геморагічний діатез; токсичну аденому; герпетичний дерматит Дюринга та гіпокомплементаційний васкуліт [12].

У сучасній світовій історії досвід масового використання препаратів йоду було зафіксовано в Польщі під час аварії на Чорнобильській АЕС. Через три дні після аварії польський уряд наказав розлити у пляшки та розповсюдити йодид калію серед населення. Через 24 години розчин отримали 75% дітей Польщі, а за весь час 95%, дорослих – 23%.

З основних побічних ефектів у дітей виділяють блювання – 2,4%, (можливо, пов'язане із тривогою під час кризи), в 1,1% розвинувся шкірний висип, а 0,36% скаржились на дискомфорт у животі. Серед дорослих 1,2% повідомили про шкірні висипання, 0,85% повідомили про блювоту та 0,63% повідомили про дискомфорт у животі. Було 2 анафілактичні реакції, але смертельних випадків не було [13].

**Вплив радіаційного опромінення на організм.** Радіочутливість – це чутливість біологічних об'єктів до дії іонізуючих випромінювань. Ученими доведено, що живі організми по-різному чутливі до радіаційного опромінення. Чим складніший організм, тим він більш чутливий. Чутливість може різнитись залежно не тільки від виду, а й від області в межах одного організму.

Найбільш уразливими радіаційним опроміненням в організмі людини вважаються червоний кістковий мозок та інші кровотворні системи. Досить дози опромінення 0,5–1 Гр, але якщо доза замала для враження всіх клітин, кровотворна система здатна цілком відновитись.

Найбільш радіорезистентною вчені називають нервову тканину. Загибель нервових клітин спостерігається за доз опромінення понад 100 Гр.

Вплив іонізуючого випромінювання може спричинити органічне ураження тканин головного мозку, структурне порушення взаємодіючих мереж нервово-судинних і гліальних клітин, а також масивів паракринних тканин, системне руйнування. Це призводить до подальшого зниження когнітивних можливостей і декомпенсації психічного здоров'я.

У разі опромінення серця дозою до 10 Гр відбуваються зміни в міокарді, тоді як за 20 Гр спостерігається ураження ендокарда. Найбільш радіочутливим

у серцево-судинній системі є зовнішній шар судинної стінки. Учені вважають, що це можна пояснити високим вмістом колагену, який відповідає за виконання стабілізуючої та опорної функцій.

Радіаційне опромінення нирок проявляється не відразу. Так, у разі опромінення в дозі більше 30 Гр розвиток хронічного нефриту може проявитись через 5 тижнів [8].

Ученими з Меріленду було встановлено, що опромінення черепа або всього тіла може спричинити безліч біохімічних і клітинних порушень у тканинах мозку, зокрема:

- зниження нейрогенезу й олігодендрогенезу;
- порушення гематоенцефалічного бар'єра;
- видалення судинних капілярів.

Ці зміни, разом із цереброваскулярним запаленням, лежать в основі різних стадій енцефалопатії – від ранньої затяжної до пізньої уповільненої [14].

У репродуктивних органах чоловіків найбільш радіочутливі є сперматогонії, а найбільш радіорезистентними – сперматозоїди. Кількість сперми може зменшуватись за дози 0,15 Гр, тоді як за дози 3,5–6 настає цілком стерильність [8].

У дорослих жінок яєчники менш чутливі до радіоактивного опромінення. Опромінення в дозі 2 Гр усе ж таки може спричинити припинення менструації до трьох років, безпліддя. У жінок ефективна стерилізуюча доза становить: при народженні – 20,3 Гр, у 10 років – 18,4 Гр, у 20 років – 16,5 Гр [15].

Ембріон і плід, що розвиваються, надзвичайно чутливі до іонізуючого випромінювання. Основними наслідками радіації для людського ембріона та плода є: затримка росту, внутрішньоутробна або неонатальна смерть, вроджені вади розвитку та розумова відсталість. Доза 0,1 Гр для ембріона та плода рекомендована як порогова доза, вище якої варто розглядати терапевтичний аборт [16].

Збоку шлунково-кишкового тракту найменш радіочутливою є печінка, потім за зростанням ідуть підшлункова залоза, шлунок, стравохід, слинні залози, язик, порожнина рота та тонкий кишечник. Печінка за грудиною й езофагіт часті в разі доз понад 30 Гр; важкий езофагіт спостерігається після 50 Гр; стриктури та фістули можуть виникнути після 60 Гр [17].

Радіаційне ураження легень охоплює будь-яку токсичність легень, спричинену променевим опроміненням, і проявляється гостро радіаційним пневмонітом і хронічно як радіаційний легеневий фіброз. Це може призвести до летального випадку протягом декількох місяців після опромінення [18].

Учений Лінглінг Лі з міста Ухань дослідив основний вплив радіації на розвиток раку легень. Особливість розвитку патології полягає в індукції генних мутацій як у чоловіків, так і у жінок. Зокрема, у пацієнтів чоловічої статі радіація впливає на мутацію в нормальних клітинах і трансформацію передракових клітин у злоякісні. Однак радіація в пацієнтів жіночої статі збільшує частоту мутацій перших двох мутацій у стохастичній моделі [19].

Донедавна розвиток катаракти вважався детермінованим ефектом, що спостерігається за доз опро-

мінення лінзи, що перевищують поріг 5–8 Гр. Зберігається значна невизначеність щодо рівня порога. Міжнародна комісія із захисту від радіації нещодавно переглянула та зменшила його до 0,5 Гр. Відмерлі клітини ока втрачають прозорість і розростаються до утворення катаракти, а згодом і до сліпоти. Найбільш небезпечним щодо розвитку катаракти є нейтронне опромінення [20].

Ендокринні залози характеризуються низькою швидкістю оновлення клітин і в дорослих у нормі є відносно радіорезистентними, проте у стані зростання або у проліферативному стані вони значно більш радіочутливі [8].

У дорослих кісткова, хрящова та м'язова тканини більш радіорезистентні, ніж у проліферативному стані. Вплив радіації на морфологію та міцність кісток проявляється на більш пізній стадії. Зміни в щільності кісток помітні як за низької (1 Гр), так і за високої дози (30 Гр) радіації. Мікроструктури трабекулярної та кортикальної кістки були суттєво змінені в разі місцевого опромінення на контралатеральних ділянках. Окрім того, механічна міцність зазнала значного впливу протягом як короткого, так і тривалого періодів. Найбільша радіочутливість скелетної тканини характерна для ембріонального періоду (38–85 доба внутрішньоутробного розвитку) [21].

**Лікування радіаційного ураження на ранніх стадіях.** Насамперед варто наголосити на забороні залучення персоналу без використання засобів індивідуального захисту. Особам, які надають першу долікарську допомогу в зоні зараження радіацією, забороняється пити, уживати їжу, палити та справляти фізіологічні потреби.

Також необхідно зазначити необхідність проведення повної санітарної обробки постраждалих і персоналу, які перебували в зоні радіаційного ураження.

Згідно з методичними рекомендаціями командування Медичних сил Збройних сил України (далі – КМС ЗСУ) [11], на першому етапі долікарської допомоги рекомендовано введення антимиетиків і діазепаму, корекція гіпертермії, проведення кристалоїдів і колоїдів у разі гіпотензії.

Під час першої лікарської допомоги проводять симптоматичне лікування захворювань, як-от: лихоманка, психомоторне збудження, блювота, нудота тощо.

Препаратами вибору в разі гіпертермії, згідно з рекомендаціями КМС ЗСУ, вважаються нестероїдні протизапальні засоби, а саме: парацетамол (500 мг), німесулід (200 мг) та ібупрофен (400 мг).

У разі нудоти та блювоти треба використовувати ондасетрон перорально по 4–8 мг 2–3 рази на день. Якщо блювота є вираженою, ондасетрон вводять парентерально по 8 мг 2–3 рази на день. Метоклопрамід використовують за відсутності першого. Це пов'язано з його меншою ефективністю порівняно з ондасетроном.

Психомоторне збудження, як показує медична практика, блокується пероральним або парентеральним введенням діазепаму в дозі 10 мг.

На етапі кваліфікованої медичної допомоги додатково проводиться протигрибкова, противірусна й анти-

бактеріальна терапія, а також введення гемостатиків, гемокомпонентна терапія.

Для запобігання розвитку нейтропенії препаратом вибору позиціонують філграстим із групи препаратів гранулоцитарного колонієстимулюючого чинника. Уводять препарат (10 мкг/кг) щоденно до відновлення рівня гранулоцитів вище  $1,0 \cdot 10^9/\text{л}$ .

Подальше симптоматичне лікування проводиться згідно із протоколами лікування відповідних захворювань [11].

**Перспективи розроблення нових лікарських препаратів із радіопротекторною дією.** На жаль, перелік нових перспективних ліків може бути не вичерпним через відсутність доступності повідомлених даних щодо природи та лікарської дії вибраних сполук. Ця недоступність значною мірою пов'язана з особистими фінансовими інтересами фармацевтичних компаній у захисті потенційно ринкових діючих сполук, а також із загальними проблемами конфіденційності та прав інтелектуальної власності, якими користуються корпорації та державні установи [22].

*Епігалокатехін-3-галат* (далі – ЕГКГ), основний поліфенол у зеленому чаї, має потужну антиоксидантну дію й ефективний у полегшенні багатьох захворювань, пов'язаних з окислювальним стресом. За результатами дослідження Лі Вей Се (2020 р.) встановлено, що введення ЕГКГ не тільки подовжило час виживання смертельно опромінених мишей, але також зменшило індуковане радіацією пошкодження слизової оболонки кишечника. Лікування ЕГКГ значно збільшує кількість  $\text{Lgr}^{5+}$  кишкових стовбурових клітин та їхнє потомство  $\text{Ki}^{67+}$  клітин, а також зменшує пошкодження й апоптоз ДНК, спричинене радіацією [23].

*Дельта-токотриєнол* (далі – д-ТТ). Одноразове підшкірне введення д-ТТ до опроміненням кобальтом-60 ( $60^\circ\text{C}$ ) ( $0,6 \text{ Гр/хв}$ ) значно підвищувало показники виживання опромінених мишей. д-ТТ був ефективним у широкому діапазоні введених доз ( $19\text{--}400 \text{ мг/кг}$ ) у мишей [24].

Коли д-ТТ вводили в дозі  $300 \text{ мг/кг}$  за 24 години до опромінення, це значно зменшувало спричинену радіацією цитопенію, що вказує на захисний ефект кровотворної системи, що базується в основному на стимулюючій дії д-ТТ на відновлення тканин [25].

Окрім захисту кровотворної системи, д-ТТ також захищав шлунково-кишковий тракт (далі – ШКТ) опромінених мишей у разі введення в дозі  $75\text{--}100 \text{ мг/кг}$  за 24 години до опромінення ( $10\text{--}12 \text{ Гр}$ ,  $60^\circ\text{C}$ ). Доповідь свідчить про те, що д-ТТ допомагає захистити клітини людини та миші від радіаційного ураження шляхом пригнічення індукованої інтерлейкіном-16 передачі сигналів ядерного фактора- $\gamma/\text{мікроРНК-30}$  [26; 27].

*3,3-дііндоліметан* (далі – ДІМ). Уведення ДІМ за багатодозовою схемою шляхом внутрішньоочеревинного введення захищало щурів від летальних доз опромінення до  $13 \text{ Гр}$ , незалежно від того, чи було проведено опромінення за 24 години до або за 24 годин після [28]. Ученими було продемонстровано, що ДІМ полегшує наслідки ушкодження кровотворення, спричинені радіоактивним опроміненням, пригнічує окислювальний стрес і пошкодження ДНК, підвищує експресію

антиапоптозного білка В-клітинної лімфоми-2 і знижує експресію проапоптозного білка [29].

*Пентоксифілін* є похідним метилксантину, який викликає дозозалежні гемореологічні ефекти, знижує в'язкість крові, покращує гнучкість еритроцитів і підвищує рівень кисню у тканинах. Двадцять шість пацієнтів з пізніми радіаційними ускладненнями (які виникли більше ніж через два місяці після рентгенівської терапії) отримували пероральний пентоксифілін: 15 – некроз м'яких тканин, 6 – фіброз, 5 – біль у слизовій оболонці. Дев'ять із 12 пацієнтів із некрозом м'яких тканин цілком одужали. У всіх трьох випадках розвинувся остеорадіонекроз. Біль у слизовій оболонці зник у всіх п'яти пацієнтів. Фіброз покращився у 67% цих пацієнтів. Пентоксифілін, очевидно, прискорює загоєння й усуває деякі пізні радіаційні ушкодження [30].

Існують дослідження, які демонструють сприятливий захисний ефект пентоксифіліну за гострих і хронічних променевих уражень у разі застосування в дозі 400 мг/кг тричі на день пацієнтам, які проходять променеву терапію.

Було продемонстровано, що він відіграє роль у зниженні ризику радіаційного ураження легень на тваринних моделях і пацієнтах, які проходили променеву терапію, у разі перорального введення [31].

*Амінотіол* (PrC-210). У 2022 р. Вільгельм Фаль дослідив разову пероральну дозу PrC-210 (151–201 мг/г маси тіла), уведеною через 24 години після опромінення. Учений зазначив перевагу виживання на 45% у безпородних мишей, які піддавались опроміненню. На тлі введення амінотіолу також спостерігалось значне збільшення маси тіла в мишей і помітний захист кишкової структури за допомогою МРТ-зображення живих мишей. Ворсинки тонкої кишки та поверхневий епітелій помітно щільніший, ніж у групи, яку підда-

вали тільки опроміненню, без подальшого лікування. Важливо відмітити здатність PrC-210 пригнічувати на 100% смерть, спричинену радіаційним впливом [32].

*Deinococcus Mn<sup>2+</sup>-декапептидний* забезпечує ранній захист лейкоцитів і послаблене радіаційне пошкодження кісткового мозку та гемопоетичних стовбурових клітин за допомогою модуляції G-CSF і GM-CSF. Окрім того опосередковує імуномодуляцію кількох концентрацій цитокінів у сироватці, включаючи G-CSF, GM-CSF, IL-3 та IL-10, під час раннього відновлення [33].

Раніше було продемонстровано, що *Deinococcus Mn<sup>2+</sup>-декапептидний* захищає білки від радіаційного пошкодження після надвисокого опромінення, але не виступає протектором ДНК або РНК за аналогічних умов опромінення [34].

Отже, знання алгоритмів дій щодо профілактики та надання домедичної допомоги та медичного захисту в разі витоку радіації на АЕС суттєво знизить рівень уражень військовослужбовців і населення, що поліпшить показники стану здоров'я та виживання за радіаційного забруднення.

**Висновки.** У зв'язку з можливим витоком радіації на Запорізькій АЕС, спричиненим терористичними діями російських окупантів під час контрнаступальних дій Збройних сил України, постає необхідність у підготовці особового складу військовослужбовців і населення щодо профілактики та надання домедичної допомоги в разі загрози радіаційного опромінення.

Щоденні погрози застосування ядерних ракет із боку країни терористів та повідомлення генерального штабу України щодо можливості провокації на Запорізькій АЕС, постійні ракетні й артилерійські обстріли на її території свідчать про те, що перед медичними працівниками постає відповідальне завдання щодо медичного захисту населення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Putin's nuclear threats to Ukraine. What can be the Kremlin's trigger? URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/novyny-pryazovya-putin-yadernyy-udar-rosiya-ukrayina/32058932.html> (in Ukrainian).
2. Nuclear weapons and the probability of their use: a military expert spoke about the consequences of a nuclear war. URL: <https://suspilne.media/245561-aderna-zbroa-ta-jmovirnist-ii-zastosuvanna-vijskovij-ekspert-rozpoviv-pro-naslidki-aderno-vijni/> (in Ukrainian).
3. Site on nuclear safety, radiation protection and non-proliferation of nuclear weapons. URL: <https://www.ATOM.org/zagalni-vidomosti> (in Ukrainian).
4. The undermining of the dam of the Kakhovskaya HPP by the Russians poses a threat to the Zaporizhzhya NPP, – Energoatom. URL: [https://lb.ua/society/2023/06/06/559033\\_pidriv\\_rosiyamami\\_dambi\\_kahovskoi.html](https://lb.ua/society/2023/06/06/559033_pidriv_rosiyamami_dambi_kahovskoi.html) (in Ukrainian).
5. IAEA: There is no threat to nuclear safety at the Zaporizhzhya NPP. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3718816-magat-zagrozi-adernij-bezpeci-na-zaporizkij-aes-nemac.html> (in Ukrainian).
6. Budanov – about the threat of undermining the ZNPP: The situation has never been as serious as it is now. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3727559-budanov-pro-zagroz-pidrivu-zaes-nikoli-situacia-ne-bula-takou-serjoznou-ak-zaraz.html> (in Ukrainian).
7. President of Ukraine Volodymyr Zelensky Official Internet representation. URL: <https://www.president.gov.ua/news/rosiya-mozhe-vlashtuvati-terakt-na-zaes-shob-zalyakati-svit-83993> (in Ukrainian).
8. Educational and methodological manual for classroom and extracurricular work of students of the 5th year. Zaporizhzhia : ZDMU, 2017. 63 p.
9. MSD GUIDE version for professionals. Radiation exposure and contamination. URL: <https://www.msmanuals.com/uk-ua/professional/injuries-poisoning/radiation-exposure-and-contamination/radiation-exposure-and-contamination> (in Ukrainian).
10. Ukrainian hydrometeorological center of the State Emergency Service of Ukraine. Safety alphabet. URL: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Abetka-bezpeki> (in Ukrainian).
11. Dyachenko V.V., Osodlo G.V., Petrusha O.O. Methodological recommendations for diagnosis, sorting, treatment and prevention of radiation damage. 2022. VP 7-35 (03) 36.01. 16 p.

## ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

12. On the approval of the Regulation on iodine prophylaxis in the event of a radiation accident of the Ministry of Health of Ukraine; Order, Regulation dated 09.03.2021 № 408.
13. Nauman J., Wolff J. Iodide prophylaxis in Poland after the Chernobyl reactor accident: Benefits and risks. *Am J Med.* 1993; 94: 524–532.
14. Gorbunov N.V., Kiang J.G. Brain Damage and Patterns of Neurovascular Disorder after Ionizing Irradiation. Complications in Radiotherapy and Radiation Combined Injury. *Radiat Res.* 2021; 1: 196 (1): 1–16. DOI: 10.1667/RADE-20-00147.1.
15. Skrzypek M., Wdowiak A., Panasiuk L., Stec M., Szczygiel K., Zybala M., Filip M. Effect of ionizing radiation on the female reproductive system. *Ann Agric Environ Med.* 2019; Dec 19; 26 (4): 606–616. DOI: 10.26444/aaem/112837.
16. Khadzhidekova V., Shishkova R., Khadzhidekov V. Effects of ionizing radiation on the embryo and fetus. *Akush Ginekol (Sofia).* 2001; 41 (1): 24–8.
17. Trowers E., Thomas C.Jr., Silverstein F.E. Chemical- and radiation-induced esophageal injury. *Gastrointest Endosc Clin N Am.* 1994; Oct 4 (4): 657–75.
18. Hanania A.N., Mainwaring W., Ghebre Y.T., Hanania N.A., Ludwig M. Radiation-Induced Lung Injury: Assessment and Management. *Chest.* 2019; 156 (1): 150–162. DOI: 10.1016/j.chest.2019.03.033.
19. Li L., Tian T., Zhang X. The impact of radiation on the development of lung cancer. *J Theor Biol.* 2017; Sep 7; 428: 147–152. DOI: 10.1016/j.jtbi.2017.06.020.
20. Hammer G.P., Scheidemann-Wesp U., Samkange-Zeeb F., Wicke H., Neriishi K., Blettner M. Occupational exposure to low doses of ionizing radiation and cataract development: a systematic literature review and perspectives on future studies. *Radiat Environ Biophys.* 2013; Aug; 52 (3): 303–19. DOI: 10.1007/s00411-013-0477-6.
21. Bakar A.A.A., Mohamad N.S., Mahmud M.H., Razak H.R.A., Sudin A.E.L.T., Shuib S. Systematic Review on Multilevel Analysis of Radiation Effects on Bone Microarchitecture. *Biomed Res Int.* 2022; Jun 6; 2022: 9890633. DOI: 10.1155/2022/9890633.
22. Singh V.K., Hanlon B.K., Santiago P.T., Seed T.M. A review of radiation countermeasures focusing on injury-specific medicinals and regulatory approval status: part III. Countermeasures under early stages of development along with 'standard of care' medicinal and procedures not requiring regulatory approval for use. *Int J Radiat Biol.* 2017; Sep; 93 (9): 885–906. DOI: 10.1080/09553002.2017.1332440.
23. Xie L.W., Cai S., Zhao T.S., Li M., Tian Y. Green tea derivative (-)-epigallocatechin-3-gallate (EGCG) confers protection against ionizing radiation-induced intestinal epithelial cell death both in vitro and in vivo. *Free Radic Biol Med.* 2020; Dec; 161: 175–186. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2020.10.012.
24. Li X.H., Fu D., Latif N.H., Mullaney C.P., Ney P.H., Mog S.R., Whitnail M.H., Srinivasan V., Xiao M. Delta-tocotrienol protects mouse and human hematopoietic progenitors from gamma-irradiation through extracellular signal-regulated kinase/mammalian target of rapamycin signaling. *Haematologica.* 2010; 95: 1996–2004.
25. Satyamitra M., Kulkarni S., Ghosh S.P., Mullaney C., Condliffe D., Srinivasan V. Hematopoietic recovery and amelioration of radiation-induced lethality by the vitamin E isoform, delta-tocotrienol. *Radiat Res.* 2011; 175: 736–745.
26. Li X.H., Ghosh S.P., Ha C.T., Fu D., Elliott T.B., Bolduc D.L., Villa V., Whitnall M.H., Landauer M.R., Xiao M. Delta-tocotrienol protects mice from radiation-induced gastrointestinal injury. *Radiat Res.* 2013; 180: 649–657.
27. Li X.H., Ha C.T., Fu D., Landauer M.R., Ghosh S.P., Xiao M. Deltatocotrienol suppresses radiation-induced microRNA-30 and protects mice and human CD34<sup>+</sup> cells from radiation injury. *PLoS One.* 2015; 10: e0122258.
28. Fan S., Meng Q., Xu J., Jiao Y., Zhao L., Zhang X., Sarkar F.H., Brown M.L., Dritschilo A., Rosen E.M. DIM (3,30-diindolylmethane) confers protection against ionizing radiation by a unique mechanism. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2013; 110: 18650–18655.
29. Lu L., Dong J., Li D., Zhang J., Fan S. 3,3-diindolylmethane mitigates total body irradiation-induced hematopoietic injury in mice. *Free Radic Biol Med.* 2016; 99: 463–471.
30. Futran N.D., Trotti A., Gwede C. Pentoxifylline in the Treatment of Radiation-Related Soft Tissue Injury: Preliminary Observations. *The Laryngoscope.* 1997; 107: 391–395. DOI: 10.1097/00005537-199703000-00022.
31. Ozturk B., Egehan I., Atavci S., Kitapci M. Pentoxifylline in prevention of radiation-induced lung toxicity in patients with breast and lung cancer: a double-blind randomized trial. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2004; 58: 213–219.
32. Fahl W.E., Cadarso M., Goesch T.R. Significant Reduction of Total-Body Irradiation-Induced Death in Mice Treated with PrC-210 24 Hours Postirradiation. *Radiat Res.* 2022; Sep 1; 198 (3): 263–270. DOI: 10.1667/RADE-22-00036.1.
33. Gupta P., Gayen M., Smith J.T., Gaidamakova E.K., Matrosova V.Y., Grichenko O., Knollmann-Ritschel B., Daly M.J., Kiang J.G., Maheshwari R.K. MDP: A Deinococcus Mn<sup>2+</sup>-Decapeptide Complex Protects Mice from Ionizing Radiation. *PLoS One.* 2016; Aug 8; 11(8): e0160575. DOI: 10.1371/journal.pone.0160575.
34. Gaidamakova E.K., Myles I.A., McDaniel D.P., Fowler C.J., Valdez P.A., Naik S., Gayen M., Gupta P., Sharma A., Glass P.J., et al. Preserving immunogenicity of lethally irradiated viral and bacterial vaccine epitopes using a radio- protective Mn<sup>2+</sup>-Peptide complex from Deinococcus. *Cell Host Microbe.* 2012; 12: 117–124.

Надійшла до редакції 02.08.2023 р.

Прийнята до друку 04.09.2023 р.

Електронна адреса для листування [bodernet@meta.ua](mailto:bodernet@meta.ua)