

DOI: 10.31393/reports-vnmedical-2024-28(3)-30

УДК: 378.147:372.854

ТОКСИЧНІ ХІМІЧНІ СПОЛУКИ ТА ЇХНІЙ ВПЛИВ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ

Смірнова О. В., Шаповалов М. С.

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова (вул. Пирогова, 56, м. Вінниця, Україна, 21018)

Відповідальний за листування:
e-mail: mykytashapovalov07@gmail.com

Статтю отримано 01 липня 2024 р.; прийнято до друку 05 серпня 2024 р.

Анотація. Хімічні речовини можуть впливати на людину різним чином: надлишок або нестача окремих хімічних елементів в природі; потрапляння токсичних речовин в результаті діяльності людини: розроблення родовищ; викиди в біосферу відходів підприємств та автомобілів; використання добрив, пестицидів. Крім того, одним із шляхів потрапляння різноманітних токсичних речовин в організм є бойові дії та військові конфлікти в світі, які не тільки призводять до фізичних травм і загибелі, але й з високою ймовірністю викликають довготривалі та серйозні наслідки для здоров'я. Ці речовини можуть використовуватися як складники хімічної зброї чи випадково потрапляти в навколишнє середовище під час військових операцій. Мета роботи - провести огляд сучасних наукових літературних джерел з питань токсичних властивостей хімічних сполук і механізмів дії речовин, які є складниками хімічної зброї та здатні викликати в організмі людини патологічні зміни. З основних наукометричних баз Google Scholar, Web of Science, Science Direct, PubMed відібрано 35 джерел. Результати огляду доводять токсичність та вплив на організм людини Стронцію, Плюмбуму, Фосфору, Арсену, Хлору, Меркурію та інших хімічних елементів. Характер дії токсичних речовин залежить від їхньої хімічної структури, фізичних властивостей, концентрації, шляхів потрапляння, терміну контакту. Токсичні елементи всмоктовуються в тканини шляхом адсорбції (накопичення сполук на поверхні клітин) або абсорбції (накопичення всередині клітин) через мембрану. Основні шляхи потрапляння хімічних речовин - через шлунково-кишковий тракт, органи дихання та шкіру. В організмі людини ці сполуки можуть спричиняти порушення біохімічних процесів і стати причиною хронічних захворювань та гострих отруєнь, у найгіршому випадку - смерті. У статті описана дія лише декількох небезпечних хімічних речовин, але їх значно більше, тому в подальшій роботі автори продовжать пошук даних про токсичні речовини.

Ключові слова: антидоти, бойові отрути, механізм дії, отруєння, токсичні речовини, хімічна зброя.

Вступ

Токсикологія займає важливе місце в сучасному світі, допомагаючи зберегти життя людини, довкілля та безпеку харчової продукції. Одержання інформації про токсичне ураження організму необхідне для використання ефективних протитотрут (антидотів) та інших засобів лікування людини, а також засобів запобігання отруєнню. У зв'язку з цим велике значення має визначення вибіркової токсичності отрути, тобто її здатності вражати клітини та тканини окремих органів, при цьому не чинити вплив на інші, з якими отрута не контактує [5, 32].

Токсичність - здатність хімічної речовини мати шкідливий вплив на організми, яка проявляється тільки під час взаємодії з ними. Токсичність - поняття кількісне, адже вимірюванню підлягає біологічний ефект, що виявляється в результаті хімічної агресії, і доза (концентрація), у якій той чи інший хімічний агент викликає різні наслідки. Відомо, що в організмі людини речовини реагують за допомогою ферментів, які знижують енергію активації, тобто маючи мінімальну надлишкову енергію, що обумовлює перебіг реакції. Але енергія активації процесів руйнування біологічних структур токсичними речовинами висока, що пояснює стійкість клітин до ушкодження [21, 32].

У статті мова буде йти про токсичні речовини. Узагальнено токсичність та вплив на організм людини Стронцію, Плюмбуму, Фосфору, Арсену, Хлору, Меркурію та токсичної сполуки Нітрогену (амоніаку). Ці елементи обрано для дослідження за критерієм максимального

всмоктування в шлунково-кишковому тракті шляхом адсорбції та абсорбції. Деякі речовини всмоктовуються гірше через утворення нерозчинних комплексів з білками, що призводить до їх накопичення в організмі людини. Хімічні елементи класифікуються відповідно до їхнього впливу: токсичні речовини (наприклад, Барій) можуть викликати гостре отруєння, канцерогени (наприклад, Арсен) викликають рак і вроджені вади розвитку, нейротоксини (наприклад, Плюмбум) особливо шкідливі для мозку, і тератогени (наприклад, Меркурій) [2].

Бойові дії та військові конфлікти в світі призводять не тільки до фізичних травм та загибелі, але також можуть викликати довготривалі та серйозні наслідки для здоров'я [25]. Токсичні речовини можуть використовуватися як складові хімічної зброї чи можуть випадково потрапити в навколишнє середовище під час військових операцій [2, 25]. Повномасштабне російське вторгнення в Україну підкреслює необхідність підготовки до наслідків застосування хімічної або радіоактивної зброї проти військових і цивільних. Протягом травня 2024 року групами радіаційної, хімічної, біологічної розвідки військ Збройних Сил України зафіксовано та задокументовано 715 випадків застосування росіянами боєприпасів із вмістом небезпечних хімічних сполук, що на 271 випадок більше, ніж у квітні. Усього за період з 15 лютого 2023 року до 24 травня 2024 року зафіксовано 2698 застосувань небезпечних хімічних речовин росіянами [12]. Щоб убезпечити себе від дії токсичних речовин не-

обхідно досліджувати стратегії найкращого розпізнавання та надання першої допомоги особам, які зазнали впливу цих сполук у вигляді зброї масового ураження, враховуючи світовий досвід сучасних досліджень у цій галузі [25, 32]. Фрагменти боєприпасів вивільняють у довкілля важкі метали - Хром, Цинк, Ферум, Купрум, Меркурій. Вони досягають ґрунтових вод і потрапляють у харчовий ланцюг людини [17].

Мета - провести огляд сучасних наукових літературних джерел з питань токсичних властивостей хімічних сполук і механізмів дії речовин, які є складниками хімічної зброї та здатні викликати в організмі людини патологічні зміни.

Матеріали та методи

На основі наукометричних баз Google Scholar, Web of Science, Scopus, PubMed, Science Direct проведено ретроспективний аналіз наукових робіт, що опубліковані протягом 2014-2024 років. При дослідженні було використано такі ключові слова: антидоти, бойові отрути, механізм дії, отруєння, токсичні речовини, хімічна зброя. Після проведення огляду статей та ознайомлення з їхніми повними текстами, було відібрано 35 джерел.

Результати. Обговорення

Майже кожен хімічний елемент залежно від його концентрації може бути корисним для організму людини чи проявляти токсичну дію. Розглянемо дію деяких речовин на організм людини.

Стронцій (Sr) - лужноземельний метал, який за певних умов може проявляти токсичну дію. Місця всмоктування Стронцію та Кальцію співпадають. Тому Sr може заміщувати Ca в кістковій та зубній тканинах шляхом іонного обміну, що призводить до руйнування цих тканин. Це дуже небезпечно, особливо якщо в організм людини потрапляє радіоактивний Sr^{90} [34]. Накопичення Sr^{90} в повітрі, у воді, на поверхні ґрунту як результат вибуху атомних бомб (наразі було застосовано 2 ядерні бомби Сполученими Штатами [34]) або аварій на атомних електростанціях (аварія реактора на Чорнобильській АЕС, катастрофи на Фукусімі Японія [5, 8]) є причиною розвитку у людини лейкемії та раку кісток.

Завдяки високій адсорбційній ефективності для виведення радіонуклідів з організму використовують альгінат кальцію (Ca-KA) [7, 8]. Альгінат - це найпоширеніший природний полісахарид, який видобувається з бурих водоростей [7, 33]. Він багатий карбоксильними та гідроксильними групами в полімерній структурі, що робить його найкращим адсорбентом для виведення радіонуклідів [7, 8]. Також як антидот для зв'язування Sr використовують етилендіамінтетраоцтову кислоту (ЕДТА) [6] та специфічні до іонів Стронцію внутрішньокмплесні сполуки - криптанди (макробіциклічні, макротрициклічні місткові сполуки, з атомами N в голові містків; вони мають простір всередині своєї клітинної структури для полідентантного зв'язування йонів мета-

лу, утворюючи комплекси - криптати) [9].

Що стосується **Плюмбуму**, то основним джерелом його надходження в організм людини є бойові дії. У результаті обстрілів або вибухів відбувається викид металу у вигляді дрібних частинок або пилу в повітря. Хронічне отруєння Плюмбумом та його сполуками називається сатурнізм [17].

Вдихання забрудненого повітря може спричинити отруєння. Плюмбум, потрапляючи в організм людини через шлунково-кишковий тракт, у шлунку утворює $PbCl_2$, який в тонкому кишечнику під дією лужного середовища та жирних кислот дає жирнокислий Плюмбум (солі вищих жирних кислот), що надходить в кров.

Хімізм дії Плюмбуму полягає в тому, що він зв'язується з тільними групами білків-ферментів і знищує їх каталітичну активність [22].

Плюмбум належить до отрут кумулятивної дії. Він депонується в різних органах у вигляді нерозчинної сполуки $Pb_3(PO_4)_2 \cdot 3Pb(OH)_2$. Більша частина Плюмбуму відкладається в кістках, витісняючи Кальцій в результаті іонного обміну. Крім того, цей метал концентрується в м'язах, печінці, нирках і в невеликій кількості в інших органах - головному мозку та судинах. Плюмбум кумулюється швидше, коли надходить в організм в малих дозах, але тривалий час, що призводить до постійного отруєння організму людини [19].

Як антидоти для зв'язування іонів Плюмбуму використовують хелатори: сукцимер (димеркаптонол), димеркапрол (британський антилюзіт / БАЛ) і етилендіамінтетраоцтову кислоту (ЕДТА). Сукцимер доступний для перорального застосування, він виявляється більш ефективним і краще переноситься, ніж інші види терапії, які вимагають внутрішньовенного введення. При гострому отруєнні Плюмбумом застосовують димеркапрол в поєднанні з ЕДТА [1, 6, 10].

До складу бойових отруйних речовин входить **Фосфор**. Під час воєнних дій використовують запалювальні суміші, які містять фосфор. Їх розпилюють на великій території, що призводить до випалювання рослинності, травмування й отруєння великої кількості людей та тва-



Рис. 1. Росіяни атакують Бахмут фосфорними боєприпасами, 5 травня 2023 року (Сили спеціальних операцій ЗСУ) [29].



Рис. 2 і 3. Цивільний опік змішаної товщини переважно долоні та пальців правої руки (Phoenix, E., & Dolan, R. T., 2024) [26].

рин. Як правило, опіки виникають у зонах бойових дій. Повідомлення про випадки у цивільних є винятково рідкісними, частіше такі опіки охоплюють менші площі [3, 26]. Зараз, під час повномасштабної агресії росії проти України, ворог часто використовує фосфорні бомби для масового ураження [29].

Фосфор Р буває білим (жовтим), червоним та чорним. Білий фосфор - високотоксичний, легко розчиняється в ліпідах мембран клітин, тому швидко всмоктується через шкіру. Фосфор дуже сильний відновник, він порушує окисно-відновні процеси в організмі, вуглеводний, білковий, жировий, мінеральний обмін. Оскільки Фосфор пов'язаний з Кальцієм, то підвищена концентрація Фосфору в організмі людини може призвести до руйнування кісткової тканини [3, 32].

Фосфор легко займається на повітрі. Потрапляючи на шкіру, він викликає сильні глибокі опіки. Опіки білим фосфором є результатом як хімічної, так і термічної реакції. Фосфор реагує з киснем, утворюючи оксид фосфору під час термічної реакції. Хімічне ураження виникає внаслідок корозійної дії фосфорних кислот, які утворюються під час горіння [3, 26]. Всмоктування білого фосфору може призвести до некрозу печінки та нирок, гіпо-

кальціемії та гіперфосфатемії з потенційною серцевою аритмією [3, 26].

Опіки білим фосфором заживають довше, ніж інші форми термічних ушкоджень [3]. Початкове лікування полягає в тому, щоб зупинити процес горіння. Видимі частинки білого фосфору слід видалити й помістити в холодну воду для запобігання повторному займанню. Для зменшення ураження необхідно промити шкіру великою кількістю холодної води та провести рясне промивання 0,9% фізіологічним розчином. Після промивання опіки слід пов'язати змоченою фізіологічним розчином марлею, щоб запобігти подальшому горінню дрібніших частинок і розбавити залишки фосфорної кислоти. Надалі зрошення слід проводити, доки не буде досягнуто нейтрального рН [3, 26]. Також пацієнти з ураженням білим фосфором повинні перебувати під контролем електрокардіограми, доки не будуть виключені електричні порушення [3].

Дискусійним залишається питанням ролі розчину Купрум сульфату при лікуванні опіків. Ця практика виникла понад 100 років тому і була відроджена під час В'єтнамської війни як метод виявлення частинок Фосфору в рані [3]. Купрум сульфат не є протиотрутою або нейтралізуючим засобом від білого фосфору, а скоріше він полегшує обробку рани - чорнить дрібні частинки, роблячи їх легко видимими і так сприяє знезараженню [3, 26]. Як сильний відновник, Фосфор відновлює катіони Cu^{+2} до вільного Купруму, який покриває шматочки Фосфору металевою плівкою і тим самим перешкоджає подальшій дії Фосфору. Швидке знезараження фізіологічним розчином і швидке хірургічне очищення позбавляє від необхідності використання купрум сульфату [3].

Токсичною сполукою Нітрогену є Амоніак - його токсичний вплив та механізм дії є важливим та доцільним в умовах війни в Україні. Амоніак належить до речовин, які чинять задушливу та нейротропну дію. Також у високих концентраціях він є хімічною речовиною, при контакті з якою симптоми отруєння розвиваються протя-



Рис. 4. Сильний опік, спричинений дією білого фосфору (Barillo, D. J., Cancio, L. C., & Goodwin, C. W., 2004) [3].



Рис. 5. Через 6 місяців після опіку: права долоня повністю зажила, а на пальцях залишилися мінімальні ушкодження (Phoenix, E., & Dolan, R. T., 2024.) [26].

гом декількох хвилин [20].

Велику небезпеку для населення створює завод "Кримський титан" на території тимчасово окупованого росією Криму, який країна-агресор використовує психологічним важелем впливу - погрожуючи підризом підприємства в разі просування сил оборони в Кримському напрямку [35].

Основна продукція заводу - діоксид титану, мінеральні добрива та сульфатна кислота. У технологічних процесах використовується 200 т Амоніаку.

Амоніак - дуже токсичний газ: викликає подразнення дихальних шляхів, очей, шкіри. Високі концентрації амоніаку можуть викликати смерть людини внаслідок ураження легень. У результаті можливого терористичного акту російських окупантів вибухне 200 т амоніаку, що призведе до ураження території в радіусі 50-100 км. Велика техногенна аварія 2018 р. на підприємстві "Кримський Титан", що супроводжувалася значними понаднормативними надходженнями шкідливих речовин у повітря, підтверджує можливу небезпеку [31].

Амоніак з киснем утворює вибухову суміш, що уражає людей. Амоніак вступає в реакцію з киснем і водою з утворення нітратної кислоти, що може призвести до кислотних дощів. Із амоніаку роблять вибухонебезпечну речовину - аміачну селітру (з 200 т амоніаку можна виробити 1000 т аміачної селітри - це третина того, що

вибухнула в порту столиці Лівану, де загинули сотні людей, відбулася детонація близько 2700 тон нітрату амонію, що зробило цей вибух одним із найбільших неядерних вибухів в історії) [15, 16].

Перша допомога при отруєнні - свіже повітря, кисень, вдихати пари оцтової кислоти. Під час сильного отруєння - штучне дихання.

Під час Другої світової війни складовою бойових хімічних речовин був Арсен, вони належать здебільшого до арсеноорганічної групи і характеризуються високою спорідненістю зі сульфгідрильними групами і високою токсичністю. Така зброя подразнює слизові оболонки очей, носа та горла; тим самим викликає сльозотечу, кашель, чхання, біль у легенях та утруднення дихання.

Існують популярні бойові речовини на основі сполук Арсену: Clark I (дифенілхлорарсин), Clark II (дифенілціаноарсин), Adamiste (дифеніламінхлорарсин), люїзит (дихлор (2-хлорвініл)-арсан) та етилдихлорарсин. Незадовго до закінчення Другої світової війни почався процес масового скидання хімічної зброї на морське дно, зокрема боєприпасів на основі Арсену, які є серйозною загрозою. Небезпечну звичайну та нетрадиційну зброю було скинуто на морське дно на 300 звалищах по всьому світу [27].

Арсен (As) в організмі міститься у незначних кількостях. Найбільше він накопичується в мозковій тканині та м'язах, а також в печінці, нирках, селезінці, еритроцитах. Арсен має властивість накопичуватися в шкірі, тому після впливу As можуть виникнути кератоз і гіперпигментація шкіри [18].

У великих дозах сполуки Арсену - це сильні тіолові отрути. Ознаки гострого отруєння - болі в шлунку, блювота, діарея, пригнічення ЦНС, зниження кров'яного тиску [14].

Механізм токсичної дії полягає в блокуванні тіолових SH-груп білків-ферментів, що впливає, зокрема, на процеси окиснювального фосфорилування. Основною причиною неврологічних розладів є здатність As викликати окислювальний стрес і мітохондріальну дисфункцію, що призводить до пошкодження ДНК і, зрештою, до загибелі клітин мозку [14]. Арсен з'єднується з ферментом піруватоксидазою, у результаті чого порушуються окиснювальні процеси в тканинах [18, 27].

Арсен накопичується в кістках та волоссі й упродовж багатьох років не виводиться з організму. Ознакою отруєння As_2O_3 є запах часнику. У шлунку Арсен(III) оксид взаємодіє з хлоридною кислотою, унаслідок чого утворюється газ Арсин AsH_3 , який в присутності різних речовин у шлунку дає такий запах [27].

Як антидоти для зв'язування Арсену використовують хелатори: сукцимер (димеркаптонол), димеркапрол (британський антилюїзит / БАЛ), етилендіамінтетраоцтову кислоту (ЕДТА), також $Na_2S_2O_3$, Na_2S [6, 10].

Понад дві третини шахт на сході України знаходяться під загрозою внаслідок пошкодження конструкції та

природного затоплення з 2014 року під час війни на Донбасі та нинішнього російського вторгнення. Наприклад, Горлівська шахта "Олександр-Захід" з 1989 року використовується для зберігання хлорбензолу та інших канцерогенних токсинів [5].

За період з 15 лютого 2023 року до 24 травня 2024 року росія застосувала 2698 хімічних атак. Найчастіше ворог використовує гранати, такі як К-51, РГР, РГ-Во, що містять небезпечну хімічну речовину CS (2-хлоробензальмалононітрил), заборонену для ведення війни (бойових дій) пунктом 5 статті 1 Конвенції про хімічну зброю. CS - речовина із запахом перцю. У малих концентраціях вона має подразливу дію на очі та верхні дихальні шляхи, а у великих викликає опіки відкритих ділянок шкіри, у деяких випадках - параліч дихання, серця і смерть [12].

У грудні 2023 року збройні сили російської федерації вперше застосували проти українських захисників нові газові гранати з хлорацетофеноном. Смертельна токсодоза - 11 мг-хв/л. Приблизно 70 крапель такого газу вистачить, щоб убити дорослу людину [30].

Під час першої світової війни Хлор використовувався для газових атак [13, 23].

22 квітня 1915 року війська за наказом німецького хіміка Фріца Габера відкрили вентилі на 5730 балонах, випустивши 168 тонн Хлору по фронту шириною в 4 милі (6,4 км). За різними підрахунками внаслідок газової атаки загинули та отруїлися від 3 до 15 тисяч чоловік [28].

Ще до кінця 1915 року військами Антанти були застосовані перхлорометилмеркаптан CCl_3SH (задушлива дія) та сльозогінний бензиліодид ($\text{C}_6\text{H}_5\text{I}$), а Німеччиною - фосген (COCl_2), який був у 18 разів токсичнішим за Хлор, у травні 1916 - його модифікація дифосген $\text{C}_2\text{O}_2\text{Cl}_4$ [24]. Суміш дифосгену із фосгеном та хлоропікрином (Cl_3CNO_2) отримала назву "Зелений хрест" [18].

12 липня 1917 року у битві поблизу Іпру Німеччина застосувала іприт (біс(2-хлороетил)сульфід) - речовину шкірно-наривної дії, котра завдавала уражень по всіх незахищених ділянках тіла. Серед хімічної зброї найбільші втрати спричинило застосування іприту - "короля хімічної зброї", на нього припало у 8 разів більше



Рис. 6. Вид з повітря німецької газової атаки, відкриття газових контейнерів 1916 (Німецький федеральний архів) [13].

жертв, ніж від усіх інших отрут разом узятих [28].

Хлор у формі простої речовини Cl_2 - це отруйний газ, який діє на слизову оболонку дихальних шляхів [18, 21]. Важливо діяти ретельно та обережно, оскільки обробка хлорного газу вимагає спеціальних засобів і знань. Симптоми гострого отруєння Хлором проявляються миттєво. Хлор має дратівливу і виражену рефлексорну дію [24]. Викликає сильне подразнення слизових оболонок очей, дихальних шляхів, опіки на шкірі. Унаслідок подразнення інтерорецепторів слизових оболонок верхніх дихальних шляхів можуть виникати спастичні явища у бронхах, погіршується діяльність серця, спостерігаються явища подразнення дихального та судинного центрів [1, 5, 21].

Хімізм токсичної дії Хлору в тому, що він як сильний окисник легко взаємодіє з NH_2 - групами амінокислот клітин і руйнує їх.

Якщо людина опинилася у ситуації з викидами хлорного газу або підозрюється отруєння ним, необхідно промити очі, ніс 2% розчином NaHCO_3 або ізотонічним розчином - 0,9% розчин NaCl [1, 5].

Найнебезпечнішим з важких металів є Меркурій, він становить загрозу для людини навіть за низької концентрації. Токсичність Меркурію залежить від форми, у якій він знаходиться. Метилртуть є найбільш шкідливою формою Меркурію та утворюється в процесі метилювання іонного Hg .

Меркурій є важливим інгредієнтом для виготовлення капсул до боєприпасів. Використання вогнепальної зброї, боєприпасів, які містять сполуки Меркурію, є джерелом Hg у місцях її використання. Такі місця, як зони воєнних дій або стрілецькі полігони, характеризуються підвищеною концентрацією Меркурію [11].

Меркурій - рідкий метал, легко випаровується, тому в організм потрапляє в основному через органи дихання. При цьому людина відчуває металічний присмак в роті, пекучі болі в стравоході та шлунку, блювоту, діарею [4, 11]. Сулема HgCl_2 - одна з найсильніших отрут [4]. Hg^0 (пари) легко всмоктується в легені (80%) і розподіляється по всьому організму. Hg^0 окислюється в організмі з утворенням двовалентного Hg^{2+} .

Пари Меркурію, потрапляючи через органи дихання, вражають насамперед кору головного мозку. Меркурій депонується в основному в нирках та печінці. Смертельна доза розчинних солей Меркурію при введенні в шлунок становить 0,2-0,3 г. Летальність дуже висока. У побуті отруєння парами Меркурію відбувається, якщо розбити термометр. Розлитий по підлозі Меркурій треба негайно зв'язати порошком Сульфур, 20%-ним розчином FeCl_3 або 10%-ним розчином KMnO_4 .

Хімізм токсичної дії Меркурію в тому, що він зв'язує сульфгідрильні групи білків, що призводить до їх коагуляції, а також дисульфідні зв'язки ферментів, унаслідок чого вони втрачають свою ферментативну активність [4, 28].

Антидот: для лікування отруєнь Меркурієм застосо-

вують димеркапрол (британський антилюїзит / БАЛ) - хелатоутворювач [6, 10]. Безбарвна рідка речовина, що має неприємний запах, схожий на меркаптан. Ефективний для використання при гострому отруєнні солями Меркурію, якщо терапію розпочато протягом однієї або двох годин після прийому. Димеркапрол доступний у вигляді розчину в олії в ампулах по 300 мг (100 мг/мл) у загальному вигляді під назвою БАЛ (британський антилюїзит). Рекомендована доза та режим варіюються залежно від показань, але знаходяться в діапазоні від 2,5 до 5 мг/кг від двох до п'яти разів на день шляхом глибокої внутрішньом'язової ін'єкції протягом 2-10 днів [6, 10]. Також з метою знезараження та виведення Меркурію з організму використовують унітіол, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ [1].

Висновки та перспективи подальших розробок

1. Проведений аналіз огляду наукової літератури щодо токсичних сполук, з якими може контактувати людина, продемонстрував, що в організмі людини токсичні сполуки можуть спричинити порушення біохімічних про-

цесів і стати причиною хронічних захворювань, а в найгіршому випадку - смерті.

2. Токсичні речовини порушують клітинні процеси, включаючи ріст, проліферацію, диференціацію, процеси регенерації та апоптоз. Деякі сполуки можуть сприяти епігенетичним змінам.

3. Порівняння механізмів дії виявляє подібні шляхи індукування токсичності цих речовин, включаючи ослаблення антиоксидантного захисту, інактивацію ферментів і окислювальний стрес.

4. Найважливішим кроком у лікуванні надмірного накопичення токсичних речовин або отруєння є уникнення або усунення джерела впливу. Також в роботі розглянуто застосування хелатної терапії для лікування отруєння металами, в умовах сучасних військових конфліктів у світі цей напрямок є перспективним.

І хоча в статті описана дія лише декількох небезпечних хімічних речовин, але насправді їх значно більше, тому в подальшій роботі автори продовжать пошук даних про токсичні речовини.

Список посилань - References

- [1] Amadi, C. N., Offor, S. J., Frazzoli, C., & Orisakwe, O. E. (2019). Natural antidotes and management of metal toxicity. *Environmental science and pollution research international*, 26(18), 18032-18052. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05104-2>
- [2] Baraquoni, N. A., Qouta, & Manduca, P. (2020). It Takes Time to Unravel the Ecology of War in Gaza, Palestine: Long-Term Changes in Maternal, Newborn and Toddlers' Heavy Metal Loads, and Infant and Toddler Developmental Milestones in the Aftermath of the 2014 Military Attacks. *International journal of environmental research and public health*, 17(18), 6698. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186698>
- [3] Barillo, D. J., Cancio, L. C., & Goodwin, C. W. (2004). Treatment of white phosphorus and other chemical burn injuries at one burn center over a 51-year period. *Burns: journal of the International Society for Burn Injuries*, 30(5), 448-452. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2004.01.032>
- [4] Bottino, C., Vazquez, M., Devesa, V., & Laforenza, U. (2016). Impaired aquaporins expression in the gastrointestinal tract of rat after mercury exposure. *Journal of applied toxicology: JAT*, 36(1), 113-120. <https://doi.org/10.1002/jat.3151>
- [5] Chai, P. R., Berlyand, Y., Goralnick, E., Goldfine, C. E., VanRooyen, M. J., Hryhorczuk, D., & Erickson, T. B. (2022). Wartime toxicology: the spectre of chemical and radiological warfare in Ukraine. *Toxicology communications*, 6(1), 52-58. <https://doi.org/10.1080/24734306.2022.2056374>
- [6] Chelating Agents. (2017). In LiverTox: Clinical and Research Information on Drug-Induced Liver Injury. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases.
- [7] Christensen, B. E., & Donati, I. (2023). Alginate-metal cation interactions: Macromolecular approach. *Carbohydrate polymers*, (321), 121280. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121280>
- [8] Chung, K. S., Hong, H. J., Ryu, J., Park, I. S., Ryu, T., & Kim, B. G. (2016). Investigation of the strontium (Sr(II)) adsorption of an alginate microsphere as a low-cost adsorbent for removal and recovery from seawater. *Journal of environmental management*, (165), 263-270. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.09.040>
- [9] Dankert, F., Donsbach, C., Rienmuller, J., Richter, R. M., & von Hanisch, C. (2019). Alkaline Earth Metal Template (Cross-) Coupling Reactions with Hybrid Disila-Crown Ether Analogues. *Chemistry (Weinheim an der Bergstrasse, Germany)*, 25(69), 15934-15943. <https://doi.org/10.1002/chem.201904209>
- [10] Dimercaprol. (2018). In LiverTox: Clinical and Research Information on Drug-Induced Liver Injury. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases.
- [11] Gebka, K., Beldowski, J., & Bezdowska, M. (2016). The impact of military activities on the concentration of mercury in soils of military training grounds and marine sediments. *Environmental science and pollution research international*, 23(22), 23103-23113. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7436-0>
- [12] General Staff of the Armed Forces of Ukraine. (23.06.2024). Здійснення хімічних атак ворогом за травень. [Chemical attacks by the enemy in May]. URL: <https://www.facebook.com/share/p/w5ektWiZNVWVKTp/>
- [13] German Federal Archives. Luftaufnahme eines deutschen Gasangriffs, Öffnen von Gasbehältern 1916. [Aerial view of a German gas attack, opening gas containers 1916]. URL: <https://www.bild.bundesarchiv.de/dba/en/search/?yearfrom=&year=&query=Luftaufnahme+eines+deutschen+Gasangriffs%2C+%C3%96ffnen+von+Gasbeh%C3%A4ltern>
- [14] Gonsebatt, M. E., Garza-Lombo, C., Pappa, A., Panayiotidis, M. I., & Franco, R. (2019). Arsenic-induced neurotoxicity: a mechanistic appraisal. *Journal of biological inorganic chemistry: JBIC: a publication of the Society of Biological Inorganic Chemistry*, 24(8), 1305-1316. <https://doi.org/10.1007/s00775-019-01740-8>
- [15] Kalinichenko, O. O., Melnikov, A. Yu., Bushtets, S. P., Nikitina, S. V., Cherba, O. V., & Smarovydylo, I. M. (2018). Дослідження атмосферного повітря та ґрунтів півдня Херсонської області у зоні впливу ПРАТ Кримський Титан [Investigation of atmospheric air and soil contamination at the Kherson region south in the zone of cjsc "Crime Titan" influence]. Харків: УКРНДІЕП - Kharkiv: USRIEP. UDC: 504.3.054 + 332.368
- [16] Kheir, W. J., Awwad, S. T., & Alameddine, R. M. (2021). Ophthalmic Injuries After the Port of Beirut Blast-One of Largest Nonnuclear Explosions in History. *JAMA ophthalmology*, 139(9), 937-943. <https://doi.org/10.1001/jamaophthol.2021.2742>
- [17] Koretska, E., Semenova, O., & Togachynska, O. (2023, June).

- Токсичний вплив війни на екологію України [The toxic effect of war on the ecology of Ukraine]. In: *Materials of the 8th International scientific and practical conference "Scientific research in the modern world"* (June 1-3, 2023). (p. 214). Toronto, Canada: Perfect Publishing.
- [18] Lenhart, M. K. (2008). *Medical Aspects of Chemical Warfare*. Washington DC: Office of The Surgeon General, United States Army. ISBN 978-0-16-081532-4
- [19] Li, Y., Lv, H., Xue, C., Dong, N., Bi, C., & Shan, A. (2021). Plant Polyphenols: Potential Antidotes for Lead Exposure. *Biological trace element research*, 199(10), 3960-3976. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02498-w>
- [20] Mandryk, O. E., & Maleshko, K. P. (2022, June). Отруєння аміаком у мирний та військовий час [Ammonia poisoning in peacetime and wartime]. In: *The 13th International scientific and practical conference "Modern directions of scientific research development"*. (June 15-17, 2022). (p. 155). Chicago, USA: BoScience Publisher.
- [21] Morim, A., & Guldner, G. T. (2023). *Chlorine Gas Toxicity*. StatPearls. StatPearls Publishing.
- [22] Myslyts'kyi, V. F., & Podolian, S. K. (1999). Патологічні зміни тромбоцитарно-судинного та коагуляційного гемостазу під впливом свинцю хлориду та їх корекція за допомогою синтетичного аналога простагліну [Pathological changes in thrombocyte-vascular and coagulative hemostasis under the influence of lead chloride and their correction by using a synthetic analog of prostacyclin]. *Fiziolohichni zhurnal* (Kyiv, Ukraine), 45(4), 99-104.
- [23] Padley, A. P. (2016). Gas: the greatest terror of the Great War. *Anaesthesia and intensive care*, 44(1), 24-30. doi:10.1177/0310057X1604401S05
- [24] Pauluhn, J. (2021). Phosgene inhalation toxicity: Update on mechanisms and mechanism-based treatment strategies. *Toxicology*, (450), 152682. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2021.152682>
- [25] Phillips, K. F., & Deshpande, L. S. (2020). Calcium Hypothesis of Gulf War Illness: Role of Calcium Ions in Neurological Morbidities in a DFP-Based Rat Model for Gulf War Illness. *Neuroscience insights*, (15), 2633105520979841. <https://doi.org/10.1177/2633105520979841>
- [26] Phoenix, E., Suwanwalaikorn, V., Wilkinson, J., Morrison, C. M., & Dolan, R. T. (2024). White phosphorous civilian hand burns - An aid to timely treatment of a rare entity. *Trauma case reports*, (50), 100983. <https://doi.org/10.1016/j.tcr.2024.100983>
- [27] Radke, B., Dembska, G., Pazikowska-Sapota, G., & Galer-Tatarowicz, K. (2019). Many faces of arsenic. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 48(1), 90-104. <https://doi.org/10.1515/ohs-2019-0010>
- [28] Romano Jr., James A., Lukey, Brian J., & Salem, H. (2008). *Chemical Warfare Agents. Chemistry, Pharmacology, Toxicology, and Therapeutics*. (2nd.). Boca Raton, FL: CRC Press. ISBN 978-1-4200-4661-8
- [29] Special Operations Forces (Ukraine). (2023). росіяни атакують Бахмут фосфорними боеприпасами [The russians attack Bakhmut with phosphorus munitions]. URL: <https://youtu.be/qG3wqHaB8-Y?si=YA2e0LMYXQAKqJqP>
- [30] The Armed Forces of Ukraine. (2024). У грудні 2023 року збройні сили російської федерації вперше застосували проти українських захисників нові газові гранати - РГ-Во. [In December 2023, the armed forces of the Russian Federation used new gas grenades against Ukrainian defenders for the first time - HG-Ps]. URL: <https://www.zsu.gov.ua/u-grudni-2023-roku-zbrojni-syly-rosijskoyi-federaciyi-vpershe-zastosuvaly-proty-ukrayinskyh-zahysnykiv-novi-gazovi-granaty-rg-vo/>
- [31] Tyutyunnyk, Y., Shabatura, O., & Blum, O. (2023). Біогеохімічне ліхеноіндикаційне вивчення стану та динаміки атмосферного забруднення дендропарку "Асканія-Нова" [Biogeochemical lichen-indication study of the state and dynamics of atmospheric pollution of the "Askaniya-Nova" arboreopark]. Київський національний університет імені Тараса Шевченка - Taras Shevchenko National University of Kyiv. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.101.14>
- [32] Van Hoy, T. B., Metheny, H., & Patel, B. C. (2023). *Chemical Burns*. In StatPearls. StatPearls Publishing
- [33] Wan Aini, W. I., Sanagi, M. M., & Sutirman, Z. A. (2021). Alginate-based adsorbents for removal of metal ions and radionuclides from aqueous solutions: A review. *International journal of biological macromolecules*, (174), 216-228. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.150>
- [34] Williams, M., Armstrong, L., & Sizemore, D. C. (2023). *Biologic, Chemical, and Radiation Terrorism Review*. In StatPearls. StatPearls Publishing.
- [35] Yastrubetska, L., & Khomenyuk, K. (2023). Використання психологічних та інформаційних важелів впливу в гібридних протистояннях на міждержавному рівні та в підприємницькій діяльності [The use of psychological and informational levers of influence in hybrid confrontations at the interstate level and in entrepreneurial activity]. In: *Scientific Collection "InterConf"*, (182): with the Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference "Science: Development and Factors its Influence". (December 16-18, 2023). (p. 21-24). Amsterdam, Netherlands.

TOXIC CHEMICAL COMPOUNDS AND THEIR EFFECT ON THE HUMAN BODY

Smirnova O. V., Shapovalov M. S.

Annotation. Chemical substances can affect a person in different ways: excess or lack of certain chemical elements in nature; ingress of toxic substances as a result of human activity: development of deposits; emissions of waste from enterprises and cars into the biosphere; use of fertilizers, pesticides. Wars and military conflicts in the world can cause getting various toxic substances into the body, which not only lead to physical injuries and death, but can also cause long-term and serious health consequences. These substances can be used as components of chemical weapons or can accidentally enter the environment during military operations. The purpose of the work is to conduct a review of modern scientific literary sources on the toxic properties of chemical compounds and mechanisms of action of substances that are components of chemical weapons and can cause pathological changes in the human body. Based on the scientometric databases Google Scholar, Web of Science, Science Direct, PubMed a retrospective analysis of scientific works was carried out. After reviewing the articles and getting acquainted with their full text, 35 sources were selected. The results of the review prove the toxicity and impact on the human body of Strontium, Plumbum, Phosphorus, Arsen, Chlorine, Mercury and other chemical elements. The nature of the action of toxic substances depends on their chemical structure, physical properties, concentration, routes of entry and duration of contact. Toxic elements are absorbed into tissues by adsorption (accumulation of compounds on the surface of cells) or absorption (accumulation inside cells) through the membrane. The main routes of entry of chemicals through the gastrointestinal tract, respiratory organs and skin. In the human body these compounds can disrupt biochemical processes and cause chronic diseases and acute poisoning, in the worst case it can be death. The article describes the effect of only a few dangerous chemicals, but there are much more of them, that's why in the future work the authors are going to continue to search for data on toxic substances.

Keywords: antidotes, combat poisons, mechanism of action, poisoning, toxic substances, chemical weapons.