

ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 502;504

ГНАТЮК В. В.*, ШАБЛІЙ Т. О.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ХІМІЧНА НЕБЕЗПЕКА ПОВІТРЯНОЇ СКЛАДОВОЇ АГРЕСІЇ РОСІЇ

В даній роботі проведений аналіз загроз хімічного забруднення територій від далекобійного озброєння, що застосовується Російською Федерацією проти України. Наведена статистична інформація щодо обстрілів з моменту повномасштабного вторгнення до 27 листопада 2024 року. За представленими статистичними даними розрізняються області, які характеризуються певними тенденціями щодо типу використаного озброєння, зокрема: переважання ракет певного типу, наявність чи відсутність повітряних атак безпілотними апаратами. З'ясовано, що найбільшою кількістю ракет та безпілотних апаратів були атаковані Харківська, Запорізька, Дніпропетровська та Львівська області, по 112–139 ідентифікованих цілей на кожну область. Найбільша кількість зафіксованих цілей за цей період часу припала на Київ та Київську область – 328 випадків.

Продемонстровано темпи нарощування обстрілів по території України за роками і підраховано, що кількість БПЛА, які були використані, у 7 разів більша, ніж кількість використаних ракет.

В роботі проведена оцінка різних типів балістичних та крилатих ракет, що атакували регіони України, щодо їх небезпеки хімічного забруднення довкілля через витік палива після падіння. Показано, що найбільш хімічно небезпечною є радянська крилата ракета Х-22, в якій в якості палива використовується двокомпонентна композиція: паливо – ТГ-02 (самін), окисник – АК-27І (меланж). І хоча в БПЛА використовуються менш агресивні палива, проте кількість їх застосування під час обстрілів підвищує рівень екологічної небезпеки.

Ключові слова: хімічна небезпека, ракетне паливо, далекобійне озброєння, забруднення довкілля, токсичність, екологічна безпека

DOI: 10.20535/2617-9741.1.2025.325838

* Corresponding author: viacheslavhntiuk@gmail.com
Received 27 December 2024; Accepted 22 January 2025

Постановка проблеми. Україна протягом останніх десятиліть опинилася перед численними викликами, пов'язаними з техногенними та військовими загрозами, які суттєво впливають на природно-техногенну безпеку її регіонів. Географічне розташування, розвинена промисловість, урбанізація, а також активні військові дії на значній частині території країни створюють надзвичайні умови, що потребують глибокого аналізу та ефективних рішень для збереження екологічної, соціальної та економічної стабільності.

Військові загрози, які стали реальністю для України з початком збройної агресії у 2014 році, стали одним з ключових факторів дестабілізації країни. Регіони, дотичні до зон бойових дій, такі як Донецька, Луганська, Харківська, Запорізька області, страждають від руйнування інфраструктури, забруднення навколишнього середовища та втрати економічного потенціалу. Наслідки війни також включають мінну загрозу, забруднення ґрунтів і води боєприпасами, порушення природних екосистем, а також серйозні ризики для здоров'я населення через поширення небезпечних речовин.

Комплексність проблематики природно-техногенної безпеки в Україні обумовлена не лише впливом окремих техногенних чи військових факторів, але й їхньою взаємодією. Наприклад, бойові дії поблизу об'єктів критичної інфраструктури, таких як електростанції, хімічні заводи, нафтоховища створюють небезпеку масштабних техногенних катастроф, що можуть мати як локальні, так і глобальні наслідки.

Прикордонні та прифронтові зони потребують особливої уваги через безпосередній вплив військових дій та ризиків, пов'язаних із безпекою населення та об'єктів інфраструктури.

Аналіз попередніх досліджень. Ознаки стратегії і тактики повномасштабної збройної агресії Росії проти України вказують на ведення війни технологій, в яких армія використовує високотехнологічне

озброєння різного призначення, у тому числі балістичні та крилаті ракети, безпілотні апарати [1, 2]. Можливість агресора завдати удари вглиб країни призводить до колосальних економічних збитків у всіх секторах економіки України [3, 4]. І якщо руйнування інфраструктури, житлового фонду, енергетики, промислових підприємств очевидні і можна підрахувати збитки [5], то оцінити розміри шкоди, завданої навколишньому середовищу, дуже важко. В першу чергу, це пов'язано з масштабами деградації. По-друге, через комплексність спустошення достатньо непросто врахувати всі втрати і злочини. По-третє, наслідки знищення та деградації довкілля будуть відчуватися десятиліттями і у скільки це обійдеться економіці країни важко уявити. Деякі екологічні наслідки є незворотними і можуть чинити каскадний вплив в інших секторах протягом десятиліть.

Але, незважаючи на складнощі дослідження, аналізу та оцінки екологічної ситуації в постраждалих від бойових дій районах, фахівцями та експертами проводяться роботи по фіксації наслідків воєнної агресії по відношенню до навколишнього середовища, здійснюються спроби оцінки заподіяної шкоди, а також надаються пропозиції щодо перспектив відновлення природно-техногенних геологічних систем [5].

У зонах проведення бойових дій відбувається комплексне забруднення поверхневих та підземних вод органічними та неорганічними речовинами. Далекобійне озброєння Росії постійно атакує портову інфраструктуру вздовж чорноморського узбережжя, що призводить до забруднення вод, зокрема нафтопродуктами, і поширення отруйних речовин у морі. Відомо, що всі складові нафти є небезпечними для морських біоценозів, що в цілому значно погіршує стан акваторії [6].

Прорив греблі Каховської ГЕС спричинив екологічну катастрофу, у результаті якої було затоплено 620 км² суші, постраждало 333 тис. га природоохоронних територій і 11294 га лісових територій, змінилась морфологія річки, спричинивши хімічне забруднення та руйнування середовища існування. Згідно з PDNA [7], втрати екосистемних послуг оцінюються у понад 6,4 мільярда доларів США (58 % від усіх збитків) через вплив на природоохоронні території та ліси. Потреби у відновленні довкілля становлять 59,5 мільйона доларів США, пріоритетними напрямками яких є розмінування, очищення, обстеження та оцінка забруднених територій.

Найбільшого негативного впливу від артилерійських та ракетно-дронових ударів зазнають ґрунти [8]. Бомбардування територій будь-якими бойовими засобами спричинює деструкцію ґрунтів [9]. Порушення ґрунтового балансу відбувається через комплексну дію механічної, фізичної, хімічної, фізико-хімічної та біологічної деструкцій. За результатами проведених досліджень у розрізі регіонів України найбільші площі деградованих ґрунтів унаслідок бойових дій характерні для Донецької, Харківської, Луганської, Запорізької та Херсонської областей [9].

Крім деградації ґрунтового покриву, фахівцями приділяється увага і проблемам хімічного забруднення ґрунтів залишками ударної зброї, зокрема важкими металами [10], які входять до складу корпусу та двигуна ракет.

З хімічним забрудненням ґрунтів унаслідок бойових дій пов'язано і надзвичайно токсичне отруєння покриву ракетним паливом, хоча інформація по цій проблематиці практично відсутня.

Таким чином, нагальною задачею залишається запобігання погіршення екологічної ситуації в Україні з метою збереження і підтримки природно-техногенної безпеки регіонів країни.

Метою статті є аналіз загроз хімічного забруднення територій від далеkobійного озброєння для підтримки природно-техногенної безпеки регіонів України.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести ранжування типів далеkobійного озброєння, яким Росія обстрілює Україну.
2. Охарактеризувати небезпеку токсичних речовин, що входять до складу означеного озброєння.

Виклад основного матеріалу. Абсолютно правомірно можна говорити про саме повномасштабне вторгнення Росії в Україну. Щодоби з першого дня війни агресором проводиться обстріл практично всієї території України із застосуванням всіх типів ударного, далеkobійного озброєння (тактичного, оперативно-тактичного та стратегічного).

Перелік основної ударної зброї, що використовується Росією проти України, наведено у таблиці 1.

Цей список озброєння не є вичерпним і може змінюватися з часом в залежності від нових поставок і змін у військовій тактиці.

Таблиця 1 – Основне далекобійне озброєння, яким Росія атакує Україну

Назва	Особливість
X-55	Радянська стратегічна крилата ракета, яка здатна нести ядерний заряд, застосовується для атак по важливих військових та цивільних об'єктах.
X-555	Крилата ракета дальнього радіусу дії, яка є вдосконаленим варіантом ракети X-55, і використовується для атак по стратегічних цілях на великих відстанях.
Калібр	Ракета класу «вода–земля» та «повітря–земля», яка використовується для ураження морських та наземних цілей на великих відстанях.
Іскандер-К	Мобільна тактична ракета, яка здатна нести високоточні бойові частини, і використовується для ураження стратегічних об'єктів на дальності до 500 км.
Іскандер-М	Модифікована версія балістичної ракети Іскандер, яка використовується для ураження наземних цілей на великій відстані.
С-300 (5В55)	Система протиповітряної оборони, ракети якої здатні знищувати як ворожі літаки, так і ракети, що летять на середніх та великих відстанях. Може використовуватися в режимі «земля–земля».
С-400 (48Н6)	Вдосконалена система протиповітряної оборони, яка має більшу дальність ураження та можливість боротьби з сучасними аерокосмічними загрозами (ракетами, літальними апаратами). Може використовуватися в режимі «земля–земля».
Точка-У	Застарілий тактичний ракетний комплекс, який застосовує ракети малої дальності.
Кинджал (Х-47М)	Гіперзвукова ракета, яка здатна досягати швидкості понад 5 Махів, використовується для ураження критично важливих військових та цивільних цілей.
X-22	Застаріла, але потужна ракета, яка призначена для ураження морських та наземних об'єктів.
X-59 /X-69	Крилата ракета, яка здатна здійснювати точні удари по наземних цілях на середніх дистанціях.
X-31	Тактична <u>керована ракета</u> класу «повітря–поверхня», яка використовується для ураження морських та наземних цілей на середніх відстанях.
X-101	Високоточна крилата ракета, яка здатна нести звичайні і ядерні боєголовки, характеризується великою дальністю та високою точністю.
Циркон (3М22)	Перспективна протикорабельна ракета, заявлена як гіперзвукова крилата ракета, яка перебуває на етапі розробки та випробувань в Росії. Призначена для ураження надводних кораблів.
Онікс	Ракета, яка здатна знищувати морські цілі, а також використовується для атаки по наземних об'єктах.
Shahed-136/131	Безпілотники, які використовуються для атак на цивільні та військові цілі, здатні нести вибухові боєголовки.

У представленій публікації наводиться статистична інформація щодо обстрілів, зібрана на основі офіційних джерел [11] на час виконання роботи, починаючи з моменту повномасштабного вторгнення до 27 листопада 2024 року (табл. 2, рис. 1, рис. 2). Обстріли здійснювалися на різні регіони країни і включали як стратегічні удари по військових, інфраструктурних об'єктах, так і атаки на цивільні території.

Таблиця 2 – Розподіл кількості обстрілів по областях України за видами озброєння

Область	Не встановлено	Калібр	X-31	Точка-У	C-300 (5B55)	C-400 (48H6)	X-101	X-555/X-55	Іскандер/KN-23	X-22	Кинджал (X-47M)	X-59	X-69	Циркон (3M22)	Shahed-136/131
Київська	125	3	1			1	92	48	6		14		8		30
Одеська	35	1					15			4					18
Дніпропетровська	89						2		11	1		4			10
Донецька				2	2										
Львівська	36	12					42				4				18
Луганська															
Чернігівська									1						
Черкаська	3	1								22					
Харківська	35				57	1			24	22					
Хмельницька	30								4						
Херсонська		3													
Житомирська	11	2													
Полтавська	22	4													
Запорізька	38				56	6	4		22						
Закарпатська															
Вінницька	29						13								
Автономна Республіка Крим															
Миколаївська	25	2			10				6	8					10
Кіровоградська	11						4								
Сумська	12														
Волинська	6						3								
Рівненська	3														
Івано-Франківська	8	6													
Тернопільська	7														
Чернівецька							2								
Перехоплено / Атаковано (без уточнення області)	1306	64			24	11	77	34	48	13	73	31	2	1	19530

Як видно з таблиці 2 та рис. 1 і 2, найбільшою кількістю ракет та безпілотних апаратів були атаковані Харківська, Запорізька, Дніпропетровська та Львівська області. Кількість повітряних цілей для даних областей знаходиться у межах 112–139 одиниць. Проте найбільша кількість зафіксованих цілей за цей період часу припала на Київ та Київську область – 328 випадки.

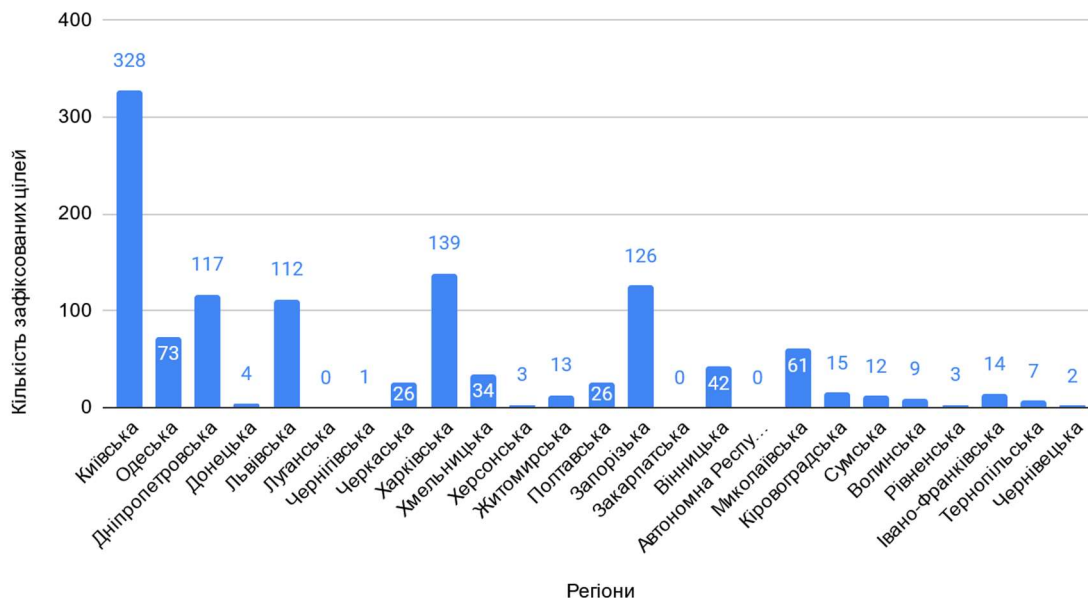


Рис. 1 – Кількість ідентифікованих цілей по областях за період 24.02.2022 – 27.11.2024

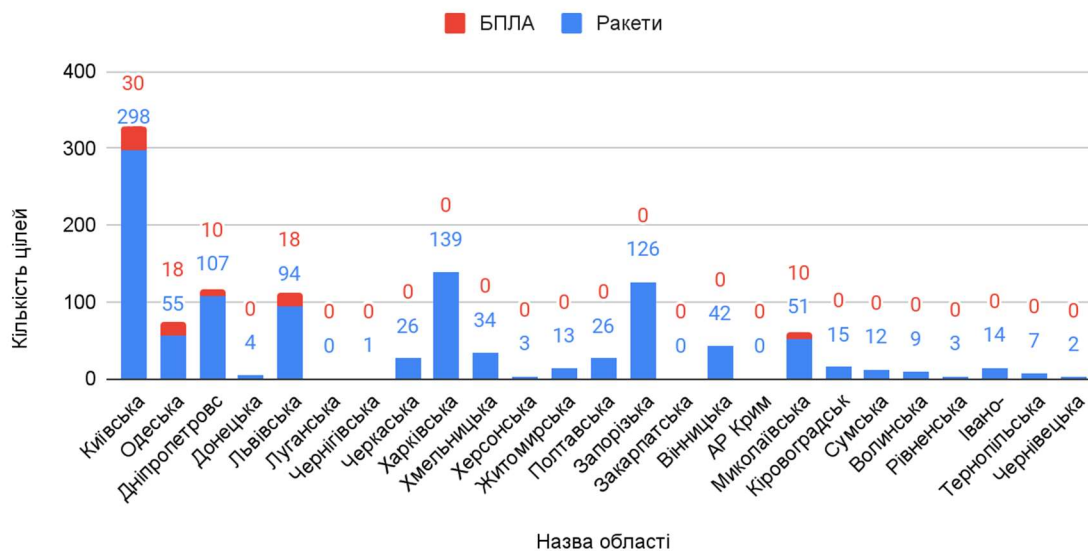


Рис. 2 – Кількість ідентифікованих ракет та безпілотних апаратів (БПЛА), які були застосовані по областях України

За представленими у таблиці 2 та на рисунку 2 статистичними даними можна також виділити області, які характеризуються певними тенденціями щодо типу використаного озброєння, зокрема: переважання ракет певного типу, наявність чи відсутність повітряних атак безпілотними апаратами.

На основі отриманих даних для спрощення сприйняття та аналізу отриманої інформації був проведений географічний розподіл атак по території країни (рис. 3), який дозволяє наочно ідентифікувати регіони з найбільшим терористичним навантаженням.

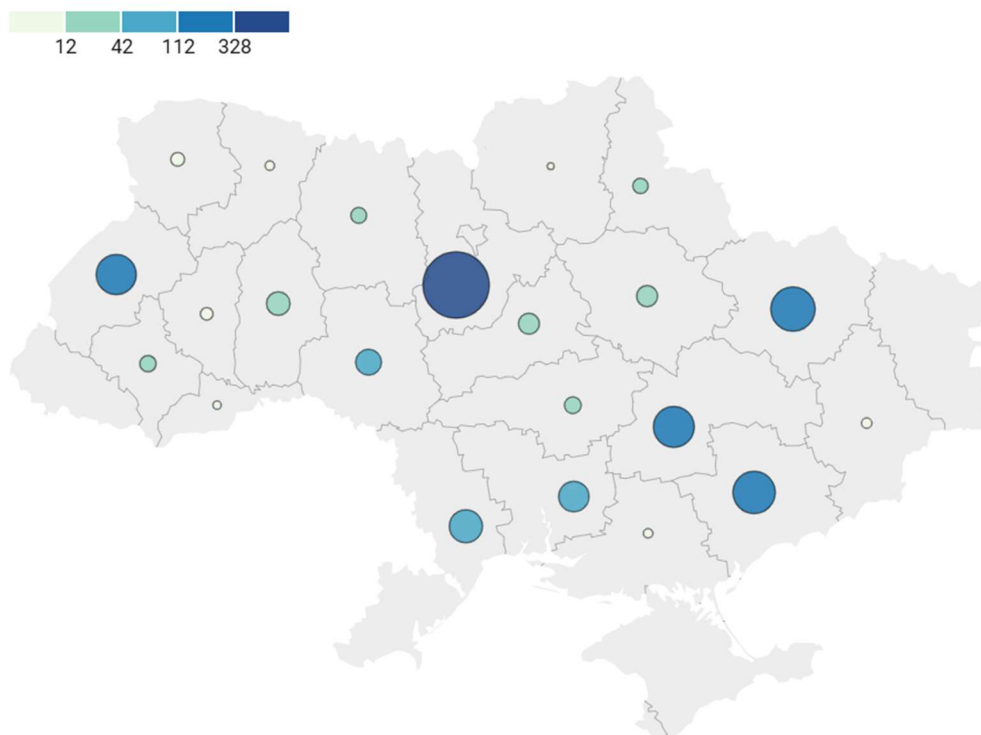


Рис. 3 – Карта-схема розподілу повітряних цілей, що були ідентифіковані над областями країни до листопада 2024

Області, які розташовані ближче до зони бойових дій (наприклад, Донецька, Луганська), можуть мати набагато більшу кількість повітряних атак, ніж інші області. Проте через окупацію та активні бойові дії існує складність у відслідковуванні та зборі актуальних даних. У західних регіонах (наприклад, Закарпатська, Тернопільська області) зафіксовано значно менша кількість повітряних цілей, що вказує на менш інтенсивні атаки.

З урахуванням перехоплених/атакованих цілей без уточнення областей, а саме: 1684 ракети та 19530 БПЛА, загальна кількість зареєстрованих повітряних цілей за період, що розглядається, складає сумарно: 2765 ракет та 19616 безпілотних апаратів.

З початком повномасштабного вторгнення з року в рік зростає кількість використаних Росією ракет та безпілотних апаратів по території України (рис. 4). На представленому рисунку 4 відображений розподіл між двома категоріями повітряних цілей (абсолютна їх кількість) по кожному року за три роки війни.

Як видно з рисунку 4, у 2022 році спостерігається значна кількість використаних ракет та БПЛА, але вона значно менша, ніж у наступні роки. Так, кількість ракетних ударів по Україні у 2023 році зросла у 1,4 рази у порівнянні з 2022 роком, а у 2024 році зросла ще у 1,06 рази у порівнянні з попереднім (2023) роком. Щодо кількості використаних безпілотних апаратів, то темпи зростання, на жаль, ще більші. Так, у 2023 році кількість атак БПЛА збільшилася у 2,8 разів у порівнянні з першим роком повномасштабного вторгнення, а за 2024 цей показник збільшився майже у 2,7 рази у порівнянні з 2023 роком. Відмічається тенденція збільшення відсоткового числа застосованих безпілотних апаратів нападу порівняно з ракетами.

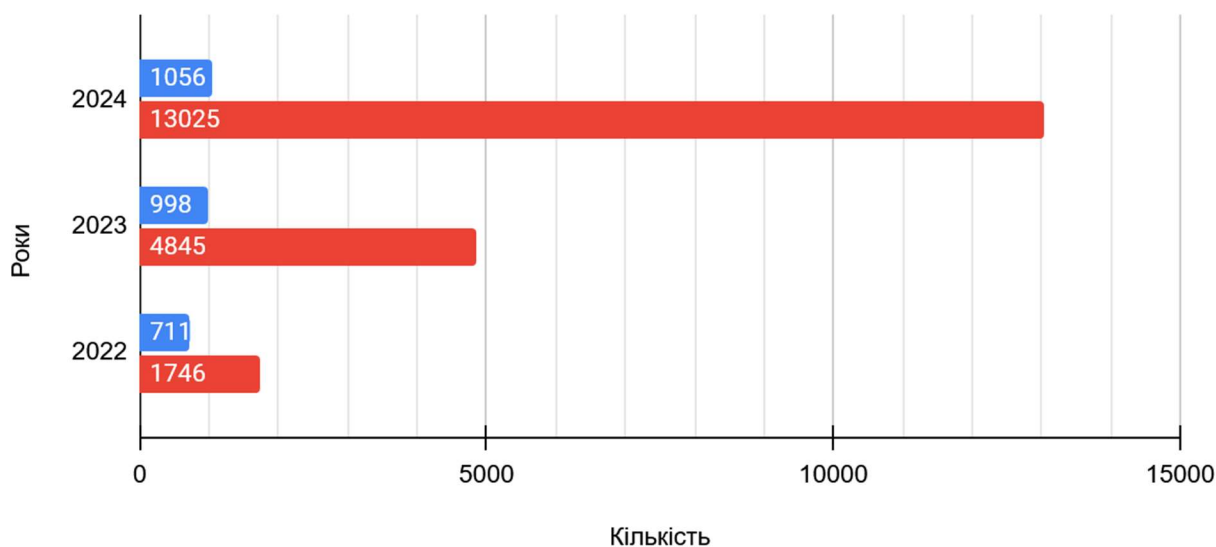


Рис. 4 – Кількість застосованих ракет та БПЛА по території України по роках станом на листопад 2024

Якщо узагальнити та виділити два основні ударні типи далекобійного озброєння, яке було задіяно під час обстрілів за цей період, а саме ракети та безпілотники (рис. 5), то можна переконатися, що кількість БПЛА, які були використані, у 7 разів більша, ніж кількість використаних ракет.

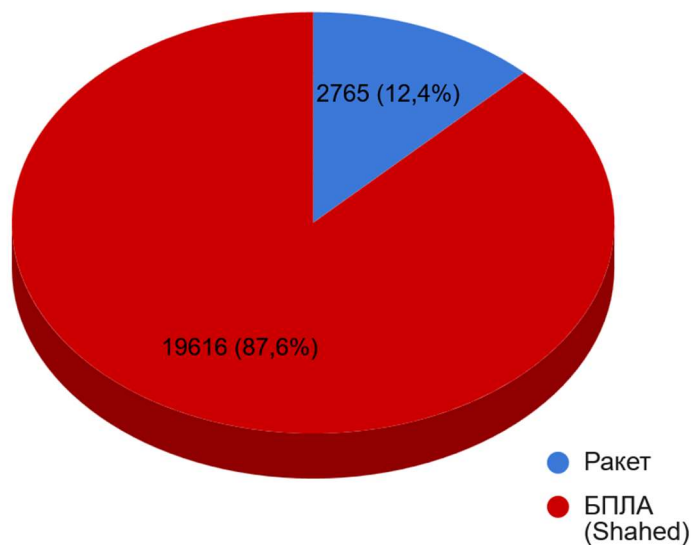


Рис. 5 – Співвідношення застосованих ракет та БПЛА за 2022–2024 роки по території України

Так, частка застосованих по Україні безпілотників складає 87,6 % від загальної кількості застосованих засобів, що відповідає їх абсолютній кількості у 19616 одиниць. Відповідно, на ракетні удари припадає 12,4 % від загальної кількості повітряних цілей (2765 одиниць).

Безпілотні апарати можуть використовуватися як для розвідувальних місій, так для атак на конкретні цілі. Застосування БПЛА є дешевшими в плані виробництва і використання у порівнянні з ракетами, що робить їх більш привабливими для регулярних атак тероризуючого характеру. Таким чином, очікувано, що буде збільшуватись їх застосування.

За результатами оцінки [12] прямих збитків економіки України внаслідок агресії Росії за 2022–2023 роки згідно з методологією Світового банку втрати від руйнувань складають 157,2 млрд. доларів (рис. 6).

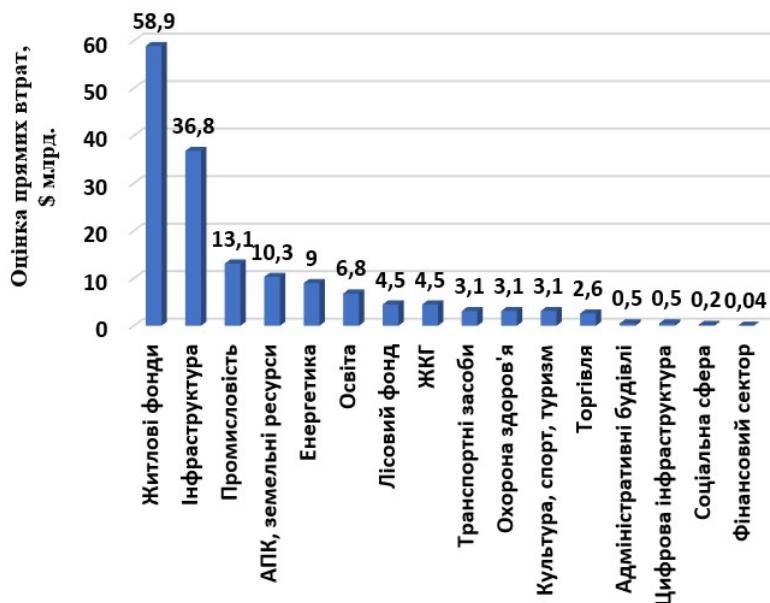


Рис. 6 – Прямі збитки від руйнувань та пошкоджень за секторами економіки України

Крім прямих збитків, вирізняється і незлічена кількість непрямих (опосередкованих) збитків, заподіяних за воєнно-техногенних впливів, до яких відносять: руйнування ґрунтового покриву, хімічне забруднення земельних ділянок, погіршення якості природних вод, забруднення атмосферного повітря і знищення ґрунтової та водної біоти. За звітністю Держекоінспекції України, збитки, які завдані довікіллю України станом на березень 2023 року, складають приблизно 2 трлн. грн.

Ракетно-дронові удари призводять до різних видів деструкції ґрунтів [8, 9], серед яких розрізняють деструкцію: механічну, фізичну, хімічну, фізико-хімічну та біологічну.

У нашому спектрі інтересів найбільшу зацікавленість представляє саме хімічне забруднення довікілля від застосування ракет та безпілотних апаратів. Такі боєприпаси містять у собі як неорганічні, так і органічні речовини, які, у свою чергу, поділяють на три категорії: ПТЕ – потенційно токсичні елементи, ЕС – енергетичні сполуки, БХР – бойові хімічні речовини (вибухова речовина) [10].

До групи потенційно токсичних речовин відносяться, в першу чергу, важкі метали, які входять до складу корпусу та двигуна ракети/апарату [10], зокрема: сурма (Sb), мідь (Cu), хром (Cr), миш'як (As), ртуть (Hg), нікель (Ni), цинк (Zn), кадмій (Cd) та свинець (Pb).

Важкі метали, такі як ртуть (Hg) і свинець (Pb), входять також і до складу сполук, які використовують для детонації БХР. Крім того, кількісно найважливішими сполуками у боєприпасах є тротил ($C_7H_5N_3O_6$), октаген ($C_4H_8N_8O_8$), сірка (S), гексоген ($C_3H_6N_6O_6$) та тетрил ($C_7H_5N_5O_8$), які хімічно також становлять загрозу для здоров'я людей.

За висновками експертів [8-10], вміст важких металів у ґрунті в зоні бойових дій перевищує норму у 30 разів. Згадані речовини потрапляють у ґрунт, поступово мігрують у ґрунтові води і за трофічними ланцюгами негативно впливають на людей і, взагалі, на біоту. Тобто отруєний у результаті застосування зброї ґрунт стає у перспективі «бомбою повільної дії». Подібна ситуація з небезпечним забрудненням важкими металами від застосування ракет та безпілотних апаратів характерна і для поверхневих водойм.

Найбільший збиток довікіллю наносять ракети. Ракетне паливо «отрує» ґрунт та воду, призводить до хімічного забруднення навколишнього природного середовища. Одним з найважливіших питань безпеки залишається забруднення довікілля енергетичними сполуками (ЕС), що водять складу палива літальних апаратів.

Крилаті та балістичні ракети, які застосовуються Росією [13] по території України, використовують два види палива – тверді ракетні палива та рідкі ракетні палива.

Тверде ракетне паливо застосовується для таких ракет, як: Точка-У, Кинджал (Х-47М), Іскандер/КН-23.

Тверде ракетне паливо має приблизно наступний склад:

- ✓ 69,6 % перхлорату амонію;
- ✓ 16 % металевого алюмінію;
- ✓ 12 % полібутадієнакрилонітрилу;
- ✓ 1,96 % епоксидного отверджувача;
- ✓ 0,4 % заліза як каталізатора.

У балістичних ракетах двигун необхідний лише для зльоту, набору висоти та збільшення швидкості. Відповідно, об'єм палива розраховується саме для цих стадій. Тому, у будь-якому випадку: чи балістична ракета збивається засобами ППО, чи влучає у ціль, в ній вже практично не залишається пального.

Найбільш небезпечними в плані хімічного отруєння довкілля боеприпасами є крилаті ракети. Ці літальні апарати використовують рідке ракетне паливо протягом всього часу свого польоту. Як правило, ракети заправляються паливом максимально нормативно, це приблизно 1,5 тонни, з урахуванням їх потенційно можливої дальності польоту. Тому, при контакті ракети або її окремих частин з поверхнею існує велика вірогідність забруднення території небезпечними речовинами. Зрозуміло, що масштаби забруднення зростають у разі збиття ракети засобами ППО на траєкторії польоту, коли використано лише частину пального.

За кількістю компонентів палива, що використовуються у ракетах, розрізняють одно-, дво- та трикомпонентні рідинні ракетні двигуни.

У крилатих ракетах, що застосовуються по території України, наприклад, таких як: Калібр, Х-101, Х-555/Х-55, Х-59 використовується в якості палива або Т-1 (керосин авіаційний), або Т-10 (децилін). Для гіперзвукових крилатих ракет типу Циркон (ЗМ22) використовується модифікований децилін.

Децилін – вуглеводень загальною формулою $C_{10}H_{16}$, що застосовується як висококалорійне синтетичне авіаційне паливо, компонент рідкого ракетного палива та розчинник. Т-10 відрізняється високою токсичністю і отримується шляхом нафтохімічного синтезу поліциклічних циклоалканів.

У військовій техніці рідинні ракетні двигуни використовуються відносно рідко, в основному на важких ракетах. Частіше за все це двокомпонентні рідинні ракетні двигуни.

Для роботи рідинного ракетного двигуна необхідні одночасно два компоненти: паливо та окисник. Типові композиції паливо-окисник представлені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Характеристика двохкомпонентного палива ракет

Окисник	Паливо
Кисень	Водень
Кисень	Керосин
Кисень	Несиметричний диметилгідрозин (гептил)
Кисень	Гідразин
Кисень	Аміак
Тетраоксид діазоту	Керосин
Тетраоксид діазоту	Несиметричний диметилгідрозин (гептил)
Тетраоксид діазоту	Гідразин
Фтор	Водень
Фтор	Гідразин
Фтор	Пентаборан

Пальне кисень-водень, кисень-керосин є самим «екологічним», якщо можна так висловитися по відношенню до крилатих ракет. Але з певних причин у світі частіше використовується пара тетраоксид діазоту-несиметричний диметилгідрозин (гептил) – надзвичайно токсична пара. Їх використання пояснюється тим, що ці компоненти палива є самозаймистими, тобто вступають у хімічну реакцію горіння при фізичному контакті один з одним, і початок горіння не викликає труднощів. Всі інші компоненти, представлені в таблиці 3, є рідкісними. Пара фтор-водень, одна із самих висококалорійних пар, але результатом хімічної взаємодії у такому випадку є високотоксичний фторид водню. Присутність фтороводню у повітрі відчувається вже при його концентрації від 0,03–0,11 мг/м³. Граничні допустимі значення концентрацій фториду водню для дії протягом 8 годин варіюються від 0,5 до 2,5 мг/м³. Повітря, що містить 50 мг/м³ фтороводню, є смертельно небезпечним.

Гептил (диметилгідрозин, несиметричний диметилгідрозин, НДМГ) є речовиною першого класу небезпеки, має канцерогенну, політропну дію, алергічний ефект, викликає отруєння за будь-яких шляхів потрапляння в організм: через шлунково-кишковий тракт, через вдихання, через шкіру. Гранично допустима концентрація гептилу у ґрунті становить 0,1 мг/кг. Для людини його смертельна доза у воді становить 1 мкг/дм³. Ознаки отруєння відчуються вже протягом доби, вражаються всі системи організму (нервова, серце-судинна, кровотворна). Після потрапляння у довкілля гептил окиснюється з утворенням нітрозодиметиламіну – ще більш токсичною речовиною. У разі важкого отруєння симптоматика розвивається на 4–5 добу, і часто закінчується летальним кінцем. Всесвітньою організацією охорони здоров'я гептил внесено до списку особливо небезпечних хімічних сполук.

І самою «отруйною» ракетною, що застосовувалась Росією по території України, є радянська крилата ракета Х-22 через найвищу токсичність її пального.

Обидва компоненти, що використовуються в її пальному, є надзвичайно токсичні речовини [14]. В якості пального використовується речовина марки ТГ-02 (самін), а в якості окисника – азотнокислий окиснювач марки АК-271 (меланж).

Самін – високоефективне пальне, що складається з триетиламіну та ксилідину в пропорції 1:1.

Триетиламін (С₂H₅)₃N є дуже токсичною речовиною: його гранично допустима концентрація разова дорівнює 10 мг/дм³, а гранично допустима концентрація середньодобова відповідає значенню 0,14 мг/дм³. Триетиламін виступає палим/займистим компонентом, який може спалахнути від впливу тепла, іскор або полум'я. У разі потрапляння в очі викликає важкі опіки. При проникненні через одяг триетиламін також викликає опіки шкіри, в подальшому призводить до рака шкіри. При вдиханні подразнює слизові оболонки людини і викликає кашель та задуху.

Ксилідини (С₈H₁₁N – шість ізомерів) є палими/займистими речовинами, що горять самі по собі, але спалахують насилу. При нагріванні пари у поєднанні з повітрям утворюють вибухові суміші. Всі шість ізомерів отруйні, викликають головний біль та запаморочення і є канцерогенами.

В азотнокислих окисниках, які є другим компонентом двокомпонентної системи палива, основною складовою є азотна кислота з добавками тетраоксиду діазоту та інших присадок (табл. 4).

Таблиця 4 – Марки та склад азотнокислих окисників у ракетному паливі

Марка	HNO ₃	N ₂ O ₄	Присадка		H ₂ O
АК271	69,8–70,2 %	24–28 %	0,12–0,16 % інгібітор I ₂	1,3–2,0 % H ₂ O	
АК27П	69,5 %	24–28 %	0,3–0,55 % HF	0,05–0,15 % H ₃ PO ₄	до 1,4 %
АК-20	80 %	20 %	-	-	-
АК20І	72,9 %	17,5–22,5 %	0,15–0,25 % інгібітор I ₂	до 0,04 % Al ₂ O ₃	3,3–4,3 %
АК20К	73 %	17,5–22,5 %	0,5–0,75 % HF	1,0–1,3 % H ₃ PO ₄	2,1 %
АК20Ф	73,5 %	17,5–22,5 %	0,5–0,8 % HF	0,8–1,1 % H ₃ PO ₄	1,2–2,8 %
АК20і	69,8 %	24–28 %	0,12–0,16 % інгібітор I ₂	до 0,03 % Al ₂ O ₃	до 1,7 %

Найбільш поширеним азотнокислим окисником в Росії є суміш марки АК-271 (меланж).

Чистий азотний тетраоксид використовується, в основному, в рухових установках космічних апаратів.

Через невелику дальність польоту ракет Х-22, заявлено до 600 км, а в реальності 200–300 км, від нанесених ударів постраждали східні та південні області: Одеська, Миколаївська, Харківська, Дніпропетровська та Черкаська (табл. 2).

Безпілотні літальні апарати, що використовуються Росією по території України, зазвичай живляться бензином або авіаційним паливом, але, в основному, використовують бензин. На Shahed-136/131 змонтований поршневий чотирициліндровий авіаційний двигун іранської фірми Mado MD-550 або подібні йому. Такий двигун має потужність близько 37 кВт та питому витрату пального на рівні 479–620 г/(кВт·год). Щоб подолати відстань у 2500 км, як заявляється у характеристиках, цей апарат має провести у повітрі не менше 13,5 годин (за умови, що політ весь час проходить на максимальній швидкості приблизно 185 км/год). За таких умов БПЛА витрачає не менше 230 кг палива, що перевищує заявлену загальну масу 200 кг. Реалістичніше виглядає запас палива в 100 кг (половина від загальної маси), розрахований на приблизно 6 годин польоту на дальність близько 1000 км.

Хоча БПЛА можуть мати менш негативний екологічний вплив у порівнянні з ракетами завдяки своїй низькій потужності, використанню чистіших технологій і точності, їхнє застосування все одно спричиняє забруднення, руйнування екосистем та шкоду для навколишнього середовища як у випадку збиття засобами ППО, так і у разі влучання у ціль. Але з огляду на масову кількість застосованих Shahed-136/131 (рис. 5), розміри шкоди, заподіяної безпілотними апаратами через розлив їх пального, також є співставним з нанесеною шкодою від ракетних обстрілів.

Висновок. У результаті проведеної роботи була зроблена оцінка щодо застосування Росією далекобійного озброєння проти України за період лютий 2022 – листопад 2024. Представлено розподіл кількості обстрілів по областях України за видами озброєння і доведено, що найбільш атакованими літальними апаратами є Харківська, Запорізька, Дніпропетровська та Львівська області, на кожну з яких припадало по 112–139 ідентифікованих повітряних цілей. Найбільша кількість ідентифікованих цілей за цей період часу припала на Київ та Київську область – 328 випадків. Продемонстровано темпи нарощування обстрілів по території України за роками і підраховано, що кількість БПЛА, які були використані, у 7 разів більша, ніж кількість використаних ракет.

Проведена оцінка різних типів ракет, що використовувались під час обстрілів, щодо їх небезпеки хімічного забруднення довкілля через витік палива після падіння. Найбільш небезпечною в хімічному плані є крилата ракета Х-22, в якій в якості палива використовується двокомпонентна композиція: паливо – самін і окисник – меланж. Обидва ці компоненти за міжнародною класифікацією є надзвичайно токсичними речовини.

Не виключається і небезпека застосування агресором і безпілотних апаратів. І хоча в них використовуються менш агресивні палива, проте кількість БПЛА, що застосовуються під час обстрілів, підвищує рівень екологічної небезпеки.

Перспективи подальших досліджень. В подальшому авторами планується проведення досліджень щодо оцінки ризиків для об'єктів довкілля в розрізі застосування різних типів далекобійного озброєння, проведення ранжування за видами і ступенями ризику для розроблення програми заходів щодо мінімізації та запобігання загроз екологічного характеру.

Список використаної літератури

1. Кучеренко Ю.Ф., Носик А.М., Камак Д.О., Закіров З.З. Два роки боротьби з засобами повітряно-космічного нападу військ російської федерації у війні проти України // Випробування та сертифікація. 2024. № 3(5). С. 20–29.
2. Кучеренко Ю.Ф., Носик А.М., Александров О.В., Власік С.М. Сучасні війни та основні вимоги до мережецентричних систем управління військового призначення // Системи озброєння і військова техніка. 2022. № 1(69). С. 40–45.
3. Rapid Environmental Assessment of Kakhovka Dam Breach Ukraine. 2023. United Nations Environment Programme.
4. Ukraine: Rapid Damage and Needs Assessment. 2024. The World Bank, the Government of Ukraine, the European Union, the United Nations.
5. Іванюта С.П. Екологічні і техногенні загрози у зоні військового конфлікту на сході України // Стратегічна панорама. 2017. № 1. С. 53–60.
6. Vozniuk M., Shabliy T., Gomelya M., Sirenko L., Sidorov D. Electrochemical Purification of Oil-Containing Shipping Waters // Journal of Ecological Engineering. 2023. № 24(7). Р. 246–253.
7. Звіт «Оцінка потреб після катастрофи на греблі Каховської ГЕС» (PDNA). 2023. Уряд України, Організація Об'єднаних Націй. 10 с.
8. Грунтовий покрив України в умовах воєнних дій: стан, виклики, заходи з відновлення: монографія; за ред. С.А. Балюка, А.В. Кучера, М.І. Ромашенка. К.: Аграрна наука, 2024. 340 с.
9. Балюк С.А., Кучер А.В., Солоха М.О., Соловей В.Б. Оцінювання впливу збройної агресії РФ на ґрунтовий покрив України // Український географічний журнал. 2024. № 1(125). С. 7–18.
10. Петрушка К.І., Мальований М.С., Петрушка І.М., Бондар О.І. Методи визначення індексів небезпеки для ґрунтів, забруднених токсичними сполуками внаслідок військових дій в Україні на прикладі міста Львова // Сталій розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: кол. монографія / [авт. кол.: Русин І., Дячок В., Скиба В., Вознюк Н. та ін.] / за ред. проф. Мальованого М. С. – Електрон. дан. – К.: Яроченко Я.В., 2024. 420 с.
11. АрміяINFORM – онлайн-медіа Міністерства оборони України [Ідентифікатор онлайн-медіа в Реєстрі – R40-02753] : <https://armyinform.com.ua/2025/02/11/okupanty-vypustyly-po-ukrayini-19-raket-ta-ponad-120-bpla-povitryani-syly-zsu/>
12. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на початок 2024 року. Київська школа економіки KSE. 2024. 39 с.
13. Сучасне озброєння і військова техніка Збройних сил Російської Федерації. Довідник учасника ООС / за ред. Корнійчука С.П. Харків: ДІСА ПЛЮС. 2020. 1220 с.
14. Liquid Rocket Fuel in the OSCE Area: Overview of Disposal Aspects Publisher Organization for Security and Co-operation in Europe Date 23 October 2008.

Viacheslav Hnatiuk, Tetyana Shablii

CHEMICAL HAZARD OF THE AIR COMPONENT OF RUSSIA'S AGGRESSION

This study analyzes the threats of chemical contamination in territories affected by Russia's long-range weaponry against Ukraine. Statistical data on attacks from the beginning of the full-scale invasion until November 27, 2024, is provided. Based on the presented statistics, regions are differentiated by specific trends in the types of weaponry used, including the predominance of certain missile types and the presence or absence of aerial drone attacks.

It has been determined that the Kharkiv, Zaporizhzhia, Dnipropetrovsk, and Lviv regions were among the most targeted, with 112–139 identified strikes per region. The most recorded attacks during this period were in Kyiv and the Kyiv region, with 328 incidents.

The study presents the annual escalation rates of attacks across Ukraine and estimates that the number of UAVs used is seven times greater than the number of missiles launched.

An assessment of various types of ballistic and cruise missiles that struck Ukrainian regions was conducted, focusing on their potential for environmental chemical contamination due to fuel leaks upon impact. The analysis highlights that the most chemically hazardous missile is the Soviet-era Kh-22 cruise missile, which uses a two-component fuel mixture: TG-02 (samin) as fuel and AK-27I (mélange) as an oxidizer. While UAVs generally use less aggressive fuels, their sheer quantity in attacks significantly increases environmental risks.

Keywords: *chemical hazard, rocket fuel, long-range weaponry, environmental pollution, toxicity, environmental safety*

References

1. Kucherenko Yu.F., Nosyk A.M., Kamak D.O., Zakirov Z.Z. (2024), “Dva roky borotby z zasobamy povitriano-kosmichnoho napadu viisk rosiiskoi federatsii u viini proty Ukrainy”, *Vyprobuvannia ta sertyfikatsiia*, 3(5). pp. 20–29. (In Ukrainian).
2. Kucherenko Yu.F., Nosyk A.M., Aleksandrov O.V., Vlasik S.M., (2022), “Suchasni viiny ta osnovni vymohy do merezhetsentrychnykh system upravlinnia viiskovoho pryznachennia”, *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*, 1(69). pp. 40–45. (In Ukrainian).
3. Rapid Environmental Assessment of Kakhovka Dam Breach Ukraine. 2023. United Nations Environment Programme.
4. Ukraine: Rapid Damage and Needs Assessment. 2024. The World Bank, the Government of Ukraine, the European Union, the United Nations.
5. Ivaniuta S.P., (2017), “Ekolohichni i tekhnohenni zahrozy u zoni viiskovoho konfliktu na skhodi Ukrainy”, *Stratehichna panorama*, 1. pp. 53–60. (In Ukrainian).
6. Vozniuk M., Shablii T., Gomelya M., Sirenko L., Sidorov D., (2023), “Electrochemical Purification of Oil-Containing Shipping Waters”, *Journal of Ecological Engineering*, 24(7). pp. 246–253.
7. Zvit “Otsinka potreb pislia katastrofy na hrebli Kakhovskoi HES” (PDNA), (2023), *Uriad Ukrainy, Orhanizatsiia Obiednanykh Natsii*. 10 p. (In Ukrainian).
8. Gruntovy pokryv Ukrainy v umovakh voennykh dii: stan, vyklyky, zakhody z vidnovlennia: monohrafiia; za red. S.A. Baliuka, A.V. Kuchera, M.I. Romashchenka. K.: Ahrarna nauka, 2024. 340 p. (In Ukrainian).
9. Baliuk S.A., Kucher A.V., Solokha M.O., Solovei V.B., (2024), “Otsiniuvannia vplyvu zbroinoi ahresii rf na gruntovy pokryv Ukrainy”, *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*, 1(125). pp. 7–18. (In Ukrainian).
10. Petrushka K.I., Malovanyi M.S., Petrushka I.M., Bondar O.I., (2024), “Metody vyznachennia indeksiv nebezpeky dlia gruntiv, zabrudnennykh toksychnymy spolukamy vnaslidok viiskovykh dii v Ukraini na prykladi mista Lvova”, *Stalyi rozvytok: zakhyst navkolishnoho seredovyscha. Enerhooshchadnist. Zbalansovane pryrodokorystuvannia: kol. monohrafiia / [avt. kol.: Rusyn I., Diachok V., Skyba V., Vozniuk N. ta in.] / za red. prof. Malovanoho M. S. – Elektron. dan. – K.: Yarochno Ya.V., 2024. 420 p. (In Ukrainian).*
11. ArmyINFORM - online media of the Ministry of Defense of Ukraine [Online media identifier in the Register - R40-02753] : <https://armyinform.com.ua/2025/02/11/okupanty-vypustyly-po-ukrayini-19-raket-ta-ponad-120-bpla-povitryani-syly-zsu/> (In Ukrainian).
12. “Zvit pro priami zbytky infrastruktury vid ruinuvan vnaslidok viiskovoi ahresii Rosii proty Ukrainy stanom na pochatok 2024 roku. Kyivska shkola ekonomiky KSE. 2024. 39 p. (In Ukrainian).
13. Suchasne ozbroiennia i viiskova tekhnika Zbroinykh syl Rosiiskoi Federatsii. Dovidnyk uchasnyka OOS / za red. Korniihchuka S.P. Kharkiv: DISA PLIuS. 2020. 1220 p. (In Ukrainian).
14. Liquid Rocket Fuel in the OSCE Area: Overview of Disposal Aspects Publisher Organization for Security and Co-operation in Europe Date 23 October 2008.