

Ю.В. Буц¹, О.В. Крайнюк¹, Ю.М. Сенчихін², В.В. Барбашин³, О.О. Трішина⁴

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

²Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

³Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

⁴Харківський ліцей № 163 Харківської міської ради, Україна

ВПЛИВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ТОКСИЧНИХ ФАКТОРІВ ПОЖЕЖ ПРИ ВІЙСЬКОВИХ ДІЯХ НА ЕКОСИСТЕМИ І ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ НАСЕЛЕННЯ

Проаналізовано вплив небезпечних токсичних факторів пожеж при військових діях на екосистеми і життєдіяльність населення, що є потужним чинником забруднення довкілля. Вплив на ґрунти і водні ресурси пожеж створює ризики для безпеки. Отруйний вплив пожеж на життєдіяльність людини полягає у загрозі для життя, негативній дії продуктів горіння.

Ключові слова: токсичні фактори, пожежі, екосистема, життєдіяльність людини.

Постановка проблеми

Сьогоднішня Україна, на жаль, асоціюється з повномасштабним вторгненням регулярних російських військ, що супроводжується вибухами, пожежами, загибеллю людей тощо. Надмірний вплив відбувається на довкілля. Пожежі, забруднення річок та ґрунтів, вибухи, спричинені ними руйнування та кислотні дощі – все це порушує екосистеми. Наразі загальний обсяг територій, що вигоріли в Україні в результаті війни, перевищив 100 000 гектарів. Значну частину становлять ліси, частина яких – у зоні відчуження ЧАЕС.

Валова оцінка заподіяної шкоди навколишньому природному середовищу наразі перевищує 1,9 трильйона гривень чи майже 52 мільярди доларів. Зазначимо, що площа тимчасово окупованих українських земель складає близько 110 000 км², що відповідає 18% площі нашої держави, 40 000 км² української території було звільнено впродовж 2022 року. Отже, загальна територія потенційно постраждалих земель перевищує 25% [1].

Пожежі суттєво позначаються на екосистемі, включаючи такі складові, як: рослинний світ, ґрунтовий покрив, тваринний світ, геохімічний, гідрохімічний, тепловий баланси тощо [1–3]. Пожежі у екосистемах є одним з найважливіших чинників, при яких утворюються продукти горіння органічних речовин, які з неоднаковою інтенсивністю забруднюють повітряне середовище і мають токсичну дію на здоров'я людини [4].

Під час таких пожеж утворюються дим, сажа, канцерогенні речовини, летючі продукти горіння. Низка авторів розглядали вплив небезпечних токсичних складників диму на здоров'я і життєдіяльність людини [4–7]. Відзначені функціональні порушення у нервовій та ферментативних системах,

загальному обміні речовин, підвищення числа захворюваності органів дихальної, серцево-судинної систем, алергічних й інших патологій. Спектр цих патологічних проявів достатньо всебічний: починаючи від гострих ларинготрахеїтів, бронхітів, гострої дихальної недостатності і закінчуючи відтермінованими наслідками у вигляді зростання чутливості до пневмонії та почастішання випадків утворення злоякісних пухлин респіраторної системи тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

З початку повномасштабного вторгнення окупаційні війська постійно обстрілюють територію України, спричиняючи пожежі на промислових об'єктах і у природних екосистемах. При детонації ракет та артилерійських снарядів утворюється низка хімічних сполук: чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO₂), бурий газ (NO), оксиди нітрогену (N₂O, NO₂, N₂O₅), формальдегід (CH₂O), пари ціаніду (HCN), нітроген (N₂), а також значна маса токсичної органіки; окислюються активні ґрунтові сполуки, згорає деревина тощо. Коли відбувається вибух, усі органічні речовини проходять абсолютне окиснення, при цьому продукти хімічних реакцій надходять у атмосферу. Забруднення водних і ґрунтових ресурсів наслідками хімічних процесів горіння від пожеж внаслідок обстрілів сприяє підвищенню ризиків для проведення посівної й продовольчої безпеки загалом. За рахунок означених пожеж у ґрунтах акумулюються небезпечні токсичні хімічні сполуки, в тому числі ті, що містять важкі метали (ВМ). Це, в свою чергу, спонукає до інтоксикації екосистем [8].

Природні пожежі є найпотужнішим чинником забруднення навколишнього середовища. Екологічні наслідки від природних пожеж зводяться насамперед до забруднення атмосферного повітря чадним газом та продуктами горіння біоматеріалів, знижен-

ні у довкіллі кисню. Значний вклад у планетарну трансформацію біосфери: зміни кліматичних умов, збіднення озонового прошарку, кислотні дощі, хімічне й радіоактивне забруднення атмосферного повітря, водних запасів та виснаження ґрунту – теж привносять пожежі у довкіллі. Внаслідок згоряння органічних матеріалів та неповного згоряння продуктів деревини під час пожеж у екосистемах в атмосферне повітря надходить у складі оксидів карбону від 15 до 45 Мт/рік токсичних речовин. Частина виділених газів миттєво вступає у фотохімічні реакції. Про це свідчить підвищення втричі концентрації озону порівняно із фоновими даними на висоті близько 3-х км і на відстані понад 50 км від центру пожежі. У широкому діапазоні представлені мікроелементи, причому об'єми викиду в атмосферу таких ВМ, як, зокрема, Pb, Hg, Cd, As неодноразово перевищують граничнодопустимі концентрації [9].

Формулювання мети статті

Метою статті є аналіз впливу небезпечних токсичних факторів пожеж при військових діях на екосистему і життєдіяльність населення.

Виклад основного матеріалу

Задимлення атмосферного повітря приводить до погіршення мікроклімату, збільшення числа туманних днів, зменшення прозорості атмосфери та зумовленого ними зниження видимості, освітленості, ультрафіолетової радіації. Розподіл забруднюючих атмосферу речовин відбувається нерівномірно, і в деяких місцевостях їх концентрація є неприпустимо високою. Навіть вкрай малі концентрації окремих речовин є небезпечними. Наслідки впливу диму від природних пожеж при несприятливих метеорологічних обставинах у великих урбаністичних центрах спостерігаються навіть більш суттєво значимими порівняно зі шкідливими викидами потужних індустріальних підприємств й автотранспорту [10].

Враховуючи діапазони коливань концентрацій токсичних хімічних речовин у диму в залежності від хімічних компонентів біоматеріалу, що горить, і розбіжностей параметрів прямого процесу горіння, диференційована оцінка патогенного впливу димових газів залежить від його складу й часу дії. Під час аналізу оцінки впливу токсичних димових компонентів від природних пожеж з'ясовано, що кожне подвоєння ступеня забруднення повітря помічається зростанням тотальної захворюваності населення на 20%, органів дихання – на 25%, раком легень – на 5%. При поширенні димових газів першочергова небезпека спостерігається для біологічної системи: «вагітна жінка – плід – новонароджена – дитина». Не менш уразливою групою населення є хворі із хронічними захворюваннями легеневої системи. До

наступної групи населення необхідно віднести людей із хворобами серцево-судинної системи. Досить повно, хоча й схематично, компоненти деревного диму та ефекти їх впливу на здоров'я людини представлені у табл. 1, що базується на узагальнених даних [11, 12].

Дим палаючої біомаси являє собою суміш різноманітних газів і аерозольних полідисперсних твердих та рідких часток [13]. Такі частки діаметром менші 10 мкм, проте особливо небезпечні серед них є частки діаметром менше 2,5 мкм у зв'язку з глибиною їх проникнення й можливістю потрапляння та фіксацією у альвеолах. У бронхах та альвеолах вони викликають бронхолегеневі клінічні наслідки [14].

Хімічний склад деревного диму включає в себе більш ніж 100 інгредієнтів [15]. Лише частина знищеного вогнем рослинного матеріалу окислюється остаточно до оксидів. Інша частина перетворюється у леткі органічні сполуки й тверді аерозолі, котрі складають 2–3% валової маси токсичних продуктів горіння. У складі продуктів горіння знайдені: метан, алкани C_2 – C_7 , алкени C_2 – C_5 , бензол та його гомологи, спирти C_1 – C_5 , інші карбонільні сполуки, зокрема альдегіди і кетони C_1 – C_7 .

Окрім того, димові гази містять похідні фенолу й поліаренних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), включаючи бенз(а)пірен. У максимальному спектрі виявлено ВМ. Об'єми викидів в атмосферу окремих ВМ, таких як Pb, Hg, Cd, As, пов'язані з реальним екотоксикологічним ризиком [16, 17].

Активність вільних радикалів хімічних сполук деревного диму акумулюється в живих організмах у 40 разів триваліше, ніж небезпечних радикалів диму від тютюну. При згорянні 1 тонни біомаси в атмосферу надходить 125 кг оксиду карбону, 12 кг вуглеводнів, 2 кг оксидів нітрогену, 22 кг завислих частинок вугільного пилу. Валова суміш такого диму містить 50% газоподібних речовин, 25% – сажі, 20% – золи та 5% – смолистих сполук.

Токсикологічний аналіз крові дітей, що мешкають на території, яка забруднена сполуками горіння лісів і торф'яників, виявив підвищений вміст токсичних компонентів: фталатів – у 94% дітей, алканів – у 46,4%, алкенів – у 9,1%, хлорорганічних речовин (ХОР) – у 13,1%, нафтенів – у 10,1%, ароматичних вуглеводнів – у 14,1% [18].

Газоподібні речовини деревного диму за механізмом впливу схематично розділяють на ірританти (хімічні сполуки подразливої дії), до яких відносять акролеїни, альдегіди, солі амонію, хлориди й хлористий водень, ізоціаніди, оксиди нітрогену, сульфур, і так названі асфіксанти (речовини, що сприяють порушенню забезпечення тканин організму киснем). До останніх належать оксиди карбону, метан, нітрогени і ціаніди – гази, що перешкоджають утворенню зв'язку між киснем і гемоглобіном та знижують

парціальний тиск кисню у атмосферному повітрі. Ірританти вчиняють комплексну бронхоспастичну дію і є визначальним чинником гострих ушкоджень респіраторної системи димом [19].

Чадний газ або оксид карбону (CO), має сильну спорідненість до гемоглобіну і у 240 разів перевищує таку спорідненість до O₂. CO блокує з'єднання O₂ із гемоглобіном, утворюючи карбоксигемоглобін.

У результаті кількість оксигемоглобіну знижується і є недостатньою для адекватного транспортування кисню. Оксид карбону, окрім гіпоксичної, має також гемо- та нейротоксичну дію. Гострий токсикоз чи отруєння чадним газом проявляється частотою серцевої і недостатністю дихальної діяльності, головними болями, сонливістю, порушенням окремих психомоторних функцій, набряком головного мозку.

Таблиця 1

Постійні токсичні компоненти деревного диму та їх вплив на здоров'я людини

Компоненти деревного диму	Несприятливі ефекти для здоров'я
1	2
Чадний газ, CO	Отрута, яка замінює оксигемоглобін на карбоксигемоглобін. Викликає гіпоксію, клітинний некроз, ушкоджує центральну нервову систему. Знижує здатність крові переносити кисень до клітин, органів і тканин.
Формальдегід	Токсичний газ, проникає при вдиханні або проникненні через шкіру. Має канцерогенний ефект.
Акролеїн	Подразнює слизові тканини і викликає сльозотечу, відноситься до речовин загальнотоксичної дії, підвищує ризик онкологічних захворювань. Виведення з організму метаболітів акролеїну призводить до запалення сечового міхура – циститу. Акролеїн і формальдегід проваюють астму. Ірритант, викликає бронхіт, альвеоліт.
Ацетальдегід	Токсин, викликає атрофію епітелію, пошкодження печінки, рак носоглотки. Подразнює слизові оболонки, погіршує діяльність печінки, нирок, органів дихання, пригнічує діяльність нервової системи.
Фурфурол	Подразнює слизові оболонки, викликає головні болі, фоточутливість та порушення вуглеводного обміну.
Бензол	При проникненні в організм через шкіру, перорально або інгаляційно, викликає ушкодження слизових, неврологічні розлади і смерть внаслідок зупинки дихання. Може провокувати рак крові – лейкемію, вражає печінку, нирки, кістковий мозок, знижує артеріальний тиск, викликає задишку і судоми.
Толуол	Нейротоксин, викликає почуття сп'яніння, сонливість, запаморочення, головний біль, м'язову слабкість, розлад координації і погіршення зору, зміну поведінки. Має гепатотоксичні і нефротоксичні ефекти, вражає слизову очей, носоглотки і дихальних шляхів. Хронічний вплив призводить до атрофічних змін в головному і спинному мозку, порушує репродуктивну функцію.
Оцтова кислота	Неспецифічний ірритант. Пари подразнюють слизові оболонки дихальних шляхів, викликає захворювання носоглотки і гортані.
Мурашина кислота	Має більш подразливий ефект, ніж оцтова кислота, небезпечна для шкіри.
Оксиди нітрогену	Ушкоджують респіраторну систему, викликають запальні зміни в бронхах і альвеолах. Для хворих на астму і аналогічних хворих підвищується ризик негативних легеневих ефектів.
Діоксид сульфуру	При вдиханні може викликати пошкодження легенів. Компонент кислотних дощів, пошкоджує рослини і забруднює водойми. Надає подразнюючу дію на слизові оболонки дихальних шляхів і очей. Призводить до виникнення бронхітів.
Хлористий метил	Токсин загальної дії.
Нафталени	Створює токсичний (п'яний) і канцерогенний ефекти.
Фенол і його похідні	Токсин, що викликає спазм гладкої мускулатури, напади серцевої аритмії, інсульт, зупинку дихання. Знижує вагу при народженні, чинить канцерогенну дію на шкіру.
Органічний карбон	Створює подразнюючий і токсичний ефект.
Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ)	Токсини і канцерогени. Ненасичені ПАВ сполуки з низькою молекулярною масою, що містять від 2-3 кілець, показують значну токсичність, а інші – несприятливий ефект на деякі організми, але не є канцерогенними; ПАВ з більш високою молекулярною масою, що містять від 4 до 7 кілець, менш токсичні.
Фенантрен	Міститься у вугіллі. Токсична та канцерогенна речовина.
Антрацен	Токсин. При вдиханні пилу або пари відбувається набряк повік, подразнення слизових оболонок горла, носа, знижується маса тіла, викликає фіброзні захворювання.

Продовження табл. 1

1	2
Флюорантрен	Токсин.
Пірен	Токсин.
Бензоантрацен	Токсин з імовірною канцерогенною дією. Пошкоджує ДНК і викликає мутації генів.
Бензофлюороантрени	Токсини.
Бенз(а)пірен	Токсин, активний канцероген. Бенз(а)пірен є сильним канцерогеном, зокрема, викликає лейкемію, вроджені каліцтва. Має мутагенну дію.
Дибензопірен	Токсин.
Стронцій	Викликає остеопенію, осифікацію хряща.
Алюміній	Надмірні кількості в кровотоці можуть привести до неврологічних порушень аж до фатальних. Пари можуть бути причиною легеневого фіброзу.
Ванадій	Всмоктується через легені; викликає подразнення дихального тракту, пневмоніт, кон'юнктивіт, анемію.
Хром	Токсин загальної дії.
Манган	Викликає погіршення функції нервової системи: уповільнений час реакції, тремор рук, порушення пам'яті. Викликає втому і прояви гострого бронхіту.
Нікель	Токсин.
Цинк	Токсин. Викликає лихоманку, блювоту, міалгію, головний біль і пневмоніт.
Свинець	Викликає безсоння, головний біль, запаморочення, помірну артеріальну гіпертонію, гіпоальбумінемію, анемію, енцефалопатію та периферичну нейропатію з паралічами. Порушує репродуктивну функцію. Канцероген.
Хлоровані діоксини	Токсини, які накопичуються і довго зберігаються у довкіллі. Викликають ембріональні аномалії або смерть плода. Мають канцерогенні ефекти.

Висновок

Отже, дим, який утворюється під час пожеж, вибухів, займань тощо, при згоранні біомаси рослин (трави, листя з дерев та чагарників, мохів, лишайників, торфовищ, лісових підстилок і хвої), являє собою аерозольно-газову суміш, що містить небезпечні для навколишнього середовища і людини токсичні речовини. Горіння біомаси є глобальним джерелом газів і пилового забруднення атмосфери і розглядається як один з визначальних чинників екоотоксикологічних ризиків для здоров'я населення. Негативний вплив пожеж від воєнних дій на організм людини буває гострим і відтермінованим. Гостра дія приводить до гіпоксії внаслідок дії оксидів карбону, посилення витрат кисню з повітря при горінні, подразнення дихальних шляхів, ускладнення дихання. Відтермінований вплив обумовлений токсичними, мутагенними та канцерогенними ефектами.

Токсичний вплив пожеж на життєдіяльність та здоров'я населення полягає не лише у загрозі для життя, а й несприятливій дії на людські організми важких сполук хімічних речовин, представлених продуктами горіння рослинного біоматеріалу лісів, торфовищ, значних сільськогосподарських угідь, включаючи сівозміни і пасовища. Часто цей вплив відбувається у сукупності з типовим забрудненням атмосферного повітря: викидами промислових підприємств та автотранспорту. Особливістю подібного поєднання є складні синергетичні дії хімічних спо-

лук та високої температури повітря при суттєвій відносній тривалості (декади, місяці) надзвичайних екологічних ситуацій.

Література

1. Україна у вогні: як впливають масові лісові пожежі на довкілля [Електрон. ресурс] / Перший Криворізький : сайт. – Кривий Ріг, 2010–2023. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: <https://1kr.ua/ua/news-80275.html>, вільний (дата звернення: 20.10.2023).
2. Dynamics of migration property of some heavy metals in soils in Kharkiv region under the influence of the pyrogenic factor / Y. Buts, V. Asotskyi, O. Kraynyuk, R. Ponomarenko, P. Kovalev // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. – 2019. – Vol. 28 (3). – P. 409–416. – DOI: [10.15421/111938](https://doi.org/10.15421/111938).
3. Wilson N. Detecting the effects of logging and wildfire on forest fuel structure using terrestrial laser scanning (TLS) / N. Wilson, R. Bradstock, M. Bedward // *Forest Ecology and Management*. – 2021. – Vol. 488. – Article 119037. – DOI: [10.1016/j.foreco.2021.119037](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119037).
4. Direct and indirect disturbance impacts in forests / E. J. Bowd, S. C. Banks, A. Bissett, T. W. May, D. B. Lindenmayer // *Ecology Letters*. – 2021. – Vol. 24 (6). – P. 1225–1236. – DOI: [10.1111/ele.13741](https://doi.org/10.1111/ele.13741).
5. Megafires in Chile 2017: Monitoring multiscale environmental impacts of burned ecosystems / F. De la Barrera, F. Barraza, P. Favier, V. Ruiz, J. Quense // *Science of The Total Environment*. – 2018. – Vol. 637–638. – P. 1526–1536. – DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.05.119](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.119).
6. Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers / K. K. McLauchlan, P. E. Higuera, J. Miesel [et al.] // *Journal of Ecology*. – 2020. – Vol. 108 (5). – P. 2047–2069. – DOI: [10.1111/1365-2745.13403](https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403).
7. Environmental drivers of fire severity in extreme fire events that affect Mediterranean pine forest ecosystems /

- P. García-Llamas, S. Suárez-Seoane, A. Taboada [et al.] // *Forest Ecology and Management*. – 2019. – Vol. 433. – P. 24–32. – DOI: [10.1016/j.foreco.2018.10.051](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.051).
8. *Prescribed fire and its impacts on ecosystem services in the UK* / A. R. Harper, S. H. Doerr, C. Santin, C. A. Froyd, P. Sinnadurai // *Science of the Total Environment*. – 2018. – Vol. 624. – P. 691–703. – DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.12.161](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.161).
9. Екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж в Україні навесні – влітку – восени 2020 р. / Л. Ф. Чорногор, А. Н. Некос, Г. В. Тітенко, Л. Л. Чорногор // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. – 2021. – № 24. – С. 79–90. – DOI: [10.26565/1992-4259-2021-24-07](https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-07).
10. Boer M. M. Unprecedented burn area of Australian mega forest fires / M. M. Boer, V. Resco de Dios, R. A. Bradstock // *Nature Climate Change*. – 2020. – Vol. 10. – P. 171–172. – DOI: [10.1038/s41558-020-0716-1](https://doi.org/10.1038/s41558-020-0716-1).
11. Buts Yu. V. Features of geochemical migration of chemical elements after technogenic loading of pyrogenic nature / Yu. V. Buts // *Journal of Engineering Sciences*. – Sumy : Sumy State University, 2018. – Vol. 5 (2). – P. H1–H2. – DOI: [10.21272/jes.2018.5\(2\).h1](https://doi.org/10.21272/jes.2018.5(2).h1).
12. Buts Y. Техногенно-екологічні аспекти пірогенного впливу на довкілля / Y. Buts, O. Krainiuk // *International security studios: managerial, economic, technical, legal, environmental, informative and psychological aspects. International collective monograph* / N. Tikanashvili, G. Evgenidze, O. Batiuk, Z. Smutchak ; Georgian Aviation University. – Tbilisi (Georgia) : Zenodo, 2023. – P. 238–259. – DOI: [10.5281/zenodo.7825520](https://doi.org/10.5281/zenodo.7825520).
13. Examining the effects of forest fire on terrestrial carbon emission and ecosystem production in India using remote sensing approaches / S. Sannigrahi, F. Pilla, B. Basu [et al.] // *Science of The Total Environment*. – 2020. – Vol. 725. – Article 138331. – DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.138331](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138331).
14. The 2019/2020 mega-fires exposed Australian ecosystems to an unprecedented extent of high-severity fire / L. Collins, R. A. Bradstock, H. Clarke, M. F. Clarke, R. H. Nolan, T. D. Penman // *Environmental Research Letters*. – 2021. – Vol. 16 (4). – Article 044029. – DOI: [10.1088/1748-9326/abeb9e](https://doi.org/10.1088/1748-9326/abeb9e).
15. The impact of fire on soil-dwelling biota: A review / G. Certini, D. Moya, M. E. Lucas-Borja, G. Mastrodonardo // *Forest Ecology and Management*. – 2021. – Vol. 488. – Article 118989. – DOI: [10.1016/j.foreco.2021.118989](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118989).
16. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment / N. Künzli, R. Kaiser, S. Medina [et al.] // *The Lancet*. – 2000. – Vol. 356 (9232). – P. 795–801. – DOI: [10.1016/S0140-6736\(00\)02653-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02653-2).
17. Forest fires and adaptation options in Europe / N. Khabarov, A. Krasovskii, M. Obersteiner, R. Swart, A. Dosio, J. San-Miguel-Ayanz, T. Durrant, A. Camia, M. Migliavacca // *Regional Environmental Change*. – 2016. – Vol. 16. – P. 21–30. – DOI: [10.1007/s10113-014-0621-0](https://doi.org/10.1007/s10113-014-0621-0).
18. Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon / S. S. Da Silva, P. M. Fearnside, P. M. L. De Alencastro Graça, I. F. Brown, A. Alencar, A. W. F. De Melo // *Forest Ecology and Management*. – 2018. – Vol. 424. – P. 312–322. – DOI: [10.1016/j.foreco.2018.04.041](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.041).
19. Russian-Ukrainian war impacts the total environment / P. Pereira, F. Bašić, I. Bogunovic, D. Barcelo // *Science of The Total Environment*. – 2022. – Vol. 837. – Article 155865. – DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.155865](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865).
2. Buts, Y., Asotskyi, V., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R., & Kovalev, P. (2019). Dynamics of migration property of some heavy metals in soils in Kharkiv region under the influence of the pyrogenic factor. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28(3), 409–416. DOI: [10.15421/111938](https://doi.org/10.15421/111938)
3. Wilson, N., Bradstock, R., & Bedward, M. (2021). Detecting the effects of logging and wildfire on forest fuel structure using terrestrial laser scanning (TLS). *Forest Ecology and Management*, 488, 119037. DOI: [10.1016/j.foreco.2021.119037](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119037)
4. Bowd, E. J., Banks, S. C., Bissett, A., May, T. W., & Lindenmayer, D. B. (2021). Direct and indirect disturbance impacts in forests. *Ecology Letters*, 24(6), 1225–1236. DOI: [10.1111/ele.13741](https://doi.org/10.1111/ele.13741)
5. De la Barrera, F., Barraza, F., Favier, P., Ruiz, V., & Quense, J. (2018). Megafires in Chile 2017: Monitoring multiscale environmental impacts of burned ecosystems. *Science of The Total Environment*, 637–638, 1526–1536. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.05.119](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.119)
6. McLauchlan, K. K., Higuera, P. E., & Miesel, J. et al. (2020). Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. *Journal of Ecology*, 108(5), 2047–2069. DOI: [10.1111/1365-2745.13403](https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403)
7. García-Llamas, P., Suárez-Seoane, S., & Taboada, A. et al. (2019). Environmental drivers of fire severity in extreme fire events that affect Mediterranean pine forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 433, 24–32. DOI: [10.1016/j.foreco.2018.10.051](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.051)
8. Harper, A. R., Doerr, S. H., Santin, C., Froyd, C. A., & Sinnadurai, P. (2018). Prescribed fire and its impacts on ecosystem services in the UK. *Science of the Total Environment*, 624, 691–703. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.12.161](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.161)
9. Chornohor, L. F., Nekos, A. N., Titenko, H. V., & Chornohor, L. L. (2021). Ecological Consequences of Large-Scale Forest Fires in Ukraine in Spring – Summer – Autumn 2020. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series “Ecology”*, 24, 79–90. DOI: [10.26565/1992-4259-2021-24-07](https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-07) [in Ukrainian]
10. Boer, M. M., Resco de Dios, V., & Bradstock, R. A. (2020). Unprecedented burn area of Australian mega forest fires. *Nature Climate Change*, 10, 171–172. DOI: [10.1038/s41558-020-0716-1](https://doi.org/10.1038/s41558-020-0716-1)
11. Buts, Yu. V. (2018). Features of geochemical migration of chemical elements after technogenic loading of pyrogenic nature. *Journal of Engineering Sciences*, 5(2), H1–H4. DOI: [10.21272/jes.2018.5\(2\).h1](https://doi.org/10.21272/jes.2018.5(2).h1)
12. Buts, Y., & Krainiuk, O. (2023). Technogenic and ecological aspects of pyrogenic influence on the environment. In N. Tikanashvili, G. Evgenidze, O. Batiuk, & Z. Smutchak (Eds.), *International security studios: managerial, economic, technical, legal, environmental, informative and psychological aspects. International collective monograph* (pp. 238–259). Georgian Aviation University. DOI: [10.5281/zenodo.7825520](https://doi.org/10.5281/zenodo.7825520) [in Ukrainian]
13. Sannigrahi, S., Pilla, F., & Basu, B. et al. (2020). Examining the effects of forest fire on terrestrial carbon emission and ecosystem production in India using remote sensing approaches. *Science of The Total Environment*, 725, 138331. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.138331](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138331)
14. Collins, L., Bradstock, R. A., Clarke, H., Clarke, M. F., Nolan, R. H., & Penman, T. D. (2021). The 2019/2020 mega-fires exposed Australian ecosystems to an unprecedented extent of high-severity fire. *Environmental Research Letters*, 16(4), 044029. DOI: [10.1088/1748-9326/abeb9e](https://doi.org/10.1088/1748-9326/abeb9e)
15. Certini, G., Moya, D., Lucas-Borja, M. E., & Mastrodonardo, G. (2021). The impact of fire on soil-dwelling biota: A review. *Forest Ecology and Management*, 488, 118989. DOI: [10.1016/j.foreco.2021.118989](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118989)
16. Künzli, N., Kaiser, R., & Medina, S. et al. (2000).

References

1. Muzyka, A. (2023, May 4). *Ukraine on fire: how massive forest fires affect the environment*. Pershyi Kryvorizkyi. Retrieved from <https://1kr.ua/ua/news-80275.html> [in Ukrainian]

Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *The Lancet*, 356(9232), 795–801. DOI: [10.1016/S0140-6736\(00\)02653-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02653-2)

17. Khabarov, N., Krasovskii, A., Obersteiner, M., Swart, R., Dosio, A., San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Camia, A., & Migliavacca, M. (2016). Forest fires and adaptation options in Europe. *Regional Environmental Change*, 16, 21–30. DOI: [10.1007/s10113-014-0621-0](https://doi.org/10.1007/s10113-014-0621-0)

18. Da Silva, S. S., Fearnside, P. M., De Alencastro Graça, P. M. L., Brown, I. F., Alencar, A., & De Melo, A. W. F. (2018). Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 424, 312–322. DOI: [10.1016/j.foreco.2018.04.041](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.041)

19. Pereira, P., Bašić, F., Bogunovic, I., & Barcelo, D. (2022). Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of The Total Environment*, 837, 155865. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.155865](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865)

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ф.В. Новіков, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна.

Автор: БУЦЮРІЙ Васильович
доктор технічних наук, професор
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – butsyura@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0450-2617>

Автор: КРАЙНЮК Олена Володимирівна
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – alenuvarova@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9524-040X>

Автор: СЕНЧИХІН Юрій Миколайович
кандидат технічних наук, професор
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – syn112@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5983-2747>

Автор: БАРБАШИН Віталій Валерійович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – barbachyn@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3262-8305>

Автор: ТРІШИНА Олена Олексіївна
Харківський ліцей № 163 Харківської міської ради
E-mail – elena.trishyna78@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1181-194X>

IMPACT OF HAZARDOUS TOXIC FACTORS OF FIRES DURING MILITARY ACTIONS ON ECOSYSTEMS AND POPULATION LIFE ACTIVITIES

Yu. Buts¹, O. Krainiuk¹, Yu. Senchykhin², V. Barbashyn³, O. Trishyna⁴

¹Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

²National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

³O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

⁴Municipal Institution “Kharkiv Lyceum № 163 of the Kharkiv City Council”, Ukraine

It has been analysed that wildfires are the most influential factor in environmental pollution. The ecological consequences of wildfires consist primarily of atmospheric air pollution with carbon monoxide, products of combustion of combustible materials, and the burning of oxygen. Plant combustion also contributes significantly to planetary environmental changes: climate warming, ozone depletion, acid rain, chemical and radioactive pollution of the atmosphere, water, and soil. With wildfires, soot particles, that is, carbon and products of incomplete combustion of wood, enter the air.

Smoke, which is formed during fires, explosions, ignitions, etc., during the combustion of plant biomass (grasses, leaves from trees and shrubs, mosses, lichens, peatlands, forest litter and needles), is an aerosol-gas mixture containing hazardous substances dangerous to the environment and humans. Biomass burning is a global source of gas and dust pollution of the atmosphere and is considered one of the determining factors of ecotoxicological risks for public health. The negative impact of fires from military actions on the human body is acute and delayed. Acute exposure leads to hypoxia due to carbon oxides, increased consumption of oxygen from the air during combustion, irritation of the respiratory tract, and difficulty breathing. Delayed exposure is due to toxic, mutagenic, and carcinogenic effects.

The toxic impact of fires on the life and health of the population is not only a threat to life but also an adverse effect on human organisms of heavy compounds of chemical substances represented by the combustion products of plant biomass of forests, peatlands, vast agricultural lands, including crop rotations and pastures. Often, this impact occurs in combination with typical atmospheric air pollution: emissions from industrial enterprises and motor vehicles. The peculiarity of such a combination is the complex synergistic effects of chemical compounds and high air temperature with significant relative duration (decades, months) of emergency environmental situations.

Keywords: toxic factors, fires, ecosystem, human activity.