

УДК 614.4:613.6

Ігор ХУДЕЦЬКИЙ

доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри біобезпеки та здоров'я людини, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Берестейський, 37, м. Київ, Україна, 03056; провідний науковий співробітник, Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона Національної академії наук України, вул. Казимира Малевича, 11, м. Київ, Україна, 03650 (igorkhudetsky@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-0815-6950

Юлія АНТОНОВА-РАФІ

кандидат технічних наук, доцент кафедри біобезпеки та здоров'я людини Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Берестейський, 37, м. Київ, Україна, 03056; старший науковий співробітник, Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона Національної академії наук України, вул. Казимира Малевича, 11, м. Київ, Україна, 03650 (antonova-raft@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-9518-4492

DOI 10.32782/2522-9680-2023-2-37

Бібліографічний опис статті: Худецький І., Антонова-Рафі Ю. (2023). Вплив людини та змін у природі на біологічну безпеку (огляд проблеми). *Фітотерапія. Часопис*, 2, 26–34, doi 10.32782/2522-9680-2023-2-37

ВПЛИВ ЛЮДИНИ ТА ЗМІН У ПРИРОДІ НА БІОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ (ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ)

Актуальність. Історія людства як біологічного виду та історія людини розумної значною мірою пов'язані з патогенними біологічними агентами (ПБА). Лікування пацієнтів з інфекційними захворюваннями, захист людей під час пандемії також тісно пов'язані з новими технологіями. Двадцять перше століття відзначається бурхливим розвитком біотехнологій та генної інженерії, які можуть мати вирішальне значення у лікуванні багатьох хвороб та надати небезпечний поштовх розвитку нових видів біологічних патогенних агентів (БПА). Пандемія COVID-19 продемонструвала величезний вплив, який може мати на суспільство один БПА, щодо природного походження котрого експерти не дали остаточної однозначної відповіді. Небезпека розроблення нових видів БПА зростає з розвитком біотехнологій. Постіндустріальна епоха створює загрозу нових вірусів або хвороб, поява яких може бути спровокована сільськогосподарським чи промисловим освоєнням нових територій. А глобальні системи комунікації сприяють майже миттєвому поширенню небезпечних інфекцій. Останні досягнення у галузі біохімії, генетики та молекулярної біології зробили можливим створення живих організмів.

Патогенні мікроорганізми, хоча це лише незначна частина світу мікроорганізмів, представляють велику загрозу для здоров'я людей, тварин або сільського господарства. Вони можуть спричинити хвороби із серйозними наслідками для популяції людей, економічними та екологічними наслідками.

Зміни оточуючого середовища призводять до активізації адаптивних процесів, які, своєю чергою, призводять до набуття БА нових властивостей. Ці нові властивості можуть бути як корисними, так і вкрай небезпечними для людини.

Територія України за своїми географічними, кліматичними, флорофауністичними характеристиками є адекватною для формування екологічних комплексів за участі різноманітних видів птахів та тварин (як резервуарів збудників), а також широкого спектра векторів, які беруть участь у передачі збудників інфекцій.

Україна розташована в межах міжнародних трансконтинентальних коридорів перелітних птахів, чим зумовлена циркуляція низки БПА.

Мета дослідження – проаналізувати сучасні біологічні загрози, шляхи їх подолання в умовах природних змін, діяльності людини та вплив цієї діяльності на природу і біологічну безпеку.

Матеріали та методи дослідження. У роботі використано аналітичні матеріали та публікації провідних фахівців із біобезпеки, нормативно-правові акти, доповіді національних та міжнародних агенцій.

У статті реалізовано методи системного підходу, бібліосемантичний та аналітичний.

Результати. Проаналізовано сучасні біологічні загрози, шляхи їх подолання в умовах природних змін, діяльності людини та вплив цієї діяльності на природу і біологічну безпеку.

Висновки. Знання про можливі шляхи розвитку біологічних загроз природного та техногенного походження дають змогу вибудовувати систему біобезпеки та біозахисту в кожній країні зокрема та на планеті у цілому.

Зважаючи на складність та міждисциплінарність структури та функціонування системи біобезпеки та біозахисту, незмінним елементом протягом усього технологічного ланцюжка системи біобезпеки – від виникнення біологічної загрози, ідентифікації біологічного агента аж до лікування та усунення біологічної загрози – є поєднання можливостей системи охорони здоров'я, біотехнологій, засобів біомедичної інженерії та законодавчого регулювання у сфері біобезпеки.

Ключові слова: біологічні патогенні агенти, емерджентні та реемерджентні інфекції, біобезпека, біозахист.

Ihor KHUDETSKYI

Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Biosafety and Human Health, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Beresteyskyi avenue, 37, Kyiv, Ukraine, 03056; Leading Researcher, E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kazimyr Malevich str., 11, Kyiv, Ukraine, 03650 (igorkhudetskyy@gmail.com)
ORCID: 0000-0003-0815-6950

Juliia ANTONOVA-RAFI

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Biosafety and Human Health, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Beresteyskyi avenue, 37, Kyiv, Ukraine, 03056; Senior Researcher, E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kazimyr Malevich str., 11, Kyiv, Ukraine, 03650 (antonova-rafi@ukr.net)
ORCID: 0000-0002-9518-4492

DOI 10.32782/2522-9680-2023-2-37

Bibliographic description of the article: Khudetsky I., Antonova-Rafi Yu. (2023). Vplyv liudyny ta zmin u pryrodni na biolohichnu bezpeku (ohliad problemy) [The influence of man and changes in nature on biological safety (overview of the problem)]. *Fitoterapiia. Chasopys – Phytotherapy. Journal*, 2, 26–34, doi 10.32782/2522-9680-2023-2-37

**HUMAN INFLUENCE AND CHANGES IN NATURE ON BIOLOGICAL SECURITY
(OVERVIEW OF THE PROBLEM)**

Actuality. The history of mankind as a biological species and the history of intelligent man is largely connected with pathogenic biological agents (PBAs). Treatment of patients with infectious diseases, protection of people during pandemics are also closely related to new technologies. The twenty-first century is characterized by the rapid development of biotechnology and genetic engineering, which can be crucial in the treatment of many diseases and give a dangerous impetus to the development of new types of biological pathogenic agents (BPAs). The COVID-19 pandemic has demonstrated the enormous impact that a single BPA can have on society, regarding the natural origin of which experts have not given a final, unequivocal answer. The danger of developing new types of BPA increases with the development of biotechnology. The post-industrial era creates a threat of new viruses or diseases, the appearance of which can be provoked by the agricultural or industrial development of new territories. And global communication systems contribute to the almost instantaneous spread of dangerous infections. Recent advances in biochemistry, genetics, and molecular biology have made it possible to create living organisms.

Pathogenic microorganisms, although they represent only a small part of the microbial world, represent a major threat to human, animal, or agricultural health. They can cause diseases with serious human population, economic and environmental consequences.

The purpose of the research is to analyze modern biological threats, ways to overcome them in the conditions of natural changes, human activity and the impact of this activity on nature and biological safety.

Material and methods. Changes in the surrounding environment lead to the activation of adaptive processes, which in turn lead to the acquisition of BA new properties. These new properties can be both useful and extremely dangerous for humans.

The territory of Ukraine due to its geographical, climatic and flora-faunistic characteristics is adequate for the formation of ecological complexes with the participation of various species of birds and animals (as reservoirs of pathogens), as well as a wide range of vectors involved in the transmission of infectious agents.

Ukraine is located within the international transcontinental corridors of migratory birds, which determines the circulation of a number of BPA.

Research results. The work analyzes modern biological threats, ways to overcome them in the conditions of natural changes, human activity and the impact of this activity on nature and biological safety.

Conclusions. Knowledge about the possible ways of development of biological threats of natural and man-made origin allows to build a system of biosafety and bioprotection in each country in particular and on the planet as a whole.

Considering the complexity and interdisciplinary nature of the structure and functioning of the biosafety and biodefense system, an invariable element throughout the entire technological chain of the biosafety system, from the emergence of a biological threat, the identification of a biological agent to the treatment and elimination of a biological threat, is the combination of the capabilities of the health care system, biotechnology, biomedical engineering and legislative regulation in the field of biosafety.

Key words: biological pathogenic agents, emergent and re-emergent infections, biosafety, bioprotection.

Вступ. Біобезпека та біозахист – багатогранна міжгалузєва проблема. У структурі біологічних загроз сьогодні розглядають біозагрози природного походження та біозагрози, спричинені людьми, які можуть бути причиною пандемій, формувати стійкі

вогнища інфекції, застосовуватись як зброя для війни, терористичних актів та диверсій. Це події, які можуть знищити досягнення у сфері сталого розвитку та глобального здоров'я через їхній потенціал спричинити національну та регіональну нестабіль-

ність, глобальні економічні наслідки та поширену захворюваність і смертність (Monica Schoch-Spana, 2017, pp. 323–328).

Розвиток людства тісно пов'язаний із загрозами та реакцією суспільства на ці загрози. Серед загроз, яким протидіє людство, як правило, виділяють фізичні, хімічні та біологічні загрози. Країни світу спільно вибудовують стратегію реагування на існуючі та потенційні загрози. Заходи з протидії таким загрозам реалізуються як на міжнародному рівні, так і кожною країною окремо з урахуванням наявних економічних, матеріально-технічних, наукових, інформаційних, людських та інших ресурсів. Біологічні загрози посідають важливе місце у цьому переліку та мають низку особливостей. Біологічна небезпека відрізняється від усіх інших видів небезпеки тим, що біологічні агенти можуть рости і розмножуватися в організмі господаря.

Історія людства як біологічного виду та історія людини розумної значною мірою пов'язані із взаємодією людини та природи.

Людина є складовою частиною природи й активно взаємодіє з нею, зазнаючи постійного впливу, та активно впливає на неї. Кожен організм у навколишньому середовищі може одночасно чи послідовно зазнавати впливу чинників живої та неживої природи, а також впливу факторів антропогенного походження.

Як відомо, у своїй історії людство пережило щонайменше 17 відомих пандемій, які сумарно, за різними оцінками, спричинили від 300 до 500 млн смертей (Past pandemics, 2005; Shubhadeep Roychoudhury, 2020), мали істотний вплив на суспільно-економічний стан суспільства та призвели до соціальних потрясінь, війн, тотального терору, занепаду міст, держав та цивілізацій. До списку біологічних патогенних агентів (БПА), які були чи потенційно можуть стати причиною пандемій, можна віднести збудників чуми, холери, лихоманки денге, грипу, тифу, віспи, кору, туберкульозу, малярії, жовтої лихоманки, коронавірусу та багатьох інших.

Існують різні підходи до класифікації небезпечних біологічних агентів. Сьогодні у структурі біозагроз прийнято виділяти дві великі категорії: біозагрози природного походження та біозагрози, спричинені людьми (Alessandra Sensi, 2011).

1. Ризики природного походження включають:

- появу стійких до антибіотиків бактеріальних інфекцій (туберкульоз, пневмонія);
- природні емерджентні патогени, що пов'язують із промисловим чи сільськогосподарським осво-

єнням нових територій, ареалів нових небезпечних БПА (мавпяча віспа, Ебола, лихоманка Ласса);

- поширення зоонозів, тобто інфікованих популяцій тварин, які передають захворювання людині через прямий контакт, харчові продукти або воду;
- токсини як продукт життєдіяльності низки БПА (дезоксиніваленол, афлатоксини, охратоксин);
- спалахи паразитарних інфекцій людини;
- інвазивні чужорідні види (рослини, тварини і мікроорганізми).

2. Спричинені людиною або пов'язані з нею біологічні ризики можна додатково поділити на:

- навмисно індуковані ризики, такі як використання шкідливих біологічних агентів у військових, терористичних чи економічних цілях;
- біотехнологічні ризики отримання неконтрольованих небезпечних мутацій, як небажаний побічний результат традиційного схрещування, селекції, сучасних промислових і харчових біотехнологій.

Переважає більшість біологічних агентів (БА) нешкідливі, а багато з них корисні. Непатогенні мікроорганізми мають велике значення у природних процесах: вони є важливою ланкою в обміні речовин у екосистемах, узагалі виконуючи роль редуцентів. Вони беруть участь у кругообігу сірки, заліза та інших елементів, здійснюють розкладання речовин тваринного і рослинного походження, забезпечують самоочищення води у водоймах, беруть участь у збагаченні ґрунту азотом, використовуються людиною у хімічній, медичній промисловості, під час виробництва харчових продуктів. Але сотні видів мікроорганізмів, які живуть колоніально, на жаль, через відсутність охорони вже втрачені для біорізноманіття України, що може мати негативні наслідки для наукових досліджень, розвитку сільського, лісового господарства, фармацевтики, захисту навколишнього середовища (Poiasniuvaina zapyska, 2002). Деякі властивості непатогенних БА використовуються у біотехнології для отримання метаболітів або ферментів. Непатогенні БА також використовуються для захисту від хвороб (біоконтроль та біодобрива у сільському господарстві, пробіотики), для відновлення забруднених ділянок (біоремедіація) або в харчових процесах (бродиння). Разом із тим навіть корисні непатогенні агенти під впливом інших компонентів технологічного процесу чи свідомої трансформації людиною з метою підвищення корисних властивостей можуть набути патогенних властивостей.

Мега дослідження – проаналізувати сучасні біологічні загрози, шляхи їх подолання в умовах природних зміни, діяльності людини та вплив цієї діяльності на природу і біологічну безпеку.

Матеріали та методи дослідження. У роботі використано аналітичні матеріали та публікації провідних фахівців із біобезпеки, нормативно-правові акти, доповіді національних та міжнародних агенцій, а також реалізовано методи системного підходу, бібліосемантичний та аналітичний.

Результати дослідження та їх обговорення. Патогенні мікроорганізми, хоча це лише незначна частина світу мікроорганізмів, є великою загрозою для здоров'я людей, тварин або сільського господарства. Вони можуть спричинити хвороби із серйозними наслідками для популяції людей, економічними та екологічними наслідками.

Із практичного погляду патогенність, або вірулентність, – це здатність деяких мікроорганізмів викликати хвороби. Однак мікробіологи визнають, що патогенність є різновидом універсальності та спеціалізації, що дає змогу певним мікроорганізмам розмножуватися у межах певного господаря (людина, тварина, рослина) та пошкоджувати клітини господаря чи певного середовища. Трансформоване таким чином середовище може бути корисним чи шкідливим для людини. Наприклад, бродильні процеси грибків у пекарських технологіях чи псування нафтопродуктів. Хоча клітинне пошкодження клінічно неочевидне у багатьох випадках, значна частина заражених господарів має ознаки захворювання або врешті-решт гине.

Зважаючи на те, що інфекційний процес – це боротьба між двома організмами, повна загибель усіх інфікованих організмів спричинить загибель і самого виду біологічного патологенного агента. Тому в природі не існує абсолютно смертельних БПА, які викликають 100% загибель усіх заражених організмів. Справедливим також є твердження про те, що немає абсолютно безпечних БА. Зміни оточуючого середовища призводять до активізації адаптивних процесів, які, своєю чергою, призводять до набуття БА нових властивостей. Ці нові властивості можуть бути як корисними, так і вкрай небезпечними для людини.

Результат зараження залежить від властивостей збудника (вірулентність, інвазивність, токсичний або алергенний вплив), а також від стану імунітету організму господаря. Із цього погляду патогени поділяються на два основні типи: первинні патогени, які викликають захворювання серед принаймні частини здорових особин, та умовно-патогенні мікроорганізми, які викликають захворювання лише у осіб з ослабленим з певних причин імунним захистом.

Рівень та особливість біозагроз часто пов'язані з певними територіями чи кліматичними зонами, які

характеризуються певними ендемічними інфекційними захворюваннями. В Україні найактуальнішими серед трансмісивних природно-вогнищевих хвороб вважаються: туляремія, лептоспіроз, арбовірусні інфекції, орнітоз, хвороба Лайма (бореліоз), кліщовий енцефаліт, ерліхіозом, які мають певне розповсюдження серед птахів, тварин та людей.

Україна розташована в межах міжнародних трансконтинентальних коридорів перелітних птахів, чим зумовлена циркуляція гарячки Західного Нілу (ГЗН) на теренах нашої держави (Vynohrad, 1982). Існування природних осередків ГЗН у нашій державі підтверджено на території Північно-Західного Причорномор'я (АР Крим, Одеська, Миколаївська та Херсонська області), а також у східних і західних областях (Rusev, 2011). Потенційну загрозу в Україні становлять також понад 13,5 тис осередків, де може виникнути захворювання на сибірку, оскільки існують могильники, де було поховано хвору худобу (UNN, 2018). Щорічно в країні фіксуються поодинокі випадки захворювання тварин та людей (MOZ INFO, 2020). Глобальні зміни мікроклімату та міграційні процеси створюють ризики формування нових ендемічних вогнищ.

Біологічні патогенні агенти – патогенні для людини мікроорганізми (бактерії, віруси, хламідії, рикетсії, найпростіші, гриби, мікоплазми), генно-інженерно-модифіковані мікроорганізми, отрути біологічного походження (токсини), гельмінти, а також будь-які об'єкти і матеріали (включаючи польовий, клінічний, секційний), підозрілі на вміст перерахованих агентів (Holubnycha, 2016). Вони широко культивуються та вивчаються з кінця минулого століття (ізоляція чистих культур).

Одним із сумних наслідків роботи з етіологічними агентами є зараження лабораторно-асоційованою інфекцією (ЛАІ). Такі випадки зараження задокументовані ще у 1890-х роках, і їх кількість продовжує збільшуватися. Працівники лабораторій мають більш високі ризики зараження певними агентами (наприклад, *Mycobacterium tuberculosis*, *Brucella*, вірусом гепатиту В), аніж загальна популяція. Водночас лабораторії та виробництва, у яких працюють із різноманітними біологічними агентами, у тому числі з мікроорганізмами, які можуть виступати патогенами, вважаються зонами найбільш високого біоризику – і для кожної людини, і для всього людства. Однак історія людства була відносно вільною від масштабних катастроф на об'єктах БПА на відміну від хімічних чи радіоактивних аварій із численними жертвами і довготривалою небезпекою для здоров'я людей та екології.

Мікробіологічні лабораторії та виробництва вважаються зонами найбільш високого біоризику. Інфікування осіб під час роботи з мікроорганізмами у лабораторіях відзначається впродовж усього періоду існування мікробіології та розглядається як беззаперечне підтвердження професійної небезпеки.

Хрестоматійний перший випадок лабораторно інфікування дослідників (черевним тифом) було задокументовано у 1885 р., а інформацію про нього було опубліковано у 1915 р. R. Pike проаналізував 3 921 випадок інфікувань у лабораторіях, які сталися у 1930–1974 рр. у США та деяких європейських країнах. Виявилось, що лабораторні інфекції були викликані більше ніж 160 видами мікроорганізмів, серед яких переважали бактерії. Відзначається висока летальність при внутрішньолaboratorному інфікуванні збудниками гепатиту В – 71%, чуми – 40%, холери – 33%, жовтої лихоманки – 22%, плямистої лихоманки Скелястих гір – 18%, лептоспірозу – 15%. Найчастіше інфікування відбувається у разі аварії під час роботи з мікроорганізмами (17,9%), під час інфікування та розтину інфікованих лабораторних тварин (16,9%), при виникненні бактеріального аерозолі під час центрифугування або деструкції клітин (13,6%), а також через нез'ясовані причини (20,0%).

Серед нещодавно задокументованих внутрішньолaboratorних інфікувань у літературі (Holubnycha, 2016; Smith, 2010; WHO/HSE/GAR/BDP, 2010; Miller, 2007; Biosafety in Microbiological, 2020) ми натрапили на повідомлення про такі випадки:

- спалах внутрішньолaboratorної інфекції SARS у Китаї у березні – квітні 2004 р. Причиною спалаху стала невдала або незавершена інактивація SARS-коронавірусу, що в результаті призвело до дев'яти випадків інфікування. Під час серологічного аналізу персоналу лабораторії виявили ще три випадки із серологічною конверсією;

- спалах ящуру в селі на південному заході від Лондона у серпні 2007 р., який поширився на декілька сіл графства Суррей. Причиною спалаху стало забруднення стічних вод у будівлі, де виробляли інактивовану вакцину проти ящуру (компанія «Мюрієл»). Після цього ґрунт із вірусом було рознесено колесами вантажівок у навколишні села. Збитки становили кілька десятків мільйонів фунтів стерлінгів, окрім того, було заборонено експорт м'ясопродуктів із Великобританії на кілька місяців;

- було зареєстровано у США в 2005–2007 рр. п'ять випадків вірусу коров'ячої віспи у науково-дослідних лабораторіях, які сталися після розбрикування зі шприца під час здійснення ін'єкції мишам;

- два випадки бруцельозу в клінічних лабораторіях, які виникли після роботи зі збудником за межами боксів; 21 випадок сальмонельозу в лабораторії з виробництва вакцин після того, як була розлита висококонцентрована суспензія мікроорганізмів;

- у США стався у 2012 р. один випадок менінгококового менінгіту в науково-дослідницькій лабораторії у невакцинованого співробітника, який загинув через дві доби після появи симптомів;

- одними з найбільш небезпечних внутрішньолaboratorних інфікувань стали випадки зараження вірусом Ебола у 2004 р. у Форті Детрик, штат Меріленд (США), відбулося поранення голкою (працівник видужав), та у Державному дослідницькому центрі вірусології та біотехнології «Вектор» (Кольцово, РФ) також відбулося поранення голкою, але людина загинула;

- описано спалахи захворювань натуральною віспою у Великій Британії (1979 р.) та ФРН (1980 р.); туберкульозу – у США (1980 р.); лихоманки Ку – у США та ФРН (1982 р.). Більшість із них пов'язана з винесенням інфекційного збудника за межі лабораторій та захворюванням осіб, які не мають безпосереднього відношення до експериментальних досліджень.

Ба більше, в уражених БПА можуть виникати вторинні асоційовані чи неасоційовані інфекції, які призводять до летальних наслідків або інвалідності. Найбільш відомі – ВІЛ-асоційовані інфекції (Klinichniy protocol, 2003; Bruchfeld, 2017; Tenforde, 2018).

Для усунення ризиків, пов'язаних із безпекою, та ризиків нещасних випадків необхідно розробляти та суворо дотримуватися правил безпечного поводження з небезпечними лабораторними патогенами й токсинами для запобігання їх випадковому поширенню у довкіллі та несанкціонованому доступу до них.

Розвиток надзвичайної ситуації тісно пов'язаний із цілою низкою характеристик біологічного агента. Перш за все враховуються здатність інфікувати і спричиняти захворювання, вірулентність, тяжкість захворювання, наявність профілактичних заходів та ефективних способів лікування. Тобто характеризується небезпечністю для людини біологічного агента, здатністю до поширення та масштабами ураження. Небезпека для людини може бути прямою чи опосередкованою – через вплив на сільське господарство, промисловість, довкілля – усього, що забезпечує життя та існування людини.

Одним із найбільш корисних інструментів, доступних для проведення оцінки мікробіологічного

ризик, є перелік груп ризику, пов'язаний із мікробіологічними агентами. Виходячи з міжнародної класифікації мікроорганізмів за групами ризику, які враховують небезпечність (новизну та патогенність) біологічного агента, джерела та шляхи передачі інфекції, доступність, доведено ефективність заходів профілактики та лікування, присутність у довкіллі відповідних організмів-господарів.

Експерти ВООЗ сформулювали набір мінімальних стандартів лабораторної безпеки, складених у Посібнику з лабораторної біобезпеки. Цей Посібник періодично переглядався, остання версія була опублікована в 2003 р. (WHO/CDS/CSR/LYO/2004.11, 2004). Посібник включає визначення чотирьох груп ризику, заснованих на відносній небезпеці зараження мікроорганізмами для працівників лабораторій, громад, худоби та навколишнього середовища. Хоча жодного списку збудників інфекції не надано, ВООЗ рекомендує кожній країні скласти власну класифікацію збудників, які зустрічаються у цій країні, за низкою чинників. Перш за все, це патогенність агента.

Важливими є режим передачі та діапазон організмів-господарів БПА. На них можуть впливати існуючі рівні імунітету, щільність та переміщення популяції господаря, наявність відповідних поєднань окремих чинників та обставин, стандарти гігієни в суспільстві та стан навколишнього середовища.

Не менш важливим для формування класифікації та системи біобезпеки є наявність ефективних профілактичних заходів. Такі заходи можуть включати: профілактику вакцинацією або антисироватками; санітарні заходи, наприклад гігієна харчування та води; контроль водойм для тварин або контроль членистоногих як ланки епідпроцесу; пересування людей або тварин; імпорт заражених тварин або продуктів тваринного походження.

Потрібно також урахувати наявність ефективного лікування. Це включає пасивну імунізацію та вакцинацію після експозиції, антибіотики та хімотерапевтичні засоби, беручи до уваги можливість появи стійких штамів.

За наявною міжнародною класифікацією усі відомі мікроорганізми поділяють на чотири групи:

- група ризику 1 (дуже низький або зовсім відсутній індивідуальний і суспільний ризик) об'єднує мікроорганізми, які не можуть спричинити захворювання у людини або тварини через відсутність патогенності. Наприклад: *Bacillus subtilis*, *Naegleria gruberi*, вірус собачого гепатиту та ін.;

- група ризику 2 (помірний індивідуальний ризик, низький суспільний ризик) об'єднує біологічні агенти, які можуть бути причиною інфікування

людини або тварини, але навряд чи будуть становити серйозну небезпеку для дослідників, які працюють у лабораторії, суспільства, свійської худоби або оточуючого середовища. При цьому для таких мікроорганізмів існують методи профілактики та лікування, які ефективно запобігають ризику поширення таких захворювань у популяції. Наприклад: *Salmonella* spp., *Toxoplasma* spp., збудник гепатиту В та кору;

- група ризику 3 (високий індивідуальний ризик, низький суспільний ризик) включає у себе патогенні організми, які, як правило, стають причиною серйозних захворювань людини або тварини, але хвороба однієї особи не інфікує іншу. При цьому повинні існувати способи ефективного лікування та профілактики хвороби, викликані представниками цієї групи. Наприклад: *M. tuberculosis*, *Coxiella burnetii*;

- група ризику 4 (високий індивідуальний і суспільний ризик) об'єднує мікроорганізми, які мають здатність викликати серйозні захворювання людей або тварин, при цьому вони активно розповсюджуються від інфікованої людини до здорової прямо чи опосередковано. Методи ефективного лікування та превентивні заходи, як правило, недоступні. Наприклад: вірус лихоманки Ебола, вірус лихоманки РіфтВаллі.

Експерти Європейської федерації біотехнологій додатково до чотирьох класів ризику для лабораторного працівника та для населення представила нову групу, яка називається Група Е. Вона об'єднує мікроорганізми, які є більш серйозною загрозою для навколишнього середовища, ніж для людини. До цієї нової групи входять патогени рослин та деякі хвороби тварин, які можуть спричинити великі економічні втрати (наприклад, віруси ящуру, *Ralstonia solanacearum*) і цим самим опосередковано створюють небезпеку для людини. Європейська федерація біотехнологій зробила класифікаційні таблиці, проаналізувавши різні існуючі списки патогенних мікроорганізмів людини, у тому числі списки Європейського комітету зі стандартизації та Американської асоціації біологічної безпеки (Frommer, 1989; Yevropeiskyi komitet, 1996).

Виходячи із зазначеного вище, можна стверджувати про постійне розширення кола небезпечних БПА (postanova КМУ, 2019; Khudetskyu, 2021; Zadorozhna, 2014). З одного боку, це пов'язано з їх постійною присутністю та еволюційним зв'язком зі змінами природи, з іншого – розвитком людини як виду. Біозагрози змінюються і часто викликають надзвичайні ситуації з непередбачуваним розвитком. Людство та система біобезпеки та біозахисту

регулярно стикаються з емерджентними (новими) та реемерджентними (відомими, які набули нового епідемічного потенціалу) збудниками та створюють надзвичайні ситуації регіонального та світового масштабів (Zadorozhna, 2014). До них можна віднести пташині віруси грипу А(Н5N1) (1997 р.), А(Н9N2) (1999), А(Н7N7) (2003), А(Н7N3) (2004), А(Н7N9) А(Н10N8) (2013 р.), вірус пандемічного грипу А(Н1N1) pdm 09 (2009 р.), коронавіруси (віруси SARS, 2002 р., близькосхідного респіраторного синдрому MERS-coV, 2012 р., COVID-19) тощо.

Поява кожного емерджентного збудника розглядається як надзвичайна ситуація у світовому масштабі, оскільки на той момент невідомими є наслідки функціонування нової паразитарної системи для здоров'я людства та глобальної стабільності. Не менше занепокоєння викликають збудники інфекційних хвороб, які давно відомі, але раніше не мали такого епідемічного потенціалу (ентеровірус типу 71, вірус Ебола) (Biosecurity, 2009) та/або тяжкого перебігу з появою нових клінічних форм, із підвищенням летальності або подальшої інвалідності (ентеровірус типу 68), що пов'язано зі змінами в мікроорганізмі у процесі їх еволюції у тісній взаємодії з людиною безпосередньо чи опосередковано через свійських чи інших тварин, із якими людина знаходиться в постійному чи регулярному контакті. Виникнення емерджентних та реемерджентних БПА може бути спричинене природними та антропогенними чинниками.

Зміни оточуючого середовища призводять до активізації адаптивних процесів, які, своєю чергою, призводять до набуття БА нових властивостей. Ці нові властивості можуть бути як корисними, так і вкрай небезпечними для людини.

Територія України за своїми географічними, кліматичними, флорофауністичними характеристиками є адекватною для формування екологічних комплексів за участі різноманітних видів птахів та тварин (як резервуарів збудників), а також широкого спектру векторів, які беруть участь у передачі збудників інфекцій.

Україна розташована в межах міжнародних трансконтинентальних коридорів перелітних птахів, чим зумовлена циркуляція низки БПА.

Глобальне потепління, танення льодовиків щорічно дають людству нові-старі форми небезпечних біологічних агентів, із якими людство не стикалося десятки чи сотні тисяч років. Не менші загрози несе

освоєння нових територій, які раніше були закритими екосистемами, з обмеженою циркуляцією небезпечних збудників із подальшим проривом міжвидових бар'єрів (Gao, 1999; Keele, 2006; Worobey, 2008).

Цілу низку біозагроз породжено людиною, тому виникнення надзвичайних ситуацій, епідемій та пандемій викликано саме діями конкретної людини чи групи людей ненавмисно чи свідомо (генна інженерія та генномодифіковані організми, біологічна та токсична зброя, біотероризм, лабораторні інциденти та витоки біологічних агентів).

Подібних негативних наслідків та впливів із погляду біобезпеки загалом і розвитку епідемічної ситуації зокрема зазнав такий чинник, як передача інфекції. Глобалізація, урбанізація, туризм та виробнича мобільність населення, розвиток транспортних технологій сприяють швидкому міжнародному поширенню інфекцій. Так, тільки авіаперевезення становлять понад 2 млрд пасажирів на рік, охоплюючи всі континенти (DSNS, 2016; VOZ, 2007; Serheieva, 2016; Komisarenko, 2016).

Ще однією негативною тенденцією у питаннях біобезпеки є формування так званих лікарняних штамів інфекцій, резистентних до традиційних лікарських засобів.

Важливим елементом біобезпеки та біозахисту від відомих емерджентних та реемерджентних небезпечних біологічних агентів є можливість своєчасного їх виявлення та ідентифікації.

Результати. У роботі проаналізовано сучасні біологічні загрози, шляхи їх подолання в умовах природних зміни, діяльності людини та вплив цієї діяльності на природу і біологічну безпеку.

Висновки. Знання про можливі шляхи розвитку біологічних загроз природного та техногенного походження дає змогу вибудовувати систему біобезпеки та біозахисту в кожній країні зокрема та на планеті загалом.

Зважаючи на складність та міждисциплінарність структури та функціонування системи біобезпеки та біозахисту, незмінним елементом протягом усього технологічного ланцюжка системи біобезпеки – від виникнення біологічної загрози, ідентифікації біологічного агента аж до лікування та усунення біологічної загрози – є поєднання можливостей системи охорони здоров'я, біотехнологій, засобів біомедицинської інженерії та законодавчого регулювання у сфері біобезпеки.

ЛІТЕРАТУРА

- Alessandra Sensi, Oliver Brandenburg, Kakoli Ghosh, Andrea Sonnino Biosafety Resource Book. Module C. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, (2011), 81 p. <http://www.fao.org/3/i1905e/i1905e02.pdf>
Analitichnyi ohliad stanu tekhnohennoi ta pryrodnoi bezpeky v Ukraini za 2015 rik. – Kyiv : DSNS, 2016. – 356 s. (Ukr)

Biosecurity in the Time of Ebola <https://2009-2017.state.gov/t/us/2015/237560.htm>

Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories 6th Edition Centers for Disease Control and Prevention National Institutes of Health Revised June 2020 – 604p. [https://www.cdc.gov/labs/pdf/CDC-Biosafety Microbiological Biomedical Laboratories-2020-P.pdf](https://www.cdc.gov/labs/pdf/CDC-Biosafety%20Microbiological%20Biomedical%20Laboratories-2020-P.pdf)

Bruchfeld J, Correia-Neves M, Källénus G (February 2015). «Tuberculosis and HIV Coinfection». *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*. 5 (7): a017871. doi:10.1101/cshperspect.a017871. PMC4484961. PMID25722472

Bolee bezopasnoe budushchee: hlobalnaia bezopasnost v oblasti obshchestvennogo zdavookhraneniya v XXI veke (2007) : Doklad o sostoianii zdavookhraneniya v myre, 2007 h. – Zheneva : VOZ – 69 s. (Ru)

Four Decades: Pathophysiology, Health Impacts and Perspectives». *International J. of Environmental Research and Public Health*. 17 (24): 9411. doi:10.3390/ijerph17249411.

Frommer V., (1989) WP Bezpeka v biotekhnolohiiakh Yevropeiskoi federatsii biotekhnolohii, bezpechna biotekhnolohiiia – 3. Zakhody bezpeky pry povodzhenni z mikroorhanizmy riznoho ryzyku klasy Appl. Microbiol. Biotechnol. 30, 541-552, (Ukr)

Gao F, Bailes E, Robertson DL, et al.(February 1999). Origin of HIV-1 in the chimpanzee Pan troglodytes troglodytes. *Nature* 397 (6718): 436–41. doi:10.1038/17130

Holubnycha V. M. Biobezpeka ta biozakhyt u biolohichnykh laboratoriiakh 1-ho ta 2-ho rivniv biobezpeky : monohrafiia / V. M. Holubnycha, M. V. Pohorielov, V. V.

Izoliatsiia virusa Zakhidnogo Nilu v pivdennii Ukraini / Vynohrad I.A., Beletskaia H.V., Chumachenko S.S. [y dr.] // *Vopr. vyirus.* – 1982. – № 5. – 55-57s.

I. Khudetskyi, Yu. Antonova-Rafi, Yu. Danylenko, N. Khudetska (2021) Biolohichni patohenni ahenty henno-inzhenerenoho pokhodzhennia ta binarna biolohichna zbroia Biomedychna inzheneriia i tekhnolohiiia № 6 s. 152-160 DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-8974.2021.6.248309> (Ukr)

Korniienko. – Sumy : Sums'kyi derzhavnyi universytet, 2016. – 123 p. ISBN 978-966-657-629-6 (Ukr)

Klinichniy protokol likuvannia oportunistychnykh infektsii u khvorykh na VIL infektsiiu ta SNID rozrobleno na osnovi «Scaling up Antiretroviral Therapy in Resource Limited Settings». Guidelines for a public health approach. World Health Organization. June, 2002 ta «Consultation for the development of protocols for HIV care for Ukraine and other Commonwealth Independent States countries, WHO HQ, May 58, 2003». Zatverdzheno nakazom Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy № 580 vid 12.12.2003 r. «Pro udoskonalennia likuvannia khvorykh na VIL infektsiiu ta SNID».

Keele, B. F., van Heuverswyn, F., Li, Y. Y., Bailes, E., Takehisa, J., Santiago, M. L., Bibollet-Ruche, F., Chen, Y., Wain, L. V., Liegois, F., Loul, S., MpoudiNgole, E., Bienvenue, Y., Delaporte, E., Brookfield, J. F. Y., Sharp, P. M., Shaw, G. M., Peeters, M., and Hahn, B. H. (28 July 2006). Chimpanzee Reservoirs of Pandemic and Nonpandemic HIV-1. *Science* 313 (5786): 523–6. doi:10.1126/science.1126531

Komisarenko S. V. (2016) Biozahrozy i biobezpeka v zoni ATO ta za yii mezhamy / S. V. Komisarenko // *Medychne zabezpechennia antyterrorystychnoi operatsii: naukovo-orhanizatsiini ta medyko-sotsialni aspekty* : zb. nauk. statei / za zah. red. akademikiv NAN Ukrainy Tsymbaliuka V.I. i Serdiuka A.M. – Kyiv : DP «NVTs «Priorityty», – 315 s. (Ukr)

Monica Schoch-Spana, Anita Cicero, Amesh Adalja, Gigi Gronvall, Tara Kirk Sell, Diane Meyer, Jennifer B. Nuzzo, Sanjana Ravi, Matthew P. Shearer, Eric Toner, Crystal Watson, Matthew Watson, and Tom Inglesby. *Health Security*. Aug 2017. 323-328. <http://doi.org/10.1089/hs.2017.0038>

MOZ INFO: V Ukraini zafiksovano vypadok sybirky. Vohnyshche lokalizovano, nebezpeky rozpovsiudzhennia infektsii nemaie (2020) <https://moz.gov.ua/article/news/v-ukraini-zafiksovano-vipadok-sibirki-vognische-lokalizovano-nebezpeki-rozpovsiudzhennia-infektsii-nemae> (Ukr)

Miller S. Ethical and philosophical consideration of the dual-use dilemma in the biological science / S. Miller, M. Selgelid // *Science and engineering ethics*. – 2007. – № 13 (4). – P. 523–580.

Nakaz MOZ Ukrainy vid 24 sichnia 2008 roku N 26 Pro zatverdzhennia derzhavnykh sanitarnykh norm i pravyl «Orhanizatsiia roboty laboratorii pry doslidzhenni materialu, shcho mistyt biolohichni patohenni ahenty I – IV hrup patohennosti molekuliarno-henetychny metody» Dokument z0088-08, chynnyi, potochna redaktsiia – Pryiniattia vid 24.01.2008 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0088-08#Text> (Ukr)

Past pandemics that ravaged Europe. BBC News, 7 November. 2005 <http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/4381924.stm>

Poiasniuvalna zapyska do proektu Zakonu Ukrainy „Pro vnesennia zmin do Zakonu Ukrainy «Pro Chervonu knyhu Ukrainy» (shchodo posyleniia okhorony ridkisykh vydiv tvaryn i roslyn) (2002) <http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc34?id=&pf3511=37832&pf35401=211911> (Ukr)

Roychoudhury, Shubhadeep; Das, Anandan; Sengupta, Pallav; Dutta, Sulagna; Roychoudhury, Shatabhisha; Choudhury, Arun Paul; Ahmed, A. B. Fuzayel; Bhattacharjee, Saumendra; Slama, Petr (January 2020). «Viral Pandemic soft he Last

Rusev Y.T. Ekoloho faunistychni peredumovy tsyrkuliatsii arbovirusiv v Pivnichno-Zakhidnomu Prychornomori / I.T. Rusev, V.N. Zakusylo, V.D. Vynnyk // *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu*. – 2011. – Byp. 2 (2). – C. 95–109 (Ukr)

Smith G. The role of scientists in assessing the risks of dual-use research in the life sciences / G. Smith, N. Davison, B. Koppelman; In: J. L. Finney, I. Slaus, editors. – *Assessing the threat of weapons of destruction: The role of independent scientists*. – Amsterdam : IOP Press, 2010. – P. 137–140.

Spysok tovariv podviinoho vykorystannia, shcho mozht buty vykorystani u stvorenni bakteriolohichnoi (biolohichnoi) ta toksynnoi zbroi, zatverdzhenyi postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 28.01.2004 r. № 86 (u redaktsii postanovy Kabinetu Ministriv Ukrainy 14.11.2019) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/86-2004-%D0%BF#n174>

Tenforde MW, Shapiro AE, Rouse B, Jarvis JN, Li T, Eshun-Wilson I, Ford N, et al. (Cochrane Infectious Diseases Group) (July 2018). «Treatment for HIV-associated cryptococcal meningitis». *The Cochrane Database of Systematic Reviews*. 7: CD005647. doi:10.1002/14651858.CD005647.pub3. PMC6513250. PMID30045416

T. A. Serheieva (2016) Epidemiologichni aspekty sotsialno znachushchykh infektsii / T. A. Serheieva, Yu. V. Kruhlov, O. V. Maksymenok et al // Klinichna imunologhiia. Alerholohiia. Infektologhiia. № 4 (93). – S. 18–28 (Ukr)

UNN: V Ukraini maizhe 14 tysiach oseredkiv vynykennia sybirky, na Bukovyni ostannii spalakh buv u 2004 rotsi (2018) <https://www.unn.com.ua/uk/news/1755515-v-ukrayini-nalichuyetsya-mayzhe-14-tisyach-oseredkiv-viniknennya-sibirki-moz> (Ukr)

WHO/HSE/GAR/BDP/2010.2 Vidpovidalni medyko-biologichni doslidzhennia v hlobalnii bezpetsi systemy okhorony zdorovia : metodychni dokument. – Zheneva : VOOZ, 2010. – 70 s. (Ukr) http://www.bsseducation.com.ua/sites/default/files/WHO_HSE_GAR_BDP_2010.2_ukr_ready.pdf

World Health Organization. Laboratory biosafety manual. – 3rd ed. ISBN 92 4 154650 6 (LC/NLM classification: QY 25) WHO/CDS/CSR/LYO/2004.11 <https://www.who.int/csr/resources/publications/biosafety/en/Biosafety7.pdf>

Worobey, Michael; Gemmel, Marlea; Teuwen, Dirk E.; Haselkorn, Tamara; Kunstman, Kevin; Bunce, Michael; Muyembe, Jean-Jacques; Kabongo, Jean-Marie M. та ін. (2008). Direct evidence of extensive diversity of HIV-1 in Kinshasa by 1960

Yevropeiskyi komitet zi standartyzatsii, Tekhnichniy komitet 233 – Biotekhnologhiia, Robocha hrupa 1. Mikroorhanizmy – Podalshе vyvchennia orhanizmiv na pidtrymku klasyfikatsii zdiisniuietsia vidpovidno do dyrektyvy 90/679 / YeES. CR 12250, 1996

Zadorozhna, V. (2014). Emerdzhentni ta reemerzhentni virusni infektsii sohodennia ta patohennyi potentsial yikh zbudnykiv [Emergent and re-emergent viral infections today and the pathogenic potential of their causative agents]. *Profilaktychna medytsyna*, 23, 54.

Надійшла до редакції 01.03.2023

Прийнята до друку 31.03.2023

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Участь авторів у написанні статті:

Худецький І.Ю. – ідея, збір клінічного матеріалу, написання статті, аналіз літератури, висновки;

Антонова-Рафі Ю.В. – дизайн дослідження, інструкція, коректування статті.

Електронна пошта для спілкування з авторами:

igorkhudetskyu@gmail.com