

УДК 579:327.5

В. В. Захарін,
к. вет. н., доцент, доцент кафедри внутрішньої патології, акушерства,
хірургії і фізіології, Поліський національний університет, Житомир
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4157-644X>
В. В. Сухенко,
магістрант, Поліський національний університет, Житомир
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-1222-3331>
А. Г. Стасюк,
магістрант, Поліський національний університет, Житомир
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-6564-7886>

DOI: 10.32702/2306-6814.2023.23.149

РОЗВИТОК БІОТЕХНОЛОГІЙ ТА ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ

V. Zakharin,
PhD in Veterinary Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Internal Pathology,
Obstetrics, Surgery and Physiology, Polissia National University, Zhytomyr
V. Sukhenko,
Master's student, Polissia National University, Zhytomyr
A. Stasyuk,
Master's student, Polissia National University, Zhytomyr

DEVELOPMENT OF BIOTECHNOLOGIES AND ISSUES OF BIOSAFETY

У статті розкрито потенціал нових методів біотехнології, сутність яких полягає в тому, що вони дозволяють не тільки модифікувати біологічні організми, а й фактично створювати нові, що кардинально відрізняються від своїх природних прототипів. Особливу увагу приділено розвитку генної терапії, яка створює високотехнологічну методологію для застосування біологічної зброї нового покоління, прямої та цілеспрямованої розробки нових видів біологічної зброї, насамперед вірусної, токсинної та генної. Досліджено об'єктивні та суб'єктивні сторони технологічного тероризму та виділено особливо небезпечний його різновид — біотероризм.

Запропоновано розподілити ризики використання біотехнологій в наступні групи: біологічні ризики — захворювання людей і тварин, їх отруєння та смерть; економічні — зменшення кількості працездатного населення, скорочення або зупинення обсягів національного виробництва; соціальні — паніка, страх, голод, збільшення числа соціальних конфліктів; політичні — дезорганізація роботи державного механізму; військові — виведення з ладу живої сили, зниження боєздатності збройних сил держави.

Розроблені пропозиції щодо підвищення ефективності захисту від біологічної зброї та управління ризиком використання біотехнологій, що вимагає, по-перше, знання молекулярних механізмів дії потенційно небезпечних агентів, а по-друге, здатність швидкого використання цих знань для практичного реагування в конкретній ситуації, для чого має бути високий розвиток фундаментальної науки.

The article reveals the potential of new methods of biotechnology, the essence of which is that they allow not only to modify biological organisms, but also to actually create new ones that are radically different from their natural prototypes. It has been proven that the development of science and modern technologies, which permeate all spheres of life and activity of man and society, became an essential tool in the development of globalization. It is hypothesized that scientific and technological progress is not only a source of energy that develops both production, trade, financial, and humanitarian spheres of relations, but is also, at the same time, a biological hazard of the modern world. Thus, the creation and use of biological weapons of a new generation is based on the latest achievements of biological sciences and biotechnology. Special attention is paid to the development of gene therapy, which creates a high-tech methodology for the use of biological weapons of a new generation, direct and targeted development of new types of biological weapons, primarily viral, toxin and gene.

The objective and subjective sides of technological terrorism were studied and a particularly dangerous type of it was identified — bioterrorism, which is understood as an international crime that involves deliberate action or inaction in relation to the release, dispersion or distribution of biological agents and toxins, as a result of which harm is caused to life and the health of people, animals, plants or the threat of causing such damage is created with the aim of intimidating the population, violating public safety and influencing decision-making by public and state authorities, as well as international organizations. It is emphasized that bioterrorism carries a special danger of a global nature. And the development of molecular biology and biotechnology leads to the realization of the inevitability of this type of terrorism in the near future and, therefore, the need to create both a global and a national defense strategy.

It is proposed to divide the risks of the use of biotechnology into the following groups: biological risks — diseases of people and animals, their poisoning and death; economic — a decrease in the number of the working population, reduction or stoppage of national production volumes; social — panic, fear, hunger, increase in the number of social conflicts; political — disorganization of the work of the state mechanism; military — incapacitation of manpower, reduction of combat capability of the armed forces of the state.

Proposals have been developed to increase the effectiveness of protection against biological weapons and risk management of the use of biotechnology, which requires, firstly, knowledge of the molecular mechanisms of action of potentially dangerous agents, and secondly, the ability to quickly use this knowledge for practical response in a specific situation, for which to be a high development of fundamental science.

Ключові слова: біотехнологія, генетична інженерія, технологічний тероризм, біотероризм, біологічна зброя, молекулярна біологічна зброя, ризики, біологічні ризики.

Key words: biotechnology, genetic engineering, technological terrorism, bioterrorism, biological weapons, molecular biological weapons, risks, biological risks.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Революція, що відбувається в даний час в галузі біотехнологій, здатна створити біологічну зброю, яка за вражаючими параметрами не поступається ядерній та при цьому має гнучкість у застосуванні. Зловмисне використання біотехнологій також може сприяти спалахам хвороби у майбутньому. Незалежно від того, чи є злочинець державним суб'єктом, чи терористичною групою, розробку та вивільнення біологічної зброї, такої як отрута чи інфекційне захворювання, буде важко виявити та ще важче зупинити. На відміну від кулі або бомби, смертоносні клітини можуть продовжувати поширюватися ще довго після свого "запуску". Таким чином, розвиток біотехнологій може нести більше ризиків, ніж інші галузі наук: мікроби наскільки малі, що їх важко виявити, але їхня небезпека потенційно більша. Крім того, сконструйовані клітини можуть ділитися самостійно та поширюватися в природі та соціумі з непередбачуваними, катастрофічними наслідками.

Все це переконує у необхідності фокусування уваги науки на дослідженні поняття, сутності, ознак та різновидів біологічного тероризму з метою пошуку адекватних підходів запобігання та припинення цього одного з найнебезпечніших видів тероризму. Тому вивчення питання захисту від біологічної зброї та управління ризиком використання біотехнологій зумовило проведення даного дослідження.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Серед зарубіжних вчених, які вивчали теоретичні проблеми біологічного тероризму відмітимо праці Дж. Белла, Б. Дженкінса, П. Диспо, Р. Кяттербака, Б. Крозьє, У. Лак юера, Н. Левінгстоуна, Р. Міллера,

Ж. Серв'є, Дж. Слівовські, Р. Соле, П. Уілкінсона, А. Шмідта, Я. Шрайбера, Р. Еріксона. Питанням державної політики України в забезпеченні її біологічної безпеки приділені праці О. І. Бондаря, Л. П. Новосельської, Т. Г. Іващенко, В. П. Гандзюри, О. П. Кулінича. Вчені досліджують систему біологічної безпеки в Україні, концептуальні засади та досвід її формування, визначають основні принципи державної системи біологічної безпеки та спрямовують свої дослідження на пошук нових напрямів її забезпечення.

Методи управління та контролю ризику сучасних біотехнологій висвітлюються в працях В. Ф. Чешка, О. О. Стародубця, І. М. Лютої, О. М. Ковальова, О. М. Мартиненка, А. М. Сердюка, Ю. М. Скалецького. Методологічним та теоретичним дослідженням біологічної зброї, біологічного тероризму та ризиків військового використання біотехнологій займаються В. Ф. Чешко, О. П. Кулінич, М. Ю. Кравчук, В. М. Завгородня, Р. В. Костюк та ін. вітчизняні науковці.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ (ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ)

Метою статті є вивчення сутності, ознак та ризиків використання біотехнологій, а також визначення перспективних напрямів забезпеченні біобезпеки.

Об'єктом дослідження є процес забезпечення біобезпеки при стрімкому розвитку біотехнологій. Предметом дослідження є комплекс наукових засад, пов'язаних із уникненням біологічних загроз і ризиків використання біотехнологій та забезпеченням інтересів держави у сфері гарантування біологічної безпеки.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Людство увійшло в третє тисячоліття з величезними знаннями в галузі наук про життя та колосальним потенціалом їхнього практичного використання. Шля-



Рис. 1. Об'єктивні та суб'єктивні сторони технологічного тероризму

Джерело: власні дослідження авторів.

хом впливу на молекули ДНК і РНК, сучасна людина може довільно і спрямовано змінювати спадковість на-вколишнього живого світу — бактерій, рослин, тварин і навіть людини. Це відкриває безпрецедентні можливості для технологічного прогресу (розвитку біотехнології та біоінженерії) та революційних проривів у медицині (генна терапія) і сільському господарстві (трансгенні, або генетично модифіковані, рослини та тварини). При цьому весь потенціал нових методів біотехнології якраз і складається в тому, що вони дозволяють не тільки модифікувати біологічні організми, а й фактично створювати нові, що кардинально відрізняються від їх природних прототипів. За цих обставин біологічна безпека стає однією з головних проблем людства.

Небезпеки, що виходять із прогресу біологічної науки, насамперед молекулярної біології, та її практичних застосувань, таких як генна та білкова інженерія, генна терапія, молекулярне управління розвитком — різноманітні. Так, сьогодні створюються нові рекомбінантні гени, які раніше були відсутні в природі, і прогресуюче поширюються трансгенні, або генно-модифіковані організми (організми з чужорідними генами), що використовуються в рослинництві, в тваринництві та в мікробіологічній промисловості. Очевидно, що потенційна небезпека полягає у можливості неконтрольованого поширення нових видів та генів, що порушують природну рівновагу та живі системи. Ще серйознішу небезпеку становить створення методи та методології для маніпулювання людською спадковістю [3].

Розглянемо розвиток генної терапії. Позитив у терапії симптоматики спадкової дефектності без вилучення дефектних генів, як це передбачається всією стратегією генної інженерії, з часом призведе до збільшення поганих генів у людському генофонді і тому, рано чи пізно, відбудеться їх виродження. Як наслідок в майбутньому людство очікує на геронтологічну кризу. Зрештою, генна терапія створює високотехнологічну методологію для застосування біологічної зброї нового покоління, прямої та цілеспрямованої розробки нових видів біологічної зброї, насамперед вірусної, токсинної та генної. Не можна не враховувати такі особливості цієї зброї, як виняткової масовості ураження при помірних фінансових витратах та виробничих потужностей для її створення, а та-

кож можливості приховано-го виробництва та застосування, перспективи як відстроченого ефекту, так і надзвичайно швидкої дії біологічної зброї. Особливо небезпечним може бути груповий та індивідуальний тероризм із застосуванням біологічної зброї. Проблема полягає в тому, що всі досягнення та технологічні розробки генної інженерії, генної терапії та інших напрямів біотехнології та біоінженерії можуть бути безпосередньо та прямо використані для створення біологічної зброї нового покоління [5].

При цьому, вступ людства в нове тисячоліття вплинув на усвідомлення того, що міжнародний тероризм буде постійною загрозою ХХІ ст. Ця загроза може включати як прихований тероризм з боку деяких країн, індивідуальний та груповий тероризм релігійних сект, так і патологічний тероризм самогубців та психопатів. Весь розвиток сучасної цивілізації надає раніше небачені технічні можливості для широкомасштабного тероризму. При цьому, міжнародне право виділяє особливо небезпечний різновид міжнародного тероризму — технологічний тероризм. Дії, які відносяться до об'єктивної та суб'єктивної сторони технологічного тероризму представлені на рис. 1.

Говорячи про технологічний тероризм, виділимо особливо небезпечний його різновид — біотероризм. Біотероризм — це міжнародний злочин, який перебуває в умисній дії або бездіяльності щодо вивільнення, розсіювання або розповсюдження біологічних агентів та токсинів, внаслідок чого завдається шкода життю та здоров'ю людей, тварин, рослин або створюється загроза заподіяння такої шкоди з метою залякування населення, порушення суспільної безпеки та впливу на прийняття рішень органами публічної та державної влади, а також міжнародними організаціями [1].

Історичним корінням біотероризму сягає в глибоку давнину, коли заражені матеріали підкидалися противнику з метою спалаху захворювань. Такі випадки науковці розцінюють як перші акти біотероризму. Так, наприклад, війська Олександра Македонського закидали трупи людей, померлих від чуми, в колодязі з питною водою, а карфагенський полководець Ганнібал обстрілював глиняними горщиками з отруйними зміями міста та фортеці, зайняті супротивником [4]. У часи військових дій від інфекційних хвороб нерідко гинула більша частина особового складу військ, ніж від застосування наступальної зброї противника. Наприклад, у військових кампаніях Мексики та Перу в 1741 р. 75 % англійських солдатів загинули від жовтої лихоманки.

У різні століття під час бойових дій у розташування противника закидалися за допомогою різних способів трупи людей і тварин, що загинули від небезпечних епідемічних інфекцій: облога м. Тортони (1155 р., Італія), Столітня війна (1339 р., замок Тін на річці Шельда), облога Золотою Ордою генуезької фортеці Кафи на уз-

бережжі Кримського півострова (1346 р.), облога Карлштейна (1426, Чехія). Під час Першої світової війни Німеччина здійснювала бактеріологічні диверсії проти супротивників, заражаючи небезпечними інфекціями коней та велику рогату худобу [5].

Тому підкреслимо, що біотероризм несе у собі особливу небезпеку глобального характеру. А розвиток молекулярної біології та біотехнологій у XX—XXI ст. призводить до усвідомлення неминучості цього виду тероризму в найближчому майбутньому і, отже, необхідності створення як глобальної, так і національної стратегії захисту.

Разом з тим, дотепер переважна частина наукових дискусій щодо стратегії біозахисту сфокусована на існуючих загрозах від застосування групи відомих природних патогенів (бактерій та вірусів) та їх токсинів. Розглянемо три покоління потенційної біологічної зброї.

Перше покоління біологічної зброї — це традиційні патогени, які були розроблені на початку біотехнологічної революції (1940—1970 рр.). До традиційних патогенів відносяться особливо небезпечні бактеріальні інфекції — чума, холера, сибірка; вірусні інфекції — віспа, невиліковні геморагічні лихоманки, "повільні", затримані або латентні інфекції, що активуються; білкові токсини бактеріального та рослинного походження — дифтерійний токсин, холерний токсин, рицин тощо.

Друге покоління біологічної зброї — це генетично модифіковані патогени, створення яких стало можливим на основі використання сучасних методів молекулярної біології та біотехнології, розроблених здебільшого в період з 1980 р. до кінця минулого тисячоліття. Сюди відносяться бактерії, стійкі до антибіотиків, бактерії та віруси підвищеної патогенності, які стійкі у повітрі й у аерозольних станах, а також бактерії та віруси із модифікованими антигенними властивостями, що робить не дієвим захист власного імунітету організму та вакцинації від модифікацій генів.

Розшифрування людського геному та успіхи в молекулярній та клітинній біології призвели до можливості створення біологічної зброї третього, "постгеномного", покоління XXI ст. — генної молекулярної зброї. До складу біологічної зброї третього покоління належать [5]:

- молекули ДНК, які потрапляючи до організму людини можуть кодувати патологічні білки, їх токсини, білки-репресори, обмінні процеси;

- малі ділянки РНК які надходять в живий організм і мають вибірково здатність виключати синтез ключових білків;

- інфекційні білки пріони, які мають здатність припиняти процеси утворення просторової структури функціонально важливих білків.

Без сумніву, це — принципово новий клас агентів, штучно сконструйованих на основі знань людського геному для атаки на молекулярному рівні на специфічні біологічні системи людини — кардіологічну, імунологічну, неврологічну та гастроентерологічну. І цей список загрожує поповнюватися з кожним роком. Використання біологічної зброї може призводити до інвалідності, нервових та психічних порушень, статевої неплідності та спричиняти смерть [2].

Зазначимо, що можливість штучного створення молекулярних патогенів була відкрита ще в середині XX ст. Так, в 1944 р. О. Т. Ейвері з колегами довели, що

ДНК, виділена в чистому вигляді з капсульованої форми пневмококів типу 3, може проникати в клітини некапсульованої форми пневмококів типу 2 і, відтворюючись в останніх, трансформувати їх у капсульовані клітини типу 3. При цьому було виявлено спадкову трансформацію клітин за допомогою молекул ДНК, а трансформовані пневмококи стали першим трансгенним організмом, отриманим в експерименті.

Більше того, лабораторні досліді вперше вказали на потенційну можливість інфекційності ізольованої ДНК. Через кілька років вчені А. Херші та М. Чейз довели, що й при природному зараженні клітини вірусом (на прикладі зараження бактерії бактеріофагом) саме молекула ДНК входить у клітину та є інфекційним початком. Через декілька років А. Герпер і Г. Шрамм, виділивши чисту РНК з вірусу тютюнової мозаїки і ввівши її в клітини рослини, викликали таке ж зараження, як і у випадку цілого вірусу, довівши потенційну інфекційність ізольованих нуклеїнових кислот. Сьогодні ряд вчених працює над методами штучної стабілізації молекул ДНК і РНК та підвищення їх здатності проникати у клітини вищих організмів, включаючи людину. Проникні гени — інфекційні молекули нуклеїнових кислот (ДНК та РНК) — можуть стати потужною молекулярною зброєю нового покоління.

Водночас, необхідно по-новому подивитись на можливість випадкового зараження чужорідним генетичним матеріалом через довкілля. Вченими були розроблені методи "виращування" колоній (клонів) молекул РНК та ДНК на твердих середовищах. Наприклад, як у досліді з чашкою, експеримент з виращування молекулярних колоній з молекул нуклеїнових кислот, що потрапляють на тверде середовище чашки з повітря показав, що різні гени та їх фрагменти знаходяться у повітрі, яким ми дихаємо. Ця унікальна технологія дозволяє виявити в середовищі поодинокі молекули генного матеріалу [5].

Іншу, ще більш підступну, групу молекулярних патогенів може скласти відкритий зовсім недавно клас регуляторних мікроРНК, які не кодують жодних білків, але безпрецедентно впливають на активність життєво важливих генів живих організмів. Нарешті цілий новий світ мікроРНК, що залишався непоміченим вченими протягом багатьох років, постав перед нами як "звичайний" регулятор генної активності в процесах розвитку вищих організмів.

Молекулярними патогенами зовсім іншої природи є пріони — інфекційні білкові молекули, які, хоча і не розмножуються самі в організмі "господаря", але викликають прогресуючу перебудову білків живого організму "на свій лад", їх агрегацію та повільну неминучу смерть організму. Людство вже реально стикається з небезпеками, пов'язаними з пріонними захворюваннями худоби та самої людини.

Таким чином, особливості біологічних агентів і токсинів, молекулярної біологічної зброї, мають вражаючий, унікальний та безпрецедентний характер, а їх розробка та застосування детермінують вибір терористів та держав, які ведуть війну на користь біологічної зброї (рис. 2).

З одного боку, низька вартість розробок та можливість створення біологічної зброї, у тому числі й для її військового використання, силами однієї невеликої лабораторії з 2—3 висококваліфікованих фахівців-біотехнологів робить організацію процесу економічно вигідним.

На "вигідність" впливає й те, що облаштування та забезпечення функціонування біотехнологічної лабораторії не потребує ні великих площ, ні важкодоступних речовин та матеріалів, ні специфічного обладнання, яке перебуває на державному обліку. Цим біотехнологічна лабораторія відрізняється, наприклад, від ядерної лабораторії, яка потребує і важкодоступні речовини та матеріали, і специфічного обладнання, яке знаходиться під суворим державним контролем. Більш того, біотехнологічна лабораторія, в якій в деструктивних цілях створюються нові організми, легко може бути замаскована під одну з численних лабораторій, зайняту медичними дослідженнями мирного профілю. А з іншого боку, ефект від застосування біологічної зброї є величезним. Так, наприклад, один грам біологічної речовини може містити від одного до ста квінтільйонів активних молекул патогену, які, потрапивши в живий організм, будуть розмножуватися, вивільнятися і заражати інших [5].

На рис. 3 ідентифіковано особливості молекулярної біологічної зброї, які створюють серйозні труднощі у вирішенні проблем, пов'язаних із протидією біологічному тероризму та використанню біологічної зброї у військових цілях.

Щодо застосування біологічної зброї у військових та терористичних цілях та вибору типу хвороботворних мікроорганізмів, то вирішальним фактором тут є її бажана вірулентність, тобто спосіб передачі та тяжкість лікування захворювання або бажана летальність. При вивченні різних варіантів здійснення біологічної атаки можливі ризики військового використання біотехнологій згрупуємо у відповідні групи (рис. 4).

Так, по-перше, до біологічних або медичних ризиків віднесемо ризик захворюваності людей та тварин, їх летальність, нервово-психічні захворювання та розлади, порушення роботи системи охорони здоров'я в цілому. По-друге, до економічних ризиків включаємо зменшення кількості працездатного населення в результаті біологічної атаки, скорочення чи зупинка обсягів національного виробництва, збитки агропромислового комплексу країни та інших сфер економіки держави, деградація галузей матеріального і нематеріального виробництва, перебіг у продовольчому забезпеченні країни, загальне зниження економічного потенціалу та могутності держави. В свою чергу соціальні ризики включають масову паніку та страх, порушення традиційного устрою життя населення і соціальних груп, масовий голод, збільшення кількості соціальних конфліктів та заворушень у суспільстві, зростання проявів екстремізму, посилення міграційних процесів.

І останнє, політичні ризики — це ризики підриву легітимності державної влади та громадянського порядку, дезорганізація роботи державного механізму, активізація протестних виступів та діяльності політичної опозиції. До військових ризиків використання біотехнологій відносимо виведення з ладу живої сили армії, зниження боєздатності збройних сил та порушення механізму управління військовою організацією держави [5].



Рис. 2. Характер молекулярної біологічної зброї

Джерело: власні дослідження авторів.



Рис. 3. Особливості молекулярної біологічної зброї

Джерело: власні дослідження авторів.

I	•Біологічні. •Медичні.
II	•Економічні. •Соціальні.
III	•Політичні. •Військові.

Рис. 4. Можливі ризики використання біотехнологій

Джерело: власні дослідження авторів.

У зв'язку з цим розглянемо детальніше проблеми запобігання розробці та виробництву біологічної зброї з метою її військового та терористичного використання. На жаль, сьогодні це практично не вирішена проблема. По-перше, програми таких розробок важко відрізнити або ж вони зовсім не відрізняються від легітимних наукових досліджень. По-друге, використовувані методи та технології при виробництві біологічної зброї не суперечать стандартам біотехнологічних протоколів —

практично всі сучасні методи молекулярної біології, генної інженерії та біотехнології можуть бути кваліфіковані як "подвійні технології". По-третє, необхідне обладнання, матеріали та реактиви доступні на ринку наукового та біотехнологічного обладнання. По-четверте, як вже зазначалося вище, розробкою та виробництвом біологічної зброї може займатися невелика група профільних фахівців, яка зовні ніяк себе не виявляє.

З цієї причини проблеми нерозповсюдження та легкості поширення технології виробництва біологічної зброї нового покоління та самої зброї викликає все більшу тривогу фахівців та суспільства. Насамперед ця легкість забезпечується доступністю наукової, методичної та технічної інформації у відкритих публікаціях, базах даних, виступами на міжнародних симпозиумах. На швидкість поширення даних технологій впливають і потоки іноземних студентів та стажерів через дослідницькі лабораторії, зниження технічних та кваліфікаційних бар'єрів через дедалі більше використання детальних описів і протоколів генно-інженерних та біотехнологічних процедур. Зрештою, не можна забувати про можливість "дигітального розповсюдження" агентів біологічної зброї (наприклад, хімічний синтез будь-якого патогенного гена або вірусу є в комп'ютерній базі даних).

Щодо проблем виявлення у навколишньому середовищі та знаходження джерел молекулярного патогену, а також діагностики, профілактики та лікування біологічних наслідків атаки, слід пам'ятати, що в даному випадку медицині стикаються з нестандартними та невідомими агентами, для яких не існує ані розроблених тестів для виявлення та діагностики, ані методів впливу на агент у середовищі та в живому організмі. Це диктує необхідність створення системи заходів нового покоління, заснованих на прогресі молекулярної біології як фундаментальної науки. Виявлення та діагностика є неможливими без розробки нових підходів для швидкої ідентифікації типу інфекційного агента, що лежить в основі молекули та має відповідну структурну характеристику [5]. Отже, на порядку денному стоїть створення автоматичної генералізованої діагностичної системи з ідентифікацією генної приналежності агента. Для вирішення цього завдання вкрай важливо мати у базі даних геном людини та геноми всіх бактерій і вірусів.

Часткове вирішення проблем профілактики та лікування може полягати у розробці нових підходів до імунізації та, зокрема, знаходженні шляхів "множинної" імунізації, таких як стимуляція β-лімфоцитів синтетичними полімерами. Пошук альтернативних шляхів підвищення стійкості людини до інфекційних агентів, наприклад, модуляція цитокінової мережі, може стати новим стратегічним напрямком у протидії молекулярним інфекціям. Розробка методів генної терапії з використанням РНК-інтерференції та мікроРНК також вимагає особливої уваги.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Таким чином, підсумовуючи вищесказане відмітимо, що істотним інструментом у розвитку глобалізації став розвиток науки та сучасних технологій, що проникають у всі сфери життя та діяльності людини й суспільства. Науково-технічний прогрес є, з одного боку, джерелом

енергії, що розвиває як виробничу, торгову, фінансову, так і гуманітарну сфери відносин, а з іншого — біологічною небезпекою сучасного світу. Зокрема створення та використання біологічної зброї нового покоління базується на новітніх досягненнях біологічних наук та біотехнологій.

Тому заходи забезпечення біологічної безпеки вимагають, по-перше, знання молекулярних механізмів дії потенційно небезпечних агентів, а по-друге, здатність швидкого використання цих знань для практичного реагування в конкретній ситуації, для чого має бути високий розвиток фундаментальної науки. Таким чином, підтримання високого рівня фундаментальної науки є абсолютною умовою протистояння поширенню біологічних небезпек у сучасному світі.

Література:

1. Голубнича В. М. Біобезпека та біозахист у біологічних лабораторіях 1-го та 2-го рівнів безпеки: монографія. Суми: Сумський державний університет, 2016. 123 с.
2. Денисенко С. В., Міщенко А. В. Біотехнології в різних сферах життя, їх вплив та попередження розвитку біозагроз. Вісник ВДНЗУ "Українська медична стоматологічна академія". 2015. Том 15. Випуск 3 (51). С. 280—281.
3. Патрєва Л. С., Люта І. М. Біобезпека використання біотехнологій : конспект лекцій. Миколаїв : МНАУ, 2021. 110 с.
4. Саймон Уїтсбі. Запобігання біологічним загрозам: що Ви можете зробити: навч. посіб. 2015. 328 с.
5. Стасюк А. Г. Біологічні ризики військового використання біотехнологій: управлінський аспект : спец. 281 "Публічне управління та адміністрування" / Поліський нац. ун-т, каф. економічної теорії, інтелектуальної власності та публічного управління. Житомир, 2023. 37 с. URL : <http://ir.znau.edu.ua>

References:

1. Golubnicha, V.M. (2016), Biobezpeka ta biozahist u biologichnih laboratorijah 1-go ta 2-go rivniv bezpeki [Biosafety and bioprotection in biological laboratories of the 1st and 2nd levels of safety], Sums'kij derzhavnij universitet, Sumi, Ukraine.
2. Denysenko, S.V. and Mishchenko, A.V. (2015), "Biotechnologies in various spheres of life, their impact and prevention of the development of biohazards", Visnyk VDNZU "Ukrainska medychna stomatolohichna akademiia", vol. 15, no. 3 (51), pp. 280—281.
3. Patrieva, L.S. and Liuta, I.M. (2021), Biobezpeka vykorystannia biotekhnolohii [Biosafety of the use of biotechnology], MNAU, Mykolaiv, Ukraine.
4. Whitby, S. (2015), Preventing biological threats: what you can do, Bradford Disarmament Research Centre, Bradford, UK.
5. Stasyuk, A.G. (2023), Biologichni ryzyky viys'kovo vykorystannia biotekhnolohij: upravlins'kyj aspekt [Biological risks of military use of biotechnology: management aspect], Polis'kyj nats. un-t, kaf. ekonomichnoi teorii, intelektual'noi vlasnosti ta publichnoho upravlinnia, Zhytomyr, Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 22.11.2023 р.