



2025. Номер 12, С. 168 – 180.

Отримано: 01.10.2025 Прийнято: 16.10.2025 Опубліковано: 27.11.2025

DOI: 10.31890/vttp.2025.12.15

UDC 639.09:619:579.62(477)

DIAGNOSIS OF ANTHRAX UNDER MARTIAL LAW IN UKRAINE: PROBLEMS AND WAYS OF IMPROVEMENT

U.M. Yanenko¹, H.A. Zaviriukha², N.G. Sorokina³, N.I. Kos'yanchuk³, O.P. Lytvynenko¹

¹*Institute of Laboratory Diagnostics and Veterinary-Sanitary Expertise Kyiv, Ukraine*

²*Institute of Molecular Biology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

³*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

E-mail: ulyanakuzyk@ukr.net

Annotation. Anthrax remains a highly relevant zoonotic disease that poses a serious threat to animal and human health. Recent years have seen an increase in the frequency and spatial expansion of anthrax outbreaks in different regions of the world, including Ukraine. The resilience of *Bacillus anthracis* spores in the environment, as well as the potential for the pathogen's deliberate use, necessitate ongoing epidemiological monitoring and improved diagnostic approaches. This study aims to assess the current epizootic situation of anthrax in Ukraine and analyze the effectiveness of diagnostic methods used by veterinary laboratories. The research is based on the official reporting data of the State Service of Ukraine on Food Safety and Consumer Protection (Form No. 2-Vet). Standard epizootological, statistical, and retrospective methods were employed to evaluate the incidence and detection trends of anthrax in different regions. The results reveal isolated outbreaks in certain territories with the identification of environmental foci, indicating incomplete decontamination of anthrax-prone sites. The findings highlight the need to update risk assessment models and reinforce biosafety protocols in veterinary practice. The article outlines priority directions for strengthening anthrax surveillance in Ukraine under current epidemiological and geopolitical conditions.

Keywords: anthrax, *Bacillus anthracis*, Ukraine, epizootic situation, biosafety, veterinary monitoring

ДІАГНОСТИКА СИБІРКИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ В УКРАЇНІ: ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ

У.М. Яненко¹, Г.А. Завірюха², Н.Г. Сорокіна³, Н.І. Кос'янчук³, О.П. Литвиненко¹

¹ Державний науково-дослідний інститут лабораторної діагностики та
ветсанекспертизи, м. Київ, Україна

² Інститут молекулярної біології і генетики Національної академії наук України,
м. Київ, Україна

³ Національний університет біоресурсів і природокористування України м. Київ, Україна
E-mail: ulyanakuzuk@ukr.net

Анотація. Сибірка (антракс) є однією з найнебезпечніших зоонозних хвороб, яка має вагомe значення для епізоотичної та епідеміологічної безпеки. Збудник *Bacillus anthracis* здатний утворювати спори, що зберігаються в ґрунті десятиліттями, створюючи постійну загрозу виникнення нових випадків інфікування. В Україні виявлено понад 2800 сибіркових скотомогильників, багато з яких розташовані на територіях, що зазнали бойових дій або є тимчасово окупованими. На даний час питання біологічної безпеки населення та захисників України має особливе значення через бойові дії у країні. Велика кількість неконтрольованих територій створює ризики для розвитку захворювань, і тому численні регіони можуть бути зонами ризику. Руйнування та втрата контролю над цими об'єктами підвищує ризик виникнення нових спалахів. В умовах війни ускладнено моніторинг епізоотичної ситуації, що вимагає адаптації діагностичних підходів до сучасних реалій. У статті проаналізовано основні виклики, пов'язані з діагностикою сибірки: недостатнє лабораторне оснащення, відсутність зареєстрованих ПЛР-тестів, складність диференціації *Bacillus anthracis* від споріднених видів, а також низький рівень обізнаності серед медичних і ветеринарних фахівців. Розглянуто нормативно-правову базу, що регулює лабораторну діагностику та епідеміологічний нагляд, із вказівкою на її невідповідність і обмеженість в умовах війни. Особливу увагу приділено молекулярно-генетичним методам, що дозволяють швидко й точно ідентифікувати збудника в біологічних та екологічних зразках. Підкреслено потребу в оновленні нормативних документів, модернізації лабораторій, створенні національної бази даних поховань тварин, а також у налагодженні міжвідомчої взаємодії. Запропоновано впровадження сучасних методів моніторингу та діагностики для запобігання поширенню сибірки та забезпечення належного рівня біобезпеки.

Ключові слова: спороутворююча бацила, *Bacillus anthracis*, ПЛР, індикація, біобезпека, скотомогильник.

Вступ. Сибірка є одним із стародавніх зоонозів, відомих людству. Збудник сибірки – грампозитивна бактерія *Bacillus anthracis*. Сибірка є однією з найнебезпечніших зоонозних бактеріальних інфекцій, яка характеризується гострим перебігом і високою летальністю серед сприйнятливих тварин та людей (Maxson et al., 2022). Збудник хвороби – *Bacillus anthracis* здатен утворювати спори, які зберігають життєздатність у ґрунті десятиліттями, та можуть бути застосовані як інгаляційний агент (Mondange et al., 2022; Tin et al., 2023).

Актуальність теми визначається через потенційну загрозу використання сибірки, як біологічної зброї (Sangwan et al., 2025). За даними Європейського центру з профілактики та контролю захворюваності (ECDC) (2023), з 1981 по 2018 рік у світі було здійснено 37 біотерористичних атак. Центр контролю та профілактики захворювань у США (Атланта, Джорджія) визначає категорію «А», як найнебезпечніші біологічні бойові агенти. *Bacillus anthracis* вважається одним з провідних агентів (Beale et al., 2021).

Щорічно реєструється від 2000 до 20000 випадків сибірки серед людей. У період з 2007 по 2019 роки у Європі було підтверджено 97 випадків захворювання у людей. У 2020 та 2021 роках випадки сибірки серед тварин відзначалися в Італії, Хорватії та Румунії. Нещодавні дослідження доводять актуальність проблеми моделювання ризиків виникнення спалахів в окремих географічних регіонах, зокрема в басейні Чорного моря (Arede et al., 2024).

В Україні нараховується близько 6 тис. ґрунтових вогнищ збудника сибірки, які становлять загрозу (Iovenko et al., 2023). З лютого 2014 року Росія проводить військове вторгнення на території України, а з 24 лютого 2022 року повномасштабну війну. В умовах війни контроль за упорядкованістю поховань тварин значно ускладнився, що збільшує ризик виникнення нових спалахів сибірки.

Питання біобезпеки та ефективного епізоотичного моніторингу набувають особливої ваги в умовах воєнного стану, що потребує перегляду підходів до діагностики і профілактики сибірки. Саме тому, актуальним завданням є удосконалення методів ідентифікації збудника, молекулярно-генетичних підходів, та впровадження протоколів біозахисту в умовах підвищеного ризику зараження (Ashique et al., 2024). Відсутність контролю на окупованих територіях та в зоні бойових дій створює ризик розповсюдження сибірки, що потребує вдосконалення нормативних документів та рекомендацій щодо запобігання виникнення сибірки на території України.

Мета роботи. Аналіз сучасного стану діагностики сибірки в Україні в умовах воєнного стану, зокрема, в контексті загроз біобезпеці.

Завдання дослідження. Виявити основні проблеми, що ускладнюють діагностику, епізоотичний нагляд, оцінити ефективність діючих нормативних документів, обґрунтувати необхідність запровадження сучасних молекулярно-генетичних методів для швидкої ідентифікації *Bacillus anthracis*.

У дослідженні застосовано комплексний підхід до аналізу сучасних проблем діагностики сибірки в Україні. По-перше, проведено системний огляд літературних джерел з використанням наукових баз даних, що дозволило виявити ключові тенденції та виклики в сфері епідеміологічного моніторингу. По-друге, проаналізовано нормативно-правову документацію та офіційні статистичні дані, представлені Міністерством охорони здоров'я та Європейським центром з контролю за захворюваннями з метою оцінки ефективності існуючих профілактичних заходів і діагностики. По-третє, здійснено порівняльний аналіз методів молекулярно-генетичної, мікробіологічної та імунологічної діагностики для визначення оптимальних алгоритмів виявлення *Bacillus anthracis*. Отримані результати сприяють формуванню рекомендацій для подальших досліджень та оптимізації системи моніторингу сибірки, підвищуючи біозахист країни.

Результати досліджень та їх обговорення. Проблематика діагностики сибірки (антраксу) в Україні пов'язана з низкою організаційних, технічних, економічних та епідеміологічних факторів. Низька частота захворювання та недостатня обізнаність пов'язана з тим, що сибірка є рідкісним захворюванням в Україні, що знижує рівень настороженості серед медичних працівників.

Поширення сибірки на території України. В Україні сьогодні прогнозують можливе ускладнення епідемічної ситуації, пов'язане із сибіркою. За останні 23 роки в країні зареєстрували 35 випадків цього захворювання серед населення в 11 областях. Найсерйозніший спалах зафіксували в 1999 році, головним чином у Херсонській області (8 випадків), а також у Вінницькій (4) та Черкаській (2). У 2001 році загальна кількість хворих досягла 9 осіб, більшість з яких захворіли в Київській області (7 випадків). З того часу поодинокі випадки реєстрували в різних регіонах, зокрема, у Харківській, Чернівецькій, Миколаївській та Одеській областях. Поширення сибірки на території України за останні два десятиліття свідчить про збереження актуальності цієї інфекції.

Захворювання серед тварин за цей період також спостерігали в 10 областях. Найсерйозніше постраждали Київська область із 70 випадками в 2001 році та Херсонська з

53 випадками у 1999 році. Крім того, у Донецькій області у 2002 році виявили збудник сибірки у вовні овець, а в Сумській області – у ґрунті, що підкреслює масштабність проблеми. Останні зафіксовані випадки захворювання в Одеській області (2018 і 2020 роки) свідчать про те, що основні недоліки в профілактиці залишаються невирішеними.

Серед основних причин поширення сибірки виділяють недостатнє охоплення тварин вакцинацією, порушення ветеринарних норм і нехтування правилами особистої безпеки персоналу. Розслідування цих випадків показало, що деякі люди інфікувалися через участь у забої худоби без проведення відповідної ветеринарної експертизи. У випробувальному центрі Одеської області підтвердили наявність збудника захворювання у біологічних зразках. На сьогодні основними проблемами залишаються несвоєчасна діагностика захворювання у людей і тварин, а також недостатня інформаційно-просвітницька робота серед населення. Для боротьби із цією небезпечною хворобою необхідний комплексний підхід і чітка взаємодія всіх суспільних структур (Shapoval et al., 2020).

Аналіз показує, що одними з ключових причин поширення сибірки є: зниження рівня щеплення сільськогосподарських тварин; слабкий контроль за старими скотомогильниками; недостатній епізоотичний моніторинг у регіонах ризику; не своєчасне виявлення випадків інфекції у людей і тварин. Важливою залишається проблема низької обізнаності лікарів первинної ланки щодо сибірки та обмежений рівень просвітницької роботи серед населення щодо заходів профілактики та безпечного поводження з тваринною продукцією.

Основні аспекти діагностики сибірки. Діагностування сибірки базується на комплексному аналізі епідеміологічних, клінічних та лабораторних даних. Потрібно отримати інформацію про випадки захворювання у тварин та випадки їх загибелі від хвороб, що нагадують сибірку. Важливо також з'ясувати, чи є в досліджуваному районі місця поховання тварин або їхніх залишків.

Для лабораторної діагностики використовують бактеріологічний метод, що дозволяє ізолювати збудника сибірки з карбункулів, крові, мокротиння, блювоти, чи калу. Крім цього, проводять шкірну алергічну пробу з токсином збудника сибірки та визначають титр антитіл у крові за допомогою ELISA.

Сибірка спричиняється бактерією *Bacillus anthracis*, що є грампозитивним мікроорганізмом, який може функціонувати як аеробно, так і факультативно анаеробно, здатний утворювати ендоспори. Ці бактерії мають значні розміри, досягаючи у ширину від 1,0 до 1,5 мкм і в довжину від 3 до 8 мкм; вони нерухомі й можуть бути як окремими, так і в коротких ланцюжках. У природі *Bacillus anthracis* існує у формі спор, які можуть залишатися в сухому ґрунті десятиліттями, демонструючи високу стійкість до дезінфекції та коливань температури. Життєвий цикл цієї бактерії включає вегетативну фазу та стадію спорового спокою. Спори утворюються як захисний механізм у відповідь на несприятливі умови для росту патогену. Вони витримують різні екологічні стреси, що забезпечує їхнє виживання та передачу між господарями. Потрапляючи в організм через шкіру, шлунково-кишковий тракт, інгаляційно або через ін'єкції, спори швидко проростають і продукують токсини, які поширюються через кровообіг по всьому організму. Це призводить до клінічних симптомів від набряку і некрозу до сепсису та венозного колапсу. У разі інгаляційної форми сибірки спори переміщуються до регіональних лімфатичних вузлів, де вони проростають та переходять у вегетативну форму. Проростання біля місця входу чи в епітеліальних та нелімфоїдних тканинах спостерігається при шкірних формах захворювання, проте його роль у розвитку хвороби ще не повністю з'ясована (Song et al., 2022; Railean et al., 2024).

B. anthracis поширюється за рахунок своїх спор, що відзначаються високою стійкістю до умов навколишнього середовища і можуть виживати в ґрунті, воді тощо протягом тривалого періоду (Doganay et al., 2023).

Спори сибірки демонструють високу стійкість до тепла, висихання та деяких дезінфікуючих засобів. Вони можуть виживати протягом десятиліть у залежності від

матеріалу зараження та умов навколишнього середовища. Спори можуть зберігатися не лише у ґрунті, поверхневих водах і бруді, а й на шкурах, хутрі, вовні, волоссі, копитах, рогах, кістках хворих тварин, а також на таких поверхнях, як дерево та метал. Були знайдені життєздатні спори у 200-річних кістках під час археологічних робіт у Національному парку Крюгера. Крім того, *B. anthracis* був виділений із висушеного ґрунту, котрий зберігався понад шістьдесят років. Спори, що перебувають у стані спокою в навколишньому середовищі, сприяють виживанню *B. anthracis* у природі, наприклад у ґрунтових осередках чи нозоареалах, де тварини можуть заразитися під час випасу. Оскільки ґрунт є головним резервуаром для *B. anthracis*, сибірку раніше називали ґрунтовою інфекцією. Травоядні і, можливо, гризуни, підтримують епізоотичний цикл сибірки навіть після тривалого латентного періоду, завдяки передачі з різних живих і неживих резервуарів таких як ґрунт. Цей фактор несе небезпеку щодо забруднення збудником сибірки на невизначені території. Отже наявність неконтрольованих сибіркових поховань є потенційною загрозою виникнення спалахів сибірки (Finke et al., 2020).

Нормативні документи що регулюють протиепідемічні заходи, профілактику та діагностику сибірки. Діагностика сибірки в Україні регулюється низкою нормативних документів, які встановлюють порядок. Основні діючі документи, що стосуються діагностики сибірки, включають: Наказ МОЗ України № 321 від 21.08.2002 «Про затвердження інструкції з лабораторної діагностики сибірки у людей, в сировині тваринного походження та об'єктах довкілля». Цей документ містить: детальні інструкції щодо лабораторної діагностики сибірки, зокрема методи ідентифікації збудника (*Bacillus anthracis*) у біологічних матеріалах, сировині та об'єктах навколишнього середовища; вимоги до протиепідемічного режиму під час роботи з матеріалами, підозрілими на зараження збудниками I-II груп патогенності; процедури направлення виділених культур *Bacillus anthracis* до референс-лабораторії Центральної санітарно-епідеміологічної станції МОЗ України для остаточної ідентифікації; Інструкції з лабораторної діагностики сибірки у людей, в сировині тваринного походження та об'єктах довкілля (Instructions for laboratory diagnostics of anthrax in humans, in raw materials of animal origin and environmental objects, 2002).

Існують державні санітарні правила 9.9.5.035-99 «Безпека роботи з мікроорганізмами I-II груп патогенності». Ці правила встановлюють вимоги до безпечної роботи з небезпечними мікроорганізмами, включно зі збудником сибірки, під час лабораторної діагностики (Organization of laboratory work in the study of material containing biological pathogenic agents of pathogenicity groups I-IV by molecular genetic methods. State Sanitary Norms and Rules, 2008).

Інструкція про заходи з профілактики та боротьби з сибіркою тварин (затверджена наказом Мінагропрому України № 4 від 25.01.2000) стосується переважно ветеринарної практики, але вона містить положення про діагностику сибірки у тварин, що є важливим для епідеміологічного нагляду, оскільки тварини є основним джерелом інфекції для людини (Instruction on measures for the prevention and control of anthrax in animals, 2000).

Методичні рекомендації з епідеміології та профілактики сибірки у людей уточнюють процедури епідеміологічного нагляду, діагностики та профілактичних заходів у людей, зокрема на ендемічних територіях (Order on measures to prevent anthrax, 2003).

Діагностика сибірки має ключові аспекти, а саме: лабораторна діагностика включає мікроскопію мазків (фарбування за Грамом), бактеріологічний посів на селективні середовища, ПЛР для виявлення ДНК *Bacillus anthracis* та імунологічні методи для виявлення маркерів інфекції. Референс-лабораторія Центру громадського здоров'я МОЗ України проводить остаточну ідентифікацію штамів. Діагностика проводиться з урахуванням клінічних проявів (шкірна, легенева, кишкова форми) та епідеміологічних даних (контакт із тваринами, робота з сировиною).

Згідно з діючими інструкціями, мікробіологічні методи дослідження є ключовими для встановлення заключного діагнозу на сибірку. Ідентифікація збудника здійснюється за

такими характеристиками: морфологія мікроорганізму, наявність капсули в мазках з досліджуваного матеріалу або органів загиблих лабораторних тварин, культуральні властивості, гемоліз, нерухливість, чутливість до пеніциліну, вплив специфічних фагів та патогенність для лабораторних тварин, проведення реакції Асколі. Наявність штамів, стійких до пеніциліну, а також нетипові ознаки ускладнюють процес ідентифікації. Відповідно до Інструкції з лабораторної діагностики сибірки у людей, а також у сировині тваринного походження та об'єктах навколишнього середовища, ідентифікація збудника проводиться за такими ознаками: морфологія мікроорганізму, включаючи наявність капсул у мазках з досліджуваного матеріалу або органів загиблих лабораторних тварин; культуральні властивості; чутливість до пеніциліну; чутливість до специфічних фагів; патогенність для лабораторних тварин.

В українських діагностичних лабораторіях для ідентифікації сибірки застосовують реакцію термопреципітації (Асколі). Це пов'язано з тим, що іноді виділяються штами, стійкі до пеніциліну, або мікроорганізми *B. anthracis* демонструють нетипові ознаки. Подібні ознаки можуть проявлятися також у ізолятів *B. cereus*, як повідомляють Carroll et al. (2022).

Реакція термопреципітації Асколі є різновидом реакції кільцепреципітації. Вона ґрунтується на здатності преципітиногенів зберігати стійкість до високих температур, витримуючи тривале кип'ятіння і зберігаючи при цьому здатність реагувати з антитілами. Згідно з Інструкцією, мікроскопічний метод обробки дослідного матеріалу необхідно здійснювати в день його надходження; бактеріологічний метод — до трьох діб; біологічний метод — до десяти діб. Інструкція є чинною, проте потребує доопрацювання, оскільки в ній відсутні рекомендації щодо використання молекулярних методів діагностики сибірки. Існують набагато точніші і більш чутливі тести для виявлення збудника антраксу (World Health Organization. Improvements public health preparedness for the threat of epidemics and response to her: anthrax network, 2003). Заключний діагноз підтверджується за допомогою специфічної ПЛР. Цей метод базується на ідентифікації плазмід рХО1 та рХО2 і генів *pag* та *cap*, що є специфічними для цих плазмід. Методи, засновані на ампліфікації ДНК, мають переваги — можливість тестування неактивованих зразків, що робить ці методи безпечнішими за традиційні та дозволяє отримати результати протягом кількох годин (Ochai et al., 2024).

Вірулентність *Bacillus anthracis* значною мірою визначається наявністю двох великих плазмід – рХО1 і рХО2, які відповідають за синтез трикомпонентного токсину та антифагоцитарної капсули. Плазміда рХО1 містить гени, що кодуєть летальний фактор (*lef*), фактор набряку (*суа*) та захисний антиген (*pagA*), тоді як плазміда рХО2 забезпечує експресію генів, відповідальних за формування капсули з полі-уД-глутамінової кислоти (PGA) (*capBCADE*). Молекулярна діагностика *B. anthracis* найчастіше базується на ідентифікації цих вірулентних факторів, а методи ПЛР дозволяють ампліфікувати невеликі фрагменти ДНК, присутні в рХО1, рХО2 і хромосомній ДНК цього патогену (Sabin et al., 2024).

ПЛР діагностика сибірки має свої особливості. Діагностика антраксу за допомогою ПЛР стикається із певними труднощами, зумовленими особливостями збудника. Зокрема, *B. anthracis* може перебувати у вегетативній формі в живому організмі та у спорівій формі в навколишньому середовищі, що визначає інфекційну природу бактерій. Тому вибір методу дослідження залежить від типу зразка – чи це клінічний зразок, чи зразок з навколишнього середовища. Складність ідентифікації бактерії також пов'язана із високою фенотиповою та генетичною схожістю *B. anthracis* з *Bacillus cereus* та іншими близькими видами бацил. Подібність настільки значна, що деякі дослідники вважають *B. anthracis* патогенним варіантом *B. cereus*. Група *Bacillus cereus* (*B. cereus sensu lato*) включає шість генетично споріднених видів: *B. cereus*, *B. anthracis*, *B. thuringiensis*, *B. mycoides*, *B. weihhanstephanensis* та *B. Pseudomycoides* (Abdelli et al., 2023).

Чутливі методи виявлення, такі як ПЛР, ІФА та різноманітні хроматографічні підходи, потребують спеціалізованого обладнання і, зазвичай, базуються на трудомістких

протоколах та інструментах, що не підходять для польових умов. Окрім того, ці методи є вразливими до забруднення та вимагають попереднього очищення зразків, щоб уникнути пригнічення сигналу через вплив забрудників із навколишнього середовища. Ідентифікація *B. anthracis* також може здійснюватися за допомогою тестів на фагочутливість, які є простим і доступним методом, однак поступаються за специфічністю ПЛР-тестам. Таким чином, традиційні засоби виявлення виявляються малоефективними для вимірювань в умовах *in situ*, де перевага надається швидким, зручним у використанні, компактним та портативним рішенням (Tuśkiewicz et al., 2023).

Молекулярні методи діагностики мають переваги над традиційними підходами. Ідентифікація *B. anthracis* ускладнюється через наявність як спорових, так і вегетативних форм, а також схожість з іншими бацилами. В Україні виникла проблема з використанням ПЛР для виявлення збудника сибірки, оскільки відсутні зареєстровані ПЛР-тести (як вітчизняні, так і закордонні) для цього захворювання. Щоб запобігти епізоотії та забезпечити біологічну безпеку від сибірки, важливо розробити швидкі та чутливі ПЛР-тести. Ефективна та специфічна діагностика дозволяє швидко локалізувати спалахи хвороби і усунути загрози біологічної небезпеки.

Діагностичні лабораторії України мають бути забезпечені чутливими та специфічними діагностичними наборами для підтримки біобезпеки країни, особливо під час військового стану. Традиційні мікробіологічні методи ідентифікації сибірки займають до п'яти діб і несуть ризик зараження співробітників лабораторії. Традиційні хромогенні та селективні агари для ізоляції *Bacillus anthracis*, зокрема PLET-агари, є складними та дорогими для лабораторій, які виявляють лише поодинокі випадки сибірки раз на кілька років, як зазначають (Owen et al., 2013).

Ще однією проблемою є використання альтернативних комерційних барвників метиленового синього M'Fadyean, які часто дають неоднозначні результати та спричиняють діагностичні помилки. Натомість, проведення ПЛР-дослідження займає лише три години, і при цьому зразок є інактивованим (Stora, 2000).

Особливості перебігу сибірки як антропозоонозу. Лікарі, особливо в первинній ланці, можуть не розглядати антракс як диференційний діагноз, що призводить до затримки діагностики. Симптоми (зокрема шкірної форми) можуть бути сплутані з іншими інфекціями, такими як фурункульоз чи стафілококові ураження (Ozera et al., 2018).

Шкірна форма сибірки становить 95 % всіх випадків у людей, при цьому інфікування відбувається, коли спори потрапляють на шкіру, перетворюючись на вегетативні форми з інкубаційним періодом від 1 до 7 діб. Характерна виразка часто стає чорною, що й дало назву «антракс», яке в перекладі з грецької означає «вугілля». Симптоми можуть варіюватися в залежності від тяжкості хвороби — від набряку і лімфаденопатії — до лихоманки. У неускладнених випадках шкірні ураження гояться за 2-3 тижні без рубців, а системні симптоми зустрічаються рідко. При пустульозній формі спостерігаються яскраво виражені симптоми, значний набряк і можливий розвиток сепсису. У пацієнтів зі шкірною формою може бути не зафіксовано системних симптомів (Sivakumar et al., 2022).

Шлунково-кишкова форма сибірки виникає через споживання недовареного інфікованого м'яса або інших заражених продуктів. Вона має два різновиди: орофарингеальна, що вражає слизову оболонку рота, щік, язика і задньої стінки глотки; та кишкова, яка заселяє слизову оболонку термінального відділу клубової чи сліпої кишки після проникнення спор. Інкубаційний період становить 3-7 діб. Симптоми можуть охоплювати лихоманку, біль у животі, нудоту, блювоту, кривавий пронос і можуть нагадувати гострий живіт. Через 3-4 доби можливий розвиток перитоніту і сепсису, а потім і смерті. Сепсис частіше зустрічається у випадках з інгаляційною або шлунково-кишковою формою сибірки. Пацієнти можуть мати системні симптоми, і КТ може показувати наявність рідини в черевній порожнині. Зараження було ймовірне через споживання інфікованого м'яса (Bossi et al., 2004; Chambers et al., 2023).

Діагноз шкірної форми сибірки ставиться на основі епідеміологічної історії та характерних шкірних уражень. Діагностувати шлунково-кишкову чи інгаляційну форму складніше, тому важливо враховувати історію пацієнта.

Диференціальний діагноз для шлунково-кишкової форми включає харчове отруєння, гострий живіт з іншими причинами і геморагічний гастроентерит. Остаточний діагноз ставиться шляхом демонстрації агента за допомогою забарвлення за Грамом або посіву крові. Метод посіву крові є золотим стандартом діагностики. Забарвлення може дати негативний результат при впливі антибіотика, тому використовують ПЛР та імуногістологічні методи. Діагноз ставиться через збір анамнезу та за результатами посіву крові пацієнта зі шлунково-кишковою формою сибірки. У випадках із шкірною формою діагноз ставиться на основі спостереження характерних виразок та анамнезу. Через попереднє вживання антибіотиків, пацієнти можуть проходити ПЛР-тестування на сибірку, що підтверджує наявність інфекції (Nooral et al., 2022).

Легенева форма сибірки, коли людина вдихає спори сибірки, може розвинутиися інгаляційна сибірка. Інфекція зазвичай розвивається протягом тижня після зараження; проте, цей розвиток може тривати до 2 місяців. Без лікування виживають лише близько 10–15% пацієнтів, інфікованих легеневою формою сибірки. Однак при агресивному лікуванні виживають близько 55 % пацієнтів. Клінічна картина легеневої форми сибірки протікає у дві стадії. Спочатку фізичні ознаки зазвичай неспецифічні включають лихоманку, задишку, кашель, головний біль, блювання, слабкість, біль у животі та грудях. Друга стадія розвивається раптово і включає раптову лихоманку, задишку, потовиділення та шок. Рання діагностика складна і вимагає високого ступеня підозрілості (Sangwan et al., 2025; Wondmnew, 2023).

Ін'єкційна сибірка є найрідкіснішою формою захворювання, спричиненою проникненням *Bacillus anthracis* через внутрішньовенну, підшкірну або внутрішньом'язову ін'єкцію заражених речовин. Інфекція викликає значний набряк у місці введення, що може призвести до абсцесу або некротизуючого фасціїту. На даний момент в Європі зафіксовано три спалахи ін'єкційної сибірки серед споживачів героїну, з рівнем смертності до 35 %. Лікування включає антибіотики та хірургічне видалення ураженої ділянки. Менінгіт, викликаний інфекцією *Bacillus anthracis*, є рідкісною, але смертельною формою сибірки. Бацили можуть проникати через шкіру, орально чи через дихальні шляхи, поширюючись через кров або лімфу до центральної нервової системи, де провокують менінгіт після подолання гематоенцефалічного бар'єру (Hendricks et al., 2022; Zasada, 2018).

Біобезпека і біозахист щодо сибірки. Системи біобезпеки та біозахисту запроваджуються по всьому світу для зменшення ризиків, що виникають через небезпечні патогени в лабораторіях. Ветеринарні лабораторії мають особливу відповідальність перед працівниками та суспільством за безпечне й надійне поводження з патогенними мікроорганізмами, оскільки багато з мікроорганізмів, що досліджуються там, здатні інфікувати не тільки тварин, а й людей (Sidwa et al., 2020).

Інфекційні захворювання серед худоби становлять серйозну загрозу для здоров'я тварин у світі, і їхній контроль є ключовим для підтримки міжнародних торговельних зв'язків щодо худоби та продукції тваринництва. Лабораторна діяльність, яка включає дослідження патогенів, розробку діагностичних інструментів, створення фармацевтичних препаратів і вакцин, а також ідентифікацію та аналіз етіологічних агентів, відіграє вирішальну роль у більшості успішних ініціатив щодо контролю (Tomley & Shirley, 2009).

Робота з інфекційними патогенами, включаючи їх ізоляцію, зберігання та утилізацію, пов'язана із серйозними ризиками. Ці ризики стосуються лабораторної безпеки, здоров'я персоналу, довкілля, місцевих громад і навіть глобальної безпеки. В матеріалах Всесвітньої організації охорони здоров'я тварин (МЕБ) (2015), зазначено, що біобезпека лабораторій базується на принципах і практиках, спрямованих на запобігання ненавмисному вивільненню чи випадковому впливу біологічних агентів і токсинів. Водночас біозахист лабораторій визначається, як заходи фізичного контролю над

біологічними агентами та токсинами з метою уникнення їхньої втрати, крадіжки, неправильного використання або несанкціонованого доступу чи вивільнення.

Лабораторні аварії та ненавмисне вивільнення патогенів із ветеринарних лабораторій становлять ризик інфікування як людей, так і тварин. У США лабораторія тимчасово припинила діяльність після того, як її працівники заразилися бруцельозом і зазнали впливу лихоманки Ку (Lim et al., 2004; Kaiser, 2007).

Лабораторії та дослідницькі установи, які працюють із патогенами тваринного походження, стикаються з ризиком зоонозних інфекцій. Такі збудники створюють суттєву небезпеку як для персоналу, так і для навколишніх спільнот людей і тварин. В 2007 році в графстві Суррей, Велика Британія, через витік лабораторних штамів вірусу ящура зі стічної труби інфекція потрапила до місцевого сільського господарства. Зараження худоби відбулося через транспортні засоби, які стали носіями забруднених відходів. Вірус було виявлено на десяти фермах, що призвело до значного хаосу в тваринницькому секторі. Ліквідація наслідків обійшлася в понад 100 мільйонів фунтів стерлінгів (Jaouhari, 2022).

Можливі загрози випадкового поширення патогенів, політика та заходи лабораторної біобезпеки мають ключове значення для будь-якої установи, яка працює зі збудниками, що несуть ризик для здоров'я людей і тварин. Навмисне поширення небезпечних патогенів, поряд із випадковим вивільненням є ще більшою загрозою. Зростання терористичної активності у поєднанні з прогресом у біологічних науках підвищує ймовірність використання патогенів у тероризмі (Gaudioso & Salerno, 2004).

Сибірка, викликана бактерією *Bacillus anthracis*, становить значну загрозу як у природному середовищі, так і в умовах біотерористичних дій. Її здатність уражати широкий спектр організмів, включно з людьми та тваринами, разом із потенційним використанням, як біологічної зброї підкреслює важливість глибшого вивчення цього захворювання та вдосконалення заходів боротьби з ним (Kanwar, 2025).

Процес застосування біологічного агента для завдання шкоди є багатоступеневим і складним. Він включає доступ до чистого та високовірулентного патогена, його достатнє виробництво та ефективне поширення. Терористи частіше звертаються до біологічних лабораторій для отримання вже очищених і перевірених на вірулентність патогенів, оскільки це простіше, ніж ізолювати їх від природних джерел, чи під час спалахів (Salerno & Gaudioso, 2007).

У численних дослідницьких, діагностичних і фармацевтичних лабораторіях патогени ізолюють, посилюють і зберігають для виконання наукових завдань, діагностики захворювань і розробки методів лікування. Через це вони стають потенційними об'єктами для крадіжки та зловмисного використання. У зв'язку з цим критично важливим є впровадження програм лабораторної біобезпеки для захисту цих матеріалів. Лише після інциденту з поширенням лабораторного штаму *Bacillus anthracis* через поштову систему США кілька країн запровадили жорсткі регуляції для посилення систем біобезпеки (Brass et al., 2017).

Лабораторна біобезпека та біозахист є ключовими складовими управління біоризиками і мають впроваджуватися у всіх дослідницьких лабораторіях, виходячи з оцінки ризику. Лабораторна біобезпека враховує ймовірність небезпечних подій, таких як випадкове інфікування або навмисне вивільнення, та можливі наслідки цих подій. Системи лабораторної біобезпеки включають інженерні засоби контролю, стандартні робочі процедури та використання засобів індивідуального захисту. Біозахист охоплює заходи з фізичної безпеки, захисту персоналу, інформаційної безпеки, контроль безпеки транспортування, а також управління матеріалами й їх підзвітність, як зазначно в European committee for standardization (CEN) (2011).

Одним із ключових аспектів забезпечення глобальної безпеки у сфері охорони здоров'я є належне управління біологічними ризиками в лабораторіях. Для ефективної роботи ізольованих лабораторій, включно з ветеринарними, необхідно впроваджувати системи управління біоризиками. Вони мають включати відповідні заходи біобезпеки та

біозахисту, що спрямовані на запобігання витоку чи впливу інфекційних матеріалів. Обробка, ізолювання, зберігання та утилізація патогенних мікроорганізмів створюють невідворотні ризики для безпеки не лише самих лабораторій та їхнього персоналу, але й суспільства, довкілля та навіть глобального рівня. Через це системи біобезпеки та біозахисту повинні стати обов'язковою складовою будь-якої лабораторії, що працює з небезпечними мікроорганізмами, забезпечуючи превенцію випадкового чи навмисного витоку матеріалів (Sodjinou, 2021).

Стандарт управління біологічними ризиками ветеринарній лабораторії складається з компонентів управління біоризиками: ідентифікація біологічної небезпеки, оцінка біологічного ризику, управління ризиками, комунікація ризиків, верифікація з постійним удосконаленням, як зазначено в World organisation for animal health (OIE) (2015).

Процеси збору, транспортування, ізоляції та зберігання біологічних агентів до лабораторії несуть значні ризики. Щоб забезпечити ефективний та своєчасний контроль над небезпечними спалахами інфекційних захворювань і підвищити якість лабораторної діяльності, ці ризики потребують ретельного управління. Заходи біозахисту та відповідна інфраструктура повинні розвиватися синхронно, створюючи ефективні об'єкти, які гарантують безпеку працівників, захист довкілля, відповідний рівень утримання продуктів (дослідницьких, діагностичних або вакцинних) і контроль над біологічними патогенами (Zaki, 2010).

Для захисту працівників лабораторій від можливого контакту з біологічними агентами застосовуються комбінації лабораторних методів і процедур, спеціального обладнання (первинних бар'єрів) та засобів захисту (вторинних бар'єрів). Таке поєднання створює так звані рівні біобезпеки (Biosafety Level – BSL). Класифікація лабораторій за рівнями біобезпеки здійснюється з урахуванням їх функціонального призначення, конструктивних особливостей, наявного обладнання, а також практик і процедур для роботи з патогенами різних груп ризику. Відповідно до рівня біобезпеки лабораторії поділяються на чотири категорії: базові (рівень біобезпеки 1), середні базові (рівень біобезпеки 2), ізольовані (рівень біобезпеки 3) та максимально ізольовані (рівень біобезпеки 4). Вибір необхідного рівня біобезпеки для конкретних завдань визначається фахівцями на основі оцінки ризиків (Zubareva et al., 2022).

Різні установи мають неоднаковий рівень фінансових та організаційних можливостей для зменшення біологічних ризиків. Головними викликами, з якими стикаються лабораторії по всьому світу, залишаються нестабільне енергопостачання, недосконала інфраструктура, проблеми географічного розміщення та забезпечення захисту, непередбачувані погодні умови, а також необхідність у навчанні персоналу. Водночас застосування підходу до зниження біологічних ризиків, заснованого на попередній їхній оцінці, дозволяє персоналу краще усвідомлювати існуючі або потенційні загрози в лабораторії та можливі наслідки цих загроз для співробітників, їхніх родин і ширшого населення.

Отже, стратегії зниження ризиків значно варіюватимуться залежно від особливостей конкретної лабораторії, установи чи країни. Ефективний контроль небезпек у лабораторії забезпечить безпеку не лише її співробітників або осіб у будівлі, де вона розташована, а й загалом усіх людей у суспільстві, як зазначено в Biosafety in microbiological and biomedical laboratories (2020) та Laboratory biosafety and biosecurity risk assessment technical (2014).

Обмежені лабораторні можливості пов'язані з функціонуванням лабораторій із різним рівнем біозахисту, що має свої національні особливості. Визначення належності мікроорганізму до певної групи патогенності може відрізнятись залежно від країни. У Європі існує власний список патогенів, який має специфічні особливості порівняно з рекомендаціями, запропонованими МЄБ. Список захворювань, обов'язкових для контролю в країнах ЄС, включає сибірку.

Важливим елементом забезпечення біобезпеки та біозахисту є функціонування центрів референс-експертиз. Сьогодні вони виконують роль нагляду та сприяють розробці

й імплементації стандартів біобезпеки на національному, регіональному та глобальному рівнях. Експертиза проводиться на різних рівнях. Перший, і найбільш значущий для ефективності системи, це національний рівень. У країнах ЄС, Азії та на американському континенті функціонують національні нормативи й правила щодо контролю захворювань із потенційними ризиками. Ці нормативи постійно перевіряються та вдосконалюються за допомогою національних референс-лабораторій, як зазначають (Stegniy et al., 2010). Більшість регіональних лабораторій не мають сучасного обладнання для швидкої та точної ідентифікації *Bacillus anthracis* (наприклад, ПЛР-систем або автоматизованих бактеріологічних аналізаторів). Остаточна ідентифікація збудника проводиться в референс-лабораторіях Центру громадського здоров'я, але транспортування зразків із віддалених регіонів може бути ускладненим через логістичні проблеми та вимоги до біобезпеки.

Робота з патогенами I-II груп патогенності, до яких належить *Bacillus anthracis*, а за класифікацією Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ.) відноситься до третьої групи патогенності (особливо небезпечних інфекцій (ОНІ)), вимагає спеціальної підготовки, якої бракує в багатьох регіональних установах.

Лабораторії, які проводять дослідження на сибірку, повинні відповідати суворим вимогам біобезпеки (згідно з ДСП 9.9.5.035-99). Однак не всі установи мають належні умови для роботи з такими патогенами, що підвищує ризик контамінації або інфікування персоналу. Недостатнє фінансування ускладнює забезпечення засобами індивідуального захисту та підтримання належного рівня біобезпеки.

Національні референс-лабораторії активно співпрацюють із міжнародними, розробляючи й верифікуючи ефективність заходів у галузях тваринного здоров'я та біобезпеки. Як приклад ефективної співпраці можна навести референс-інституції ЄС. Їх розташування визначається двома основними принципами — наявністю високого досвіду та територіальною зручністю. Ці установи постійно взаємодіють із національними лабораторіями через верифікацію методик діагностики, спільні моніторингові проекти, освітні програми та підготовку звітів.

Отримані результати свідчать про наявність системних проблем у сфері діагностики сибірки в Україні, що посилюються у контексті воєнного конфлікту. Залишається незадовільною ситуація з оновленням лабораторного обладнання та впровадженням сучасних методів виявлення *Bacillus anthracis*, зокрема ПЛР та імуноферментного аналізу. Існуюча нормативна база часто не враховує сучасних молекулярних методів, а відсутність зареєстрованих в Україні ПЛР-наборів для виявлення сибірки ускладнює оперативне реагування на спалахи.

Незважаючи на наявність відповідних інструкцій і санітарних норм, їх практичне застосування обмежується браком фінансування, дефіцитом кадрів і низькою обізнаністю фахівців щодо діагностики рідкісних зоонозів. Відсутність централізованого доступу до актуалізованої карти сибіркових скотомогильників також перешкоджає здійсненню ефективного епізоотичного контролю, що є критичним у період активних бойових дій та на тимчасово окупованих територіях.

Особливу небезпеку становить недооцінка ризику повторної активації спорової форми збудника в результаті порушення ґрунтового покриву, будівельних або військових робіт. У зв'язку з цим актуалізується потреба у системному підході до моніторингу ґрунтових осередків, контролю за потенційно небезпечними ділянками, а також підвищення рівня взаємодії між державними установами, науковими центрами та громадськими організаціями.

З огляду на виклики, з якими зіштовхується система біобезпеки України, необхідно терміново розробити і впровадити чіткі алгоритми дій для діагностичних лабораторій у випадку виявлення сибірки, забезпечити навчання персоналу, оновити діагностичні протоколи і стандарти відповідно до міжнародних рекомендацій (ВОЗ, ОІЕ).

Висновки.

1. Проведене дослідження підтвердило, що сибірка залишається одним із найбільш актуальних епізоотичних і біобезпечових викликів в Україні, особливо в умовах воєнного конфлікту, що суттєво ускладнює здійснення ефективного епізоотичного нагляду, діагностики та контролю за сибірковими скотомогильниками. У результаті аналізу встановлено, що чинна нормативно-правова база, методичне забезпечення та технічна оснащеність лабораторій не відповідають сучасним вимогам до виявлення збудника *Bacillus anthracis*.

2. Дослідження показало, що мікробіологічні та серологічні методи, які домінують у лабораторній практиці, є недостатньо ефективними у випадках латентного або спорового перебігу інфекції. Зокрема, брак зареєстрованих в Україні ПЛР-наборів для діагностики сибірки значно обмежує можливості швидкого реагування на потенційні спалахи. Крім того, через високий ступінь морфологічної і генетичної схожості *Bacillus anthracis* з іншими представниками групи *Bacillus cereus* виникають труднощі у точній ідентифікації патогена.

3. Аналіз статистичних даних свідчить про збереження активних епізоотичних осередків у ряді регіонів, зокрема в зонах бойових дій і тимчасової окупації. Виявлено, що більшість сибіркових могильників залишаються без постійного нагляду, що створює ризики повторного інфікування внаслідок механічного порушення ґрунту.

3. На основі отриманих результатів обґрунтовано доцільність термінового оновлення нормативної документації з урахуванням вимог міжнародних організацій (ВОЗ, WHO), впровадження ПЛР-діагностики в практику державних лабораторій, створення національної геоінформаційної бази сибіркових захоронень, а також посилення міжвідомчої співпраці у сфері біобезпеки. Необхідним є також підвищення рівня професійної підготовки фахівців та розробка алгоритмів дій для екстреного реагування на підозру або підтвердження випадків сибірки серед тварин чи людей.

Перспективи подальших досліджень у сфері діагностики та контролю сибірки в Україні полягають у розробці і впровадженні високочутливих та специфічних молекулярних тест-систем, зокрема вітчизняних ПЛР-наборів, адаптованих до особливостей місцевих штамів *Bacillus anthracis*. Важливим напрямом є створення інтегрованої інформаційної платформи для системного моніторингу сибіркових осередків та скотомогильників із залученням геоінформаційних технологій (GIS). Необхідно розширити дослідження щодо впливу військових дій на поширення спорової форми збудника у ґрунті та можливих шляхів її мобілізації у довкіллі. Особливу увагу слід приділити вивченню імунної відповіді тварин і людей на різні форми інфекції, що дозволить удосконалити профілактичні заходи і схеми вакцинації. Також важливо підвищувати кваліфікацію фахівців у галузі ветеринарної та гуманної медицини, впроваджуючи сучасні методи навчання з урахуванням біобезпеки і біозахисту при роботі з патогенами I-II груп небезпеки.

References

- Abdelli, M., Charlotte, F., Morineaux, V. H., Cumont, A., Taysse, L., Raynaud, F., & Ramisse, V. (2023). Get to know your neighbors: Characterization of close *Bacillus anthracis* isolates and toxin profile diversity in the *Bacillus cereus* group. *Microorganisms*, 11(11), 2721. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11112721>
- Anthrax annual epidemiological. (2023). European Centre for Disease Prevention and Control.
- Arede, M., Allepuz, A., Beltran-Alcrudo, D., Casal, J., & Romero-Alvarez, D. (2024). Suitability of anthrax (*Bacillus anthracis*) in the Black Sea basin through the scope of distribution modeling. *PLOS ONE*, 19(2), e0303413. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303413>
- Ashique, S., Biswas, A., Mohanto, S., Srivastava, S., Hussain, M. S., Ahmed, M. G., & Subramaniyan, V. (2024). Anthrax: A narrative review. *New Microbes and New Infections*, 62, 101501. <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2024.101501>

- Beale, S., Rava, Z. T., & Mace, F. C. (2021). A scoping review on category A agents as bioweapons. *Prehospital and Disaster Medicine*, 36(6), 767–773. <https://doi.org/10.1017/S1049023X21001072>
- Biosafety in microbiological and biomedical laboratories. (2020). Centers for Disease Control and Prevention (CDC).
- Bossi, P., Tegnelli, A., Baka, A., Van Loock, F., Hendriks, J., Werner, A., Maidhof, H., & Gouvras, G. (2004). Bichat guidelines for the clinical management of anthrax and bioterrorism-related anthrax. *Eurosurveillance*, 9(12), 21–22. <https://doi.org/10.2807/esm.09.12.00500-enr>
- Iovenko, I., Zaviriukha, H., Sorokina, N., & Yanenko, U. (2023). Anthrax outbreaks under environmental instability: Ukrainian model of biosecurity threats. *One Health Reports*, 2(1), 101046. <https://doi.org/10.1016/j.ohr.2023.101046>
- Railean, S., Popa, M., Topor, D., & Muntean, A. (2024). Environmental persistence of *Bacillus anthracis*: A new approach to risk assessment. *Microbial Risk Analysis*, 20, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.mran.2024.100203>
- Shapoval, V. F., Pivovar, S. M., Rudenko, L. M., & Matsiychuk, P. V. (2020). Anthrax prevention – everything you need to know. *Pathogens*, 9(5), 370. <https://doi.org/10.3390/pathogens9050370>
- Sidwa, T., Salzer, J. S., Traxler, R., Swaney, E., Sims, M. L., Bradshaw, P., & Hendricks, K. (2020). Control and prevention of anthrax, Texas, USA, 2019. *Emerging Infectious Diseases*, 26(12), 2815–2824. <https://doi.org/10.3201/eid2612.200470>
- Sivakumar, A., Kalimuthu, A., & Munisamy, M. (2022). Cutaneous anthrax. *JAMA Dermatology*, 158(9), 1065. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2022.3216>
- Sodjinou, V. D., Ayelo, P. A., Achade, A. G. A., Affolabi, D., & Ouendo, D. E.-M. (2021). Assessment of the biosafety and biosecurity in the reference veterinary laboratory of Parakou in Benin. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 6(3), 146. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed6030146>
- Song, X., Zhang, W., Zhai, L., Guo, J., Zhao, Y., Zhang, L., ... & Yang, W. (2022). Aerosolized intratracheal inoculation of recombinant protective antigen (rPA) vaccine provides protection against inhalational anthrax in B10.D2-Hc0 mice. *Frontiers in Immunology*, 13, 819089. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.819089>
- Stegniy, B. T., Kutsan, O. T., Gerilovych, A. P., Holovko, A. M., Rublenko, M. V., Bisyuk, I. Yu. (2010). Biosafety and bioprotection: World experience, problems in Ukraine and ways to solve them. *Veterinary Medicine*, 94, 5–12.
- Stopa, P. J. (2000). The flow cytometry of *Bacillus anthracis* spores revisited. *Cytometry*, 41(4), 237–244. [https://doi.org/10.1002/1097-0320\(20001201\)41:4<237::aid-cyto1>3.0.co;2-3](https://doi.org/10.1002/1097-0320(20001201)41:4<237::aid-cyto1>3.0.co;2-3)
- Tin, D., Pardis, S., & Gregory, C. (2022). Bioterrorism: An analysis of biological agents used in terrorist events. *The American Journal of Emergency Medicine*, 54, 117–121. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2022.01.056>
- Tomley, F. M., & Shirley, M. W. (2009). Livestock infectious diseases and zoonoses. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1530), 2637–2642. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0133>
- Tyśkiewicz, R., Fedorowicz, M., Nakonieczna, A., Zielińska, P., Kwiatek, M., & Mizak, L. (2023). Electrochemical, optical and mass-based immunosensors: A comprehensive review of *Bacillus anthracis* detection methods. *Analytical Biochemistry*, 675, 115215. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2023.115215>
- Wondmnew, T., & Asrade, B. (2023). Case-control study of human anthrax outbreak investigation in Farta Woreda, South Gondar, Northwest Ethiopia. *BMC Infectious Diseases*, 23, 167. <https://doi.org/10.1186/s12879-023-08136-9>
- Zaki, A. N. (2010). Biosafety and biosecurity measures: Management of biosafety level 3 facilities. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 36(10), 70–74. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2010.06.026>
- Zasada, A. A. (2018). Injectional anthrax in human: A new face of the old disease. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 27, 553–558. <https://doi.org/10.17219/acem/68380>
- Zubareva, I. M., Mitina, N. B., & Malinovska, N. V. (2022). General rules for safe work with biological agents. *Ukrainian Journal of Construction and Architecture*, 5(011), 43–50. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.251022.43.890.890>