

ПЕРСПЕКТИВИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ *BACILLUS ANTHRACIS* ТА РОЗРОБКИ НОВИХ ПІДХОДІВ ДО САНАЦІЇ ҐРУНТУ Й ОБ'ЄКТІВ ОТОЧУЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА

Дерев'янко С. В., Тарасов О. А., Криця Я. П., Боровков С. Б.

Інститут ветеринарної медицини НААН, Київ, Україна, e-mail: biopreparat@i.ua

Білойван О. В., Палій А. П.

Національний науковий центр «Інститут експериментальної
і клінічної ветеринарної медицини», Харків, Україна

Болотін В. І.

Державний науково-контрольний інститут
біотехнології і штамів мікроорганізмів, Київ, Україна

Сибірка, етіологічним агентом якої є бактерії виду *Bacillus anthracis*, залишається однією з найнебезпечніших зоонозних хвороб у світі. Вона становить проблему не лише ветеринарній медицині, а й несе загрозу громадському здоров'ю, довкіллю, економіці та національній безпеці. Триваюча війна в Україні, включаючи руйнування інфраструктури та порушення стану довкілля, значно збільшила ризик спалахів сибірки. Неналежне утримання історичних місць поховання тварин (худобомогильники), де раніше утилізували заражені туші, посилює цей ризик. Для оцінки епізоотичної ситуації щодо сибірки в Україні в умовах воєнного часу необхідно дослідити біологічні та генетичні характеристики *B. anthracis* та проаналізувати сучасну літературу щодо розробки дезінфікуючих засобів на основі наночастинок та композитних наноматеріалів, придатних для дезактивації ґрунту та навколишнього середовища. Було проведено контекстуальний та аналітичний огляд доступної наукової літератури для оцінки поточної епізоотичної та епідеміологічної ситуації, практики моніторингу *B. anthracis* та її генетичної мінливості. Крім того, було проаналізовано дослідження потенційного використання металевих, неметалевих та композитних наночастинок у розробці нових дезактивуючих засобів. Епізоотична ситуація щодо сибірки в Україні залишається нестабільною, головним чином через велику кількість історичних місць поховань, які могли бути пошкоджені повеннями, бомбардуваннями або іншими техногенними та військовими факторами. Такі пошкодження збільшують ймовірність потрапляння спор *B. anthracis* у навколишнє середовище. Література свідчить про значну генетичну різноманітність серед штамів *B. anthracis*, що може ускладнити діагностику. Практика дезінфекції постійно розвивається, зі зростаючим інтересом до використання рішень на основі нанотехнологій. Ці підходи пропонують потенціал для ефективнішого знезараження ґрунту та поверхонь. Ураховуючи високу ймовірність пошкодження місць поховання через воєнні дії та екологічні катастрофи, необхідні термінові заходи для моніторингу та переоцінки безпеки цих територій. Існує нагальна потреба в систематичному відборі проб та молекулярному виявленні *B. anthracis*, включаючи секвенування всього геному для відстеження генетичних варіацій штамів. Розроблення передових дезінфекційних засобів, зокрема тих, що містять антибактеріальні нанокompозити, є перспективним напрямом. Для ефективного відновлення навколишнього середовища слід розглянути цілісний підхід до дезактивації, що поєднує хімічні, фізичні та біологічні методи, включаючи введення корисних мікробних антагоністів.

Ключові слова: сибірка, моніторинг, дезінфекція, наночастинок, композитні наноматеріали

Сибірка є однією з найбільш небезпечних зоонозних хвороб. Існує досить багато повідомлень щодо реєстрації спалахів сибірки як серед сільськогосподарських тварин, так і серед людей. Ця хвороба є не лише ветеринарною проблемою, а й медичною, економічною,

політичною, військовою, тому що високовірулентні штами *Bacillus anthracis* можуть бути використані як біологічна зброя [1].

Ситуація щодо сибірки в Україні є досить складною та зумовлена, перш за все, наявністю старих могильників тварин — факторів, що створюють постійну потенційну загрозу появи нових вогнищ хвороби [2, 3].

З високою ймовірністю, епізоотична та епідемічна ситуація щодо сибірки може погіршитись унаслідок воєнних дій, техногенних катастроф, паводків та інших факторів, які можуть зумовити руйнацію поховань і виходу спор *B. anthracis* у поверхневі шари ґрунту та до відкритих водойм.

У зв'язку з цим, **метою** нашої роботи є аналіз епізоотичної ситуації щодо сибірки за умов бойових дій, контекст-аналіз публікацій щодо біологічних властивостей і моніторингу *B. anthracis*, аналіз літератури щодо можливостей використання наночастинок (НЧ) металів, неметалів і композитних наноматеріалів (НМ) для розробки дезінфікуючих засобів, придатних для деконтамінації ґрунту та об'єктів навколишнього середовища.

Матеріали та методи. Аналіз епідемічної та епізоотичної ситуації щодо сибірки проводили на основі доступної інформації Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), Всесвітньої організації охорони здоров'я тварин (ВООЗТ), звітів Центру громадського здоров'я Міністерства охорони здоров'я України (МОЗ України), вивчення звітних даних Державної служби України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів (Держпродспоживслужба України), каталогів неблагополучних пунктів щодо сибірки в Україні та місць сибіркових поховань (ІВМ НААН), публікацій у наукових виданнях.

Результати та обговорення. Збудник сибірки має надзвичайно великий ареал поширення в світі завдяки здатності до спороутворення та надзвичайно високій життєздатності спор, які, згідно з опублікованими даними, можуть зберігатися в ґрунті до 400 років. За даними ВООЗ хворобу реєструють у більшості частин світу, зазвичай у вигляді спорадичних випадків або обмежених спалахів, переважно в популяціях жуйних тварин, що випасаються. Джерелом збудника у більшості випадків виступає ґрунт, в якому збудник може не тільки зберігатись, але й, за сприятливих умов, можуть відбуватися цикли його відтворення. В Україні за останні 20 років зареєстровано спалахи сибірки в населених пунктах, в яких раніше їх не реєстрували. Це може бути пов'язано з недостатністю архівних даних або із заносом збудника з інших територій [4].

Кожного року про випадки сибірки повідомляють у майже 100 країнах світу на різних континентах, охоплюючи 54 види тварин. Серед людей щорічна захворюваність у світі коливається від 2 тисяч до 20 тисяч випадків. Також, збудник сибірки визнаний найнебезпечнішим агентом біотероризму [5, 6].

Упродовж останнього століття спалахи сибірки регулярно реєстрували серед сільськогосподарських тварин на всій території України. Протягом 1920–2023 рр. зафіксовано 23 472 спалахи захворювання. Також розрахунок інтервалу між повторними спалахами у стаціонарно неблагополучних пунктах може сягати 65 років, що підтверджує стаціонарність проявів захворювання [7].

Існує висока ймовірність пошкодження цих могильників бомбардуванням території, бойовими діями, повеннями, що може призвести до виходу збудника сибірки [8–10].

Упродовж 1994–2016 років простежується зменшення кількості спалахів захворювання та кількості тварин, що захворіли на сибірку, в Україні. Проте загроза спалахів залишається у зв'язку з великою кількістю скотомогильників та неналежного їх утримання, відсутністю картографування щодо їх розташувань. Упродовж 2021 року найвищу частку хворих тварин відмічали у Волинській області (21,17 %), а найнижчу — у Тернопільській (0,16 %), повну відсутність — у Житомирській. Вважають небезпечними щодо можливих спалахів сибірки Вінницьку, Черкаську, Хмельницьку, Харківську, Одеську та Київську області [7, 11].

З 1994 по 2021 р. в Україні було зареєстровано 147 спалахів сибірки серед великої рогатої худоби, а дослідження матеріалів від 382 гол. ВРХ за цей період мали позитивний результат на сибірку. Найбільша кількість спалахів сибірки серед поголів'я ВРХ зафіксована у Вінницькій (18), Хмельницькій (12), Волинській (11) та Черкаській (11) областях. Найменша кількість спалахів зафіксована в АР Крим (2), Закарпатській (1), Тернопільській (1) та Чернігівській (1) областях. У Житомирській області за весь аналізований період не було зареєстровано спалахів сибірки серед великої рогатої худоби [12].

Зафіксовано поодинокі випадки захворювання тварин на сибірку у 2022 році. Держпродспоживслужба України інформує, що 18 жовтня 2022 року в одному з господарств Київської області з патологічного матеріалу від дрібної рогатої худоби (ДРХ) (кози) у ході бактеріологічних досліджень виділено збудника сибірки *B. anthracis*. У ході розслідування встановлено, що у фермерському господарстві утримували 337 гол. кіз. Тварин інших видів у господарстві відсутні [13].

Головним управлінням Держпродспоживслужби в Київській області проведено комплекс заходів відповідно до вимог Інструкції про заходи профілактики та боротьби з сибіркою тварин та Плану заходів [14].

Таким чином, у зв'язку з бойовими діями, виникають підвищені ризики поширення сибірки не лише в Україні, на території Європи, а і в цілому світі.

Однак, наукових публікацій щодо обстеження звільнених територій чи територій, які було затоплено внаслідок підриву російською федерацією Каховської гідроелектростанції, у процесі пошуку не було виявлено. Як і не виявлено літературних даних щодо руйнувань могильників унаслідок бойових дій та підтоплення територій захоронень у результаті підриву Каховської гідроелектростанції.

У зв'язку з відсутністю цієї інформації існує нагальна необхідність постійного моніторингу та ретроспективного аналізу сибіркових поховань, які могли бути пошкодженими під час бойових дій та тих, які зазнали пошкоджень під час паводків та в результаті підриву росією Каховської гідроелектростанції.

B. anthracis — грам-позитивна, факультативно анаеробна паличковидна бактерія роду *Bacillus*. *B. anthracis* є причинним агентом сибірки. Існують різні думки щодо розмноження *B. anthracis* у ґрунті. Одні стверджують, що бактерії є паразитами тварин, а ґрунтові спори залишаються інертними, поки їх не поглине інша тварина-господар. Інші стверджують, що спори можуть проростати в ґрунті, а бактерії розмножуються та повторно спороутворюють, щоб підтримувати та/або збільшувати кількість спор [15].

Лабораторними дослідженнями доведено, що розмноження *B. anthracis* у ґрунті відбувається за відповідних умов. Так, у 1941 р. F. C. Minett і M. R Dhanda продемонстрували, що *B. anthracis* може розмножуватись у ґрунтах за відповідних умов рН (за кислих значень рН репродукція інгібується), вологи (20 %) та температури (25–30 °C). Упродовж 2 тижнів титр бактерій зростав у 30 000 разів. Активне розмноження припинялося до кінця другого тижня, після чого відбулась споруляція. Ріст бактерій також відбувався в ґрунтах, збагачених поживними речовинами, такими як кінський гній, рослинний перегній, сульфат амонію, вапно та суперфосфат [16].

Ці дослідження проводили в стерилізованому ґрунті. У нестерилізованому ґрунті, реплікації *B. anthracis* не спостерігали. Автори зробили припущення, що відсутність реплікації *B. anthracis* була наслідком антагоністичної дії ґрунтових мікроорганізмів.

Доведено, що після смерті хазяїна вегетативні клітини *B. anthracis* утворюють спори, здатні роками виживати в ґрунті. Досліджено здатність виживання спор у поверхневих ґрунтах (на глибині 0–1 см) у 40 місцях знаходження трупів тварин рівнинної зебри (*Equus quagga*), загиблих від сибірки у Намібії. Установлено, що початкові концентрації спор та їх виживання суттєво залежали від характеристик ґрунту та геномних варіацій патогенів. Суттєвий вплив мала сезонність. У зебр, які гинули від сибірки у дощові сезони (піковий сезон сибірки в Національному парку Етоша), концентрація спор у ґрунті була на 1,36 порядку вище, ніж у тих, які гинули в сухі сезони [17].

Установлено, що штами *B. anthracis*, можуть розповсюджуватись некрофільними мухами та розмножуватись впродовж двох або більше діб після інокуляції та зберігатися на листі та скелях впродовж семи діб [18].

Таким чином, доведено, що *B. anthracis* можуть розмножуватися у ґрунті та тривалий час зберігатися у вигляді спор, а некрофільні мухи — контамінувати ними об'єкти оточуючого середовища. У зв'язку з цим, виявлення збудника сибірки та деконтамінація об'єктів оточуючого середовища в умовах війни набуває глобального значення.

У разі пошкодження могильників унаслідок бойових дій чи повеней у місцях захоронень тварин та об'єктів навколишнього середовища проводять відбір проб для виявлення обсіменіння спорами збудника сибірки. Відбір проб та дослідження на наявність *B. anthracis* проводять згідно з існуючими методичними рекомендаціями [19] та Інструкцією з лабораторної

діагностики сибірки у людей, в сировині тваринного походження та об'єктах довкілля [20] з дотриманням заходів, що запобігають забрудненню об'єктів навколишнього середовища та перехресному забрудненню зразків, керуючись при цьому діючими правилами та інструкціями з даного питання [14, 21].

Дослідження, спрямовані на виявлення ДНК *B. anthracis*, переважно зосереджені на ідентифікації двох основних факторів вірулентності збудника сибірки — плазмід рХО1 та рХО2. Гени, відповідальні за синтез токсину і капсули, локалізовані відповідно в плазмідах рХО1 та рХО2 *B. anthracis* [22, 23]. Порівняння генома *B. anthracis* з геномами представників *B. cereus*, які містять повні або частково гомологічні плазмід, свідчить про те, що філогенія, побудована на основі плазмід, узгоджується з філогенією основної хромосоми. Це вказує на обмежений горизонтальний перенос плазмід як між видами, так і всередині них [24]. Хоча наявність рХО1- та рХО2-подібних плазмід вважається характерною ознакою *B. anthracis*, подібні плазмід були виявлені й у штамів, філогенетично ближчих до інших представників групи *B. cereus*. Екологічна стратегія *B. anthracis*, яка поєднує патогенний спосіб життя (в організмі ссавців) із виживанням у навколишньому середовищі (ґрунті), робить цей вид перспективною моделлю для вивчення нішової регуляції експресії генів та бактеріальної фізіології [25].

Таким чином, виходячи з літературних даних, збудник сибірки має досить багато генетичних варіацій, що може ускладнювати його ідентифікацію. Після індикації та ідентифікації збудника варто проводити подальші більш глибокі його дослідження, а саме — секвенування генома.

Згідно з чинною інструкцією для дезінфекції забруднених збудником сибірки різних поверхонь використовують один із таких дезінфікуючих засобів: 10 %-й гарячий розчин їдкового натру; 4 %-й розчин формальдегіду; розчини хлорних препаратів (хлорне вапно, двотретиносна сіль гіпохлориту кальцію, нейтральний гіпохлорит кальцію, тексаніт) з вмістом у розчині 5 % активного хлору, розчин натрієвої солі дихлорізоціанурової кислоти з вмістом 10 % активного хлору; 10 %-й однохлористий йод (тільки для дерев'яних поверхонь); 7 %-й розчин перекису водню з додаванням 0,2 % ОП-10; 2 %-й розчин глутарового альдегіду. Дезінфекцію вказаними засобами, крім однохлористого йоду, перекису водню та глутарового альдегіду, проводять триразово з інтервалом в 1 год, із розрахунку 1 л розчину на 1 м² у типових приміщеннях і 2 л розчину на 1 м² у приміщеннях, пристосованих для утримання тварин [14].

Разом з тим, постійно удосконалюються засоби та методи дезінфекції. Так, Інститутом ветеринарної медицини НААН розроблено унікальний метод деконтамінації ґрунту від спор *B. anthracis*. Суть методу полягає у комплексному підході до знезараження ґрунту, контамінованого спорами бактерій роду *Bacillus* (*B. cereus* ATCC10702, *B. anthracis* UA 07 (непатогенний вакцинний штам), що передбачає застосування запропонованої рецептури: гермінанту (інозин — 0,05 %; L-гістидин — 0,05 %; L-валін — 0,05 %; L-серин — 0,05 %) та комплексного дезінфекційного засобу (суміш 1:1 розчинів бензалконію хлориду (0,5 %) та дидецилдиметиламонію хлориду (0,5 %)).

Застосування такого підходу до деконтамінації сприяє зменшенню мікробного фону та знешкодженню патогенної та умовно-патогенної мікрофлори у ґрунтах, забезпечує знешкодження збудника на 99,9 % [26, 27].

Розробляються інші методи знезараження спор сибірки [28, 29]. Одним із перспективних напрямів розробки дезінфікуючих засобів є використання наночастинок та розробка на їх основі сучасних нанотехнологій. Даних щодо антимікробної дії НЧ відносно *B. anthracis* недостатньо. Відомо, що бактерицидною активністю володіють НЧ діоксиду титану (TiO₂). Так, нещодавно було виявлено, що наночастинки TiO₂, які містять вуглець [TiO₂(C) NP], володіють фотокаталізом і реагують на видиме світло (VLRP). Це значно покращує їх антибактеріальні властивості у видимому світлі щодо *B. anthracis* [30].

Серед металів протимікробні властивості НЧ срібла та золота вивчені найбільше повно [31, 32]. Однак, наночастинки цих елементів є досить дорогими і їх використання у ветеринарній медицині не завжди є економічно обґрунтованим.

Відомо про антибактеріальну дію НЧ CuO, TiO₂, MgO, ZnO тощо [33–35]. Разом з тим, деякі НЧ за певних концентрацій можуть підвищувати репродуктивну активність бактерій роду *Bacillus* [36]. Проте, дані щодо їх впливу на *B. anthracis* у літературних джерелах представлені недостатньо.

Установлено, що композитні наноматеріали, які складаються з НЧ декількох хімічних елементів виявляють синергійний антибактеріальний ефект. [37]. Цей напрям є досить перспективним. Крім того, на нашу думку, перспективним для розробки дезінфікуючих засобів, ефективних для деконтамінації ґрунту від *B. anthracis*, є створення композитів на основі наночастинок та хімічних сполук з антибактеріальними властивостями [38] з подальшою інтродукцією корисних ґрунтових мікроорганізмів з антагоністичними властивостями щодо збудника сибірки.

Проведено підбір режиму імпульсного УФ-стерилізатора високої потужності за обробки металевої, дерев'яної та пластикової поверхонь, контамінованих спорами збудника сибірки у концентрації $1,0 \times 10^8$ спор/см³ [39].

Існує висока ймовірність пошкодження могильників унаслідок військових дій, авіаційних і артилерійських ударів, повеней, техногенних аварій та інших факторів, пов'язаних з воєнними конфліктами та техногенними катастрофами. Це становить серйозну загрозу, оскільки старі поховання тварин, що загинули від сибірки, можуть бути пошкоджені або зруйновані, що призведе до вивільнення спор збудника *B. anthracis* у навколишнє середовище. Ураховуючи надзвичайно високу стійкість спор цього мікроорганізму до впливу зовнішніх факторів, вони здатні тривало зберігатися у ґрунті та водних середовищах, створюючи потенційне джерело інфікування як для тварин, так і для людей.

Значна частина старих захоронень не має належної картографічної документації та інформації щодо їхнього поточного стану, особливо після початку бойових дій та пов'язаних з ними техногенних катастроф, таких як підрив Каховської гідроелектростанції. Відсутність систематичного моніторингу та оперативної інформації щодо пошкодження таких об'єктів може призвести до неконтрольованого поширення збудника та формування нових осередків епізоотій і епідемій. Тому нагальною необхідністю є проведення регулярного моніторингу, ретроспективного аналізу та оперативного реагування на будь-які випадки пошкодження могильників, особливо у зонах активних бойових дій та місцях, які зазнали підтоплення або інших значних руйнувань. Проведення таких досліджень дозволить своєчасно виявляти потенційні ризики та запроваджувати відповідні профілактичні й дезінфекційні заходи, спрямовані на недопущення контамінації навколишнього середовища та поширення захворювання.

Висновки. 1. Епідемічна та епізоотична ситуація щодо сибірки в Україні свідчить про високу ймовірність пошкодження могильників унаслідок військових і техногенних факторів, що створює загрозу виходу спор *B. anthracis* і контамінації довкілля.

2. Відсутність актуальної інформації щодо пошкодження могильників під час бойових дій і паводків визначає необхідність невідкладного проведення моніторингу та ретроспективного аналізу таких об'єктів.

3. Ідентифікація збудника сибірки потребує використання сучасних методів, включаючи глибоке секвенування геному, що дозволить установити генетичні варіації та точніше контролювати поширення захворювання.

Перспективи подальших досліджень. Перспективним напрямом для санації ґрунтів, контамінованих спорами *B. anthracis*, є використання композитних наноматеріалів та поєднання наночастинок з антимікробними речовинами з подальшим впровадженням антагоністичних ґрунтових мікроорганізмів. На нашу думку існує необхідність подальшого вдосконалення засобів і методів дезінфекції. Перспективним напрямом розробки дезінфікуючих засобів, ефективних для деконтамінації ґрунту від *B. anthracis* є створення композитів на основі наночастинок і хімічних сполук з антибактеріальними властивостями. Удосконалення методів дезінфекції полягає у комплексному підході до знезараження ґрунту, контамінованого спорами збудника сибірки з подальшою інтродукцією корисних ґрунтових мікроорганізмів з антагоністичними властивостями щодо бактерій *B. anthracis*.

Подяки. Робота виконана за підтримки НФДУ в рамках виконання проекту за реєстраційним номером 2023.04/0141 «Розробка системи моніторингу, молекулярно-генетичного контролю *Bacillus anthracis* та нових підходів до санації ґрунту й об'єктів навколишнього середовища».

Список літератури

1. Завірюха Г. А., Яненко У. М., Завірюха А. І. Попередження виникнення епізоотії щодо сибірки в неконтрольованих зонах ризику із застосуванням екзотоксинів патогенних мікроорганізмів. *Науковий вісник НУБіП України*. 2015. Вип. 227. С. 87–94.
2. Тарасов О. А. Проблема сибірки в Україні. *Корми і факти*. 2016. № 5. С. 32–33.
3. Рубленко І. О. Сибірка тварин (діагностика та специфічна профілактика) : автореф. ... дис. д-ра вет. наук. Київ : СНАУ, ДНКІБШМ, 2019. 32 с. URL: <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0519U000435/>.
4. WOAH. Chapter 3.1.1. Anthrax. *WOAH Terrestrial Manual*. 2023. URL: https://www.woah.org/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahm/3.01.01_ANTHRAX.pdf.
5. Doganay M., Demiraslan H. Human anthrax as a re-emerging disease. *Recent Patents on Anti-Infective Drug Discovery*. 2015. Vol. 10, No. 1. P. 10–29. DOI: <https://doi.org/10.2174/1574891x10666150408162354>.
6. Manish M., Verma S., Kandari D., Kulshreshtha P., Singh S., Bhatnagar R. Anthrax prevention through vaccine and post-exposure therapy. *Expert Opinion on Biological Therapy*. 2020. Vol. 20, No. 12. P. 1405–1425. DOI: <https://doi.org/10.1080/14712598.2020.1801626>.
7. Безименний М. В., Тарасов О. А. Просторовий розподіл та активність стаціонарно неблагополучних за сибіркою пунктів в Україні. *Ветеринарна біотехнологія*. 2024. Вип. 44. С. 9–28. DOI: https://doi.org/10.31073/vet_biotech44-01.
8. Новости-N. Під Мелітополем окупанти випадково розрили скотомогильник і заразилися сибіркою. *Novosti-N*. URL: <https://novosti-n.org.ua/news/Pid-Melitopolem-okupanty-vypadkovo-rozryly-skotomogylnyk-i-zarazylysya-sybirkoju-266591>.
9. Ukrinform. Підриг Каховської ГЕС: Держпродспоживслужба каже, що вдалося уникнути найгірших наслідків. *Укрінформ — актуальні новини України та світу*. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3833079-pidriv-kahovskoi-ges-derzspozivsluzba-kaze-so-vdalosa-uniknuti-najgirsih-naslidkiv.html>.
10. Головне управління Держпродспоживслужби в Дніпропетровській області — Попередження та ліквідація наслідків екоциду через підриг греблі Каховської ГЕС. *Головне управління Держпродспоживслужби в Дніпропетровській області*. URL: <https://dp.dpss.gov.ua/news/poperedzhennia-ta-likvidatsiia-naslidkiv-ekotsydu-cherez-pidryv-hrebli-kakhovskoi-hes>.
11. Рубленко І. О., Скрипник В. Г. Аналіз даних епізоотичних спалахів сибірки на території України (період 1994–2016 рр.). *Науковий вісник ветеринарної медицини*. 2016. Вип. 1. С. 87–95. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnm_2016_1_17.
12. Kornilenko L. Y., Ukhovskiy V. V., Moroz O. A., Chechet O. M., Haidei O. S., Tsarenko T. M., Bondarenko T. M., Karpulenko M. S., Nenysh N. P. Epizootological and epidemiological situation of anthrax in Ukraine in the context of mandatory specific prevention in susceptible animals. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. Vol. 13, No. 4. P. 346–353. DOI: <https://doi.org/10.15421/022245>.
13. Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів — В Київській області зафіксовано випадок сибірки. *Держпродспоживслужба*. URL: <https://dpss.gov.ua/news/v-kyivskii-oblasti-zafiksovano-vypadok-sybirky>.
14. Zakononline. Інструкція № 4 від 25.01.2000 Інструкція про заходи з профілактики та боротьби з сибіркою тварин. *Аналітично-правова система Zakononline*. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/216498_216563.
15. Hsieh H.-Y., Stewart G. C. Does environmental replication contribute to *Bacillus anthracis* spore persistence and infectivity in soil?. *Research in Microbiology*. 2023. P. 104052. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2023.104052>.
16. Minett F. C., Dhanda M. R. Multiplication of *B. anthracis* and *Cl. chauvoei* in soil and in water. *Indian Journal of Veterinary Science and Animal Husbandry*. 1941. Vol. 11. P. 308–328.
17. Barandongo Z. R., Dolfi A. C., Bruce S. A., Rysava K., Huang Y. H., Joel H., Hassim A., Kamath P. L., van Heerden H., Turner W. C. The persistence of time: the lifespan of *Bacillus anthracis* spores in environmental reservoirs. *Research in Microbiology*. 2023. Vol. 174, No. 6. P. 104029. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2023.104029>.
18. Jiranantasak T., Benn J. S., Metrailler M. C., Sawyer S. J., Burns M. Q., Bluhm A. P., Blackburn J. K., Norris M. H. Characterization of *Bacillus anthracis* replication and persistence on environmental substrates associated with wildlife anthrax outbreaks. *PLoS ONE*. 2022. Vol. 17, No. 9. P. e0274645. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274645>.
19. Скрипник В. Г., Рубленко І. О., Гаркавенко Т. О. та ін. Лабораторна діагностика сибірки тварин, індикація збудника з патологічного та біологічного матеріалу, сировини тваринного походження та об'єктів навколишнього середовища: науково-методичні рекомендації для забезпечення практичної та самостійної роботи фахівців лабораторій та науково-дослідних установ ветеринарної медицини, викладачів та студентів факультетів вет. медицини. Київ, 2015. 78 с.
20. Zakononline. Наказ № 321 від 21.08.2002 Про затвердження інструкції з лабораторної діагностики сибірки у людей, в сировині тваринного походження та об'єктах довкілля. *Аналітично-правова система Zakononline*. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/78939_78939.
21. European Commission. 006/437/EC: Commission Decision of 4 August 2006 approving a Diagnostic Manual for avian influenza as provided for in Council Directive 2005/94/EC (notified under document number C(2006) 3477) (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*. 2006. Vol. 237. P. 1–27. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2006/437/oj>.
22. Білоїван О. В., Стегній Б. Т., Солодянкін О. С., Герілович А. П. Розробка позитивних ПЛР-контролів для виявлення плазмід *Bacillus anthracis* pXO1 та pXO2. *Ветеринарна біотехнологія*. 2018. Вип. 32(1). С. 44–49. DOI: [https://doi.org/10.31073/vet_biotech32\(1\)-3](https://doi.org/10.31073/vet_biotech32(1)-3).

23. Zasada A. A. Detection and identification of *Bacillus anthracis*: From conventional to molecular microbiology methods. *Microorganisms*. 2020. Vol. 8, No. 1. P. 125. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8010125>.
24. Pena-Gonzalez A., Rodriguez-R L. M., Marston Ch. K., Gee J. E., Gulvik Ch. A., Kolton C. B., Saile E., Frace M., Hoffmaster A. R., Konstantinidis K. T. Genomic characterization and copy number variation of *Bacillus anthracis* plasmids pXO1 and pXO2 in a historical collection of 412 strains. *mSystems*. 2018. Vol. 3, No. 4. DOI: <https://doi.org/10.1128/msystems.00065-18>.
25. Koehler T. M. *Bacillus anthracis* physiology and genetics. *Molecular Aspects of Medicine*. 2009. Vol. 30, No. 6. P. 386–396. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mam.2009.07.004>.
26. Безименний М. В., Тарасов О. А., Гудзь Н. В., Захарова О. М. Дослідження впливу гермінанту на проростання спор бактерій роду *Bacillus*. *Ветеринарна біотехнологія*. 2022. Вип. 41. С. 8–16. DOI: https://doi.org/10.31073/vet_biotech41-01.
27. Тарасов О. А. Спосіб знезараження ґрунту, контамінованого спорами *B. anthracis* : пат. 152902 Україна, МПК (2006.01) C09K 17/40. № u202202705 ; заявл. 28.07.2022 ; опубл. 26.04.2023, Бюл. № 17. 4 с. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1734007>.
28. Nuradji H., Adji R. S. Evaluation of household bleach for inactivation of the *Bacillus anthracis* spores in soil. *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 2628, No. 1. P. 090002. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0143993>.
29. Yim J. H., Song K. Y., Kim H., Bae D., Chonand J. W., Seo K. H. Effectiveness of calcium hypochlorite, quaternary ammonium compounds, and sodium hypochlorite in eliminating vegetative cells and spores of *Bacillus anthracis* surrogate. *Journal of Veterinary Science*. 2021. Vol. 22, No. 1. P. e11. DOI: <https://doi.org/10.4142/jvs.2021.22.e11>.
30. Sun D. S., Kau J. H., Huang H. H., Tseng Y. H., Wu W. S., Chang H. H. Antibacterial properties of visible-light-responsive carbon-containing titanium dioxide photocatalytic nanoparticles against anthrax. *Nanomaterials*. 2016. Vol. 6, No. 12. P. 237. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano6120237>.
31. Holubnycha M., Butsyk A., Borén T., Banasiuk R., Ramanavicius A., Pogorielov M. Antimicrobial activity of two different types of silver nanoparticles against wide range of pathogenic bacteria. *Nanomaterials*. 2024. Vol. 14, No. 2. P. 137. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano14020137>.
32. Lokina S., Narayanan V. Antimicrobial and anticancer activity of gold nanoparticles synthesized from grapes fruit extract. *Chemical Science Transactions*. 2013. Vol. 2, S1. DOI: <https://doi.org/10.7598/cst2013.22>.
33. Демченко Н., Ткаченко С., Васильченко А., Дерев'янюк С., Третьяк О. Інгибування біокорозії маловуглецевої сталі наночастинками ZnO. *Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. Спецвипуск журналу «Фізико-хімічна механіка матеріалів»*. 2020. № 13. С. 231–234. URL: https://www.ipm.lviv.ua/corrosion2020/Chapter_03/VIII_231_Demchenko.pdf.
34. Mondal S. K., Chakraborty S., Manna S., Mandal S. M. Antimicrobial Nanoparticles: Current Landscape and Future Challenges. *RSC Pharmaceutics*. 2024. Vol. 1. P. 308–402. DOI: <https://doi.org/10.1039/d4pm00032c>.
35. Chung E., Ren G., Johnston I., Matharu R. K., Ciric L., Walecka A., Cheong Y. K. Applied methods to assess the antimicrobial activity of metallic-based nanoparticles. *Bioengineering*. 2023. Vol. 10, No. 11. P. 1259. DOI: <https://doi.org/10.3390/bioengineering10111259>.
36. Derevianko S., Vasylychenko A. Reproduction of the strain of bacteria *Bacillus subtilis* IMV B-7023 in the presence of nanomaterials with different chemical composition. *Innovative Scientific Researches: European Development Trends and Regional Aspect*. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2020. P. 113–136. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-38-9-56>.
37. Vidic J., Stankic S., Haque F., Ciric D., Goffic R. Le., Vidy A., Jupille J., Delmas B. Selective antibacterial effects of mixed ZnMgO nanoparticles. *Journal of Nanoparticle Research*. 2013. Vol. 15, No. 5. P. 1595. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11051-013-1595-4>.
38. Demchenko N. R., Bondar O. S., Tkachenko S. V., Kurmakova I. M., Kupchuk O. Yu., Derevianko S. V. Nanocomposite complex ZnO in combination with a triazoloazepinium derivative for inhibition of microbial steel corrosion. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2024. Vol. 25, No. 4. P. 917–923. DOI: <https://doi.org/10.15330/pccs.25.4.917-923>.
39. Chumakov V., Pinchuk N., Kharchenko O., Muraveynik V., Ostrizhnyi M., Tsymbalyuk V., Polka N., Bolotin V., Kornieikov O., Paliy A. Determination the effect of high power pulse ultraviolet (UV) radiation on *Bacillus anthracis*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 1, No. 5(133). P. 6–11. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.322730>.

PROSPECTS FOR IMPROVING THE *BACILLUS ANTHRACIS* MONITORING SYSTEM AND DEVELOPING NEW STRATEGIES FOR SOIL AND ENVIRONMENTAL REMEDIATION

Derevianko S. V., Tarasov O. A., Krytsia Ya. P., Borovkov S. B.

Institute of Veterinary Medicine of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Biloivan O. V., Paliy A. P.

National Scientific Center “Institute of Experimental and Clinical Veterinary Medicine”, Kharkiv, Ukraine

Bolotin V. I.

State Scientific and Control Institute of Biotechnology and Microorganism Strains, Kyiv, Ukraine

Anthrax, caused by Bacillus anthracis, remains one of the most dangerous zoonotic diseases globally. It poses not only a veterinary concern but also a public health, environmental, economic, and national security threat. The ongoing war in Ukraine, including infrastructure destruction and environmental disruption, has significantly increased the risk of anthrax outbreaks. The improper maintenance of historic animal burial sites

(cattle cemeteries), where infected carcasses were previously disposed of, exacerbates this risk. To assess the epizootic situation of anthrax in Ukraine under wartime conditions, review the biological and genetic characteristics of *B. anthracis*, and analyze modern literature on the development of disinfectants based on nanoparticles and composite nanomaterials suitable for soil and environmental decontamination. A contextual and analytical review of available scientific literature was conducted to evaluate the current epizootic and epidemiological conditions, the monitoring practices for *B. anthracis*, and its genetic variability. Additionally, studies on the potential use of metallic, non-metallic, and composite nanoparticles in the formulation of novel decontaminants were analyzed. The anthrax epizootic situation in Ukraine remains precarious, primarily due to the large number of historical burial sites, which flooding, bombings, or other man-made and military factors may have damaged. Such damage increases the likelihood of *B. anthracis* spores being released into the environment. Literature suggests significant genetic diversity among strains of *B. anthracis*, which can complicate diagnostics. Disinfection practices are continuously evolving, with increasing interest in the use of nanotechnology-based solutions. These approaches offer promise for more efficient soil and surface decontamination. Given the high probability of burial site compromise due to war-related activities and ecological disasters, urgent measures are required to monitor and reassess the safety of these areas. There is a pressing need for systematic sampling and molecular detection of *B. anthracis*, including whole-genome sequencing to track strain variations. The development of advanced disinfection agents, particularly those incorporating antibacterial nanocomposites, represents a promising direction. A holistic decontamination approach — combining chemical, physical, and biological methods, including the introduction of beneficial microbial antagonists — should be considered for effective environmental remediation

Keywords: anthrax, monitoring, disinfection, nanoparticles, composite nanomaterials

УДК 619:616.98-036.22:578.833.2/.3:595.771:595.421

DOI 10.36016/VM-2025-111-4

ЗООНОЗНІ ІНФЕКЦІЇ, ЗУМОВЛЕНІ ФЛАВІВІРУСАМИ: ЕПІДЕМІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

**Гужвинська С. О.¹, Ващик Є. В.¹, Корнєйков О. М.¹, Конкін Д. В.¹,
Кошелєв В. В.¹, Павленко Б. М.¹, Нікіфорова О. В.²,
Ляхович Л. М.², Павліченко О. В.², Северин Б. С.¹**

¹ Національний науковий центр «Інститут експериментальної і клінічної ветеринарної медицини», м. Харків, Україна, e-mail: yevgeniavashik@gmail.com

² Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

У статті висвітлено результати аналізу літературних джерел, що підкреслюють актуальність вивчення природно-осередкових особливо небезпечних інфекцій, збудники яких належать до родини *Flaviviridae*, для охорони здоров'я людини та ветеринарної медицини. Родина *Flaviviridae* поділяється на 4 роди: *Flavivirus*, *Pestivirus*, *Herpesvirus* та *Pegivirus*. Під *Flavivirus* (*Orthoflavivirus*) — найбільш численний і значущий для людини — відноситься до арбовірусів (від *arthropod-borne*), які передаються трансмісивним шляхом передачі (через вектори): комах (москітів) та кліщів. Зараження переносників відбувається у процесі живлення кров'ю інфікованих тварин-резервуарів, після чого вони здатні трансмісивно передавати вірус людині. Також можлива передача збудників через неперероблене молоко та трансплантанційним шляхом. Епідеміологічне значення мають віруси жовтої лихоманки, японського енцефаліту, кліщового енцефаліту, омської геморагічної лихоманки, вірус денге, вірус Зіка, вірус Західного Нілу, віруси енцефаліту долини Мюррей та енцефаліту П'ясяну, а також віруси Кісанурської лісової хвороби та геморагічної лихоманки Альхумра

Ключові слова: *Flaviviridae*, *Flavivirus*, трансмісивні інфекції, вектори, комарі, *Culex*, *Aedes*, *Anopheles*, іксодові кліщі, *Ixodidae*

Природно-осередкові особливо небезпечні інфекції, збудники яких належать до родини *Flaviviridae*, становлять важливу проблему для охорони здоров'я людини та ветеринарної медицини. Родина вірусів *Flaviviridae* належить до царства *Riboviria*, порядку *Amarillovirales*. Ця родина включає віруси з одноланцюговим позитивним РНК-геномом, які часто передаються членистоногими (комарами та кліщами). Багато з них є збудниками небезпечних захворювань у