

Д. А. Прокопович, Л. В. Лагун, Д. А. Яковленко

ИНФЕКЦИОННЫЕ ОСЛОЖНЕНИЯ МИННО-ВЗРЫВНОЙ ТРАВМЫ: ЭТИОЛОГИЯ И АНТИМИКРОБНАЯ ТЕРАПИЯ

УО «Гомельский государственный медицинский университет»,
Республика Беларусь

Инфекционные осложнения остаются ведущей причиной смертности и длительной госпитализации военнослужащих при минно-взрывной травме (МВТ). Цель работы – изучить современный спектр инфекционных осложнений МВТ, оценить этиологическую структуру возбудителей раневых инфекций и рациональные принципы антимикробной профилактики и терапии. На основании систематического анализа 18 источников научной литературы за 2012–2025 гг. установлено, что инфекционные осложнения развиваются у 27–35 % раненых, при травматических ампутациях – в 52 % случаев. Ведущими возбудителями в современных конфликтах являются полирезистентные грамотрицательные бактерии: *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* – с уровнем карбапенем-резистентности до 73–90 %. Основой антимикробной профилактики остаётся своевременное применение цефазолина согласно протоколу ТССС; ключевым методом профилактики раневой инфекции – радикальная хирургическая обработка раны. Распространение микроорганизмов с множественной лекарственной устойчивостью из зон вооружённых конфликтов представляет глобальную эпидемиологическую угрозу.

Ключевые слова: минно-взрывная травма, раневая инфекция, множественная лекарственная устойчивость, антибиотикопрофилактика.

D. A. Prokopovich, L. V. Lagun, D. A. Yakovlenko

INFECTIOUS COMPLICATIONS OF MINE-EXPLOSIVE TRAUMA: ETIOLOGY OF WOUND INFECTIONS AND PRINCIPLES OF ANTIMICROBIAL THERAPY (LITERATURE REVIEW)

Gomel State Medical University» Republic of Belarus

Infectious complications remain the leading cause of mortality and prolonged hospitalisation in military personnel sustaining mine-explosive trauma (MET). The aim of this study was to analyse the current spectrum of infectious complications of MET, evaluate the aetiological structure of wound pathogens, and determine rational principles of antimicrobial prophylaxis and therapy. A systematic review of 18 scientific publications from 2012–2025 was performed. Infectious complications were found to develop in 27–35 % of combat casualties and in 52 % of those sustaining traumatic amputations. In contemporary conflicts, the dominant pathogens are multidrug-resistant Gram-negative bacteria – *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, and *Pseudomonas aeruginosa* – with carbapenem resistance rates reaching 73–90 %. The cornerstone of antimicrobial prophylaxis remains prompt cefazolin administration per TCCC protocol; radical wound debridement is essential for infection prevention. The spread of multidrug-resistant organisms from conflict zones constitutes a global epidemiological threat.

Key words: mine-explosive trauma, wound infection, multidrug resistance, antibiotic prophylaxis.

Инфекционные осложнения боевых ранений остаются одной из ведущих причин смертности, длительной госпитализации и инвалидизации военнослужащих в современных вооружённых конфликтах. Согласно данным проспективного исследования Trauma Infectious Disease Outcomes Study (TIDOS), проводимого кафедрой профилактической медицины и статистики Военно-медицинского университета Мэриленда (США),

частота инфекционных осложнений среди эвакуированных после боевой травмы составляет 27 %, а в условиях отделений реанимации и интенсивной терапии достигает 50 % [12]. При этом основной вид боевой травмы – минно-взрывная травма (МВТ). Наиболее распространённым механизмом ранения в вооружённых конфликтах в Афганистане, Ираке, Сирии, Ливане и Украине является применение взрывных устройств. Осложнения (в том

числе и инфекционные) становятся причиной 65 % всех безвозвратных потерь [12, 16].

Особенностью современных вооружённых конфликтов является не только рост выживаемости тяжелораненых – благодаря развитию тактической медицины, медицинской эвакуации и разработки нелетальных образцов оружия – но и нарастающая проблема антибиотикорезистентности возбудителей инфекций. Данная проблема приобрела критическое значение начиная с военных конфликтов в Ираке и Афганистане и резко обострилась в ходе боевых действий на территории Украины начиная с 2022 года [9, 17]. Статья посвящена анализу спектра инфекционных осложнений МВТ, этиологии раневых инфекций и принципам антимикробной терапии с учётом актуальных данных научной литературы за 2012–2025 годы.

Цель

Изучить современный спектр инфекционных осложнений у военнослужащих с минно-взрывной травмой на основании данных актуальной научной литературы. Оценить этиологическую структуру возбудителей раневых инфекций, факторы риска их развития и рациональные принципы антимикробной профилактики и терапии.

Материал и методы исследования

Проведён обзор научной литературы за 2012–2025 годы. Поиск источников осуществлялся в базах данных PubMed/MEDLINE, The Lancet, Emerging Infectious Diseases (CDC), Cochrane Library и Scopus по ключевым словам: «blast injury», «combat wound infection», «multidrug-resistant organisms», «antibiotic prophylaxis», «war wounds», «military trauma infection». Дополнительно использовались клинические руководства Joint Trauma System (JTS) Министерства обороны США, рекомендации Глобального альянса по инфекциям в хирургии (GAIS) и материалы Европейского центра профилактики и контроля заболеваний (ECDC). Всего проанализировано 18 источников, из которых 16 относятся к периоду 2018–2025 годов.

Результаты исследования и обсуждение

МВТ характеризуется уникальным, многокомпонентным механизмом повреждения. Первичный взрывной компонент (баротравма) повреждает полые органы. Вторичный (осколочный) – обусловлен внедрением металлических фрагментов, камней, фрагментов одежды, почвы. Третичный – возникает вследствие отбрасывания тела, а четвертичный включает ожоги и термоинтоксикацию. Ключевым фактором контаминации раны является

вторичный механизм: осколки несут значительную микробную нагрузку из окружающей среды, в том числе в результате преднамеренного нанесения биологически загрязнённых покрытий [16].

Риск развития раневой инфекции существенно возрастает при: травматической ампутации конечности (52 % случаев против 14 % при открытом переломе и 3 % при открытой ране мягких тканей), ранении самодельным взрывным устройством (СВУ), значении шокового индекса $\geq 0,8$ при поступлении, трансфузии ≥ 10 единиц эритроцитарной массы за первые 24 часа и политравме более чем четырёх анатомических областей [14, 17].

Наиболее ранними и потенциально летальными инфекционными осложнениями являются быстро прогрессирующие анаэробные инфекции мягких тканей, в первую очередь клостридиальный мионекроз (газовая гангрена). Их развитие обусловлено ишемической средой некротизированных тканей, благоприятной для роста облигатных анаэробов рода *Clostridium*. Следующим по частоте осложнением является распространение гнойного процесса за пределы раневого канала с формированием абсцессов, флегмон и гнойных затёков по клетчаточным пространствам вследствие вторичного инфицирования межмышечных гематом. При распространении процесса на сосудистую стенку возникают вторичные тромбофлебиты и тромбоартерииты. Гнойный миозит развивается при захвате инфекцией соединительнотканых прослоек внутри мышц.

Среди поздних осложнений ведущее место занимают инфекции кожи и подкожной клетчатки (классы L00–L08 МКБ-10, в англоязычной литературе используется аббревиатура SSTI – «Skin and Soft Tissue Infections»), остеомиелит и инвазивные грибковые инфекции. По данным TIDOS – инфекции кожи и подкожной клетчатки и остеомиелит являлись наиболее частыми типами инфекций как в период первичной госпитализации, так и при последующем наблюдении. Важной особенностью является двухпиковый характер: большинство SSTI возникают в первые 30 суток, второй пик регистрируется через 6–12 месяцев после травмы [2, 12].

Особого внимания заслуживают инвазивные грибковые инфекции. По данным JTS, значительный рост данных инфекций был зафиксирован среди военнослужащих с ранениями в Афганистане в 2009–2010 гг. Возбудителями являлись ангиоинвазивные нитчатые грибы: *Mucorales*, *Aspergillus* spp. и *Fusarium* spp. Повышение частоты инвазивных грибковых инфекций в конкретных регионах было связано с климатическими и почвенными факторами [6]. По данным TIDOS, инфекции мочевыводящих путей значительно чаще диагностиро-

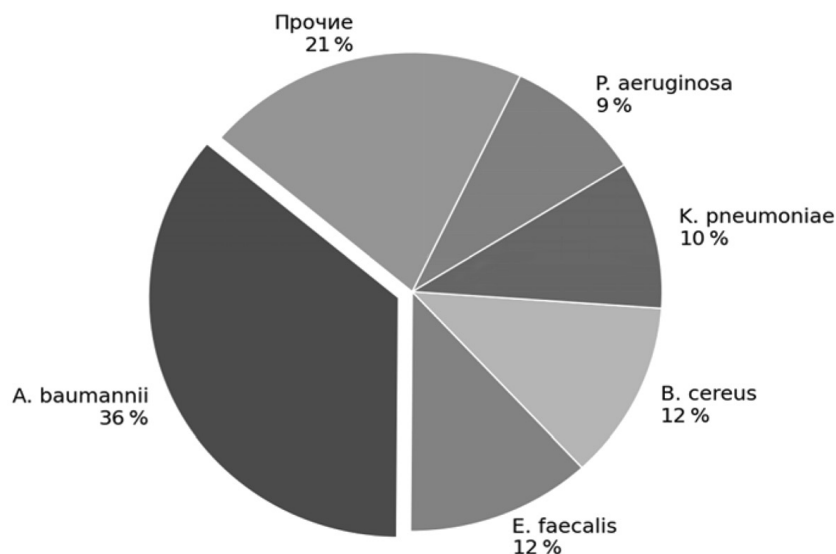


Рисунок 1. Распределение возбудителей раневых инфекций у военнослужащих (Украина, 2024; Holubnycha & Kholodylo, Nature Commun. Med., 2025)

вались при длительном наблюдении, что обусловлено травмами области промежности, типичными для конфликтов с активным применением СВУ [12].

В период конфликтов в Ираке и Афганистане ведущим возбудителем нозокомиальных инфекций у раненых был *Acinetobacter baumannii* (получивший неофициальное название «Iraqibacter»), характеризующийся способностью к формированию биоплёнок и длительному сохранению на поверхностях. В ходе афганской кампании на смену ему пришли продуценты β -лактамаз расширенного спектра (ESBL) из семейства *Enterobacteriaceae*, а также мицелиальные грибы [12].

Боевые действия на территории Украины обнажили принципиально новую угрозу – гиперэндемию полирезистентных грамотрицательных бактерий. Исследование В. М. Голубчиной и О. В. Холодило (Nature Communications Medicine, 2025), включавшее наблюдение 73 военнослужащих сухопутных войск в январе–апреле 2024 г., показало, что бактерии выделены в 56,2 % образцов исследуемого материала; частота обнаружения штаммов с множественной лекарственной устойчивостью (МЛУ) составила 84,6 % [3, 5]. Распределение возбудителей раневых инфекций представлено на рис. 1.

Исследование Ljungquist et al. (Lancet Infectious Diseases, 2023), проведённое с февраля по сентябрь 2022 г., показало, что среди 154 изолятов микроорганизмов от 141 пациента с боевыми ранениями 58 % были устойчивы к антибиотикам из группы карбапенемов – меропенему. Карбапенем-резистентность составила: *A. baumannii* – 73 %, *Klebsiella pneumoniae* – 76 %, *Pseudomonas aeruginosa* – 57 %. А 9 % изолятов оказались устойчивы к колистину – препарату «последней линии» [9].

По данным В. М. Кондратюка (Journal of Hospital Infection, 2021), уровень карбапенем-резистентных изолятов *A. baumannii* в военных госпиталях Украины превышал таковой в гражданских стационарах восточноевропейских стран. Сопоставимые тенденции наблюдались в Афганистане: 70 % грамотрицательных бактерий были классифицированы как микроорганизмы с множественной лекарственной устойчивостью; среди *K. pneumoniae* МЛУ-фенотип регистрировался в 63 % случаев [8]. Сравнительные данные представлены на рис. 2.

Показателен случай, описанный в журнале Центра по контролю и профилактике заболеваний США – Emerging Infectious Diseases (2023): у украинского военнослужащего одновременно выделены 6 экстремально устойчивых штаммов (*A. baumannii*, *K. pneumoniae*, *E. faecium* и три штамма *P. aeruginosa*), несущих бактериальные ферменты, определяющие антибиотикорезистентность, такие как карбапенемазы blaIMP-1, blaNDM-1, blaOXA-23, blaOXA-48 и метилтрансферазы 16S rRNA (armA, rmtB4). Пациент скончался от сепсиса [11].

Антибиотикопрофилактика и антимикробная терапия

Антибиотикопрофилактика (АБП) является неотъемлемым компонентом оказания медицинской помощи при боевых ранениях. Текущие рекомендации Tactical Combat Casualty Care (TCCC version 5) предписывают введение антибиотиков при всех открытых ранах на догоспитальном этапе. Профилактически вводят цефазолин (или клиндамицин при аллергии на β -лактамы антибиотики). Пиперациллин + тазобактам (антибактериальный

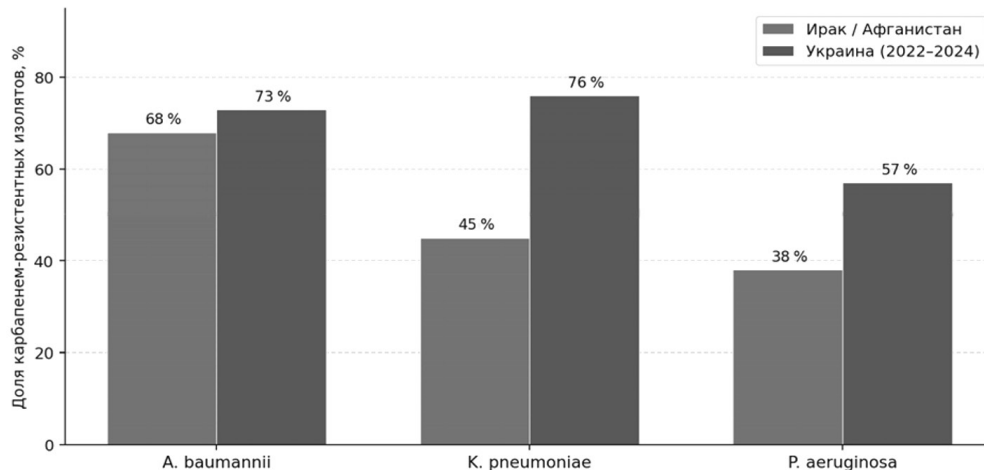


Рис. 2. Карбапенем-резистентность основных возбудителей в зависимости от зоны конфликта (Ljungquist et al., 2023; Kondratiuk et al., 2021)

препарат из группы пенициллинов с ингибитором β -лактамаз) прежде всего рекомендован при открытых переломах [1, 4, 7].

При этом рекомендации GAIS 2024 года указывают на недопустимость бесконтрольного расширения спектра антибиотиков. Ретроспективный анализ когорты TIDOS показал, что добавление фторхинолона или аминогликозида к стандартной АБП не снижало частоту развития инфекций, но сопровождалось значимым ростом резистентных штаммов микроорганизмов (36 % против 19 %, при $p = 0,001$) и увеличением риска острого повреждения почек [10].

В контексте нарастания количества штаммов бактерий с множественной лекарственной устойчивостью требуется разработка нестандартных комбинированных схем. Например, применение азитромицина в сочетании с меропенемом при инфекциях, вызванных *K. pneumoniae*, продемонстрировало клиническую эффективность более 90 % у более чем 100 пациентов [15]. При инфекциях *P. aeruginosa* применяется пиперацillin + тазобактам, при *A. baumannii* – цефоперазон + сульбактам [15]. Для лечения инфекций, вызванных экстремально устойчивыми возбудителями, используются такие антибактериальные препараты, как цефидерокол, фосфомицин, тигециклин и их комбинации [13].

Первичная хирургическая обработка раны по-прежнему остаётся краеугольным камнем профилактики раневой инфекции. Принцип «damage control surgery» в сочетании с многократными повторными хирургическими манипуляциями значительно снижает частоту осложнений. Согласно данным TIDOS, большее число вмешательств ассоциировалось с удлинением времени до развития инфекции [17]. При подозрении на анаэробную инфекцию неотложная широкая некрэктомия

с применением гипербарической оксигенации остаётся стандартом лечения.

Проблема МЛУ-инфекций выходит за пределы зон боевых действий. ECDC с марта 2022 года рекомендует превентивную изоляцию и скрининг у всех пациентов регионов, охваченных военными конфликтами [18]. Исследование кафедры инфекционных заболеваний Хельсинкского университета и университетской клиники Хельсинки 2025 года показало, что МЛУ-микроорганизмы выявлялись у 78,6 % пациентов с анамнезом боевых ранений, у 46 % – с анамнезом госпитализации без ранений и у 17,6 % беженцев без госпитализации [18].

Выводы

1. Инфекционные осложнения развиваются у 27–35 % военнослужащих с боевыми ранениями; при травматических ампутациях конечностей – в 52 % случаев. Ведущими клиническими формами являются инфекции мягких тканей, остеомиелит, анаэробная инфекция, инвазивный микоз и сепсис.

2. Современные конфликты характеризуются гиперэндемией МЛУ-возбудителей: частота карбапенем-резистентности среди *A. baumannii* достигает 73 %, *K. pneumoniae* – 76–90 %. Распространённость МЛУ-фенотипа в раневых инфекциях у украинских военнослужащих составила 84,6 %.

3. Основой антибиотикопрофилактики при МВТ остаётся раннее применение цефазолина (клиндамицина) согласно протоколу ТССС. При открытых переломах применение пиперациллина + тазобактама обосновано клиническими исследованиями. Расширение спектра АБП без клинических показаний не снижает частоту инфекций, но увеличивает селекцию резистентных штаммов.

4. Радикальная первичная хирургическая обработка раны с повторной санацией является

важнейшим методом профилактики раневой инфекции и обязательно сочетается с антимикробной терапией.

5. Распространение микроорганизмов с множественной лекарственной устойчивостью из зон военных конфликтов представляет угрозу для глобального здравоохранения: введение обязательного скрининга при госпитализации пострадавших из зон конфликтов является обоснованной мерой эпидемиологического контроля.

Литература/References

1. Привольнев, В. В., Агафонов, О. И., Андреев, И. М. Антибиотикопрофилактика инфекционных осложнений в военно-полевой хирургии // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. – 2012. – Т. 14, № 3. – С. 191–200.

2. Privolnev, V. V., Agafonov, O. I., Andreev, I. M. Antibiotic prophylaxis of infectious complications in military field surgery // Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya. 2012;14(3):191–200. [In Russian].

3. Пильников, С. А., Войновский, А. Е., Брижань, Л. К., Путинцев, С. П. Гнойные осложнения ампутаций нижних конечностей при минно-взрывной травме // Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н. И. Пирогова. – 2020. – Т. 15, № 1. – С. 62–67. <https://doi.org/10.25881/BPNMSC.2020.15.11.012>

4. Pilnikov, S. A., Voinovsky, A. E., Brizhan, L. K., Putintsev, S. P. Purulent complications of lower limb amputations in mine-explosive trauma // Vestnik Natsionalnogo mediko-khirurgicheskogo tsentra im. N. I. Pirogova. 2020;15(1):62–67. <https://doi.org/10.25881/BPNMSC.2020.15.11.012> [In Russian].

5. Beley, N., Loskutov, O., Strokhan, A., Izmaylova, O. Evolution of the microbiota of wound infections in military personnel during the full-scale Russian invasion: a retrospective cohort study (2022–2024) // Emergency Medicine. – 2024. – Vol. 20, № 7. – P. 615–621. <https://doi.org/10.22141/2224-0586.20.7.2024.1767>

6. Cocolini, F., Sartelli, M., Sawyer, R. et al. Antibiotic prophylaxis in trauma: Global Alliance for Infection in Surgery, Surgical Infection Society Europe, World Surgical Infection Society, American Association for the Surgery of Trauma, and World Society of Emergency Surgery guidelines // Journal of Trauma and Acute Care Surgery. – 2024. – Vol. 96, № 4. – P. 674–682. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000004233>

7. Holubnycha, V., Kholodylo, K. War impact on antimicrobial resistance and bacteriological profile of wound infections in Ukraine // Communications Medicine (Nature). – 2025. <https://doi.org/10.1038/s43856-025-01056-6>

8. Invasive Fungal Infection in War Wounds. Joint Trauma System Clinical Practice Guideline. – 17 Jul 2023. – ID28. https://jts.health.mil/assets/docs/cpgs/Invasive_Fungal_Infection_in_War_Wounds_17_Jul_2023_ID28.pdf

9. Karp, M. C., April, M. D., Newberry, R. K., Schauer, S. G. Associations with Prehospital Antibiotic Receipt among Combat Casualties with Open Wounds: A Department of Defense Trauma Registry Study // Military Medi-

cine. – 2024. – Vol. 189, № 3–4. – P. e606–e611. <https://doi.org/10.1093/milmed/usad323>

10. Kondratiuk, V., Jones, B. T., Kovalchuk, V. et al. Phenotypic and genotypic characterization of antibiotic resistance in military hospital-associated bacteria from war injuries in the eastern Ukraine conflict between 2014 and 2020 // Journal of Hospital Infection. – 2021. – Vol. 112. – P. 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2021.03.020>

11. Ljungquist, O., Nazarchuk, O., Kahlmeter, G. et al. Highly multidrug-resistant Gram-negative bacterial infections in war victims in Ukraine, 2022 // Lancet Infectious Diseases. – 2023. – Vol. 23, № 7. – P. 784–786. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(23\)00291-8](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(23)00291-8)

12. Lloyd, B. A., Murray, C. K., Shaikh, F. et al. Antimicrobial Prophylaxis with Combat-Related Open Soft-Tissue Injuries // Military Medicine. – 2018. – Vol. 183, № 9–10. – P. e260–e265. <https://doi.org/10.1093/milmed/usx125>

13. Mc Gann, P. T., Lebreton, F., Jones, B. T. et al. Six Extensively Drug-Resistant Bacteria in an Injured Soldier, Ukraine // Emerging Infectious Diseases. – 2023. – Vol. 29, № 8. – P. 1692–1695. <https://doi.org/10.3201/eid2908.230567>

14. McDonald, J. R., Liang, S. Y., Li, P. et al. Infectious Complications After Deployment Trauma: Following Wounded US Military Personnel Into Veterans Affairs Care // Clinical Infectious Diseases. – 2018. – Vol. 67, № 8. – P. 1205–1212. <https://doi.org/10.1093/cid/ciy280>

15. Pallett, S. J. C., Trompeter, A., Basarab, M., Moore L. S. P., Boyd, S. E. Multidrug-resistant infections in war victims in Ukraine // Lancet Infectious Diseases. – 2023. – Vol. 23, № 8. – P. e270–e271. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(23\)00391-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(23)00391-2)

16. Petfield, J. L., Lewandowski, L. R., Stewart, L., Murray C. K., Tribble D. R. IDCRP Combat-Related Extremity Wound Infection Research // Military Medicine. – 2022. – Vol. 187, Suppl. 2. – P. 25–33. <https://doi.org/10.1093/milmed/usab065>

17. GBD 2021 Antimicrobial Resistance Collaborators. Global burden of bacterial antimicrobial resistance 1990–2021: a systematic analysis with forecasts to 2050 // Lancet. – 2024. – Vol. 404, № 10459. – P. 1199–1226. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)01867-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)01867-1)

18. Stevenson, C. Evolving mechanisms and patterns of blast injury and the challenges for military first responders // Journal of Military and Veterans Health. – 2023. – Vol. 17, № 4. https://doi-ds.org/doilink/11.2021-83158248/JMVH_Vol_17_No_4

19. Stewart, L., Shaikh, F., Bradley, W. et al. Combat-Related Extremity Wounds: Injury Factors Predicting Early Onset Infections // Military Medicine. – 2019. – Vol. 184, Suppl. 1. – P. 83–91. <https://doi.org/10.1093/milmed/usy336>

20. Aro, T., Häkkinen, T. A., Holmberg, V., Kajova, M., Kantele, A. War on antimicrobial resistance: high carriage rates of multidrug-resistant bacteria among war-injured Ukrainian refugees // Clinical Microbiology and Infection. – 2025. – Vol. 31, № 11. – P. 1923–1925. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2025.07.010>

Поступила 03.04.2026 г.