

УДК 579.26:615.281

DOI <https://doi.org/10.32782/NSER/2026-1.20>

## АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНІСТЬ *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* ДО АМІНОГЛІКОЗИДІВ

**Москаленко Микола Павлович**

кандидат біологічних наук, доцент,

доцент кафедри біології та методики навчання біології

Сумського державного педагогічного університету імені А.С.Макаренка

ORCID ID: 0000-0002-0580-9314

Web of Science ResearcherID: GRJ-5377-2022

У статті розглянуто проблему антибіотикорезистентності *Pseudomonas aeruginosa* до аміноглікозидних антибіотиків, що є однією з актуальних загроз сучасної медицини у зв'язку з поширенням внутрішньолікарняних інфекцій. Зазначено, що природна та набута стійкість цього мікроорганізму зумовлена низькою проникністю клітинної мембрани, здатністю до утворення біоплівки і продукцією факторів патогенності. Метою дослідження було визначення чутливості клінічних штамів *Pseudomonas aeruginosa* до аміноглікозидів. Матеріали дослідження включали клінічні ізоляти, отримані від дітей віком 0–18 років, з різних біологічних середовищ (кров, сеча, мокротиння, аспірати, кал тощо). Визначення антибіотикочутливості проводили диско-дифузійним методом відповідно до стандартів EUCAST. Проаналізовано діаметри зон пригнічення росту бактерій під впливом амікацину, тобраміцину та гентаміцину протягом 2023–2025 років.

Встановлено, що тобраміцин і гентаміцин демонстрували стабільно високу ефективність щодо всіх досліджених штамів, незалежно від типу проб, що підтверджується значними діаметрами зон інгібування росту. Натомість чутливість до амікацину була варіабельною: у 2024 році виявлено резистентність штамів у крапельних пробах та помірну стійкість у пробах шлунково-кишкового тракту. В інші роки спостерігалась переважно чутливість або помірна стійкість до цього препарату.

Отримані результати свідчать про необхідність постійного моніторингу антибіотикорезистентності *Pseudomonas aeruginosa* та обґрунтованого підбору антибактеріальної терапії. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію схем лікування та зниження поширення резистентних штамів.

**Ключові слова:** *Pseudomonas aeruginosa*, антибіотикорезистентність, аміноглікозиди, амікацин, тобраміцин, гентаміцин, диско-дифузійний метод, EUCAST, внутрішньолікарняні інфекції.

### **Moskalenko M. P. Antibiotic Resistance of *Pseudomonas aeruginosa* to Aminoglycosides**

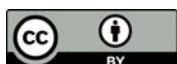
The article addresses the problem of antibiotic resistance of *Pseudomonas aeruginosa* to aminoglycoside antibiotics, which represents a significant challenge for modern healthcare due to the increasing prevalence of nosocomial infections. It is noted that both intrinsic and acquired resistance of this microorganism are обусловлені low membrane permeability, biofilm formation, and production of virulence factors. The aim of the study was to determine the susceptibility of clinical strains of *Pseudomonas aeruginosa* to aminoglycosides. The study materials included clinical isolates obtained from children aged 0–18 years from various biological samples (blood, urine, sputum, aspirates, feces, etc.). Antibiotic susceptibility testing was performed using the disk diffusion method according to EUCAST standards. The diameters of growth inhibition zones under the influence of amikacin, tobramycin, and gentamicin were analyzed over the period 2023–2025.

The results demonstrated consistently high effectiveness of tobramycin and gentamicin against all studied strains, regardless of the sample type, as confirmed by significant inhibition zone diameters. In contrast, susceptibility to amikacin was variable: in 2024, resistance was observed in droplet samples and moderate resistance in gastrointestinal samples. In other years, strains were predominantly susceptible or moderately resistant to this antibiotic.

The findings highlight the necessity of continuous monitoring of *Pseudomonas aeruginosa* antibiotic resistance and rational selection of antimicrobial therapy. Further research should focus on optimizing treatment strategies and reducing the spread of resistant strains.

**Key words:** *Pseudomonas aeruginosa*, antibiotic resistance, aminoglycosides, amikacin, tobramycin, gentamicin, disk diffusion method, EUCAST, nosocomial infections.

© Москаленко М. П., 2026

Стаття поширюється на умовах  
ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

**Постановка проблеми.** Ріст поширеності *Pseudomonas aeruginosa* є нагальною проблемою охорони здоров'я. Дана бактерія визнана опортуністичним патогеном та основним збудником внутрішньолікарняних інфекцій. Негативною особливістю даного виду є природна резистентність, що базується на низькій проникності зовнішньої мембрани. Ця властивість формує і набуту стійкість до антибіотичних речовин. Патогенність *Pseudomonas aeruginosa* забезпечена виділенням пігменту піоціаніну, що спричиняє окисдатовний стрес та здатністю утворювати біоплівки, що є основною умовою прогресу хронічних інфекцій. *Pseudomonas aeruginosa* виділяють в аспіратах, при ранових та опікових інфекціях, пневмоніях невірусного походження, інфекціях сечовидільних шляхів, сепсисах, отитах та каротитах. Одним із засобів боротьби з даним патогеном є застосування антибіотиків з групи аміноглікозидів (меропемен, амікацин, тобраміцин, нетилміцин), які широко застосовуються в клінічній медицині. Постійна увага дослідників обумовлена токсичністю вказаних антибіотичних речовин (нефротоксичність та ототоксичність), що обмежує їх застосування в практиці лікування поширених інфекційних захворювань. З'ясування оптимальних меж балансу використання антибіотиків з групи аміноглікозидів при лікуванні інфекційних захворювань, викликаних *Pseudomonas aeruginosa*, є актуальним в сучасних наукових дослідженнях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Тематика резистентності бактерій до дії антибіотиків завжди присутня в інформаційному полі наукових досліджень. Що стосується конкретно *Pseudomonas aeruginosa* в даному аспекті, то ми можемо виділити дослідження наступних авторів в крайні роки, присвячені територіям і країнам, що розвиваються.

Огляд, який вже став класичним для даної тематики, дає вичерпну на характеристику механізмів стійкості *Pseudomonas aeruginosa* до антибіотиків [6, с. 180]. Підкреслено опосередковану роль в забезпеченні резистентності здатність даної бактерії до формування біоплівки та великої кількості персистуючих клітин. Автори з Африканського континенту присвятили своє дослідження з'ясуванню поширення меропемен-резистентної серед ізолятів *Pseudomonas aeruginosa* в Ефіопії. Було з'ясовано, що зразки ран продемонстрували найвищу резистентність, тоді як зразки мокротиння показали найнижчу поширеність. Дослідники підкреслили терміновість впровадження суворих практик контролю інфекцій та управління антибіотиками [6]. Виділимо також огляд, в якому здійснено оцінку поширеності *Pseudomonas aeruginosa* в Азії та Африці, яка в останні 5 років становила майже 23% від всіх внутрішньо-

лікарняних інфекцій, які вони вивчали [7]. Автори підкреслили критичну загрозу для громадського здоров'я антимікробно-резистентної *Pseudomonas aeruginosa* особливо щодо  $\beta$ -лактамних антибіотиків. Також існують експериментальні дослідження стійкості бактерій до дії інших груп антибіотичних речовин в материковому Китаї [5]. В даній роботі на основі результатів лабораторних досліджень було проаналізовано появу резистентності до колістину, антибіотику з групи поліміксинів. Це так званий препарат «останньої лінії», який застосовується для лікування тяжких інфекційних захворювань. На підставі проведених досліджень автори прийшли до висновку, що в період 2020–2023 роки відбулось збільшення резистентності до колістину в клінічних ізолятах *Pseudomonas aeruginosa* до 5% (період 2006–2010 років – 2%). Підкреслено необхідність впровадження програми профілактики інфекцій, використання відповідних схем лікування та поширення вичерпної інформації про моделі резистентності до антимікробних препаратів. Ще одна група авторів подали результати досліджень, за якими *Pseudomonas aeruginosa* демонструвала різну стійкість до препаратів, рекомендованих до лікування пневмоній [2]. Бактерія демонструвала високу стійкість до гентаміцину та низьку стійкість до амікацину. У підсумку дослідники підкреслили високу поширеність *Pseudomonas aeruginosa* серед пацієнтів з внутрішньолікарняними та позалікарняними пневмоніями та складність початкового лікування через високу поширеність стійкості до антимікробних препаратів.

Серед вітчизняних дослідників виділимо роботу Кондратюк В. М., в якій проаналізовано утруднення лікування поранення кінцівок через розвиток хірургічної інфекції, викликаной *Pseudomonas aeruginosa* [1, с. 69]. Автором було обґрунтовано вибір раціональної антибактеріальної терапії та профілактики шпитальної хірургічної інфекції поранень кінцівок, яка була спричинена цими мікроорганізмами.

Відкриття та розробка альтернативних терапевтичних стратегій, що пропонують нові шляхи боротьби з інфекціями *Pseudomonas aeruginosa* є затребуваними та привертають постійну увагу.

**Мета роботи:** визначення стійкості штамів бактерії *Pseudomonas aeruginosa* до аміноглікозидних антибіотиків.

**Матеріали та методи.** Дослідження було виконане на базі комунального некомерційного підприємства Сумської обласної ради «Обласна дитяча клінічна лікарня», бактеріологічного відділу клініко-діагностичної лабораторії. Для проведення дослідження було використано проби ШКТ (кал) та крапельні проби хворих (кров, сеча, спино-мозкова рідина, аспірати з гнійних ран, зів, мокротиння, змиви з бронхів, синовіальна та плев-

ральні рідини). Було проаналізовано результати досліджень штамів *Pseudomonas aeruginosa*, які були виділені у дітей віком від 0 до 18 років різної статі без попереднього діагнозу на чутливість до антибіотиків групи аміноглікозидів за допомогою стандартного диско-дифузійного методу (стандартизований диско-дифузійний метод EUCAST – European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing – Європейський комітет з тестування антимікробної чутливості) [3]. Критерії інтерпретації результатів визначення чутливості мікроорганізмів за якими бактерії класифікують як резистентні, і або чутливі представлені в таблиці 1.

Суть диско-дифузійного методу полягає в тому, що паперові диски, просякнуті антибіотичними речовинами в певній мінімально інгібуючій концентрації (МІК) розміщують на поверхню агару, засіяного бактеріальною суспензією стандартної щільності. Після інкубації вимірювали діаметри зон пригнічення росту навколо дисків і порівнювали їх з критеріями EUCAST. Далі в тексті будуть надані таблиці критеріїв інтерпретації результатів визначення чутливості мікроорганізмів: граничні значення діаметрів зон пригнічення росту (мм) і МІК (мг/л) щодо певних антибіотичних речовин.

В якості середовища для росту *Pseudomonas aeruginosa* використовували катіон-відрегульований бульйон Мюллера-Хінтона (агар Мюллера-Хінтона) відповідно до рекомендацій EUCAST, який забезпечує стандартизовані умови росту та коректну інтерпретацію результатів щодо аміноглікозидних антибіотиків, що часто тестують для *Pseudomonas aeruginosa*.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Кожного року дослідження було виділено на чутливість до антибактеріальних препаратів біля 50 штамів *Pseudomonas aeruginosa*. Для кожного з антибіотиків з групи аміноглікозидів, які тестувалися в лабораторії фіксувався було визначено діаметр зони затримки (пригнічення) росту. Це головний показник під час оцінки бактерицидної дії антибіотика. Чим більший діаметр зони пригнічення росту бактерії, тим більшою можна вважати чутливість штаму до даного антибіотика. На підставі визначеного діаметру зони пригнічення росту колонії бактерій штаму відносили до однієї з трьох категорій: резистентний (Р) – стійкий,

помірно стійкий (П), чутливий (Ч). Великі абсолютні значення показників стійкості показують ефективність дії антибіотика проти даного мікроорганізму. Низькі значення вказують на високу стійкість бактерії до дії антибіотичної речовини.

Було проаналізовано стійкість *Pseudomonas aeruginosa* до дії антибіотика амікацин (напівсинтетичний антибіотик групи аміноглікозидів з ярко вираженою бактерицидною дією). Механізм впливу амікацину на бактеріальну клітину визначається його здатністю легко проходити через клітинну мембрану, утворювати комплекс з 30S-субодиницею рибосом бактерій та інгібувати синтез білка збудника.

Абсолютні середні значення діаметру зони пригнічення росту *Pseudomonas aeruginosa* після дії антибіотика амікацину становили для крапельних проб у 2023 році – 24,3 мм, 2024 році – 20,4 мм, 2025 році – 26,9 мм (рис. 1). Даний показник для проб ШКТ становив у 2023 році – 21,4 мм, 2024 році – 23,5 мм, 2025 році – 23 мм. Для визначення чутливості штамів *Pseudomonas aeruginosa* до дії антибіотика амікацин ми спиралися на таблиці клінічних граничних зон значень EUCAST для стандартизованого штаму виду бактерії *Pseudomonas aeruginosa* (таблиця 1). Дані рисунку 1 говорять про те, що вказаний антибіотик здійснював значний негативний вплив на розвиток бактерії в крапельних пробах у всі роки дослідження, за винятком 2024 року.

Згідно отриманих даних досліджені штами *Pseudomonas aeruginosa* (крапельні проби) за класифікацією EUCAST можна вважати чутливими (Ч) до дії антибіотика амікацину в крапельних пробах 2023 та 2025 років.

Досліджені штами *Pseudomonas aeruginosa* (крапельні проби) 2024 року за класифікацією EUCAST можна віднести до категорії резистентних (стійких) (Р) до дії антибіотика амікацину. Можемо констатувати, що амікацин практично не здійснював негативний вплив на розвиток бактерій в пробах ШКТ у 2024 та 2025 роках. Досліджені штами *Pseudomonas aeruginosa* (проби ШКТ) за класифікацією EUCAST в ці роки можна віднести до категорії помірно стійких (П) до дії антибіотика амікацину. Штами *Pseudomonas aeruginosa* з даної групи проб 2023 року можна відне-

Таблиця 1

**Критерії інтерпретації результатів визначення чутливості мікроорганізмів: граничні значення діаметрів зон пригнічення росту (мм) і вміст у диску (мкг) АБП**

Антибактеріальні препарати (АБП)	Вміст у диску (мкг)	Діаметр зони пригнічення росту (мм)	
		Цільові значення	Допустимі значення
Амікацин	30	23	20-26
Гентаміцин	10	20	17-23
Тобраміцин	10	23	20-26



**Рис. 1.** Графічне вираження показників стійкості *Pseudomonas aeruginosa* до дії антибіотика амікацину (одиниці діаметру зони пригнічення росту, мм)

сти до резистентних (стійких) (P) до дії антибіотика амікацину (рис. 1).

Допустимі значення діаметру зони пригнічення росту (мм) бактерії після дії амікацину – 20–26 мм (таблиця 1). Фактично всі отримані нами дані середніх значень діаметрів зони пригнічення росту штаму бактерій вкладались в цей інтервал. Це говорить про високий рівень лабораторної діагностики під час застосування диско-дифузійного методу та якості паперових дисків, просякннутих антибіотиками з витриманими граничними значеннями МПК (мінімальна інгібуєча концентрація антимікробного препарату в мг/л, яка повністю пригнічує видимий ріст мікроорганізму *in vitro* за стандартних умов інкубації).

Було вивчено стійкість *Pseudomonas aeruginosa* до дії аміноглікозидного антибіотика тобраміцину. Абсолютні середні значення діаметру зони пригнічення росту *Pseudomonas aeruginosa* після дії антибіотика тобраміцину для крапельних у 2023 році становили – 25,5 мм, 2024 році – 26,3 мм, 2025 році – 27,8 мм. Абсолютні середні значення діаметру зони пригнічення росту *Pseudomonas aeruginosa* після дії антибіотика тобраміцину для проб ШКТ у 2023 році становили – 26 мм, 2024 році – 27,5 мм, 2025 році – 29,1 мм.

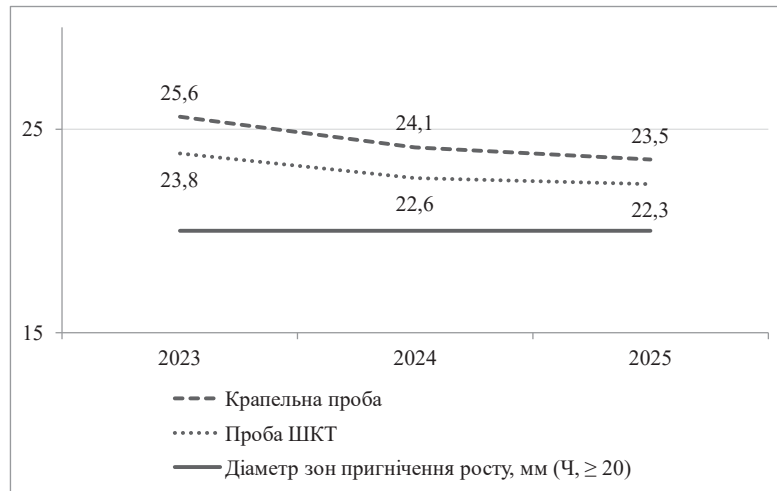
Для визначення чутливості штамів *Pseudomonas aeruginosa* до дії антибіотика тобраміцину ми спиралися на таблиці клінічних граничних зон значень EUCAST для стандартизованого штаму даного виду бактерії з таблиці 1. Дані рисунку 2 говорять про те, що вказаний антибіотик здійснював яскраво виражений негативний вплив на розвиток бактерії в крапельних пробах та пробах ШКТ в усі роки дослідження. Штами *Pseudomonas aeruginosa* (крапельні проби) за класифікацією EUCAST можна вважати чутливими

(Ч) до дії антибіотика тобраміцину в крапельних пробах 2023, 2024 та 2025 років.

Можемо констатувати, що тобраміцин здійснював більш негативний вплив на розвиток бактерії в пробах ШКТ в порівнянні з крапельними пробами у всі роки дослідження (рис. 2).

Штами *Pseudomonas aeruginosa* (проби ШКТ) за класифікацією EUCAST впевнено можна вважати чутливими (Ч) до дії антибіотика тобраміцину в крапельних пробах 2023, 2024 та 2025 років. Допустимі значення діаметру зони пригнічення росту (мм) бактерії після дії тобраміцину – 20–26 мм (таблиця 1). Більшість отриманих нами даних середніх значень діаметрів зони пригнічення росту знаходились на верхній межі вказаного інтервалу, або взагалі за його межами (рис. 2). Це говорить про високий рівень інгибування даним антибіотиком ростових процесів в клітинах *Pseudomonas aeruginosa*, особливо в пробах ШКТ.

Ми проаналізували стійкість *Pseudomonas aeruginosa* до дії антибіотика гентаміцину (рис. 3). Абсолютні середні значення діаметру зони пригнічення росту *Pseudomonas aeruginosa* після дії антибіотика гентаміцину для крапельних проб у 2023 році становили – 25,6 мм, 2024 році – 24,1 мм, 2025 році – 23,5 мм. Діаметри зон пригнічення росту *Pseudomonas aeruginosa* після дії антибіотика гентаміцину для проб ШКТ у 2023 році становили – 23,8 мм, 2024 році – 22,6 мм, 2025 році – 22,3 мм. Гентаміцин, подібно до тобраміцину здійснював значний однозначно негативний вплив на розвиток бактерії з крапельних проб та проб ШКТ в усі роки дослідження. Згідно отриманих даних досліджені штами *Pseudomonas aeruginosa* за класифікацією EUCAST можна вважати чутливими (Ч) до дії антибіотика гентаміцину в крапельних пробах 2023, 2024 та 2025 років.



**Рис. 2.** Графічне вираження показників стійкості *Pseudomonas aeruginosa* до дії антибіотика тобраміцину (одиниці діаметру зони пригнічення росту, мм)



**Рис. 3.** Графічне вираження показників стійкості *Staphylococcus aureus* до дії антибіотика гентаміцину (одиниці діаметру зони пригнічення росту, мм)

Констатуємо той факт, що тобраміцин здійснював негативний вплив більшої сили на розвиток бактерії в пробах ШКТ в порівнянні з крапельними пробами у всі роки дослідження (рис. 3). Досліджені нами штами *Pseudomonas aeruginosa* за класифікацією EUCAST були чутливими (Ч) до дії антибіотика гентаміцину в крапельних пробах та пробах ШКТ у 2023, 2024 та 2025 роках (рис. 3).

Допустимі значення діаметру зони пригнічення росту (мм) бактерії після дії гентаміцину – 17–23 мм (таблиця 1). Більшість отриманих нами даних середніх значень діаметрів зони пригнічення росту для проб ШКТ знаходились на верхній межі вказаного інтервалу, або взагалі за його межами (рис. 3). Це говорить про високий рівень інгибування даним антибіотиком ростових про-

цесів в клітинах *Pseudomonas aeruginosa* для даного виду проб. Всі отримані нами дані середніх значень діаметрів зони пригнічення росту для крапельних проб знаходяться за межею вказаного інтервалу, що вказує на високий негативний вплив гентаміцину на ріст бактерій в даних видах проб.

**Висновки.** Встановлено, що бактерії виду *Pseudomonas aeruginosa* були чутливими (Ч) за до дій антибіотиків тобраміцин та гентаміцин в усіх видах проб протягом років дослідження. Зафіксовано, що *Pseudomonas aeruginosa* в крапельних пробах 2024 року були резистентними (Р) (стійкими) до дії антибіотика амікацин. Клітини *Pseudomonas aeruginosa* в пробах ШКТ 2024 року за класифікацією EUCAST проявили помірну стійкість (П) до дії антибіотика амікацин. Подальші

дослідження є вкрай необхідними для вирішення резистентність патогенних бактерій до антибіотиків та пом'якшення проблем, що виникають через кробрних препаратів в Україні.

#### Література:

1. Кондратюк В. М. Оцінка резистентності до антимікробних препаратів штамів *Acinetobacter baumannii* та *Pseudomonas aeruginosa*, що контамінують бойові поранення кінцівок // Травма. 2017. Т. 18, № 1. С. 68–73. DOI: <https://dspace.vnm.edu.ua/123456789/5220>
2. Ding C., Yang Z., Wang J. et al. Prevalence of *Pseudomonas aeruginosa* and antimicrobial-resistant *Pseudomonas aeruginosa* in patients with pneumonia in mainland China: a systematic review and meta-analysis // International Journal of Infectious Diseases. 2016. Vol. 49. P. 119–128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2016.06.014>
3. European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST). EUCAST clinical breakpoints and dosing of antibiotics. 2025. URL: <https://www.eucast.org/publications-and-documents>
4. Gobezie M. Y., Hassen M., Tesfaye N. A. et al. Prevalence of meropenem-resistant *Pseudomonas aeruginosa* in Ethiopia: a systematic review and meta-analysis // Antimicrobial Resistance & Infection Control. 2024. Vol. 13. Article 37. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13756-024-01389-2>
5. Narimisa N., Keshtkar A., Dadgar-Zankbar E. et al. Prevalence of colistin resistance in clinical isolates of *Pseudomonas aeruginosa*: a systematic review and meta-analysis // Frontiers in Microbiology. 2024. Vol. 15. Article 1477836. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1477836>
6. Pang Z., Raudonis R., Glick B. R., Lin T.-J., Cheng Z. Antibiotic resistance in *Pseudomonas aeruginosa*: mechanisms and alternative therapeutic strategies // Biotechnology Advances. 2019. Vol. 37, No. 1. P. 177–192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.11.013>
7. Salleh M. A. et al. Current trends in the epidemiology of multidrug-resistant and beta-lactamase-producing *Pseudomonas aeruginosa* in Asia and Africa: a systematic review and meta-analysis // PeerJ. 2025. Vol. 13. Article e18986. DOI: [10.7717/peerj.18986](https://doi.org/10.7717/peerj.18986)

#### References:

1. Ding, C., Yang, Z., Wang, J., et al. (2016). Prevalence of *Pseudomonas aeruginosa* and antimicrobial-resistant *Pseudomonas aeruginosa* in patients with pneumonia in mainland China: A systematic review and meta-analysis. International Journal of Infectious Diseases, 49, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2016.06.014>
2. European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST). (2025). EUCAST clinical breakpoints and dosing of antibiotics. <https://www.eucast.org/publications-and-documents>
3. Gobezie, M. Y., Hassen, M., Tesfaye, N. A., et al. (2024). Prevalence of meropenem-resistant *Pseudomonas aeruginosa* in Ethiopia: A systematic review and meta-analysis. Antimicrobial Resistance & Infection Control, 13, Article 37. <https://doi.org/10.1186/s13756-024-01389-2>
4. Kondratiuk, V. M. (2017). Otsinka rezystentnosti do antymikrobnnykh preparativ shtamiv *Acinetobacter baumannii* ta *Pseudomonas aeruginosa*, shcho kontaminuiut boiovi poranennia kintsivok. Travma, 18(1), 68–73. <https://dspace.vnm.edu.ua/123456789/5220>
5. Narimisa, N., Keshtkar, A., Dadgar-Zankbar, E., et al. (2024). Prevalence of colistin resistance in clinical isolates of *Pseudomonas aeruginosa*: A systematic review and meta-analysis. Frontiers in Microbiology, 15, Article 1477836. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1477836>
6. Pang, Z., Raudonis, R., Glick, B. R., Lin, T.-J., & Cheng, Z. (2019). Antibiotic resistance in *Pseudomonas aeruginosa*: Mechanisms and alternative therapeutic strategies. Biotechnology Advances, 37(1), 177–192. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.11.013>
7. Salleh, M. A., et al. (2025). Current trends in the epidemiology of multidrug-resistant and beta-lactamase-producing *Pseudomonas aeruginosa* in Asia and Africa: A systematic review and meta-analysis. PeerJ, 13, e18986. <https://doi.org/10.7717/peerj.18986>

*Дата першого надходження статті до видання: 03.01.2026*

*Дата прийняття статті до друку після рецензування: 05.02.2026*

*Дата публікації (оприлюднення) статті: 18.05.2026*