



Євген Володимирович Даниленко,
керівник гуртка відділу біології,
Київський палац дітей та юнацтва,
м. Київ, Україна

 <https://orcid.org/0000-0002-3417-1479>



Ігор Олександрович Ткачук,
завідувач відділу біології,
Київський будинок дітей та юнацтва,
м. Київ Україна

 <https://orcid.org/0000-0002-4978-2803>



Катерина Григорівна Постова,
кандидатка психологічних наук,
провідна наукова співробітниця відділу підтримки обдарованості,
Інститут обдарованої дитини НАПН України,
м. Київ, Україна

 <https://orcid.org/0000-0001-9728-4756>



Ганна Петрівна Мегалінська,
кандидатка біологічних наук,
доцентка кафедри здоров'я,
валеології та медико-біологічних дисциплін,
Український державний університет імені Михайла Драгоманова,
м. Київ, Україна

 <https://orcid.org/0000-0001-8662-8584>



Жанна Іванівна Білик,
кандидатка біологічних наук,
старша наукова співробітниця
відділу створення навчально-тематичних систем знань,
Національний центр «Мала академія наук України»,
м. Київ, Україна

 <https://orcid.org/0000-0002-2092-5241>

УДК 159.928: 373.461

DOI: [https://doi.org/10.32405/2309-3935-2023-4\(91\)-51-55](https://doi.org/10.32405/2309-3935-2023-4(91)-51-55)

ВИВЧЕННЯ АНТИБАКТЕРІАЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ЯК МЕТОД ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ГУРТКІВ ВАЛЕОЛОГІЇ

Анотація.

За даними ВООЗ смертність від хвороб, які викликані бактеріальними збудниками, зростає. З огляду на це, пошук речовин з антибактеріальними властивостями є актуальним. Новим у цьому напрямі є дослідження антибактеріальних властивостей металів. У результаті проведеного біологічного експерименту було продемонстровано, що серед іонів Ag^+ , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} найвищу антибактеріальну активність демонструють іони срібла. Особливо чутливим до останнього виявилися *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* та *Escherichia coli*. Найбільш фунгіцидні властивості серед досліджених іонів мають іони Cu^{2+} та Fe^{3+} . Педагогічне дослідження продемонструвало, що застосування біологічного експерименту підвищило рівень знань учнів на 15,3 %, а лекційна форма – на 7,4 %, що свідчить про високу ефективність лабораторного методу у формуванні знань немого компоненту здоров'язбережувальної компетентності.

Ключові слова: антибактеріальна активність; Ag^+ , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} ; здоров'язбережувальна компетентність.

Забруднення довкілля антибіотиками та введення законодавства щодо заборони безрецептурного продажу останніх у мережах аптек робить актуальним пошук антибактеріальних засобів природного походження [1]. З іншого боку, за даними ВООЗ зростає загроза підвищення смертності від інфекційних хвороб. Наприклад, смертність від пневмококової пневмонії у світі дорівнює 4156 осіб щодня, від туберкульозу – 4109 осіб, від менінгіту – 1038 осіб, від сифілісу – 290 осіб, від холери – 224 особи на добу. Наведені цифри доводять актуальність проблеми не лише пошуку нових антибактеріальних засобів, а й необхідності розробки нових методик для ознайомлення школярів і студентів із різноманітними антисептичними засобами [2]. **Метою** цього дослідження є вивчення впливу іонів срібла, міді, свинцю та заліза на умовно-патогенні бактерії та розробка методики ознайомлення слухачів гуртків валеології в закладах позашкільної освіти з антибактеріальними властивостями металів.

Антибактеріальна активність нітрату срібла, ацетату свинцю та сульфатів міді та заліза вивчалася методом «паперових дисків» або диско-дифузійним методом [3]. На чашки Петрі з підсушеним середовищем засівали досліджувану культуру суцільним газоном. Стерильним пінцетом на агар накладали паперові диски (4–5 штук), змочені розчином досліджуваної рідини на рівній відстані один від одного. Розміри зони гальмування росту бактерій визначають ступінь чутливості мікроорганізмів до даного розчину.

Тест-мікроорганізмами були: *Escherichia coli* (Migula 1985) Castellani and Chalmers 1919 ATCC 25922 (*кишкова паличка*), *Proteus vulgaris* Hauser, 1885 ATCC 6896 (*протей вульгарний*), *Pseudomonas aeruginosa* Schroeter 1872, Migula 1900 ATCC 9027 (*синьогнійна паличка*), *Streptococcus epidermalis* УКМ В-19 (*стрептокок епідермальний*). Усі мікроорганізми були отримані з Української колекції мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України.

Срібло, золото, хром, ванадій, цинк, мідь, кобальт і багато інших металів належать до мікроелементів та ультрамікроелементів, тому вони відіграють значну роль в нашому житті. Іони металів впливають на мозок, щитоподібну,

підшлункову залозу, печінку, кров. Мікроелементи, виступаючи коферментами ферментів, впливають на метаболізм клітин, здатність росту і розмноження, а також на процеси тканинного та клітинного дихання.

В організмі людини срібло концентрується в кістках, нирках, залозах внутрішньої секреції, а також в мозку та печінці. Приблизна кількість срібла, що має потрапляти в організм дорослої людини щодня – 88 мкг. Доза срібла від 50 до 250 мкг/л не має шкідливого впливу на організм людини. Накопичення срібла, аргіроз, пов'язаний найчастіше з такими медичними практиками, як промивання сечового міхура. Срібло покращує роботу головного мозку шляхом стимуляції окисного фосфорилування в мітохондріях.

На бактеріальну клітину срібло діє двома способами:

- робить мембрану більш проникною;
- гальмує клітинний метаболізм.

На думку А. Лабінської [3], дія антибіотиків може бути посилена використанням невеликої кількості срібла. Підвищена проникність клітинної мембрани дозволяє більшій кількості антибіотиків потрапляти в середину бактеріальних клітин.

У крові людини міститься приблизно 100 мкг міді на 100 мл, в еритроцитах та лейкоцитах – до 60 мкг. Мідь входить до складу білка церулоплазміну. Під час стресу та вагітності вміст міді в організмі людини підвищується. Мідь також входить до складу низки ферментів (тирозинази, цитохромоксидази), стимулює кровотворну функцію кісткового мозку. Малі дози міді впливають на обмін вуглеводів, знижуючи рівень цукру в крові, а також стимулюють накопичення в печінці заліза під час синтезу гемоглобіну. Мідь також є необхідним компонентом ферментів, які забезпечують синтез колагену. Останній постає фундаментом для сполучної тканини в організмі тварин і людини.

З урахуванням бактерицидної дії міді її рекомендовано використовувати для виготовлення таких речей, як посуд, кухонні мийки, системи вентиляції та водопроводу. Разом з аскорбіновою кислотою мідь заважає проникненню в організм патогенних мікробів. Під час інфекційних захворювань, а також при особливих формах цирозу

печінки спостерігається різке збільшення сполук міді в сироватці крові. Психологічний стан людини також пов'язаний з вмістом міді – у людей, схильних до агресії, у волоссі міститься набагато більше цього металу, ніж у стриманих осіб [4].

Ефективність міді відзначається при знищенні або інактивації різних типів шкідливих бактерій, грибків і вірусів, зокрема *Acitobacter baumannii*, *Aspergillus niger*, *Campylobacter jejuni*, *Enterobacter aerogenes*, *Helicobacter pylori*, *Legionella pneumophila*, *Clostridium difficile*, *Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, аденовірус, вірус грипу А або свинячий грип, поліовірус. Антимікробні властивості міді пов'язують із провокуванням витоку калію або глутамату натрію через зовнішню мембрану бактерій, а також порушенням балансу осмотично активних речовин, зв'язуванням із білками і провокуванням окислювального стресу шляхом утворення перекису водню. На цей момент жодного стійкого до Cu мікроорганізму виявлено не було [4].

Натомість свинець має шкідливий вплив на здоров'я людини. Потрапляє цей метал в організм людини через стравохід, дихальні шляхи та шкіру. Основним джерелом забруднення навколишнього середовища свинцем є автотранспорт, що використовує бензин, а також підприємства кольорової металургії. Потрапляючи в організм людини, свинець проникає в кров та швидко зв'язується з еритроцитами. З огляду на високу токсичність цього елемента, використання свинцю досить обмежене. Препарати, до складу яких входить Pb,

використовуються в медицині. З оксиду свинцю виготовляють пластирі, а ацетату – готують мазі. Пластирі використовують при гнійно-запальних захворюваннях шкіри, фурункульозі, екземах та опіках. Ацетат свинцю використовують при запальних процесах слизових оболонок. Антисептична дія цих препаратів пов'язана з тим, що іони плюмбуму, вступаючи до реакції з цитоплазмою мікробних клітин, утворюють гелеподібні альбумінати, що ускладнює проникнення мікробів у тканини організму людини.

Залізо є важливим мікроелементом, входить до складу ферментів-цитохромів, які беруть участь у процесах детоксикації. Також цей елемент входить до складу гемоглобіну, який переносить кисень та вуглекислий газ. Залізо міститься у цитохромах та редокс-ферментах, забезпечуючи транспорт електронів у дихальних ланцюгах. Ферум входить до складу ферменту каталази, який забезпечує захист живих організмів від окислювального стресу. Залізовмісні пероксидази підвищують протимікробну активність лейкоцитів [5].

Попри значний пласт інформації щодо антибактеріальної дії срібла, міді, свинцю та заліза, у літературі відсутні дані щодо впливу іонів цих металів на різні мікроорганізми.

Для вивчення дії перерахованих солей важких металів ми проводимо лабораторну роботу «Вплив срібла, свинцю, заліза та міді на умовно-патогенні бактерії» для слухачів гуртка валеології та студентів спеціальності «Здоров'я людини». Результати проведеного нами експерименту подано в таблиці 1.

Таблиця 1

Антибактеріальна активність деяких солей важких металів

Тестовий мікроорганізм	Зона лізису в мм			
	AgNO ₃	Pb(CH ₃ COO) ₂	CuSO ₄	Fe ₂ (SO ₄) ₃
<i>Escherichia coli</i>	35,2±4,1	15,6±3,6	17,8±2,7	24,1±1,4
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	40,4±4,2	27,8±3,1	16,2±1,7	20,5±2,9
<i>Proteus vulgaris</i>	30,3±4,5	12,4±1,1	20,5±2,3	18,3±1,7
<i>Staphylococcus aureus</i>	45,0±3,7	13,4±2,5	25,2±3,3	17,3±1,9
<i>Candida albicans</i>	16,4±1,4	19,1±2,1	20,8±3,8	17,1±0,9

В експерименті використовувалися розчини AgNO₃, Pb(CH₃COO)₂, CuSO₄, Fe₂(SO₄)₃ у концентрації 0,5 %

Результати дослідження дають змогу дійти висновку, що при стафілококовій інфекції найбільш ефективним засобом виступають іони срібла. Їх дію можна порівняти з дією таких антибіотиків як меропенем, моксіфлоксацин, кларитроміцин. З меншою на 30 % ефективністю діє сульфат міді (зона гальмування 25,2 мм), що подібно до дії таких антибіотиків, як хлорамфенікол, тетрациклін, доксициклін, ципрофлоксацин. Антибактеріальна дія ацетату свинцю (зона гальмування 13,4 мм) виявилися найменшою. Цей ефект можна порівняти з дією антибіотиків – цефотетану, оксациліну, доксициліну, рифампіну.

Вплив на кишкову паличку виявився найбільш сильним з боку срібла, і майже однаковий антибактеріальний ефект мають мідь і свинець. Для срібла аналогічною є дія таких антибіотиків, як левофлоксацин, кларитроміцин, моксіфлоксацин, меропенем. Для міді та свинцю характерна подібність до норфлоксацину, канаміцину, тетрацикліну, рифампіну.

Синьогнійна паличка виявилася найбільш чутливою до дії срібла та свинцю, і менш чутливою до дії міді. Зона гальмування відносно срібла – 40 мм є вдвічі більшою, аніж дія таких антибіотиків, як цефтриаксон, гентаміцин, офлоксацин, меропенем. Зона гальмування росту синьогнійної палички відносно свинцю – 27,8 мм, що є аналогічною дії таких антибіотиків, як ципрофлоксацин,

офлоксацин, меропенем, а відносно міді – 16,2 мм, що відповідає дії таких антибіотиків, як ертапенем, гентоміцин, офлоксацин.

Протей звичайний також найбільш чутливий до дії срібла – зона гальмування 30,3 мм. Подібна дія характерна для ципрофлоксацину, меропенему, левофлоксацину. Мідь діє на 30 % слабше, що нагадує дію тетрацикліну, хорамфеніколу, гентаміцину. Дія свинцю на протей 12,4 мм подібна дії рифампіну та ампіциліну. До заліза найбільш чутливими виявилися кишкова паличка та синьогнійна паличка, а найменш чутливими – стафілокок золотистий і кандида біліюча. Найбільш сильною фунгіцидною дією володіє мідь – зона гальмування росту кандиди біліючої 20,8 мм, аналогічний показник для свинцю – 19,1 мм, а для срібла – 16,4 мм.

Гуртківці, які брали участь у проведенні лабораторної роботи «Антибактеріальний вплив важких металів», краще засвоїли механізми дії іонів срібла, міді, свинцю та заліза на живі організми, особливості та відмінності впливу срібла та міді, рівень токсичності важких металів та антибактеріальний ефект кожного металу відносно умовно патогенних бактерій. Ця група гуртківців у процесі формувального експерименту краще склада-

ла алгоритми використання посуду зі срібла, міді та свинцю в умовах епідемії холери, тифу та під час спалаху пневмококової інфекції.

Нами порівнювалися результати засвоєння знань гуртківців і студентів, які вивчали тему, «антибактеріальна активність важких металів», лекційним і лабораторним методом.

Для математичної обробки отриманих даних застосовувався коефіцієнт засвоєння знань \bar{k} за методом О. Ківерляга [6]:

$$\bar{k} = \frac{\sum I'_a}{N \cdot I_a} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де I_a – загальна кількість елементів знань, що підлягає перевірці; $\sum I'_a$ – сума засвоєних елементів знань гуртківців обраної групи; I'_a – кількість засвоєних елементів знань; N – загальна кількість гуртківців обраної групи.

Результати статистичної обробки даних педагогічного експерименту за методом О. Ківерляга засвідчують, що розроблений нами лабораторний метод підвищує рівень знань гуртківців на 9,9 % (табл. 2).

Таблиця 2

Рівень засвоєння знань та вмінь гуртківців використовувати важкі метали для профілактики інфекційних хвороб (за коефіцієнтом О. Ківерляга)

	Лекційний метод		Лабораторний метод з використанням біологічного експерименту	
	Констатувальний експеримент	Формувальний експеримент	Констатувальний експеримент	Формувальний експеримент
Члени гуртка валеології	30 %	37,4 %	32 %	47,3 %

Висновки

1. Найбільшу антибактеріальну активність відносно всіх досліджуваних тестових мікроорганізмів виявили іони срібла.

2. Іони міді та свинцю виявили найбільшу фунгіцидну активність відносно кандиди білої.

3. Синьогнійна паличка виявилася найбільш чутливою до срібла та свинцю.

4. Стафілокок золотистий і протей звичайний продемонстрували найбільші зони лізису відносно срібла та міді.

5. Проведене дослідження дає змогу стверджувати, що викладений вище фрагмент дидактичного матеріалу під час вивчення антибактеріальної активності важких металів сприяє формуванню здоров'язбережувальної компетентності у школярів 9–11 класів.

Використані літературні джерела

1. Гримблаут С. О. Здоров'язберегаючі технології в підготовці спеціалістів / С. О. Гримблаут, В. П. Зайцев, С. М. Крамскої. – Харьков : Коллегиум, 2005. – 182 с.

2. Маркович І. Г. Динаміка захворюваності та поширеності інфекційних хвороб в Україні / І. Г. Маркович // Інфекційні хвороби. – 2015. – № 2.

3. Руководство по медицинской микробиологии: учебник. – М. : БИНОМ, 2014 – Кн. III., Т. 2. Оппортунистические инфекции: кликоэпидемиологические аспекты. – 879 с.

4. Сердюк С. Н. Діагностика забруднення важкими металами ґрунтового покриву індустриально-урбанізованих територій / С. Н. Сердюк // Екологія та ноосфера. – 2007. – № 40. – 50 с.

5. Янович Н. Є. Роль мікроелементів у життєдіяльності ставкових риб / Н. Є. Янович, Д. О. Янович // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького. – 2022. – Т. 16, № 2(59). – С. 345–346.

6. Ківерляг А. А. Методы исследования в профессиональной педагогике / А. А. Ківерляг. – Таллин : Валгус, 1980. – 334 с.

References

1. Grimblaut, S. O., Zajcev, V. P., & Kramskoj, S. M. (2005). *Zdorov'jasberegajushhie tehnologii v podgotovke*

specialistov [Health-saving technologies in the training of specialists]. Harkov, 182 p. [in Russian].

2. Markovych, I. H. (2015) Dynamika zakhvoriuvanosti ta poshyrenosti infektsiinykh khvorob v Ukraini [Dynamics of infectious diseases morbidity and prevalence in Ukraine]. *Infektsiini khvoroby – Infectious diseases*. 2. [in Ukrainian].

3. Labynskaia, A. S., Volhyna, E. P., & Kovaleva, M. O. (Eds.) (2014). *Rukovodstvo po medytsynskoi mykrobiologii* [Manual of medical microbiology]. Moscow. Vol. 2. 879 p. [in Russian].

4. Serdiuk, S. N. (2007). Diahnostyka zabrudnennia vazhkymy metalamy hruntovoho pokryvu industrialno-urbanizovanykh terytorii. [Diagnosis of heavy metal contamination of the ground cover of industrial and urbanized areas] *Ekolohiia ta noosfera – Ecology and noosphere*. 40. 50 p. [in Ukrainian].

5. Yanovych, N. Ie., & Yanovych, D. O. (2022) Rol mikroelementiv u zhyttiedialnosti stavkovykh ryb [The role of trace elements in the vital activity of pond fish]. *Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S. Z. Hzhyskoho – Scientific Bulletin of LNUVMBT named after S. Z. Gzhysky*. Vol. 16. 2(59). P. 345–346. [in Ukrainian].

6. Kyverliakh, A. A. (1980). *Metody yssledovanyia v professyonalnoi pedahohyke* [Research methods in professional pedagogy]. Tallyn, 334 p. [in Russian].

Danylenko Yevhen, Head of the Biology Department of the Kyiv Palace of Children and Youth, Kyiv, Ukraine

Tkachuk Ihor, Head of the Department of the Kyiv Palace of Children and Youth, Kyiv, Ukraine

Postova Kateryna, PhD in Psychological Sciences, Leading Researcher, Gifted Support Department, Institute of Gifted Child of the NAES of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Mehalinska Hanna, PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Department of Medical and Biological and Valeological Foundations, Protect Life and Health, Department of Pedagogy and Psychology M. P. Drahomanova Ukrainian State University, Kyiv, Ukraine

Bilyk Zhanna, PhD in Biological Sciences, Researcher of the Department of Creation of Educational and Thematic Systems of Knowledge, National Center “Junior Academy of Science of Ukraine”, Kyiv, Ukraine

STUDY OF THE ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF HEAVY METALS AS A METHOD OF IMPROVING THE WORK OF VALEOLOGY CIRCLES

Summary.

According to WHO data, mortality from diseases caused by bacterial pathogens is increasing. Therefore, the search for substances with antibacterial properties is relevant. Research into the antibacterial properties of metals is new in this direction. Man creates new antibiotics, but bacteria adapt to them. Therefore, the issue of pupils and students mastering the method of searching for substances with antibacterial properties remains relevant. The method of this work is the study of the effect of silver, copper, lead and iron ions on opportunistic bacteria and the development of a methodology for familiarizing the students of valeology circles in extracurricular education institutions with the antibacterial properties of metals. As a result of the conducted biological experiment, it was demonstrated that among Ag^+ , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} ions, silver ions show the highest antibacterial activity. *Staphylococcus aureus* (the lysis zone was approximately 45 mm), *Pseudomonas aeruginosa* (the lysis zone – 40 mm) and *Escherichia coli* (the lysis zone – 35 mm) were particularly sensitive to the latter. Cu^{2+} and Fe^{3+} ions have the greatest fungicidal properties among the studied ions, the lysis zone for *Candida albicans* was 20.8 mm for copper ions, and 19.1 mm for lead. The pedagogical experiment demonstrated that the use of a biological experiment increased the level of students' knowledge by 15.3%, and the lecture method by 7.4%, which indicates the higher efficiency of the laboratory method in the formation of the knowledge component of health care competence. Students who participated in the laboratory work “Antibacterial effect of heavy metals” better learned the mechanisms of action of silver, copper, lead, and iron ions on living organisms, the features and differences of the effects of silver and copper; the level of toxicity of heavy metals, and the antibacterial effect of each metal relative conditionally pathogenic bacteria. In the course of a formative experiment, this group of students better-developed algorithms for using dishes made of silver, copper, and lead in the conditions of a cholera, typhus epidemic, and during an outbreak of pneumococcal infection. Thus, the application of the laboratory method also contributes to the formation of practical skills.

Keywords: antibacterial properties; Ag^+ ; Pb^{2+} ; Cu^{2+} ; Fe^{3+} ; health care competence.