

---

**МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ**

---

Державне підприємство Український науково-дослідний інститут  
медицини транспорту

***ВІСНИК***

***МОРСЬКОЇ МЕДИЦИНИ***

Науково-практичний журнал  
Виходить 4 рази на рік

Заснований в 1997 році. Журнал є фаховим виданням для публікації основних  
результатів дисертаційних робіт у галузі медичних наук  
(Наказ Міністерства освіти і науки України № 886 (додаток 4) від 02.07.2020 р.)  
Свідоцтво про державну реєстрацію  
друкованого засобу масової інформації серія КВ № 18428-7228ПР

**№ 4 (105)**  
(жовтень - грудень)

---

Одеса 2024

---

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор А. І. Гоженко

*О. М. Ігнат'єв (заступник головного редактора), Н. А. Мацегора (відповідальний секретар), Н. С. Бадюк, Є. П. Белобров, Р. С. Вастьянов, В. С. Гойдик, М. І. Голубятніков, А. А. Гудима, Г. С. Манасова, В. В. Огоренко, Т. П. Опаріна, И. В. Савицький, С. М. Пасічник, Е. М. Псядло, Н. Д. Філінець, В. В. Шухтін*

## РЕДАКЦІЙНА РАДА

*Х. С. Бозов (Болгарія), Денисенко І. В. (МАММ), В. А. Жуков (Польща), С. Іднані (Індія), А. Г. Кириченко (Днепр), М. О. Корж (Харків), І. Ф. Костюк (Харків), М. М. Корда (Тернопіль), Н. Ніколич (Хорватія), М. Г. Проданчук (Київ), М. С. Регеда (Львів), А. М. Сердюк (Київ), К. О. Талалаєв (Одеса)*

Адреса редакції

65039, ДП УкрНДІ медицини транспорту  
м. Одеса, вул. Канатна, 92  
e-mail [nymba.od@gmail.com](mailto:nymba.od@gmail.com)

Наш сайт - [www.medtrans.com.ua](http://www.medtrans.com.ua); <https://www.herald.org.ua>

Редактор Н. І. Єфременко

Здано до набору 20.12.2024 р.. Підписано до друку 26.12.2024 р. Формат 70×108/164  
Папір офсетний № 2. Друк офсетний. Умов.-друк.арк. .  
Зам № 2/9/15 Тираж 100 прим.

ISSN 2707-1324

©Міністерство охорони здоров'я України, 1999

©Державне підприємство Український науково-дослідний інститут медицини транспорту, 2005

---

**MINISTRY OF HEALTH CARE OF UKRAINE**

---

State enterprise Ukrainian Research Institute of Transport  
Medicine

***JOURNAL OF MARINE MEDICINE***

Scientific and practical journal  
It is published 4 times a year

Founded in 1997. The magazine is a professional publication of the main results of thesis's and  
works in the field of medical sciences

(Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 886 (Appendix 4)  
dated July 2, 2020)

Certificate of state registration of printed mass media series KV No. 18428-7228PR

**No. 4 (105)**  
(October - December)

---

Odessa 2024

---

## EDITORIAL BOARD

**Chief editor A. I. Gozhenko**

*O. M. Ignatiev (deputy editor-in-chief), N. A. Matsegora (responsible secretary), N. S. Badiuk, E. P. Belobrov, R. S. Vastyanov, V. S. Hoydyk, M. I. Golubyatnikov, A. A. Gudyma, G. S. Manasova, V. V. Ogorenko, T. P. Oparina, I. V. Savitsky, S. M. Pasichnyk, E. M. Psiadlo, N. D. Filipets, V. V. Shukhtin*

## EDITORIAL COUNCIL

*H. S. Bozov (Bulgaria), I. V. Denysenko (IMHA), V. A. Zhukov (Poland), S. Idnani (India), A. G. Kyrychenko (Dnipro), M. O. Korzh (Kharkiv), I. F. Kostyuk (Kharkiv), M. M. Korda (Ternopil), N. Nikolic (Croatia), M. G. Prodanchuk (Kyiv), M.S. Regeda (Lviv), A. M. Serdyuk (Kyiv), K. O. Talalaev (Odeca)*

---

Address of the editorial office

---

Address of the editorial office  
65039, SE UkrNDI for medicine of transport  
Odessa, str. Kanatna, 92  
e-mail [nymba.od@gmail.com](mailto:nymba.od@gmail.com)

Our website - [www.medtrans.com.ua](http://www.medtrans.com.ua); <https://www.herald.org.ua>

---

Editor N. I. Yefremenko

Submitted for typing on 12/20/2024. Signed for printing on 12/26/2024. Format 70×108/164  
Offset paper No. 2. Offset printing. Terms and conditions - print sheet. .  
Deputy No. 2/9/15 Circulation 100 approx.

---

ISSN 2707-1324 ©Ministry of Health Care of Ukraine, 1999

©State enterprise Ukrainian Research Institute for Medicine of Transport, 2005

УДК 628.162:613.34.:502.65+546.134

DOI <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14567421>

А. В. Мокієнко, <sup>1</sup>Р. С. Вастьянов, <sup>1</sup>А. М. Рожнова, <sup>1</sup>О. А. Герасименко, <sup>1</sup>О. С. Совірда,  
<sup>1</sup>К. К. Садовий

## ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ СОНЯЧНОЇ ДЕЗІНФЕКЦІЇ ПИТНОЇ ВОДИ

Національний університет «Острозька академія»

<sup>1</sup>Одеський національний медичний університет

### Authors information

Мокієнко А.В. <https://orcid.org/0000-0002-4491-001X>

Вастьянов Р.С. <https://orcid.org/0000-0001-8585-2517>

Рожнова А.М. <https://orcid.org/0000-0001-7718-6171>

Герасименко О.А. <https://orcid.org/0000-0003-1291-657X>

Совірда О.С. <https://orcid.org/0000-0002-6728-0540>

Садовий К.К. <https://orcid.org/0009-0001-7006-3280>

**Summary.** Mokienko A.V., <sup>1</sup>Vastyanov R.S., <sup>1</sup>Rozhnova A.M., <sup>1</sup>Gerasymenko O.A., <sup>1</sup>Sovirda O.S., <sup>1</sup>Sadoviy K.K. **CHARACTERISTICS OF STATE OF RESEARCH ON SOLAR DISINFECTION OF DRINKING WATER** - National University "Ostroh Academy", <sup>1</sup>Odessa National Medical University; e-mail: [mokienkoav56@gmail.com](mailto:mokienkoav56@gmail.com). **Introduction.** Domestic water treatment (HWT) is a key engineering intervention for the daily and emergency water needs of billions of people. However, the established practice of HWT faces various problems, which are solved to some extent by the use of solar drinking water disinfection (SODIS). **The purpose.** Characteristics of the state of research on solar disinfection of drinking water. **Materials and methods.** Bibliometric, analytical. **Research results.** The analysis of the literature showed the unabated interest of researchers in solar disinfection as a promising method of obtaining epidemically safe water in household conditions in the absence of traditional methods of its purification and disinfection. In particular, a critical review of publications in this field over the past 20 years shows that the majority of publications have focused on SODIS and photocatalytic nanomaterials, while a limited number have focused on ensuring adequate levels of water disinfection, testing regulated microbial indicators and emerging pathogens, and real-world applications. The characteristics of the effectiveness of solar disinfection of drinking water indicate a significant potential for the use of this method in small communities. It should be considered appropriate to implement this method in rural settlements, taking into account the consequences of the destruction of water supply systems during the war and the limited resources for their operation.

**Key words:** drinking water, solar disinfection, rural settlements.

**Реферат.** Мокієнко А. В., Вастьянов Р. С., Рожнова А. М., Герасименко О. А., Совірда О. С., Садовий К. К. **ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ СОНЯЧНОЇ ДЕЗІНФЕКЦІЇ ПИТНОЇ ВОДИ.** **Вступ.** Очищення побутової води (НВТ) є ключовим інженерним втручанням для щоденних і екстрених потреб мільярдів людей у воді. Однак усталена практика НВТ стикається з різними проблемами, які певною мірою вирішуються при використанні сонячної дезінфекції питної води (SODIS).

**Мета роботи.** Охарактеризувати стан досліджень дезінфекції питної води за допомогою сонячної енергії. **Матеріали і методи.** Бібліометричні, аналітичні. **Результати.** Аналіз літератури показав неослабний інтерес дослідників до сонячної дезінфекції як перспективному методу отримання епідемічно безпечної води у побутових умовах при відсутності традиційних методів її очищення та знезараження. Зокрема, критичне дослідження публікацій у цій сфері за останні 20 років свідчить, що більшість публікацій були зосереджені на SODIS та фотокаталітичних наноматеріалах, тоді як обмежена кількість була зосереджена на забезпеченні належного рівня знезараження води, тестуванні регульованих мікробних показників та нових патогенів, а також реальних застосувань. Характеристика ефективності сонячної дезінфекції питної води свідчить про значний потенціал використання цього методу в невеликих громадах. Слід вважати за доцільне впровадження цього методу в сільських населених пунктах, враховуючи наслідки руйнації систем водопостачання під час війни та обмеженість ресурсів для їх експлуатації.

**Ключові слова:** питна вода, сонячна дезінфекція, сільські населені пункти.

### **Вступ**

«Забезпечити доступ до води для всіх», – йдеться у Цілі 6 Цілей сталого розвитку ООН. Ця глобальна проблема вимагає визначення найкращого методу знезараження води для кожного сценарію. Очищення побутової води (HWT) є ключовим інженерним втручанням для щоденних і екстрених потреб мільярдів людей у воді. Однак усталена практика HWT стикається з різними проблемами для досягнення стійкості. Стаття [1] визначає та обговорює п'ять важливих принципів для проектування сталого HWT, включаючи здатність до очищення, екологічність, досвід користувача, економічну життєздатність та соціальне визнання. Добре реалізований HWT з урахуванням енергетичної стійкості значною мірою покладається на передові матеріали, інноваційні технології та/або креативні конструкції, здатні надійно зменшувати як традиційні, так і нові забруднення, мінімізуючи при цьому небажане хімічне вимивання та утворення шкідливих побічних продуктів дезінфекції. Екологічність можна досягти шляхом значного зменшення впливу на навколишнє середовище та енергії, а також належного управління побічними продуктами дезінфекції. Тим часом орієнтований на користувача підхід до проектування та економічні міркування повинні бути інтегровані в розробку HWT, щоб підвищити готовність кінцевих користувачів використовувати та платити відповідно. Нарешті, соціальне схвалення має бути пов'язане зі сприянням громадськості та сприйняттю ринком для посилення комерційної життєздатності продуктів HWT нового покоління. З огляду на те, що ці принципи охоплюють різні сфери, необхідна міждисциплінарна співпраця на різних етапах технологічних інновацій HWT.

**Мета роботи.** Проаналізувати дані літератури щодо стану досліджень сонячної дезінфекції питної води.

**Матеріали і методи.** Бібліометричні, аналітичні.

### **Результати досліджень та їх обговорення**

Традиційні HWT мають обмеження, які включають низьку ефективність щодо певних патогенів та утворення побічних продуктів дезінфекції. Сонячні методи, такі як сонячна дезінфекція води (SODIS) або сонячний фотокаталіз, є новими, ефективними, фінансово та екологічно стійкими альтернативами. Автори [2] провели критичне дослідження публікацій у сфері знезараження води за допомогою сонячної енергії та представили перший за останні 20 років бібліометричний аналіз наукової літератури з бази даних Scopus компанії Elsevier. Результати свідчать, що в цій сфері, що викликає зростаючий інтерес, США, Іспанія та Китай є найпродуктивнішими країнами з точки зору видавничої справи, проте в Європі знаходяться найбільш визнані дослідницькі групи – Іспанія, Швейцарія, Ірландія та Великобританія. Автори також переглянули журнали, в яких переважно публікуються дослідники. Використовували системний підхід для визначення фактичних дослідницьких тенденцій та прогалів. Проаналізували здатність цих публікацій відповісти на ключові дослідницькі питання, визначивши шість кластерів ключових слів щодо основних дослідницьких викликів, відкритих областей та нових застосувань. Більшість публікацій

були зосереджені на SODIS та фотокаталітичних наноматеріалах, тоді як обмежена кількість була зосереджена на забезпеченні належного рівня знезараження води, тестуванні регульованих мікробних показників та нових патогенів, а також реальних застосувань, які включають складні матриці, великомасштабні процеси та вичерпну оцінку витрат.

Дослідження [3] було спрямоване на розробку, створення прототипу та тестування ефективності сонячної системи дезінфекції для покращеного очищення води в сільських домогосподарствах Малаві. Система була побудована з місцевих матеріалів. Ефективність і дієвість системи інактивації мікроорганізмів визначали за допомогою забруднених зразків сирової води, зібраних у сільській місцевості. Після 3 годин впливу інтенсивного сонячного світла при температурі води в пляшці 66 °C у зразках води не було зареєстровано колі-форм (загальних або фекальних), що відповідало допустимим нормам для питної води за стандартами Малаві та ВООЗ. При контамінації води у контейнері на 12 л ефективність системи склала 10,2%. Температура дезінфекції досягала швидше (80 хвилин) в умовах інтенсивного сонячного світла та низької каламутності. Апробована система була економічно ефективна і проста у використанні, тому її рекомендовано для вдосконалення очищення води в сільській місцевості.

Впродовж десятиліть досліджень та інноваційних розробок технологія ультрафіолетової дезінфекції значно вдосконалила експлуатацію та технічне обслуговування УФ-обладнання та загальну економічну ефективність УФ-системи. Сонячна дезінфекція води, також відома як SODIS, — це система очищення води з використанням двох легкодоступних матеріалів: сонячного світла та пластикових ПЕТ-пляшок. SODIS вирішує проблему захисту води від мікроорганізмів, які викликають захворювання, що передаються через воду, просто поміщаючи забруднену воду в прозорі пластикові пляшки та виставляючи їх на сонячне світло. Це робить SODIS чудовим інструментом у наборі для виживання. Тип і форма ємності, яка використовується для очищення води SODIS, є важливими. Ефективність SODIS залежить від фізичного стану пластикових пляшок. Механічні подряпини та старіння знижують ефективність SODIS. Сильно подряпані або старі пляшки слід замінити [4].

На думку авторів [5] сонячна дезінфекція води (SODIS) є одним з найдешевших і найбільш підходящих методів обробки для отримання безпечної питної води на рівні домогосподарств в умовах обмежених ресурсів. У цьому огляді представлено основні параметри, які впливають на процес SODIS, і те, як нові вдосконалення та підходи до моделювання можуть подолати деякі поточні недоліки, які обмежують його широке впровадження. Збільшення об'єму контейнера може зменшити ризик повторного забруднення, викликаного маніпуляцією кількома 2-літровими пляшками. Використання контейнерних матеріалів, відмінних від поліетилентерефталату (ПЕТ), значно підвищує ефективність інактивації вірусів і найпростіших. Крім того, зазвичай рекомендується переоцінка часу сонячного опромінення, оскільки на успіх процесу часто впливає багато факторів, які знаходяться поза контролем користувача SODIS. Розробка точних кінетичних моделей має вирішальне значення для забезпечення виробництва безпечної питної води. У цій роботі [5] зроблено спробу переглянути відповідні знання про вплив змінних SODIS і методи, які використовуються для розробки кінетичних моделей, описаних у літературі. Окрім типу та концентрації патогенів у неочищеній воді, ідеальна кінетична модель повинна враховувати всі критичні фактори, що впливають на ефективність процесу, такі як інтенсивність, спектральний розподіл сонячного випромінювання, спектри пропускання стінок контейнера, старіння матеріалу реактора SODIS і хімічний склад води, оскільки речовини у воді можуть відігравати важливу роль як послаблювачі випромінювання та/або сенсibilізатори, запускаючи процес інактивації.

У роботі [6] обґрунтовується доцільність застосування SODIS не тільки в тропічних і субтропічних країнах з низьким рівнем доходу, але й високорозвинених країнах, розташованих у помірному кліматі. Щоб дослідити це питання, експерименти SODIS проводили у вологому континентальному кліматі Фінляндії, піддаючи забруднену фекальними колі-формами питну воду природному сонячному випромінюванню при різних температурах води (8–23 °C) та інтенсивності УФ (12–19 Вт/м<sup>2</sup>) у поліетиленових (ПЕ) пакетах. Контрольні експерименти SODIS з таким же експериментальним планом додатково

проводилися в середземноморському кліматі Іспанії в типових умовах застосування SODIS ( $\sim 39^\circ\text{C}$  і  $42\text{ Вт/м}^2$ ).

З усіх експериментів найвищу ефективність інактивації колі-форм та ентерококів з точки зору найнижчих необхідних доз для 4-log дезінфекції ( $25\text{ Вт}\cdot\text{год/м}^2$  і  $60\text{ Вт}\cdot\text{год/м}^2$  відповідно) було отримано у вологому континентальному кліматі при найнижчій вивченій середній температурі води ( $8\text{--}11^\circ\text{C}$ ). Незважаючи на низьке середнє УФ-опромінення ( $\sim 19\text{ Вт}\cdot\text{год/м}^2$ ), 4-log дезінфекція колі-форм і ентерококів також була досягнута швидко в цих умовах (1 год 27 хв і 3 год 18 хв відповідно). Загалом дози, необхідні для дезінфекції, збільшувалися в міру підвищення температури води та інтенсивності ультрафіолетового випромінювання під час експериментів. Дезінфекція 4-logs ( $> 99,99\%$ ) обох бактерій була досягнута в усіх експериментах SODIS протягом 6 годин, що свідчить про те, що SODIS може бути достатнім методом очищення води для домогосподарств навіть у більш холодному кліматі, на відміну від того, що вважалося раніше. Вплив різних температур води на інактивацію бактерій також перевіряли за відсутності сонячного світла. Разом отримані результати вказують на те, що хоча температура води, яка нижча або близька до оптимуму колі-форм і ентерококів ( $\sim 10^\circ\text{C}$ ), сама по собі не викликає інактивації, ці температури можуть підвищити продуктивність SODIS. Це явище пояснюється повільнішим метаболізмом бактерій і, отже, повільнішим фоторепаруванням, викликаним низькою температурою води.

В експериментально - модельному дослідженні ефективності сонячного знезараження побутової води вивчали потенціал інактивації бактерій SODIS під сонячним опроміненням в різні сезони в Бангладеш відповідно до протоколу оцінки HWT BOO3 [7]. Експерименти SODIS проводилися з використанням ПЕТ-пляшок і пластикових пакетів. Влітку спостерігалось значення логарифму зниження (LRV) понад 5 для ПЕТ-пляшок протягом 6–8 годин впливу сонячного світла, а очищена вода відповідала мікробному стандарту нульових КУО/100 мл для питної води. У мусонний період і взимку LRV  $> 4$  можна було досягти за 16 годин і 8 годин впливу сонячного світла. Пластиковий пакет виявився ефективнішим, ніж ПЕТ. Оцінено безпечний час впливу, який необхідно підтримувати для застосування SODIS, щоб досягти 4,0 LRV, а також запобігти повторному росту мікроорганізмів у обробленій воді. Автори рекомендують SODIS для використання в громадах з небезпечною якістю питної води.

Автори роботи [8] стверджують, що методи обробки води на місці використання, такі як сонячна дезінфекція води (SODIS), мають великий потенціал для зменшення глобального тягаря діареї. Комплексні мікробіологічні дослідження продемонстрували ефективність SODIS для знищення збудників діареї в забрудненій питній воді. З 2000 року SODIS просувається в країнах, що розвиваються, через інформаційні та просвітницькі кампанії, навчання та консультування громадського сектору (урядових установ), мережеву діяльність, а також навчання користувачів на базовому рівні. Нині метод використовують у 33 країнах світу понад 2 мільйони людей. Кілька оцінок проектів і досліджень впливу на здоров'я показують, що захворюваність на діарею серед користувачів SODIS знизилася на 16–57%. Через рік після реалізації проекту 20–80% навчених людей регулярно використовували SODIS. У цьому документі розглядаються фактори, що впливають на прийняття та постійне використання SODIS на базовому рівні, тобто місцева доступність пляшок, повторне просування та навчальні програми, мотивація та відданість промоутерів, рівень освіти користувачів, соціальний тиск та інституційні аспекти.

У статті [9] досліджується глобальна застосовність технології сонячної дезінфекції води через новий параметр: потенціал SODIS. Цей параметр визначається як зворотне співвідношення між необхідним часом експозиції для досягнення чотирьох логарифмів дезінфекції *E. coli* та шістьма годинами, рекомендованими стандартним протоколом SODIS. Кінетику інактивації *E. coli* було передбачено шляхом підгонки результатів за різних температур і падаючого випромінювання до напівемпіричної моделі інактивації, включаючи синергію між джерелами бактеріального стресу (світло/тепло). Щоб оцінити потенціал SODIS, був розроблений сонячний калькулятор на основі положення Сонця, атмосферного тиску, хмарного покриву та висоти. Загальна радіація, що змінюється в часі, доступна в будь-якому місці в усьому світі, була оцінена для кожного дня року протягом



годин сонячного світла. Температуру, що змінюється в часі, також оцінювали за мінімальними та максимальними значеннями, вводячи її динамічні зміни разом із сонячним опроміненням води. Значення падаючої радіації та температури вводили в кінетичну модель для оцінки швидкості дезінфекції. На основі цих значень розраховували кількість серійних дезінфекцій, які можуть досягти 99,99% інактивації бактерій за 1 день, і мінімальний щоденний час, необхідний для досягнення цієї мети. Останній остаточно трансформували в потенціал SODIS. Результати дослідження, зображені у вигляді контурів, що вказують на потенціал SODIS та інші відповідні індикатори, накладені на карту світу, підтверджують, що широта має значний внесок у потенціал SODIS, з найвищими значеннями поблизу екватора. Однак, результати також підкреслюють важливість температури та хмарного покриву з критичними відмінностями між регіонами на однаковій широті.

В серії експериментів виявлено та охарактеризовано процес інактивації кенійського ізоляту *E. coli* у сильно забрудненій питній воді в прозорих пластикових пляшках під впливом сонячного світла [10]. Детально вивчена роль механізмів оптичної та теплової інактивації шляхом моделювання умов оптичного опромінення, каламутності води та температури. Ефекти оптичної інактивації спостерігалися навіть у дуже каламутній воді (200 NTU) і при низькій освітленості (10 мВт/см<sup>2</sup>). Встановлено, що термічна інактивація важлива лише при температурі води вище 45 °С, коли спостерігається сильна синергія між процесами оптичної та термічної інактивації. Результати підтверджують, що при наявності сильного сонячного світла сонячна дезінфекція питної води є ефективним і доступним методом покращення якості води та може бути особливо корисною для таборів біженців у зонах лиха. Обговорюються стратегії покращення інактивації бактерій.

Автори [11] повідомили про кінетику інактивації пакетної сонячної дезінфекції (SODIS) суспендованих у воді *Campylobacter jejuni*, *Yersinia enterocolitica*, ентеропатогенної *E. coli*, *Staphylococcus epidermidis* та ендоспор *Bacillus subtilis* під впливом сильного природного сонячного світла в Іспанії та Болівії. Час впливу для повної інактивації (принаймні 4 логарифми) в умовах сильного природного сонячного світла (максимальне опромінення ~1050 Вт/м<sup>2</sup> ± 10 Вт/м<sup>2</sup>) був таким: *C. jejuni*, 20 хв; *S. epidermidis*, 45 хв.; ентеропатогенна *E. coli*, 90 хв; *Y. enterocolitica*, 150 хв. Після неповної інактивації ендоспор *B. Subtilis* у перший день повторна експозиція цих зразків на наступний день виявила, що 4% ендоспор залишаються життєздатними після сукупного часу впливу протягом 16 годин сильного природного сонячного світла. Показано, що SODIS є ефективним проти вегетативних форм певних збудників, що передаються через воду. Однак, спори бактерій резистентні до цієї дезінфекції.

Мета роботи [12] полягала у визначенні можливості використання пакетної сонячної дезінфекції (SODIS) для інактивації ооцист *Cryptosporidium parvum* і цист *Giardia muris* в експериментально забрудненій воді. Суспензії ооцист і цист піддавалися імітаційному сонячному випромінюванню 830 Вт/м<sup>2</sup> протягом різного часу впливу при постійній температурі 40 °С. Час впливу ≥10 год (загальна оптична доза приблизно 30 кДж) зробив ооцисти *C. parvum* неінфекційними. Цисти *G. muris* були повністю неінфекційними протягом 4 год (загальна оптична доза >12 кДж). Скануюча електронна мікроскопія та дослідження життєздатності ооцист *C. parvum* показали, що інактивація спричинена пошкодженням стінки ооцисти. Результати показали, що цисти *G. muris* і ооцисти *C. parvum* стають повністю неінфекційними після експозиції SODIS протягом 4 і 10 годин відповідно. Висловлено думку щодо ефективності проти цист *Giardia lamblia*. Автори приходять до висновку, що SODIS є ефективною технологією знезараження води в домашніх умовах завдяки інактивації не тільки бактеріальних патогенів, але й паразитарних збудників.

В огляді [13] (2012 рік) зроблено спробу переглянути всі відповідні знання про сонячну дезінфекцію, починаючи з мікробіологічних питань, лабораторних досліджень, пілотних випробувань, включно з реальними дослідженнями застосування; обмеженнями, факторами, що впливають на впровадження техніки та впливом на здоров'я. На той час сонячна дезінфекція води (SODIS) була відома вже більше 30 років. Неодноразово було доведено, що цей метод ефективний для знищення мікробних патогенів і зниження захворюваності на діарею, включаючи холеру. З 1980 року було проведено багато досліджень механізмів інактивації мікроорганізмів під впливом сонячного випромінювання,

запропоновано можливі технології покращення, щоб зробити це швидшим і безпечнішим. Оскільки SODIS є простим та доступним у використанні, цей метод поширився по всьому світу і щоденно використовується в більш ніж 50 країнах Азії, Латинської Америки та Африки. Понад 5 мільйонів людей дезінфікують питну воду за допомогою технології сонячної дезінфекції (SODIS).

У роботі [14] представлено результати експериментів, спрямованих на підвищення ефективності процесу інактивації при сонячному знезараженні питної води. Було досліджено вплив періодичного перемішування, покриття задньої поверхні контейнера алюмінієвою фольгою, об'єму контейнера та каламутності на кінетику сонячної інактивації *E. coli* (початкова інокуляція =  $10^6$  КУО/мл). Показано, що перемішування сприяло вивільненню розчиненого кисню з води з подальшим зниженням швидкості інактивації *E. coli*. Навпаки, покриття задньої поверхні контейнера для сонячної дезінфекції алюмінієвою фольгою підвищило ефективність інактивації. Встановлено, що середня константа інактивації у пляшках із фольгою на 1,85 (стандартне відхилення = 0,43) вища, ніж у пляшках без фольги. Швидкість інактивації зменшувалася зі збільшенням каламутності. Кінетика інактивації не залежала від об'єму ємності з водою у діапазоні 500-1500 мл.

Запропоновано механічну модель інактивації *E. coli* під дією SODIS [15]. Інактивація бактерій пояснюється комбінованим ефектом: і) УФ-фотонів, які поглинаються бактеріями та виробляють внутрішньоклітинні активні форми кисню (АФК), що викликають окисне пошкодження, і ii) помірного підвищення температури води (зазвичай від 25 °C до 50 °C), що прискорює процес інактивації бактерій. У цій роботі запропоновано модель, засновану на спрощеному підході кінетичних реакцій, які пояснюють синергію між УФ-випромінюванням і температурою для успішного відтворення результатів експериментів SODIS. Основними факторами, які розглядаються в цій моделі, є (i) фотоіндуковане утворення внутрішньоклітинних АФК та фотосенсибілізаторів, що враховує внутрішні термічні реакції та фотореакції Фентона; (ii) термічну та фотоінактивацію каталази та супероксиддисмутази та (iii) внутрішні пошкодження внаслідок дії цих окисних та термічних ефектів. Продемонстровано, що нова модель відтворює часовий профіль концентрації кишкової палички в чистій воді при різних температурах (10 – 55 °C) і при різному сонячному випромінюванні (30 – 50 Вт/м<sup>2</sup> УФ). Відмінне узгодження між моделлю та експериментальними результатами свідчить про те, що механічна модель, яка враховує синергетичний ефект між УФ-випромінюванням і температурою, є реалістичним підходом для моделювання процесу сонячної дезінфекції води.

У дослідженні [16] оцінена можливість прогнозування ефективності сонячної дезінфекції води (SODIS) для видалення бактеріальних патогенів шляхом розробки трирівневого плану: по-перше, проведена систематична інактивація *E. coli* (in vitro) у воді із Женевського озера в різних контрольованих умовах температури води (20–50 °C), інтенсивності сонячного світла (0–1200 Вт/м<sup>2</sup>), наявності природних розчинених органічних речовин (DOM, 0–6 мг/л) і каламутності (0–50 NTU). На другому етапі кінетична оцінка призвела до вибору найбільш релевантних параметрів для включення в теоретичне формулювання нової статичної та динамічної моделі. Статичні та динамічні моделі достовірно описували результати експерименту (інактивація бактерій за різних кліматичних умов) і розглядалися як однаково прийнятні кандидати для моделювання дезінфекції. На останньому етапі розглядалися дані про температуру навколишнього середовища, падаючу радіацію та дані про хмарний покрив для прогнозування ефективності SODIS в Африці. Результати моделювання порівнювали з експериментальними даними. Показано, що більшість африканських регіонів придатні для процесів SODIS, але є зони ризику, пов'язані з кліматичними умовами (хмарність і температура). Результати цього дослідження можуть бути застосовані для регіональних стратегій прийняття рішень щодо застосування SODIS або для пошуку життєздатних альтернатив SODIS у разі його непридатності.

Мета роботи [17] полягала у визначенні ефективності сонячної дезінфекції (SODIS) при інактивації кишкових патогенів. Встановлено, що для логарифму 99% інактивації (F99) стійкість до сонячного світла при 37 °C ранжувалась наступним чином: *Salmonella typhimurium* > *Escherichia coli* > *Shigella flexneri* > *Vibrio cholerae*. Хоча значення F90 для *Salm. typhimurium* та *E. coli* були подібними, значення F99 відрізнялися на 60%. Чувливість

до тепла спостерігалася при температурі вище 45 °C для *E. coli*, *Salm. typhimurium* і *S. flexneri*, тоді як для *V. cholerae* вище 40 градусів C. Таким чином, *Salm. typhimurium* була найстійкішою, а *V. cholerae* – найменш стійким кишковим збудником. Автори приходять до висновку, що *E. coli* може бути невідповідним індикатором для перевірки ефективності SODIS щодо інактивації кишкових бактерій.

Оцінено здатність реакторів періодичної дії для сонячної дезінфекції (SODIS) і сонячної фотокаталітичної (TiO<sub>2</sub>) дезінфекції (SPC-DIS) інактивувати водні найпростіші, гриби та бактерії. Після 8 годин імітованого сонячного опромінення (870 Вт/м<sup>2</sup> в діапазоні 300 нм, 200 Вт/м<sup>2</sup> в діапазоні УФ 300–400 нм) як SPC-DIS, так і SODIS досягли зниження принаймні на 4 логарифми життєздатності найпростіших (трофозойна стадія *Acanthamoeba polyphaga*), грибів *Candida albicans*, *Fusarium solani* і бактерій (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*). Для спор *Bacillus subtilis* було зафіксовано зниження лише на 1,7 логарифми. І SODIS, і SPC-DIS були неефективними проти цист *A. polyphaga* [18].

В останні роки було проведено величезну кількість досліджень і розробок у галузі фотокаталізу (гетерогенного та гомогенного), процесу, включеного в особливий клас методів окислення Advanced Oxidation Processes (AOP). У статті [19] розглядається використання сонячного світла для отримання радикалів ОН за допомогою фотокаталізу TiO<sub>2</sub> і процесу фото-Фентона. Описано реакційні системи, необхідні для проведення сонячного фотокаталізу. Підсумовується більшість проведених досліджень, пов'язаних із сонячною фотокаталітичною деградацією забруднень води, і те, як це може значно сприяти обробці стійких токсичних сполук. Описано, як підвищити ефективність процесу шляхом інтеграції з біообробкою. Детально описано різні сонячні реактори для фотокаталітичної обробки води, в основному засновані на неконцентруючих колекторах, а також використання сонячних фотокаталітичних процесів для інактивації мікроорганізмів, присутніх у воді, з особливим наголосом на експериментальні системи, створені для оптимізації цієї техніки дезінфекції.

Традиційне сонячне знезараження води має низьку ефективність. Наноматеріали, що перетворюють сонячну енергію на тепло, забезпечують синергію сонячного випромінювання та тепла для знищення бактерій, що переносяться водою. У роботі [20] досліджено механізм інактивації бактерій за допомогою сонячного реактора дезінфекції на основі плівки з вуглецевих нанотрубок, яка перетворює сонячну енергію на тепло. Фототермічний реактор продемонстрував синергетичне посилення інактивації *E. coli* з ефективністю >5 log інактивації за 20 хвилин у статичних умовах. Порівняно з сонячним випромінюванням або лише теплом сонячна фототермічна дезінфекція викликала 2-кратне накопичення активних форм кисню (АФК) і на 40% вищу інактивацію каталази та супероксиддисмутази. Фотоіндуковане тепло було критичним для інактивації бактерій. Транскриптомний аналіз показав, що синергія сонячного випромінювання та фотоіндукованого тепла порушує реакцію бактерій на тепловий стрес. Декілька метаболічних шляхів, пов'язаних з утворенням АФК, які повинні регулюватися тепловим стресом, залишалися незмінними на сонячному світлі, але експресія *safA* (гена, що кодує каталазу) була заблокована сонячним світлом, спричиняючи накопичення АФК. Величезна кількість АФК атакувала клітинні мембрани та РНК і що призвело до загибелі клітини. Цей метод забезпечує можливу альтернативу дезінфекції питної та очищеної води з високою ефективністю, низьким споживанням енергії та відсутністю токсичних побічних продуктів.

Метою дослідження [21] була оцінка ефективності сонячної дезінфекції шляхом гетерогенного фотокаталізу золь-гель іммобілізованими плівками TiO<sub>2</sub> на скляних циліндрах. Процес сонячної дезінфекції, відомий як SODIS, розглядався як еталон. Визначали ефективність дезінфекції питної води, природно забрудненої коли-формними бактеріями під впливом сонячного світла в пластикових пляшках з TiO<sub>2</sub> і без нього над простими сонячними колекторами. Дезінфекція за допомогою TiO<sub>2</sub> була більш ефективною, ніж процес SODIS, при інактивації загальних та фекальних коли-формних бактерій. У сонячний день (понад 100 Вт/м<sup>2</sup>) для дезінфекції іммобілізованим TiO<sub>2</sub> знадобилося 15 хвилин опромінення для повної інактивації фекальних коли-форм і 30 хвилин для інактивації загальних коли-форм. Тобто, менш ніж за половину часу, необхідного для SODIS, очищена вода відповідала мікробним стандартам для питної води в Мексиці. Іншою

важливою частиною цього дослідження було визначення повторного росту бактерій у воді після перевірки процесів дезінфекції. Після SODIS спостерігався повторний ріст коли-форм. Навпаки, при використанні каталізатора  $TiO_2$  повторного росту коли-форм не було виявлено ні для загальних, ні для фекальних коли-форм. Процес дезінфекції з використанням  $TiO_2$  забезпечував надійність інактивації коли-форм принаймні протягом семи днів після сонячного опромінення. Результати підтверджують можливість застосування цього простого методу в сільській місцевості країни, що розвиваються.

### Висновок

Аналіз літератури щодо оцінки ефективності сонячної дезінфекції питної води свідчить про значний потенціал цього методу щодо можливості доступного отримання епідемічно безпечної питної води у будь-яких умовах за відсутності традиційних засобів її очищення та знезараження. Враховуючи наслідки руйнації систем водопостачання та дефіцит ресурсів для їх експлуатації, слід вважати за доцільне впровадження цього методу для різних категорій населення, особливо в сільських населених пунктах.

### References

1. Yang D. Making Waves: Principles for the Design of Sustainable Household Water Treatment. *Water Res.* 2021. V. 15 (198). 117151. DOI:10.1016/j.watres.2021.117151
2. Ballesteros M., Brindley C., Sánchez-Pérez J. A., Fernández-Ibañez P. Worldwide research trends on solar-driven water disinfection. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021. V. 18. 9396. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179396>
3. Chidya R. C., Munthali A. K., Chitedze I., Chitawo M. L. Design and efficacy of solar disinfection system for improved rural household water treatment. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems.* 2021. V. 9 (4). P. 1–16. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d8.0369>.
4. Davarcioglu B. Solar water disinfection considerations: using ultraviolet light methods to make water safe to drink. *International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology.* 2015. V. 2. P. 253–264. [https://ijiset.com/vol2/v2s8/IJISSET\\_V2\\_I8\\_35.pdf](https://ijiset.com/vol2/v2s8/IJISSET_V2_I8_35.pdf).
5. García-Gil Á., García-Muñoz R. A., McGuigan K. G., Marugán J. Solar water disinfection to produce safe drinking water: a review of parameters, enhancements, and modelling approaches to make SODIS faster and safer. *Molecules.* 2021. V. 26 (11). 3431. <https://doi.org/10.3390/molecules26113431>
6. Solar disinfection – An appropriate water treatment method to inactivate faecal bacteria in cold climates. A. Juvakoski et al. *Science of The Total Environment.* 2022. V. 827. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154086>
7. Effectiveness of solar disinfection for household water treatment: an experimental and modeling study. M. Karim et al. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development.* 2021. V. 11 (3). P. 374–385. <https://doi.org/10.2166/washdev.2021.243>.
8. Meierhofer R., Landolt G. Factors supporting the sustained use of solar water disinfection — Experiences from a global promotion and dissemination programme. *Desalination.* V. 248. N 1–3. P. 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.050>.
9. SODIS potential: A novel parameter to assess the suitability of solar water disinfection worldwide. J. Moreno-SanSegundo et al. *Chemical Engineering Journal.* 2021. V. 419. 129889. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129889> Get rights and content
10. Solar disinfection of drinking water contained in transparent plastic bottles: characterizing the bacterial inactivation process. K. G. McGuigan et al. *J. Appl Microbiol.* 1998. V. 84(6). P. 1138–1148. DOI: 10.1046/j.1365-2672.1998.00455.x
11. Bactericidal effect of solar water disinfection under real sunlight conditions. M. Boyle et al. *Applied and Environmental Microbiology.* 2008. V. 74 (10). P. 2997–3001. <https://doi.org/10.1128/AEM.02415-07>.
12. Batch solar disinfection inactivates oocysts of *Cryptosporidium parvum* and cysts of *Giardia muris* in drinking water. K. McGuigan et al. *Journal of Applied Microbiology.* 2006. V. 101 (2). P. 453–463. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02935.x>.
13. Solar water disinfection (SODIS): a review from bench-top to roof-top. K. G. McGuigan et al. *Hazard Mater.* 2012. V. 235–236. P. 29–46. doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.07.053.

14. Effect of agitation, turbidity, aluminium foil reflectors and container volume on the inactivation efficiency of batch-process solar disinfectors. S. C. Kehoe et al. *Water Res.* 2001. V. 35(4). P.1061-1065. doi: 10.1016/s0043-1354(00)00353-5.
15. Castro-Alfárez M., Polo-López M. I., Marugán J., Fernandez-Ibanez P. Mechanistic modeling of UV and mild-heat synergistic effect on solar water disinfection. *Chemical Engineering Journal.* 2017. V. 316. P. 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.01.026>.
16. Predicting the bactericidal efficacy of solar disinfection (SODIS): from kinetic modeling of in vitro tests towards the in silico forecast of E. coli inactivation. S Samoili et al. *Chemical Engineering Journal.* 2022. V. 427.
17. Berney M., Weilenmann H.-U., Simonetti A., Egli T. J. Efficacy of solar disinfection of Escherichia coli, Shigella flexneri, Salmonella typhimurium and Vibrio cholerae. *Appl. Microbiol.* 2006. V. 101(4). P. 828-836. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.02983.x.
18. Solar and photocatalytic disinfection of protozoan, fungal and bacterial microbes in drinking water. J. Lonnen et al. *Water Research.* 2005. V. 39 (5). P. 877–883. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.11.023>
19. Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: recent overview and trends. S. Malato et al. *Catalysis Today.* 2009. V. 147 (1). P. 1–59. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2009.06.018>.
20. Mechanisms of Escherichia coli inactivation during solar-driven photothermal disinfection. Y. Hong et al. *Environmental Science: Nano.* 2022. V. 9 (3). P. 1000–1010. <https://doi.org/10.1039/d1en00999k>.
21. Gelover S., Gómez L.A., Reyes K., Leal M.T. A practical demonstration of water disinfection using TiO<sub>2</sub> films and sunlight. *Water Res.* 2006. V. 40(17). P.3274-3280. doi: 10.1016/j.watres.2006.07.006.

Робота надійшла в редакцію 07.12.2024 року.  
Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування

**МЕДИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ  
ПРОБЛЕМИ ПРИМОРСЬКИХ  
РЕГІОНІВ**

Солодовнікова Ю. О., Сон А. С.  
**ДЕМОГРАФІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ  
РОЗРИВУ МОЗКОВИХ АНЕВРИЗМ В  
ОДЕСЬКОМУ РЕГІОНІ В ПЕРІОД З  
2000-2023 РОКИ** .....149

**MEDICAL AND ECOLOGIC PROBLEMS  
OF SEACOAST REGIONS**

Solodovnikova Y. O., Son A. S.  
**DEMOGRAPHIC CHARACTERISTICS  
OF INTRACRANIAL ANEURYSM  
RUPTURE IN THE ODESA REGION  
FROM 2000 TO 2023** .....149

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-  
ТЕОРЕТИЧНІ ПИТАННЯ БІОЛОГІЇ  
ТА МЕДИЦИНИ**

Степан В. Т., Сидорчук Р. І.  
Степан Н. А., Іфтодій А. Г.  
Кифяк П. В.  
**РЕНОПРОТЕКТОРНИЙ ВПЛИВ  
ОРАЛЬНИХ АПЛІКАЦІЙ  
АНТИДИСБІОТИЧНИХ ФІТОГЕЛІВ  
ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО  
ІМУНОДЕФІЦИТУ** .....156

Stepan V. T., Sydorчук R. I.  
Stepan N. A., Iftodiy A. G.  
Kyfyak P. V.  
**RENOPROTECTIVE EFFECT OF ORAL  
APPLICATIONS OF ANTIDYSBIOTIC  
PHYTOGELS IN EXPERIMENTAL  
IMMUNODEFFICIENCY**  
..... 156

Чулак Ю. Л., Якименко Д. О.  
**ДЕСТРУКТИВНІ ЗМІНИ В ОПІКОВІЙ  
РАНИ: ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ  
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОЛІЇ  
АМАРАНТУ** .....162

Chulak Yu. L., Yakymenko D. O.  
**DESTRUCTIVE CHANGES IN A BURN  
WOUND: EXPERIMENTAL STUDIES  
OF THE INFLUENCE OF AMARANTH  
OIL** .....162

Нетухоайло Л. Г., Остапенко І. О.  
**ВПЛИВ КВЕРЦЕТИНУ НА РІВЕНЬ  
ОКСИПРОЛІНУ В ТКАНИНАХ  
ПЕЧІНКИ ПРИ  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІЙ ОПІКОВІЙ  
ХВОРОБИ В РІЗНІ ЇЇ СТАДІЇ** .....167

Netyukhailo L. G., . Ostapenko I. O.  
**THE QUERCETIN INFLUENCE ON  
OXYPROLINE CONTENT IN LIVER IN  
CONDITIONS OF EXPERIMENTAL  
BURN DISEASE AT ITS DIFERENT  
STAGES** .....167

Вастьянов Р. С., Кірчев В. В.  
**ПЕРОКСИДНІ МЕХАНІЗМИ  
УРАЖЕНЬ ЛЕГЕНЬ ПРИ  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ  
ГОСТРОМУ ПАНКРЕАТИТІ** .....175

Vastyanov R. S., Kirchev V. V.  
**PEROXIDE MECHANISMS OF LUNG  
INJURY IN EXPERIMENTAL ACUTE  
PANCREATITIS**  
.....175

**ОГЛЯДИ ЛІТЕРАТУРИ**

Мокієнко А. В., Вастьянов Р. С.  
Рожнова А. М., Герасименко О. А.  
Совірда О. С., Садовий К. К.  
**ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНУ  
ДОСЛІДЖЕНЬ СОНЯЧНОЇ  
ДЕЗІНФЕКЦІЇ ПИТНОЇ ВОДИ** .....184

**REVIEWS**

Mokienko A.V., Vastyanov R.S.  
Rozhnova A.M., Gerasymenko O.A.  
Sovirda O.S., Sadoviy K.K.  
**CHARACTERISTICS OF STATE OF  
RESEARCH ON SOLAR DISINFECTION  
OF DRINKING WATER** ..... 184