

УДК 628.162:613.34.:502.65+546.134

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.12510037>

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ СОНЯЧНОЇ ДЕЗИНФЕКЦІЇ ПИТНОЇ ВОДИ

Мокієнко А.В., ¹Гринзовський А.М.

Національний університет «Острозька академія»

¹Київський національний медичний університет імені О.О. Богомольця

METHODOLOGICAL BASICS OF SOLAR DISINFECTION DRINKING WATER

Mokienko A. V., ¹Hrynzovskyi A. M.

Ostroh Academy National University

¹Bogomolets National Medical University

Summary/Резюме

Introduction. Solar Water Disinfection (SODIS) is one of the innovative domestic water treatment (HWT) methods that has gained recognition and popularity over the years. This method has earned the official recognition and recommendation of WHO. Despite its advantages, the SODIS method has limitations that prevent its effectiveness in certain circumstances. That is why the formulation of the main methodical foundations of solar disinfection should be recognized as necessary.

The goal of the work. Characteristics of methodical bases of solar disinfection of water.

Materials and methods: Bibliometric, analytical.

Research results: The paper analyzes the main issues and ways to solve them in the context of methods of implementing solar disinfection of drinking water. This concerns material and form of containers; execution procedures; SODIS testing under different conditions; influence of various parameters of water quality and weather conditions on efficiency. An analysis of SODIS performance evaluation in demonstration workshops and SODIS user training is reviewed. The need for careful observance of certain established methodical procedures is substantiated, which will create conditions for effective inactivation of microorganisms and epidemic safety of drinking water.

Keywords: *drinking water, method of solar disinfection*

Вступ. Сонячна дезінфекція води (SODIS) є одним із інноваційних методів очищення побутової води (HWT), який з роками отримав визнання та популярність. Цей метод заслужив офіційне визнання та рекомендацію ВООЗ. Незважаючи на свої переваги, метод SODIS має обмеження, які перешкоджають його ефективності за певних обставин. Саме тому слід визнати необхідним формулювання основних методичних основ сонячної дезінфекції.

Мета роботи. Характеристика методичних основ сонячної дезінфекції води.

Матеріали і методи: Бібліометричні, аналітичні.

Результати досліджень. У роботі виконано аналіз основних питань та шляхів їх вирішення у контексті методів реалізації сонячної дезінфекції питної води. Це стосується матеріала і форми контейнерів; процедури виконання; тестування SODIS за різних умов; впливу різних параметрів якості води та погодних умов на ефективність. Розглянуто аналіз оцінки ефективності SODIS на демонстраційних семінарах та на-

вчання користувачів програмі SODIS. Обґрунтовано необхідність ретельного дотримання певних усталених методичних процедур, що створить умови для ефективної інактивації мікроорганізмів та епідемічної безпечності питної води.

Ключові слова: питна вода, сонячна дезінфекція, методика проведення.

Вступ

Сонячна дезінфекція води (SODIS) є одним із інноваційних методів очищення побутової води (HWT), який з роками отримав визнання та популярність. Цей метод використовує сонячне світло для інактивації мікробних патогенів у воді. Пропонується просте, економічно ефективно та екологічно чисте рішення для очищення води без утворення токсичних побічних продуктів дезінфекції. Його ефективність і потенціал заслужили офіційне визнання та рекомендацію ВООЗ. Технологія дуже проста. Прозорі контейнери із забрудненою водою піддають дії сонячного світла протягом певного часу. Цей метод комбінує дію ультрафіолетового (УФ) випромінювання та підвищеної температури для інактивації широкого спектра патогенів питної води.

Незважаючи на свої переваги, метод SODIS має обмеження, які перешкоджають його ефективності за певних обставин. Саме тому слід визнати необхідним формулювання основних методичних основ сонячної дезінфекції.

Мета роботи

Характеристика методичних основ сонячної дезінфекції води.

Матеріали і методи

Бібліометричні, аналітичні.

Результати досліджень та їх обговорення

Основні питання та шляхи їх вирішення у контексті методів реалізації сонячної дезінфекції питної води наступні.

Матеріал і форма контейнерів.

Пластикові пляшки виготовляються або з ПЕТ (поліетилентерефталату), або з ПВХ (полівінілхлориду).

Як відрізнити ПЕТ від ПВХ?

ПВХ пляшки часто мають синюва-

тий відблиск, який особливо помітний на краях вирізаного шматка пляшкового матеріалу. Якщо горить ПВХ, запах диму є різким, а запах ПЕТ – солодким. ПЕТ горить легше, ніж ПВХ.

Якому матеріалу пластикових пляшок надавати перевагу: ПЕТ чи ПВХ?

Різні типи прозорих пластикових матеріалів добре передають світло в УФ-А та видимому діапазоні сонячного спектру. Обидва матеріали містять добавки, такі як УФ-стабілізатор, щоб підвищити їхню стабільність або захистити їх та їхній вміст від окислення та УФ-випромінювання. Рекомендується використовувати пляшки з ПЕТ замість ПВХ, оскільки ПЕТ містить набагато менше добавок, ніж пляшки з ПВХ.

Пластикові пляшки чи скляні пляшки?

Пропускання УФ-випромінювання через скло визначається вмістом у ньому оксиду заліза. Звичайне віконне скло товщиною 2 мм майже не пропускає УФ-А світло. Тому його не можна використовувати для SODIS. Деякі спеціальні види скла (Pyrex, Corex, Vycor, Quartz) пропускають значно більше ультрафіолетового світла, ніж звичайне віконне скло.

ПЕТ пляшки

Переваги ПЕТ: мала вага, прозорість, нейтральність на смак, хімічна стійкість.

Недоліки ПЕТ: обмежена термостійкість (деформація вище 65 °C), подрипини та інші ефекти старіння.

Скляні пляшки

Переваги скла: відсутність подрипин, без фотопродукції, термостійкість.

Недоліки скла: легко розбиваються, більша вага, великі витрати.

Форма контейнерів

УФ-випромінювання зменшується зі збільшенням глибини води. При глибині води 10 см і помірній каламутності 26 NTU УФ-А випромінювання знижується на 50 % [1]. Тому контейнери, які використовуються для SODIS, не повинні перевищувати глибину води 10 см.

ПЕТ пляшки є дуже практичними та ідеальними контейнерами для SODIS тому, що глибина ПЕТ-пляшок не перевищує 10 см, коли вони знаходяться на сонці в горизонтальному положенні; ПЕТ-пляшки можна закривати, що знижує ризик повторного забруднення очищеної води; ПЕТ-пляшки легко доступні за низькою ціною, навіть у країнах, що розвиваються; ПЕТ-пляшки легко використовувати (наповнювати, переносити), що знижує ризик повторного забруднення; ПЕТ пляшки досить довговічні: навіть після кількох місяців застосування пляшка все ще залишається в хорошому стані.

Старіння пластикових пляшок.

Старіння пластикових пляшок призводить до зниження УФ-проникності, що, у свою чергу, може призвести до менш ефективної інактивації мікроорганізмів. Втрати пропускання можуть бути спричинені механічними подряпинами або фотопродуктами. Сильно подряпані старі пляшки слід замінити [2].

Фотопродукція

Пластикові пляшки містять УФ-стабілізатори для підвищення їх стабільності та захисту матеріалу від окислення та ультрафіолетового випромінювання, оскільки сонячне світло не лише знищує патогенні мікроорганізми, але й перетворює пластик у фотопродукти. Ультрафіолетове світло призводить до фотохімічних реакцій, що призводить до зміни оптичних властивостей пластикового матеріалу. З часом добавки вичерпуються з основного матеріалу шляхом фотохімічної реакції або дифузії. Це впливає на властивості матеріалу: УФ-пропускання в спектральному діапазоні від 320 нм до 400 нм зменшується [2].

Лабораторні та польові випробування показали, що фотопродукти утворюються на зовнішній поверхні пляшок. Міграції фотопродуктів або добавок (УФ-стабілізаторів) у воду не спостерігалось [2].

Процедура виконання

Підготовка.

1. Перевірити, чи клімат і погодні умови підходять для SODIS.
2. Зібрати пластикові ПЕТ-пляшки об'ємом 1-2 л. Принаймні 2 пляшки із водою для кожного члена родини повинні бути виставлені на сонці, а інші 2 пляшки готові до вживання. Тому кожному члену сім'ї потрібно 4 пластикові пляшки для SODIS.
3. Перевірити водонепроникність пляшок, включаючи стан кришки, що закручується.
4. Вибрати відповідну основу для пляшок, наприклад лист гофрованого заліза.
5. Перевірити, чи достатньо прозора вода для SODIS (каламутність < 30 NTU). Воду з більшою каламутністю необхідно попередньо відфільтрувати.
6. Принаймні два члени сім'ї повинні пройти навчання програмі SODIS.
7. Відповідальність за виставлення пляшок SODIS на сонце повинна нести конкретна особа.
8. Замінити старі та подряпані пляшки.

Тестування SODIS за різних умов.

Багато технологій можуть здаватися дуже перспективними в лабораторних умовах, але виявляються невідповідними або демонструють набагато нижчу ефективність на рівні користувача. Саме тому SODIS пройшов ретельне тестування на мікробіологічну ефективність у широкому діапазоні польових умов.

Лабораторні дослідження проводилися в суворо контрольованих умовах, де були точно визначені найбільш відповідні параметри. Вибрані штами бактерій або вірусів піддавали в кварцових трубках

штучному випромінюванню, що імітує сонячне світло, при цьому підтримувалися певні температури. Лабораторні дослідження дозволили кількісно визначити та зрозуміти вплив УФ-випромінювання та тепла на процес інактивації водних патогенів.

На другому етапі SODIS було протестовано в реальних умовах під час обширних польових досліджень, проведених установами-партнерами EAWAG у кількох країнах, що розвиваються.

Нарешті, ефективність SODIS як методу дезінфекції була представлена на демонстраційних семінарах та відстежувалась на рівні домогосподарств.

Ефективність SODIS у польових дослідженнях

З початку перших експериментів наприкінці сімдесятих років було проведено широкий спектр польових досліджень. Ефективність SODIS систематично перевірялася на різні збудники з використанням води різної якості, різних типів контейнерів і в різних кліматичних умовах.

Польові випробування дозволили визначити умови, за яких можна отримати високий рівень ефективності. Три найважливіші параметри застосування SODIS наступні:

- Використання прозорих пластикових пляшок об'ємом до 2 літрів.
- Експозиція дезінфекції впродовж 5-6 годин під сонячним світлом або злегка хмарним небом (наполовину закритими) з 9:00 до 15:00.
- Каламутність води не повинна перевищувати 30 NTU (нефелометричних одиниць каламутності).

Виконуючи ці вимоги, польові випробування підтвердили результати лабораторних досліджень, у яких досягнуто 3 log зменшення фекальних коліформ. Це означає, що в нормальних умовах SODIS показує ефективність близько 99,9%.

Результати польових досліджень, проведених у різних країнах, підкреслю-

ють ефективність SODIS для різних параметрів.

Фізико-хімічна якість води.

Каламутність.

Сира вода, яка використовується для SODIS, має бути максимально чистою. Проте польові випробування показують, що каламутну воду до 30 NTU можна обробляти SODIS за нормальних кліматичних умов. Вода підвищеної каламутності потребує попередньої обробки [1, 3].

Кисень.

Лабораторні дослідження показали, що інактивація бактерій (*Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus faecalis*, фекальні коліформи) набагато ефективніша в аеробних, ніж в анаеробних умовах. Польові випробування підтвердили, що струшування пляшок підвищує ефективність SODIS, але припускають, що ефект менший, ніж в лабораторних дослідженнях.

Рекомендується струшувати пляшки протягом приблизно 20 секунд перед тим, як наповнити їх повністю. Особливо це стосується відстояної води з низьким вмістом кисню, яку відбирають зі ставків, цистерн і колодязів [3- 5].

Кольоровість.

Випробування показали, що високий рівень кольоровості води збільшує час, необхідний для інактивації патогенів [3].

Мікробіологічна якість води

Фекальні коліформи.

Більшість лабораторних і польових тестів було проведено з бактеріями *E. coli* або фекальними коліформами (група фекальних бактерій, що включає *E. coli*). За умов правильності виконання процедури дезінфекції рівень ефективності сягає 3 log (99,9%) [1, 4, 6].

Холерний вібріон.

Швидкість інактивації *V. cholerae* подібна до інактивації фекальних коліформ при температурі води > 50 °C. Якщо порогова температура 50 °C не

досягнута, *V. cholerae* показує вищу швидкість інактивації, ніж фекальні коліформні бактерії [1, 7].

Протозоа.

Лабораторні тести показують, що лямблії (*G. lamblia*, *G. muris*), дуже поширені протозоа, що передаються водою, чутливі до сонячного світла. Інший протозоа, *Cryptosporidium parvum*, є більш стійким. Проводяться польові випробування обох паразитарних агентів.

Аналіз ефективності SODIS на демонстраційних семінарах

Семінари пропонують гарну можливість перевірити ефективність SODIS у широкому діапазоні умов. Такі параметри, як вода, погода, час впливу, встановлюються місцевими умовами. Часто можна протестувати різні типи контейнерів і підставок для пляшок, щоб учасники самі могли оцінити найбільш прийнятні умови для SODIS і відповідним чином рекомендувати дану технологію. Підсумок всіх семінарів SODIS у Латинській Америці за три роки показав наступне: 81% проаналізованих зразків показали рівень дезінфекції на фекальні коліформи понад 99,9%; 9% - в діапазоні 99-99,9%; 4% - в діапазоні 90-99%; 5% - менше 90%.

Якість води на рівні користувача

Виміряти ефективність SODIS на рівні користувача не так просто, як під час демонстраційного семінару. Насправді швидкість інактивації бактерій не завжди можна точно визначити, оскільки дані про початкове зараження часто недоступні. Через операційні, матеріально-технічні та людські обмеження дослідження ефективності SODIS на рівні користувача є складним. Поточні проекти розповсюдження SODIS зосереджені на соціальних та освітніх аспектах. Якість води, як правило, періодично перевіряється, переважно з дидактичною метою, щоб продемонструвати користувачам ефективність SODIS.

Зазвичай вода, оброблена SODIS, аналізується одночасно з сирогом водою.

Необроблена вода береться з того самого джерела води, що й вода SODIS. Таким чином, неможливо виміряти точну швидкість інактивації SODIS, але якість води SODIS порівнюється із загальною якістю питної води користувача, взятої безпосередньо з джерела. Найкращі дані, доступні на рівні користувача, є у проекті впровадження SODIS, реалізованого в двох сільських громадах регіону Матагальпа в Нікарагуа [8].

Обидві громади не мають системи водорозподілу та отримують воду з 5 різних джерел води (критий колодязь, відкрита свердловина, природне джерело тощо). Мікробіологічна якість джерел коливається від 0 до >2000 КУО/100 мл. Усі зразки із ємностей для зберігання показали фекальні забруднення внаслідок первинного забруднення джерела або вторинного забруднення під час транспортування та/або зберігання. Після фази інтенсивного підвищення обізнаності та навчання 66 домогосподарств прийняли SODIS як новий метод очищення питної води.

Під час наступних візитів до кожного домогосподарства попросили надати два зразки неочищеної води та води SODIS. У більшості випадків воду, оброблену SODIS, брали безпосередньо з пластикових пляшок, хоча деякі домогосподарства зберігали її в домашніх ємностях з потенційним ризиком вторинного забруднення. Обидва зразки очищеної та неочищеної води були перевірені на фекальні коліформи, що дозволило опосередковано розрахувати ефективність SODIS.

Ці дані об'єднують усі можливі джерела помилок або забруднення на рівні користувача: неоптимальне розташування пляшок, занадто короткий час експозиції, вторинне забруднення через погане зберігання тощо. Тому вони дають дуже гарне уявлення про те, чого можна досягти з точки зору покращення якості води на рівні користувача.

Пляшки та підставка для пляшок

Пластикові пляшки

Польові випробування показали, що прозорі ПЕТ-пляшки об'ємом 2 літри є дуже підходящою тарою для SODIS. Випробування показують хороші результати як для зворотних, так і для нових одноразових пляшок, однак останні дещо кращі, оскільки вони пропускають більше ультрафіолетового випромінювання. Коліорові пляшки недостатньо пропускають УФ-випромінювання, тому їх не слід використовувати для SODIS.

Скляні пляшки

Прозорі скляні пляшки теоретично також можуть бути використані як альтернатива пластиковим пляшкам. Однак скло з більшим вмістом оксиду заліза пропускає менше УФ-А випромінювання. Польові випробування підтверджують, що деякі скляні пляшки демонструють нижчі показники дезінфекції. Крім того, скляні пляшки часто розбиваються, тому вони не рекомендуються [1, 9, 10].

Сумка SODIS

Спеціально розроблені сумки SODIS показують більш високу ефективність завдяки кращому співвідношенню поверхні та об'єму, але вони не рекомендуються внаслідок недоступності на місці, з ними важко поводитися, вони ламаються швидше, ніж пластикові пляшки [1].

Пластиковий пакет

Місцеві доступні прозорі поліетиленові пластикові пакети були протестовані та показали дуже високу ефективність дезінфекції, але не рекомендуються з тих самих практичних міркувань [11].

Основа для пляшки

Підвищення температури може бути отримано з використанням гофрованого заліза як основи для пляшок з водою. Інша темна основа також підходить [1, 4]

Приклад аналізу, проведеного на семінарі в Еквадорі.

SODIS все ще залишається новою

технологією для багатьох державних службовців і персоналу на місцях. Досить часто учасники семінарів із великим ентузіазмом сприймають ідею сонячної дезінфекції води, але все ще сумніваються щодо ефективності методу та вагаються щодо пиття води SODIS.

Найкращий підхід до переконання учасників в ефективності SODIS полягає в тому, щоб інтегрувати практичне навчання із застосування SODIS протягом першого дня семінару з подальшим мікробіологічним аналізом. Після виставлення пляшок на сонце зразки сирової води та води, обробленої SODIS, аналізуються на фекальні коліформи за допомогою портативного набору для тестування якості води. Зразки води фільтрують, а фільтри, що містять бактерії, потім інкубують протягом 16-18 годин при температурі 44°C. Наступного дня можна підрахувати колонії бактерій і оцінити ефективність SODIS.

Під час семінару, який відбувся в Кіто, Еквадор, у липні 2001 року, учасники були розділені на дві групи: перша група використовувала неочищену водопровідну воду з громади Амагуана; група № 2 використовувала джерельну воду, змішану з забрудненою водою з річки Сан-Педро. Каламутність обох вод була нижче 5 NTU.

Пляшки виставляли на сонце з 8:30 ранку до 4 години вечора при повному сонячному світлі вранці, хмарах близько полудня та дощі вдень. Жодна з пляшок не досягла порогової температури 50°C, але УФ-випромінювання протягом дня було достатнім для повної дезінфекції 7 із 8 пляшок. Один флакон показав ефективність 99,6%. Під час попередніх експериментів ці пляшки продемонстрували нижчий коефіцієнт пропускання УФ-А і, відповідно, нижчу ефективність SODIS. У контрольній пляшці без експозиції суттєвого зниження не спостерігалось. Учасники семінару критично проаналізували результати тестування, представлені на чашках Петрі, і після цього переконалися в мікробіологічній ефективності. Таким

чином, проведення таких тестів є дуже хорошим підходом до подолання сумнівів щодо ефективності методу.

Вплив погодних умов.

Хмарне небо.

В умовах закритого неба можливо, що доза УФ, отримана протягом одного дня опромінення, буде недостатньою для досягнення задовільної якості води. Лабораторні тести, проведені з вірусами, показали, що доза опромінення є кумулятивною і що двох послідовних днів опромінення може бути достатньо для інактивації патогенів.

Ці дані ще потребують підтвердження в природних умовах та для інших патогенів.

Параметри, що впливають на температуру води

Температура повітря і вітер є двома кліматичними факторами, що впливають на температуру води, яка безпосередньо впливає на ефективність процесу.

Проте польові випробування, проведені на північно-західному плато в Китаї та на високогір'ї Болівії, показали, що країни з холодним/помірним кліматом також підходять для SODIS за умов наявності достатньої сонячної радіації [4, 10].

Навчання користувачів програмі SODIS.

Користувачі часто допускають помилки в застосуванні SODIS, що може значно знизити її ефективність. Наприклад, пляшки вранці виставляють на сонце, але через кілька годин місце залишається в тіні. Деякі користувачі ставлять пляшки вертикально або не знімають етикетку. Інтенсивне навчання та подальші візити є єдиним способом виправити неправильне поводження та підвищити ефективність дезінфекції на рівні користувача, як показано на наступних практичних прикладах.

Екологічний концерн (EC) у Кхонкен (Таїланд) вибрав два села, які викорис-

товують дощову воду як джерело води. Дощову воду збирають з даху будинків і зберігають у банках, що підвищує ймовірність вторинного забруднення води. Під час першої фази проекту SODIS міг лише збільшити відсоток незабруднених проб з 59% (проби сирієї води без фекального забруднення) до 78% (проби води SODIS без фекального забруднення). Деякі зразки води SODIS навіть показали вищий рівень забруднення, ніж сира вода. Вторинне забруднення є найбільш вірогідною причиною цього досить несподіваного результату. Жителям села рекомендовано не використовувати забруднену ємність для зберігання питної води при переливанні очищеної води. Протягом другого періоду тестування кількість незабруднених зразків для води SODIS зросла до 93%.

У сільській громаді Мелікан (Індонезія) 40% жителів сіл почали розміщувати свої контейнери на стільцях або бетонній підлозі, що, порівняно з гофрованим залізом, черепичним дахом або іншою темною поверхнею не є ідеальним місцем. Задня частина стільця часто затінювала пляшки через кілька годин. Лише 50% відкритих проб води були вільні від фекальних коліформ. Після того, як люди пройшли навчання та отримали відповідні гофровані листи, кількість неадекватних застосувань знизилася до 3%. В Індонезії порівняння між сільською та приміською громадою показало, що кількість неправильних заявок була значно нижчою серед більш освіченого населення приміської громади. Проте обидві громади змогли ще більше підвищити ефективність дезінфекції завдяки додатковому навчанню [12].

У Болівії під час демонстраційного проекту, проведеного в громаді Сакабамба, кілька зразків води SODIS містили високі концентрації фекальних коліформ. Швидше за все, причиною забруднення був дуже брудний гвинтовий кран пляшки [10].

У Китаї польові випробування із скляними пляшками об'ємом 2,5 л пока-

зали, що SODIS може збільшити кількість зразків, вільних від фекальних колиформ, з 25 % (сира вода) до лише 72 % (вода SODIS). Після заміни великих скляних пляшок на більш адекватні пластикові пляшки об'ємом 1,25 л 99,2% перевірених зразків SODIS показали відсутність фекальних колиформ.

Висновок

Аналіз літератури щодо окремих аспектів виконання сонячної дезинфекції питної води показав необхідність ретельного дотримання певних методичних процедур, що створить умови для ефективної інактивації мікроорганізмів та епідемічної безпечності питної води.

Література

1. SODIS – An Emerging Water Treatment Process. B. Sommer et al. *J. Water SRT – Aqua*. 1997. V. 46. P. 127-137.
2. Does sunlight change the material and content of polyethylene terephthalate (PET) bottles? M. Wegelin et al. *J. Water SRT – Aqua*. 2000. V. 50(3). P. 125-135.
3. Reed R.H. Innovations in solar water treatment. 22nd WEDC Conference, Durban, South Africa. 1997. P. 184-185.
4. Quispe V., Mercado A., Iriarte M. Ensayos sobre desinfeccion solar. Reporte de Investigation, CASA, UMSS, Cochabamba, Bolivia. 2000.
5. Reed R.H. Solar inactivation of faecal bacteria in water: the critical role of oxygen. *Letters in Applied Microbiology*. 1997. V. 24. P. 1-5.
6. Solar Water Disinfection: Scope of the Process and Analysis of Radiation Experiments. M. Wegelin et al. *J. Water SRT – Aqua*. 1994. V. 43(4). P. 154-169/
7. Uso de la radiacion solar en la inactivation del Vibrio cholerae en agua para consumo humano. Factores que condicionan la eficiencia del proceso. Y. Solarte et al. *Colombia Medica*. 1997. V. 28. N. 3.
8. Kefauver J. Solar Water Disinfection Project, Mataagalpa, Nicaragua. Project Report. 2000.
9. Solar Water Disinfection. T.A. Lawand et al. Proceedings of a Workshop held at the Brace Research Institute, Montreal, Que., Canada, 15 - 17 August 1988.
10. CASA/ UMSS. Desinfeccion Solar de Aguas (SODIS). Informe final. Final Report. 1997.
11. Rocha J.C. Desinfeccion Solar del Agua. Tesis. UMSA, La Paz. 1985.
12. Wegelin M., Sommer B. Solar Water Disinfection (SODIS) destined for worldwide use? *Waterlines*. 1998. V.16. N 3. P. 30-32.

Вперше надійшла до редакції 03.04.2024 р.
Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування