

An analysis of features of the ecological monitoring of atmospheric air is in the zone of emergencies of technogenic character/ V. Vamol, A. Rashkevich, N. Rashkevich//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 49 (1221).– P.85-89. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Вамболь Віола Владиславівна – доктор технічних наук, Національний університет цивільного захисту України, професор кафедри охорони праці та техногенно-екологічної безпеки; вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023; e-mail: violavambol@nuczu.edu.ua

Вамболь Виола Владиславовна – доктор технических наук, Национальный университет гражданской защиты Украины, профессор кафедры охраны труда и техногенно-экологической безопасности; ул. Чернышевского, 94, м. Харьков, Украина, 61023; e-mail: violavambol@nuczu.edu.ua

Vambol Viola – Doctor of Technical Sciences, National University of Civil Protection of Ukraine, professor of Department of Labour Protection and Technogenic and Ecological Safety; Chernichevska str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61023; e-mail: violavambol@nuczu.edu.ua

Рашкевич Олександр Сергійович – спеціаліст, 8-а державна пожежно-рятувальна частина м. Харкова, фахівець; пр-т Московський, 279, м. Харків, Україна, 61089; e-mail: rminav@nuczu.edu.ua

Рашкевич Александр Сергеевич – специалист, 8-я государственная пожарно-спасательная часть г. Харькова, специалист; пр-т Московский, 279, г. Харьков, Украина, 61089; e-mail: rminav@nuczu.edu.ua

Rashkevich Oleksandr – specialist, 8th State Fire and Rescue part of Kharkov, specialist; Moscow Ave., 279, Kharkiv, Ukraine, 61089; e-mail: rminav@nuczu.edu.ua

Рашкевич Ніна Владиславівна – Національний університет цивільного захисту України, завідувача лабораторією кафедри охорони праці та техногенно-екологічної безпеки; вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023; 1; e-mail: rminav@nuczu.edu.ua

Рашкевич Ніна Владиславовна – Национальный университет гражданской защиты Украины, заведующая лабораторией кафедры охраны труда и техногенно-экологической безопасности; ул. Чернышевского, 94, м. Харьков, Украина, 61023; e-mail: rminav@nuczu.edu.ua

Rashkevich Nina – National University of Civil Protection of Ukraine, Head of the laboratory of Department of Labour Protection and Technogenic and Ecological Safety; Chernichevska str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61023; e-mail: rminav@nuczu.edu.ua

УДК 543.1; 535.016

Д. Г. РАДОВ, В. П. МАСЛОВ, Г. В. ДОРОЖИНСЬКИЙ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДОДАТКОВОГО ОЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ МЕТОДОМ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ

Вперше досліджено процес очищення вимороженої водопровідної води методом на основі поверхневого плазмонного резонансу. Оцінено ефективність кількарізного заморожування та введено коефіцієнт виморожуваності – критерій, що визначає сприятливість води певного типу до очищення від домішок заморожуванням. Запропоновано параметри для оцінки ефективності очищення води. Результати досліджень можуть бути використані для вдосконалення існуючих та створення нових методик контролю процесу очищення водопровідної води.

Ключові слова: водопровідна вода, очищення води, виморожування, поверхневий плазмонний резонанс.

Впервые исследован процесс очистки вимороженого водопроводной воды методом на основе поверхностного плазмонного резонанса. Оценена эффективность многократного замораживания и введено коэффициент виморожуваності – критерий, определяющий благоприятность воды типа к очистке от примесей замораживанием. Предложены параметры для оценки эффективности очистки воды. Результаты исследований могут быть использованы для совершенствования существующих и создания новых методик контроля процесса очистки водопроводной воды.

Ключевые слова: водопроводная вода, очистка воды, замораживание, поверхностный плазмонного резонанса.

For the first time the control for water purification process by developed method based on the phenomenon of surface plasmon resonance (SPR) was performed. It is shown that the development of alternative control method of purification of water based on the phenomenon of SPR is advanced direction which allows rapid analysis and can be less expensive than existing methods, has high sensitivity to low concentrations of analytes and high accuracy. For the first time a was study the effectiveness of cleaning water samples by rapid method using specialized equipment "Aqua-polaritons". Was proposed to apply the following parameters for water purification efficiency:

- the value of the number of cycles freezing – k;
- saturation point clickthrough water - KEO_k;
- the maximum derivative KEO - maxKEO;
- ratio of freezing – KV.

The research results can be used to improve existing and create new methods of process quality control of water purification.

Keywords: tap water, water purification, freezing, surface plasmon resonance.

© Д. Г. Радов, В. П. Маслов, Г. В. Дорожинський. 2016.

Вступ. Чисті джерела води мають життєво важливе значення для здоров'я населення, промисловості та сільського господарства. Понад мільярд людей у даний час користуються мізерними водними ресурсами і за прогнозами Всесвітньої Організації Здоров'я до 2025 року понад 3,5 млрд. людей може зіткнутися з проблемою нестачі води, що пов'язано зі збільшення забруднення навколишнього середовища і з деградацією прісноводних і прибережних водних екосистем. В більшості надзвичайних ситуацій забезпечення питною водою є невідкладним пріоритетом, і ефективним заходом реагування може стати очищення води [1].

Провідні тенденції розвитку аналітичних методів контролю очищення води потребують впровадження нових фізичних методів вимірювання, котрі ґрунтуються на останніх досягненнях в області науки та техніки. Основними вимогами до них є підвищення точності і чутливості вимірювання, зменшення часу вимірювання, зменшення об'ємів проб досліджуваних речовин.

Перспективним напрямом ефективного очищення води є розробка альтернативного методу контролю процесу очищення, який дозволить проводити експрес аналіз очищеної води і буде менш коштовним за існуючі методи, матиме високу точність вимірювання і високу чутливість до малих концентрацій шкідливих домішок у воді.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Основні задачі очищення питної води: інактивація бактерій та вірусів, очищення від твердих часток, що перебувають у вигляді колоїду, зменшення іонів важких металів та солей кальцію та магнію (переважно сульфати та карбонати), які визначають жорсткість води. Знезараження води здійснюється переважно термічною обробкою (кип'ятіння води за температур понад 85 °C протягом 5–30 хвилин кип'ятіння) [2] та УФ-обробкою. Від твердих частинок очищують воду ультра мембранними фільтрами, а від іонів важких металів – іонообмінними смолами та глинами [3]. Жорсткість водопровідної води зменшують дистиляцією. Якість дистильованої води за фізико-хімічними показниками має відповідати вимогам [4]. Альтернативним методом очистки води від іонів металів та нерозчинних солей є метод виморожування. Основними перевагами цього методу у порівнянні з дистиляцією є зменшений об'єм витрат водних ресурсів та електроенергії. До недоліків слід віднести неможливість очистки води від іонів солей, що добре дисоціюють. Тому метод виморожування дає меншу ступінь очистки води, ніж метод дистиляції. При цьому метод виморожування є перспективним для опріснення морської води, оскільки є більш енергоефективним і екологічним у порівнянні з існуючими дистиляційними методами опріснення.

Для оцінки якості води використовують чотири основні групи показників: фізичні, гідробіологічні, бактеріологічні, хімічні. До хімічних показників відносять встановлення активної реакції води, окислюваності, азотовмісних речовин, розчинених у воді газів, жорсткості та лужності, а також хлоридів, сульфатів, заліза, марганцю та інших елементів. До основних фізичних показників якості води відносять: температуру, запах, прозорість, водневий показник (рН). Бактеріологічні показни-

ки характеризують забрудненість води патогенними мікроорганізмами [5].

Аналіз публікацій показав, що основними методами контролю очищення води є: фотометричний, хроматографічний, спектральний, радіометричний, рентгеноспектральний, люмінесцентний та електрохімічні методи [6]. До електрохімічних методів аналізу належать: потенціометрія, вольтамперометрія, кондуктометрія та електрокоагуляція [7].

Основними недоліками існуючих методів визначення ступеню очищення води є потреба у пробо підготовки, велика вага та висока вартість аналітичного обладнання. Загальна витрата часу на контроль якості дистильованої води, наприклад, за всіма 14 показниками, згідно ГОСТ 670972, становить 11 годин робочого часу. Альтернативою може бути метод на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР), котрий дозволяє проводити експрес аналіз (тривалість виміру менше 10 сек.) та може бути менш коштовним за існуючі методи. Діагностуючі пристрої, що працюють на основі явища ППР, мають високу чутливість до малих концентрацій (0.01–2 мкг/кг) рідких і газоподібних речовин [8, 9] і характеризуються високою точністю вимірювань [10].

В роботі [11] застосовували метод на основі явища ППР для дослідження релаксаційних процесів показника заломлення (ПЗ) у воді різної природи після її збурення. Авторами було встановлено, що час релаксації залежить від природи води, але в роботі не досліджувався вплив на цей параметр процесу очищення води.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення можливості контролю процесу очищення водопровідної води виморожуванням за допомогою методу ППР.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

1. Виконати контроль зміни ПЗ водопровідної води методом ППР при її додатковому очищенні багаточисельним виморожуванням.
2. Провести чисельний аналіз залежності зміни ПЗ водопровідної води від кількості циклів виморожування при її очистці.
3. За результатами чисельного аналізу визначити параметри для оцінки ефективності додаткового очищення водопровідної води виморожуванням.

Матеріали та методи дослідження процесу додаткового очищення питної води методом поверхневого плазмонного резонансу. Досліджувані матеріали:

1. Вода водопровідна (Дніпровська водопровідна станція, м. Київ);
2. Вода дистильована (провідність 3 ± 2 мкСм/см при 20 °C).

Методичною основою виконання комплексних досліджень є: чисельний аналіз залежностей різниці ПЗ зразків води дистильованої та водопровідної від кількості циклів її виморожування, значення ПЗ вимірювали приладом «Аква-Поляритон».

Малогабаритний спеціалізований рефрактометр «Аква-Поляритон» заснований на явищі ППР [12]. Явище ППР – це порушення повного внутрішнього відбиття (ПВВ) монохроматичного р-поляризованого світла на межі двох середовищ з різними ПЗ: скляної призми та досліджуваної речовини (аналіту) між

якими розташована тонка (10...100 нм) металева плівка. Обертаючи призму, змінюють кут падіння світла на її робочу грань з металевою плівкою і одночасно вимірюють характеристику відбиття – залежність нормованої інтенсивності відбитого світла (коефіцієнта відбиття R) від кута його падіння (рис. 1).

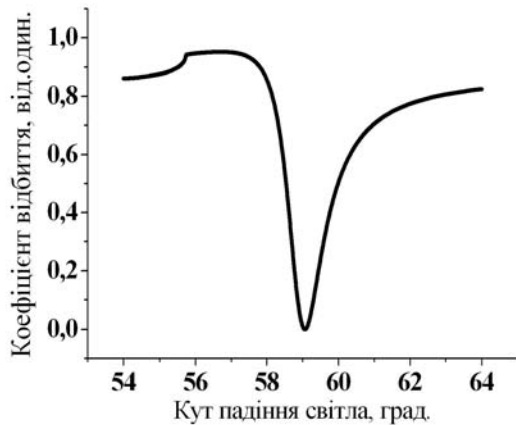


Рис. 1 – Залежність нормованої інтенсивності відбитого світла (коефіцієнта відбиття) від кута його падіння

Вимірний зсув кутового положення мінімуму характеристики відбиття визначає абсолютне значення та відносну зміну ПЗ аналіту.

Об'єктом дослідження є процес очищення води методом виморожування.

Предметом дослідження є закономірності показника заломлення водопровідної води від кількості циклів її виморожування.

Методика дослідження:

Багатоцикличне виморожування виконували наступним чином. Водопровідну воду розливали у 20 пластикових пробірок, об'ємом по 15 мл кожна. Потім пробірки з водою витримували у морозильній камері холодильника при температурі $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 2 годин. Тривалість витримки була визначена емпірично для того, щоб замерзло лише $40\pm 10\%$ від усього об'єму води у пробірках. Після чого зливали не заморожену воду у окрему ємність, а заморожену воду доводили до стану рідкої фази і повторювали цикл. Таким чином було отримано 4 зразки по 25 мл вимороженої води і 4 зразки води, що не замерзла, у зв'язку з вмістом більшої кількості домішок у ній та, як наслідок, меншою температурою кристалізації.

Досліджувані зразки об'ємом по 2 мл по чергово прокачували через двоканальну вимірювальну кювету спеціалізованого рефрактометра перистальтичним насосом. Через один канал прокачували лише дистильовану воду (для порівняння), а через другий канал – по чергово дистильовану воду і водопровідну: зразки вимороженої води та води, котра не замерзла. Для зменшення похибки вимірювання ПЗ викликані зміною тиску у вимірювальній кюветі прокачували аналіти зі швидкістю 20 мкл/хв., а для мінімізації температурної похибки рефрактометр і ємності зі зразками води розміщували в термобоксі при температурі робочої камери $+20\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Результати дослідження процесу додаткового очищення питної води методом поверхневого плазмонного резонансу. В результаті проведених досліджень було встановлено, що процес вимороження водопровідної води призводить до зменшення різниці між показниками заломлення водопровідної води та дистильованої води (табл. 1).

Таблиця 1 – Виміряні показники заломлення зразків води

№ п.п.	Цикл вимороження	Різниця у показниках заломлення еталону та вимороженої води $dN_{\text{в}}, 10^{-6}$	Різниця у показниках заломлення еталону та вода, що не замерзла $dN_{\text{н}}, 10^{-6}$
1	без виморож.	-	145 ± 5
2	1	108 ± 5	178 ± 5
3	2	94 ± 5	137 ± 5
4	3	84 ± 5	108 ± 5
5	4	80 ± 5	88 ± 5

В табл. 1 наведено виміряні значення різниці у показниках заломлення дистильованої води і водопровідної води до та після кожного циклу вимороження. Для 4-го циклу виморожування різниця у показниках заломлення еталону та вимороженої води ($8\cdot 10^{-6}$) наближається до величини роздільної здатності спеціалізованого рефрактометра ($5\cdot 10^{-6}$) та похибки вимірювання показника заломлення.

Відносна похибка при цьому становить 7 %. Експериментальні залежності відносної зміни ПЗ водопровідної води від кількості циклів її заморожування: для вимороженої води та води, що не замерзла (рис. 2).

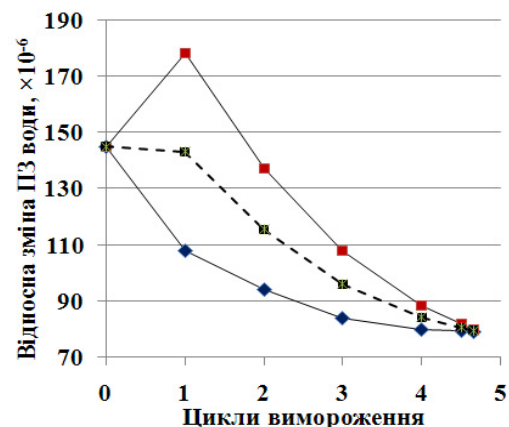


Рис. 2 – Залежність відносної зміни ПЗ водопровідної води від кількості циклів її заморожування: для вимороженої води (сині ромби), не замерзлої води (червоні квадрати) та еквідистантних точок (чорні квадрати)

Залежність відносної зміни ПЗ для вимороженої води від кількості циклів вимороження має спадаючий експоненційний характер і добре апроксимується функцією (1) з коефіцієнтом узгодження $R^2=0,99831$.

$$y_1(x) = y_{01} + A_1 \cdot \exp(-x/B_1), \quad (1)$$

де $y_{01}=76,96 \pm 2,11$; $A_1=67,79 \pm 2,4$; $B_1=1,35 \pm 0,13$.

Для визначення параметрів ефективності процесу очищення води було запропоновано наступне:

а) проаналізувати зміну еквідистантної точки на графіку залежності відносної зміни ПЗ води від кількості циклів виморожування;

б) проаналізувати зміну різниці між змінами ПЗ для незамерзлої та вимороженої води, котра визначається як $\Delta N_{нв_i} = dN_{н_i} + dN_{в_i}$.

Еквідистантна точка є серединою відрізка, який сполучає значення ПЗ вимороженої і незамерзлої води для певного циклу вимороження (рис.2). Значення ПЗ в еквідистантній точці можна визначити за простим виразом: $N_{екv_i} = (dN_{н_i} + dN_{в_i}) \cdot 0,5$ та ввести коефіцієнт виморожуваності, котрий визначатиме сприйнятливості води до очищення виморожуванням (2).

$$KB = (N_{екv_1} / dN_{н_0}) \quad (2)$$

де, KB – коефіцієнт вимороження; $N_{екv_1}$ – значення ПЗ еквідистантної точки після 1-го вимороження; $dN_{н_0}$ – різниця у ПЗ водопровідної та дистильованої води.

Чисельний аналіз показав, що залежність $\Delta N_{нв}$ від кількості циклів виморожування має експоненційний характер (рис. 3, б) та апроксимується з високим коефіцієнтом узгодження ($R^2 = 0,99976$) функцією (3).

$$y_2(x) = y_{02} + A_2 \cdot \exp(-x/B_2), \quad (3)$$

де $y_{02} = -36,512 \pm 9,06$; $A_2 = 142,22 \pm 6,7$; $B_2 = 3,48 \pm 0,44$.

Було розраховано значення кількості циклів виморожування для $\Delta N_{нв_k} = 0$, а саме $k = 4,729$. Це означає, що після п'яти циклів вимороження подальші цикли виморожування недоцільні як не ефективні.

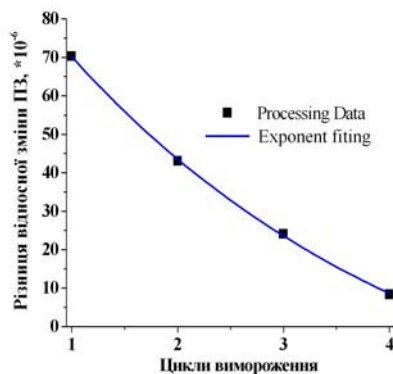


Рис. 3 – Результати чисельного аналізу залежності від кількості циклів заморожування різниці відносної зміни ПЗ води незамерзлої та вимороженої.

За визначеними $\Delta N_{нв_i}$ для $i > 4$ було розраховано значення $dN_{н_i}$ через величини $dN_{в_i}$, отримані з функції (3), що дозволило добувати залежність відносної зміни ПЗ води від циклів виморожування (рис. 2).

Обговорення результатів дослідження процесу додаткового очищення питної води методом поверхневого плазмонного резонансу. Критерії визначення головного параметру ефективності очищення наступні:

а) характерний параметр визначає ефективність очищення води методом виморожування, тобто наскільки цей метод є ефективним для певного типу вихідної води. Тип води при цьому визначається характером та кількістю домішок.

б) параметр має бути безрозмірною величиною – коефіцієнтом та мати область допустимих значень від 0 до 1.

Виходячи з вище наведених критеріїв було запропоновано формулу (4) для визначення коефіцієнту ефективності очищення (КЕО) води.

$$КЕО_i = 1 - (N_{екv_i} / dN_{н_0}) \quad (4)$$

де, $N_{екv_i}$ – значення ПЗ в еквідистантній точці для i-го циклу виморожування;

$dN_{н_0}$ – різниця у показниках заломлення водопровідної та дистильованої вода.

Для побудови залежності КЕО від кількості циклів вимороження (рис. 4) необхідно визначити «точку насичення», тобто значення $КЕО_k$ для якого $\Delta N_{нв_k} = 0$, що визначатиме кінець очищення.

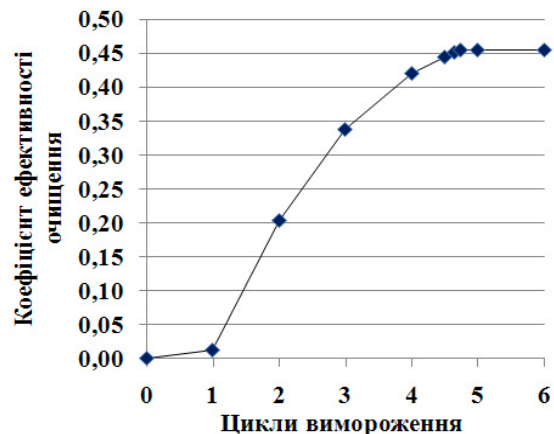


Рис. 4 – Розраховані залежності коефіцієнту ефективності очищення води від кількості циклів її заморожування

Для раніше визначеного значення $k = 4,729$ за функції (1) та (3) розраховуємо $N_{екv_k}$. За допомогою формули (4) було розраховано $КЕО_k = 0,455$. Для циклів вимороження $i > k$ значення $КЕО_i$ залишаються незмінним. Аналіз першої похідної залежності КЕО показав, що найбільший ефект від виморожування маємо на 2-му циклі (рис. 5).

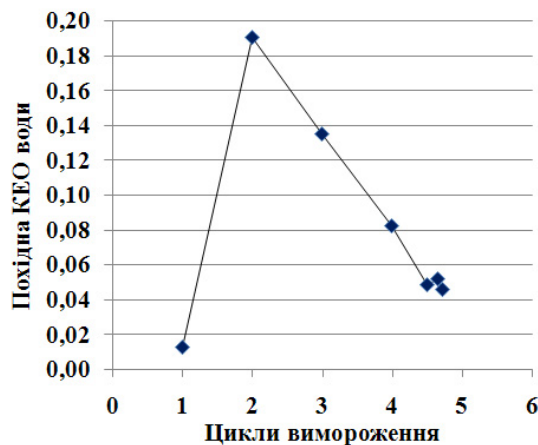


Рис. 5 – Розраховані залежності похідною коефіцієнту ефективності очищення по циклам виморожування

При цьому значення КЕО становить майже половину ($KEO_i = 0,2$) від максимального значення $KEO_k = 0,455$. Варто звернути увагу на значення максимуму похідної КЕО ($\max KEO$), яке визначатиме швидкість перерозподілу домішок у воді при виморожуванні, що також визначає ефективність.

Таким чином для оцінки ефективності очищення води можна запропонувати наступні параметри, а саме:

- значення кількості циклів виморожування – k ;
- максимум коефіцієнту ефективності очищення води – KEO_k ;
- максимум похідної КЕО – $\max KEO$;
- коефіцієнт виморожуваності – KB .

Для досліджуваного зразку водопровідної води (Дніпровська водопровідна станція, м. Київ) маємо наступні значення параметрів ефективності очищення (табл. 2).

Таблиця 2 – Загальні параметри ефективності очищення води

Параметр	k	KEO_k	$\max KEO$	KB
Значення	4,7290	0,4551	0,1903	0,9873

Отже, для очищення даного зразку водопровідної води від домішок найбільш оптимально проводити 2–4 циклів виморожування.

Висновки

1. Розробка методу контролю процесу очищення води на основі явища ППР є актуальним напрямком, який дозволяє проводити експрес аналіз і може бути менш коштовним за існуючі методи, має високу чутливість до малих концентрацій аналітів і високу точність вимірювань.

2. Вперше проведено дослідження ефективності очищення виморожуванням зразків водопровідної води експрес методом з використанням спеціалізованого обладнання «Аква-Поляритон» та методики виконання експерименту. Запропоновано застосовувати наступні параметри ефективності очищення води:

- значення кількості циклів виморожування – k ;
- точка насичення коефіцієнту ефективності очищення води – KEO_k ;
- максимум похідної КЕО – $\max KEO$;
- коефіцієнт виморожуваності – KB .

Список літератури:

- Water safety and quality [Electronic resource]. – Available at: http://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/en/
- Guidelines for drinking-water quality, fourth edition [Electronic resource]. – Available at: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf
- Клименко, Т. В. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов [Электронный ресурс] / Т. В. Клименко // Современные научные исследования и инновации. – 2013. – № 11. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2013/11/28484>
- ГОСТ 6709-72. Вода дистиллированная. Технические условия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/508/>
- Показники якості води [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.novaecologia.org/voecos-1403-1.html>
- Луговской, А. Ф. Оценка методов обеззараживания воды [Текст] / А. Ф. Луговской, А. В. Мовчанюк, И. А. Гришко // Вестник НТУУ "КПИ". – 2007. – № 52. – С. 103–112.
- Pan, C. Dynamics of Chromium (VI) Removal from Drinking Water by Iron Electrocoagulation [Text] / C. Pan, L. D. Troyer, J. G. Catalano, D. E. Giammar // Environmental Science & Technology. – 2016. – № 50 (24). – P. 13502–13510. doi: [10.1021/acs.est.6b03637](https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03637)
- Shalabney, A. Sensitivity-enhancement methods for surface plasmon sensors [Text] / A. Shalabney, I. Abdulhalim // Laser & Photonics Reviews. – 2011. – № 5 (4). – P. 571–606. doi: [10.1002/lpor.201000009](https://doi.org/10.1002/lpor.201000009)
- Дорожинский, Г. В. Обнаружение паров метанола методом поверхностного плазмонного резонанса [Текст] / Г. В. Дорожинский, М. В. Лобанов, В. П. Маслов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 4/5 (76). – С. 4–7. doi: [10.15587/1729-4061.2015.47079](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.47079)
- Дорожинський, Г. В. Сенсорні прилади на основі поверхневого плазмонного резонансу [Текст] / Г. В. Дорожинський, В. П. Маслов, Ю. В. Ушенін. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 264 с.
- Маслюк, Л. Н. Использование спектрометра плазмонного резонанса для исследования процесса структурирования воды [Текст] / Л. Н. Маслюк, А. В. Самойлов, Ю. В. Ушенин, Р. В. Христосенко // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2008. – № 4 (14). – С. 90–95.
- Войтович, И. Д. Сенсоры на основе плазмонного резонанса: принципы, технологии, применения [Текст] / И. Д. Войтович, В. М. Корсунский. – Киев: Сталь, 2011. – 534 с.

Bibliography (transliterated):

- Water safety and quality. Available at: http://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/en/
- Guidelines for drinking-water quality, fourth edition. Available at: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf
- Klimenko, T. V. (2013). Ochistka stochnyh vod ot ionov tzhazhelyh metallov. Sovremennyye nauchnye issledovaniya i innovacii, 11. Available at: <http://web.snauka.ru/issues/2013/11/28484>
- GOST 6709-72. Voda distillirovannaja. Tehnicheskie uslovija. Available at: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/508/>
- Pokazny'ky' yakosti vody. Available at: <http://www.novaecologia.org/voecos-1403-1.html>
- Luhovskoj, A. F., Movchanjuk, A. B., Grishko, I. A. (2007). Ocenka metodov obezrazhzyvaniya vody. Vestnik NTUU " KPI ", 52, 103–112.
- Pan, C., Troyer, L. D., Catalano, J. G., Giammar, D. E. (2016). Dynamics of Chromium(VI) Removal from Drinking Water by Iron Electrocoagulation. Environmental Science & Technology, 50 (24), 13502–13510. doi: [10.1021/acs.est.6b03637](https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03637)
- Shalabney, A., Abdulhalim, I. (2011). Sensitivity-enhancement methods for surface plasmon sensors. Laser & Photonics Reviews, 5 (4), 571–606. doi: [10.1002/lpor.201000009](https://doi.org/10.1002/lpor.201000009)
- Dorozhinskij, G. V., Lobanov, M. V., Maslov, V. P. (2015). Detection of methanol vapor by surface plasmon resonance method. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(5(76)), 4. doi: [10.15587/1729-4061.2015.47079](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.47079)
- Dorozinsky, G. V., Maslov, V. P., Ushenin, Yu. V. (2016). Sensorni prylady na osnovi poverxneвого plazmonного rezonansu. Kyiv: NTUU «KPI», 264.
- Masljuk, L. N., Samojlov, A. V., Ushenin, Ju. V., Hristosenko, R. V. (2008). Ispolzovanie spektrometra plazmonного rezonansu

12. dlya issledovaniya processa strukturirovaniya vody. Aktual'nye problemy transportnoj mediciny, 4 (14), 90–95.
12. Vojtovyich, I. D., Korsunskij, V. M. (2011). Sensory na osnove

plazmonnogo rezonansa: principy, tehnologii, pryimeneniya. Kyiv: Stal, 534.

Надійшла (received) 10.12.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження процесу додаткового очищення питної води методом поверхневого плазмонного резонансу / Д. Г. Радов, В. П. Маслов, Г. В. Дорожинский // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 49(1221). – С.89–94. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Исследование процесса дополнительной очистки питьевой воды методом поверхностного плазмонного резонанса/ Д. Г. Радов, В. П. Маслов, Г. В. Дорожинский // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 49(1221). – С.89–94. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Investigation of further purification of drinking water by surface plasmon resonance/ D. Radov, V. Maslov, G. Dorozinsky //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 49 (1221).– P.89–94. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Радов Денис Георгійович – працівник ДК «Укроборонпром»; вул. Дегтярівська, 36, м. Київ, Україна, 04119; e-mail: Denis.Radov@ukroboronprom.com.

Маслов Володимир Петрович – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу фізико-технологічних основ сенсорного матеріалознавства, Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарєва НАН України; пр. Науки, 41, м. Київ, Україна, 03028; e-mail: vpmaslov@ukr.net.

Дорожинський Гліб Вячеславович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу фізико-технологічних основ сенсорного матеріалознавства, Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарєва НАН України; пр. Науки, 41, м. Київ, Україна, 03028; e-mail: gvdorozinsky@ukr.net.

Радов Денис Георгієвич – работник ГК «Укроборонпром»; ул. Дегтярёвская, 36, г. Киев, Украина, 04119; e-mail: Denis.Radov@ukroboronprom.com.

Маслов Владимир Петрович – доктор технических наук, профессор, заведующий отделом физико-технологических основ сенсорного материаловедения, Институт физики полупроводников имени В. Е. Лашкарёва НАН; пр. Науки, 41, г. Киев, Украина, 03028; e-mail: vpmaslov@ukr.net.

Дорожинский Глеб Вячеславович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела физико-технологических основ сенсорного материаловедения, Институт физики полупроводников имени В. Е. Лашкарёва НАН; пр. Науки, 41, г. Киев, Украина, 03028; e-mail: gvdorozinsky@ukr.net.

Radov Denys – eng. SC “Ukroboronprom”; 36 Dehtiarivska str., Kyiv, Ukraine, 04119; e-mail: Denis.Radov@ukroboronprom.com.

Maslov Volodymyr – Dr.Sc., Prof., head of department of physical and technological bases of sensory materials, V. Ye. Lashkaryov Institute of semiconductor physics NAS of Ukraine; 41 pr. Nauky, Kyiv, Ukraine, 03028; e-mail: vpmaslov@ukr.net.

Dorozinsky Glib – PhD, senior researcher of department of physical and technological bases of sensory materials, V. Ye. Lashkaryov Institute of semiconductor physics NAS of Ukraine; 41 pr. Nauky, Kyiv, Ukraine, 03028; e-mail: gvdorozinsky@ukr.net.