УДК 614.7:628.3:644.6
DOI https://doi.org/10.32782/2415-8127.2026.74.28

Шевченко Олександр Анатолійович,
доктор медичних наук, професор,
завідувач кафедри гігієни, екології та охорони праці,
Дніпровський державний медичний університет
toxysan@ukr.net
https://orcid.org/0000-0002-2295-170X
м. Дніпро, Україна

Штепа Олександр Пимонович,
кандидат медичних наук, доцент,
викладач кафедра гігієни, екології та охорони праці,
Дніпровський державний медичний університет
a.p.l.f.shtepa@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-3738-2204
м. Дніпро, Україна

Вальчук Сергій Іванович,
кандидат медичних наук, Генеральний директор
ДУ «Дніпропетровський обласний центр контролю та профілактики хвороб
Міністерства охорони здоров'я України»
sifromdn@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-9760-2344
м. Дніпро, Україна

Щудро Світлана Анатоліївна,
доктор медичних наук,
доцент кафедри гігієни, екології та охорони праці,
Дніпровського державного медичного університету
301@dmu.edu.ua
ORCID: 0009-0007-0478-2942
м. Дніпро, Україна

Кривсун Валерія Євгенівна,
студентка 3 курсу медичного факультету,
Дніпровський державний медичний університет
krivsunvaleri@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-1137-1498
м. Дніпро, Україна

Поверхнево активні речовини у воді джерел водопостачання: гігієнічні ризики та міжнародний досвід захисту громадського здоров'я

Поверхнево-активні речовини (ПАР) є невід'ємними компонентами сучасних побутових мийних засобів, широке використання яких зумовлює їх постійне надходження до стічних вод і поверхневих водойм, що використовуються як джерела централізованого питного водопостачання. Незважаючи на застосування сучасних технологій очищення стічних вод, частина ПАР та продуктів їх трансформації зберігається у водному середовищі, створюючи потенційні екологічні та гігієнічні ризики.

Метою роботи стало здійснити комплексну гігієнічну оцінку багаторічних моніторингових даних ДУ «Дніпропетровський ОЦКПХ МОЗ України» стосовно забруднення поверхнево-активними речовинами р.Дніпро, оцінити їх біорозкладність та можливі негативні наслідки впливу на здоров'є населення України.

Дослідження виконано у форматі аналітично-описової роботи із застосуванням методів системного аналізу, порівняння, узагальнення наукових джерел та нормативно-правових документів. Практична частина включала аналіз складу 20 представлених на українському ринку мийних засобів, класифікацію поверхнево-активних речовин за хімічною природою та оцінку їх біорозкладності відповідно до вимог Регламенту (ЄС) № 648/2004 і критеріїв OECD. Також проведено аналіз результатів моніторингу вмісту аніонних ПАР та ортофосфатів у воді річки Дніпро в межах міста Дніпра за 2021–2025 роки із залученням ретроспективних офіційних екологічних даних.

Встановлено, що більшість досліджених мийних засобів містить аніонні, неіоногенні або катіонні ПАР, тоді як найвищою біорозкладністю характеризуються засоби на основі алкілполіглюкозидів, що мають менший потенційний негативний вплив на водні екосистеми. За результатами моніторингу поверхневих вод концентрації аніонних ПАР у всіх контрольних пунктах залишалися нижчими за межу визначення методу та не перевищували чинних гігієнічних нормативів. Концентрації ортофосфатів також відповідали нормативним вимогам, хоча у 2025 році зафіксовано локальне підвищення їх вмісту, що свідчить про необхідність продовження систематичного екологічного контролю.

Узагальнення сучасних наукових досліджень підтвердило, що ПАР і продукти їх деградації можуть чинити мембранотропну та цитотоксичну дію, впливати на проникність біологічних мембран, функціонування водних екосистем і сприяти поширенню антибіотикорезистентності, зокрема за участю четвертинних амонієвих сполук. Показано, що ефективне управління ризиками забруднення водних ресурсів ґрунтується на поєднанні нормативного регулювання біорозкладності детергентів, удосконаленні технологій очищення стічних вод та безперервному екологічному моніторингу. Перспективним інструментом оцінки ефективності природоохоронних заходів визначено методологію STAR.

Отримані результати обґрунтовують доцільність удосконалення системи моніторингу поверхнево-активних речовин, ортофосфатів і показників органічного навантаження у джерелах централізованого водопостачання України, гармонізації національної нормативної бази з вимогами Європейського Союзу та Всесвітньої організації охорони здоров'я, а також стимулювання використання екологічно безпечних і легкобіорозкладних мийних засобів як важливого напряму збереження якості водних ресурсів і захисту громадського здоров'я.

Ключові слова: поверхнево активні речовини, ПАР, водопостачання, мийні засоби, біорозкладність, гігієнічний ризик, STAR, питна вода, детергенти.

Shevchenko Oleksandr Anatoliyovych, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Hygiene, Ecology and Labor Protection, Dnipro State Medical University, toxysan@ukr.net, https://orcid.org/0000-0002-2295-170X, Dnipro, Ukraine

Shtepa Oleksandr Pymonovych, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Lecturer at the Department of Hygiene, Ecology and Occupational Safety, Dnipro State Medical University, a.p.l.f.shtepa@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-3738-2204, Dnipro, Ukraine

Valchuk Serhii Ivanovych, Candidate of Medical Sciences, Director General, State Institution "Dnipropetrovsk Regional Center for Disease Control and Prevention of the Ministry of Health of Ukraine", sifromdn@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9760-2344, Dnipro, Ukraine

Shchudro Svitlana Anatoliivna, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor at the Department of Hygiene, Ecology and Labor Protection, Dnipro State Medical University, 301@dmu.edu.ua, https://orcid.org/0009-0007-0478-2942, Dnipro, Ukraine

Kryvsun Valeriia Yevhenivna, 3-year Student of the Faculty of Medicine, Dnipro State Medical University, krivsunvaleri@gmail.com, https://orcid.org/0009-0007-1137-1498, Dnipro, Ukraine

Surfactants in water supply sources: hygienic risks and international experience in public health protection

Surfactants are integral components of modern household detergents, the widespread use of which leads to their constant supply to wastewater and surface water bodies used as sources of centralized drinking water supply. Despite the use of modern wastewater treatment technologies, part of surfactants and products of their transformation are stored in the aquatic environment, creating potential environmental and hygienic risks.

The purpose of the work was to carry out a comprehensive hygienic assessment of long-term monitoring data of the State Institution "Dnipropetrovsk Regional Center for Environmental Protection of the Ministry of Health of Ukraine" regarding pollution with surfactants of the Dnipro River, to assess their biodegradability and possible negative consequences of impact on the health of the population of Ukraine.

The study is carried out in the format of analytical and descriptive work using methods of system analysis, comparison, generalization of scientific sources and regulatory documents. The practical part included the analysis of the composition of 20 detergents presented on the Ukrainian market, the classification of surfactants by chemical nature and the assessment of their biodegradability in accordance with the requirements of Regulation (EC) № 648/2004 and OECD criteria. An analysis of the results of monitoring the content of anionic surfactants and orthophosphates in the water of the Dnipro River within the city of Dnipro for 2021–2025 was also carried out with the involvement of retrospective official environmental data.

It was found that most of the studied detergents contain anionic, nonionic or cationic surfactants, while the highest biodegradability is characterized by products based on alkyl polyglucosides, which have a lower potential negative impact on aquatic ecosystems. According to the results of surface water monitoring, the concentrations of anionic surfactants at all control points remained below the limit of method determination and did not exceed the current hygienic standards. Concentrations of orthophosphates also met regulatory requirements, although in 2025 a local increase in their content was recorded, which indicates the need to continue systematic environmental control.

The generalization of modern scientific research has confirmed that surfactants and their degradation products can have a membranotropic and cytotoxic effect, affect the permeability of biological membranes, the functioning of aquatic ecosystems and contribute to the spread of antibiotic resistance, in particular with the participation of quaternary ammonium compounds. It is shown that effective management of water pollution risks is based on a combination of regulatory regulation of biodegradability of detergents, improvement of wastewater treatment technologies and continuous environmental monitoring. The results obtained substantiate the feasibility of improving the monitoring system for surfactants, orthophosphates and organic load indicators in the sources of centralized water supply of Ukraine, harmonization of the national regulatory framework with the requirements of the European Union and the World Health Organization, as well as stimulation of the use of environmentally safe and easily biodegradable detergents as an important area of maintaining the quality of water resources and protecting public health.

Key words: surfactants, surfactants, water supply, detergents, biodegradability, hygienic risk, STAR, drinking water, detergents.

Вступ. Поверхнево активні речовини (ПАР) є невід'ємним компонентом сучасних побутових мийних засобів – від порошків і гелів для прання до засобів для миття посуду. За оцінками Euromonitor International, світовий ринок побутових детергентів у 2023 році перевищив 150 млрд доларів США і продовжує зростати [15]. В Україні, за даними Державної служби статистики, щорічне споживання побутової хімії залишається

стабільно високим, що збільшує навантаження на системи водовідведення та очисні споруди [1].

Після потрапляння у стічні води ПАР видаляються на очисних спорудах неповністю, а частина сполук та продуктів їх деградації переходить у поверхневі водойми, які в більшості регіонів України є джерелами централізованого водопостачання. Ступінь біодеградації ПАР залежить від їх хімічної структури, мікробного складу активного мулу очисних споруд, умов аерації та температури водойми-реципієнта тощо. Визначено також доволі різну екологічну поведінку аніонних, неіоногенних і катіонних ПАР після їх надходження у стічні води й водні екосистеми [28, 32].

Гігієнічна актуальність проблеми забруднення ПАР водойм визначається тим, що потрапивши до харчового ланцюга, навіть низькі концентрації ПАР і продуктів їх деградації можуть змінювати бар'єрні властивості слизових оболонок людини, підвищувати проникність епітелію, проявляти підвищувати проникність епітелію, порушувати гормональну регуляцію організму та сприяти ко-селекції антибіотикорезистентності [9–12, 16–17, 22, 24, 29].

Мета роботи – здійснити комплексну гігієнічну оцінку багаторічних моніторингових даних ДУ «Дніпропетровський ОЦКПХ МОЗ України» стосовно забруднення поверхнево-активними речовинами р.Дніпро, оцінити їх біорозкладність та можливі негативні наслідки впливу на здоров'є населення України.

Методологія та методи дослідження. Робота виконана у форматі аналітично-описового дослідження. Практична частина роботи охоплювала: моніторинг і аналіз складу 20 мийних засобів, поширених на ринку України; класифікацію ПАР за хімічною природою та оцінку їх біорозкладності відповідно до критеріїв Регламенту ЄС 648/2004/ЄС і OECD-тесту 301; порівняльний аналіз гігієнічних нормативів вмісту ПАР у питній воді; опрацювання даних літератури щодо поширеності та гігієнічних наслідків забруднення ПАР.

Для аналізу було відібрано засоби, представлені в асортименті провідних торговельних мереж України та включені до переліків найбільш популярних товарів: «Fairy Original», «Gala Лимон», «ЕКОзасіб», «nO% Green Home», «Somat Excellence Duo Gel Антижир», «Blanidas K11», «Delamark Dishwasher Detergent», «DenkMit», «Вухастик», «L'Arbre Vert» (засоби для миття посуду); та Ariel Автомат», «Persil Color», «Perwoll Silk», «Silan Aromatherapy Fascinating Frangipani», «Вухастик», «Grunwald», «Vanish Oxi Action», «Lenor», «iGel Universal», «Friendly Organic» (засоби для прання). Інформацію про склад отримано з офіційних сайтів виробників та маркування продуктів. Оцінку біорозкладності проводили за критерієм «легкої біорозкладності протягом 28 діб.

Аналіз нормативної бази здійснювався шляхом порівняння ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної» з рекомендаціями ВООЗ та Директивою ЄС 98/83/ЄС. Пошук наукових джерел проводився в базах PubMed, Google Scholar за ключовими словами «surfactants drinking water», «LAS water quality», «detergents public health» за останні роки.

Виклад основного матеріалу. ***Класифікація та механізм дії ПАР.*** ПАР – це органічні амфіфільні сполуки, молекула яких містить одночасно гідрофільну (водорозчинну) і гідрофобну (жиророзчинну) частини. Завдяки цій дуальній природі ПАР знижують поверхневий натяг на межі розділу рідин, утворюють міцели та емульгують жири – що і зумовлює їх дію.

За типом заряду гідрофільної групи ПАР поділяються на чотири класи (табл. 1). Аніонні ПАР (зокрема лінійний алкілбензолсульфонат – LAS та лаурилетоксисульфат – SLES) є найбільш поширеними у вітчизняних мийних засобах і складають до 80% загального обсягу використовуваних детергентів. Неіоногенні ПАР – алкілполіглюкозиди (APG) та спирти етоксильовані – дедалі активніше використовуються у «ЕКО»-засобах завдяки значно вищій біорозкладності.

Аналіз складу мийних засобів та оцінка біорозкладності. Нами було проведено експертне, пілотажне дослідження в місті Дніпрі номенклатури миючих засобів та порошків популярних торгових марок. За результатами практичного аналізу складу 10 мийних засобів (табл. 2) встановлено, що усі досліджені засоби містять ПАР у концентрації від <5% до 15–30%. Засоби для посуду традиційних брендів (Fairy, Gala, Somat Excellence) містять суміш аніонних і амфотерних ПАР. «ЕКОзасіб» та «nO% Green Home» виключно рослинних APG з концентрацією <5%, що суттєво знижує загальне навантаження ПАР на стічні води. Серед засобів українського виробництва найвищий рівень біорозкладності («дуже високий») має «ЕКОзасіб», «високий» рівень також мають вітчизняні засоби «Вухастик» та «Blanidas K11».

Як показує наше дослідження (табл. 3), пральні порошки найпопулярніших торгових марок «Ariel Автомат» та «Persil Color» містять аніоні ПАР типу LAS. «Persil Color», «Perwoll Silk» мають менший вміст пар в порівнянні «Ariel Автомат».

Такі представники як «Silan» та« Lenor» містять катіонні ПАР які мають найнижчій рівень біорозкладності. Пральних засобів українського виробництва на ринку представленно значно менше, серед нами проаналізованих «Вухастик» має найбільш високий ступінь біорозкладності. Переважно високу біорозкладність мають торгові марки виробництва ЄС.

Споживання мийних засобів в Україні та у світі. За даними Euromonitor International, глобальне виробництво побутових миючих засобів у 2022 році склало близько 65 млн тонн. Найбільші споживачі – Китай, США та країни ЄС [15]. В Україні ринок мийних засобів залишається значним, а їх постійне побутове використання формує регулярне надходження детергентів у міські стічні води [1].

Показово, що в країнах ЄС після запровадження Регламенту (ЄС) № 648/2004 для детергентів було законодавчо закріплено вимоги до біорозкладності ПАР та обов'язкового декларування складу мийних засобів [27]. В Україні аналогічний процес відбувається повільніше через відсутність обов'язкового маркування біорозкладності та слабку регуляторну вимогу до виробників.

Для регіонального доповнення літературних даних нами проаналізовано результати моніторингових

Таблиця 1

Класифікація ПАР, що входять до складу мийних засобів

Клас ПАР	Приклади речовин	Основне застосування	Біорозкладність
Аніонні	LAS (лінійний алкілбензолсульфонат), SLS (лаурилсульфат натрію)	Пральні порошки, засоби для посуду	Висока (LAS >90% за 28 діб)
Катіонні	Четвертинні амонієві солі (QDAB)	Антисептики, кондиціонери	Низька–середня (<60%)
Неіоногенні	Алкілполіглюкозиди (APG), спирти етоксильовані	Засоби для посуду, шампуні	Висока (APG >95%)
Амфотерні	Кокамідопропілбетаїн (CAPB)	Косметика, дит. засоби	Висока (>90%)

Таблиця 2

Аналіз складу популярних мийних засобів на ринку України

Назва засобу	Тип засобу	ПАР у складі	Вміст ПАР	Біорозкладність
Fairy Original	Засіб для посуду	LAS, SLES, CAPB	15–30%	Висока
Gala Лимон	Засіб для посуду	SLES, APG, CAPB	15–30%	Висока
ЕКОзасіб	Засіб для посуду	APG, цитрат натрію	< 5%	Дуже висока
nO% Green Home	Засіб для посуду	LAS, SLS, APG, CAPB	15–30%	Висока
Somat Excellence Duo Gel Антижир	Засіб для посуду	APG	< 5%	Дуже висока
Blanidas K11	Засіб для посуду	LAS, SLS	< 40%	Вище середньго
Delamark Dishwasher Detergent	Засіб для посуду	APG	< 5%	Дуже висока
DenkMit	Засіб для посуду	APG	5-15%	Висока
Вухастик	Засіб для посуду	LAS, SLS, APG, CAPB	15–30%	Висока
L'Arbre Vert	Засіб для посуду	LAS, цитрат натрію	5-15%	Висока

Примітка: LAS – лінійний алкілбензолсульфонат; SLES – лаурилетоксисульфат натрію; APG – алкілполіглюкозид; CAPB – кокамідопропілбетаїн

Таблиця 3

Аналіз складу популярних пральних засобів на ринку України

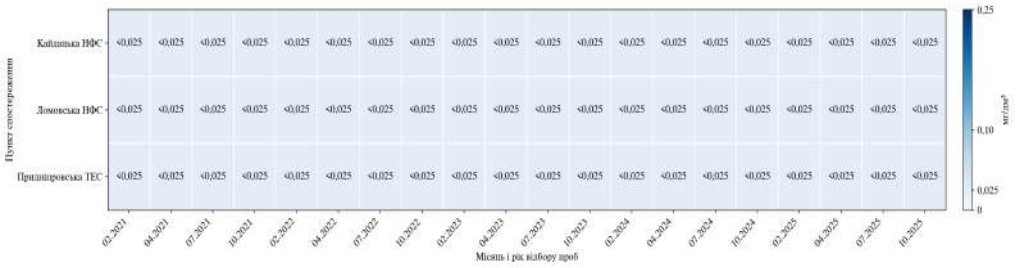
Назва засобу	Тип засобу	ПАР у складі	Вміст ПАР	Біорозкладність
Ariel Автомат	Пральний порошок	LAS, SLES, неіоногенні ПАР	15–30%	Висока
Persil Color	Пральний порошок	LAS, мильна основа	5–15%	Висока
Perwoll Silk	Гель для прання	НеіоногеніПАР, CAPB	5–15%	Висока
Silan Aromatherapy Fascinating Frangipani	Гель для прання	QDAB	5–15%	Середня
Вухастик	Пральний порошок	LAS, SLES	5–15%	Висока
Grunwald	Пральний порошок	Неіоногенні ПАР	<5%	Дуже висока
Vanish Oxi Action	Пральний порошок	LAS, SLES, неіоногенні ПАР	<5%	Дуже висока
Lenor	Гель для прання	QDAB	5-10%	Середня
iGel Universal	Гель для прання	LAS, SLES, QDAB, неіоногенні ПАР	5–15%	Середня
Friendly Organic	Гель для прання	LAS, SLES, неіоногенні ПАР	15–30%	Висока

Примітка: LAS – лінійний алкілбензолсульфонат; SLES – лаурилетоксисульфат натрію; APG – алкілполіглюкозид; CAPB – кокамідопропілбетаїн

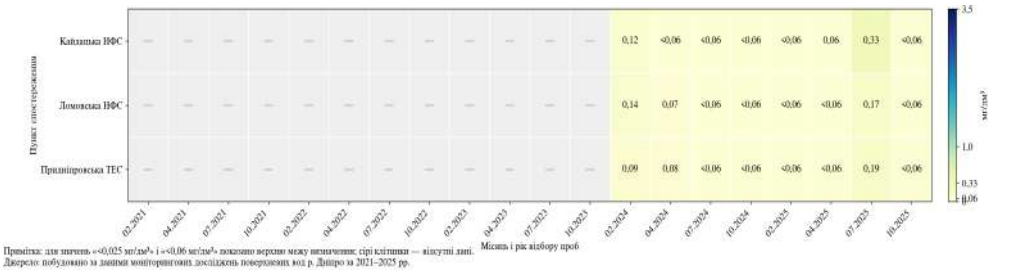
досліджень центру контролю та профілактики хвороб поверхневих вод р. Дніпро в межах м. Дніпро за 2021–2025 рр. у трьох контрольних пунктах: Кайдацька насосно-фільтрувальна станція, Ломовська насосно-фільтрувальна станція та район Придніпровської ТЕС [4,5,6,7].

Як видно з мал. 1, у всі терміни спостереження концентрації аніонних ПАР залишалися нижчими за межу визначення методу (<0,025 мг/дм³) в усіх трьох пунктах. Таким чином, усі 60 визначень були щонайменше у 10 разів нижчими за норматив 0,25 мг/дм³ для джерел централізованого водопостачання за ДСТУ 4808:2007 [3]. Для значень «<0,025 мг/дм³» на графіку подано верхню межу визначення – 0,025 мг/дм³.

Щодо ортофосфатів мал. 2, дані у моніторинговому матеріалі з'являються з 2024 р. і свідчать про невисокі концентрації цих речовин, з локальним підвищенням у липні 2025 р. до 0,33 мг/дм³ на Кайдацькій НФС;



Мал. 1. Помісячна динаміка аніонних ПАР у трьох пунктах моніторингу р. Дніпро (м. Дніпро) за 2021–2025 рр.



Мал. 2. Помісячна динаміка ортофосфатів у трьох пунктах моніторингу р. Дніпро (м. Дніпро) за 2021–2025 рр.

0,17 мг/дм³ – на Ломовській НФС та 0,19 мг/дм³ у районі Придніпровської ТЕС. Навіть ці значення залишалися значно нижчими за гігієнічний норматив 3,5 мг/дм³ для ортофосфатів у воді водних об'єктів [8]. Для значень «<0,06 мг/дм³» на графіку подано верхню межу визначення – 0,06 мг/дм³.

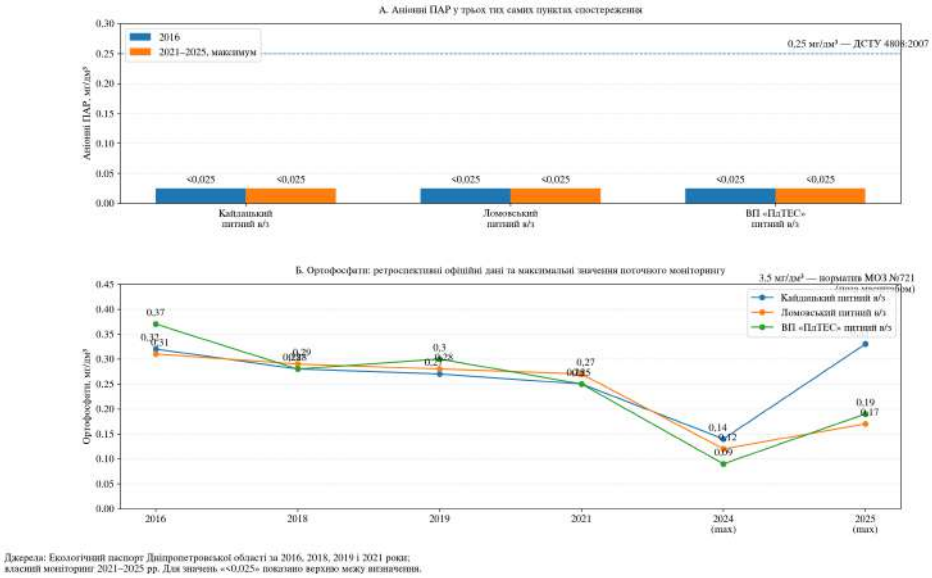
Аналіз матеріалів за попередні роки показав наявність офіційних даних саме для трьох аналогічних пунктів спостереження на р. Дніпро: Кайдацького питного водозабору, Ломовського питного водозабору та водозабору ВП «ПдТЕС». У «Екологічному паспорті Дніпропетровської області за 2016 рік» ці три пункти наведені в одній таблиці з показниками ортофосфатів та АПАР; для аніонних ПАР у всіх трьох пунктах зазначено <0,025 мг/дм³, тоді як ортофосфати становили 0,32 мг/дм³ для Кайдацького водозабору, 0,31 мг/дм³ для Ломовського водозабору та 0,37 мг/дм³ для водозабору ВП «ПдТЕС» [4]. Додатково для тих самих пунктів у відкритих екологічних паспортах за 2018, 2019 і 2022 роки наявні середньорічні концентрації ортофосфатів [5–7]. У порівнянні з цими ретроспективними даними мал. 3, результати моніторингу 2024–2025 рр. демонструють нижчі максимальні значення ортофосфатів у 2024 р. та локальне підвищення у липні 2025 р., найбільш виражене на Кайдацькій НФС (0,33 мг/дм³). При цьому аніонні ПАР залишалися нижчими за межу визначення як у ретроспективному офіційному паспорті 2016 р., так і в моніторингових даних 2021–2025 рр.

Гігієнічні ризики для здоров'я населення. Надходження ПАР у воду джерел водопостачання створює кілька категорій гігієнічних ризиків. Насамперед ідеться про мембранотропну дію: завдяки амфіфільній будові ПАР здатні взаємодіяти з ліпідними мембранами, змінювати їх проникність і чинити цитотоксичний вплив. У клінічні огляди підвищують кишкову проникність і порушують бар'єрну функцію епітелію [12]. Огляди узагальнюють дані про оксидативний стрес, ушкодження мембран і загальну токсичність ПАР, а експериментальні роботи підтвердижують гостру токсичність аніонних і неіоногенних ПАР для водних організмів [9, 21].

З позицій оцінки ризику важливо розмежовувати дві групи ефектів. Перша – гостра токсичність вихідних ПАР, яка залежить від заряду молекули, довжини алкільного ланцюга та здатності сполуки взаємодіяти з біомембранами. Друга – хронічний вплив продуктів трансформації, зокрема алкілфенолів, які можуть бути стійкішими за вихідні неіоногенні ПАР і зберігати біологічну активність у водному середовищі [18, 19, 32].

Для гігієнічної інтерпретації отриманих результатів принциповим є те, що відсутність перевищення нормативу за сумарними аніонними ПАР не виключає необхідності контролю суміжних показників: ортофосфатів, загального органічного вуглецю, амонійного азоту, БСК/ХСК та мікробіологічних індикаторів. Саме така комбінація параметрів дозволяє оцінювати не лише наявність детергентів, а й трофічне навантаження, ефективність самоочищення та ймовірність вторинних ефектів у водній екосистемі [18–20, 28, 32].

Інша важлива група ризиків пов'язана з ендокринною дизрупцією. Продукти деградації неіоногенних ПАР, насамперед nonylphenol та споріднені алкілфеноли, характеризуються естрогеноподібною активністю і належать до ендокринно-активних контамінантів. Вони є поширеними забруднювачами водного середовища, виявляються у воді, донних відкладах і біоті та асоціюються з репродуктивними, ендокринними й екотоксикологічними ефектами [10]. Потрапля-



Джерела: Екологічний паспорт Дніпропетровської області за 2016, 2018, 2019 і 2021 роки; власний моніторинг 2021–2025 рр. Для значень «<0,025» показано верхню межу визначення.

Мал. 3. Ретроспективне зіставлення аніонних ПАР та ортофосфатів у трьох ділянках р. Дніпро (м. Дніпро) за наявними офіційними даними

ючи у водні екосистеми переважно зі стічними водами, ці сполуки здатні взаємодіяти з ендокринною системою гідробіонтів, насамперед риб, і спричиняти гормональні порушення, зокрема зміну рівня статевих гормонів, порушення процесів розмноження та розвитку. Такі ефекти можуть спостерігатися навіть за низьких концентрацій забруднювачів [16].

Поряд із прямою токсичною та ендокринною дією, ПАР можуть впливати на транспорт і біодоступність інших контамінантів у водному середовищі, посилюючи комбінований токсичний ефект. Окремої уваги потребує мікробіологічний аспект: четвертинні амонієві сполуки (QACs), які входять до складу частини побутових і дезінфекційних засобів, здатні сприяти ко-селекції та крос-резистентності мікроорганізмів до антибактеріальних препаратів. Широке використання QACs може відбирати штами з генами толерантності до біоцидів і одночасно підтримувати поширення детермінант антибіотикорезистентності [17]. У сучасному огляді підтверджено зв'язок між толерантністю до QACs, крос-резистентністю та необхідністю контролю їх потрапляння у довкілля [11].

Дані джерел свідчать, що типові ПАР – за екологічно релевантних концентрацій можуть посилювати горизонтальне перенесення генів антибіотикорезистентності шляхом трансформації [29]. Подібний механізм показано і для triclosan як поширеного антимікробного компонента побутових засобів: екологічно релевантні концентрації triclosan сприяють горизонтальному перенесенню генів мультирезистентності між бактеріальними родами [22]. Ці дані не означають прямої небезпеки при кожному випадку виявлення ПАР у воді, але обґрунтовують потребу в поєднанні хімічного моніторингу з мікробіологічним контролем.

З погляду профілактики важливо не лише контролювати залишкові концентрації ПАР у воді, а й зменшувати їх надходження у стічні води. Огляди показують, що greywater і побутово-комунальні стоки є значущими джерелами ПАР, а найбільш перспективними технологіями їх видалення залишаються комбінації біологічних, фізико-хімічних, мембранних і сорбційних методів [20, 26]. Перехід до біосурфактантів і менш токсичних рецептур розглядається як один із напрямів зниження хімічного навантаження, однак огляди підкреслюють, що їхнє широке впровадження потребує додаткової оцінки ефективності, вартості та безпечності для водних екосистем [25].

Водночас необхідно уникати спрощеної інтерпретації даних моніторингу. Екологічний ризик основних класів ПАР значною мірою залежить від їхньої концентрації, біодоступності, швидкості біодеградації та умов локальної водної екосистеми [13]. Тому одноразові низькі концентрації аніонних ПАР у контрольних пунктах р. Дніпро не виключають потреби у довготривалому спостереженні, особливо в місцях впливу міських стічних вод, зливової каналізації та промислово-комунальних скидів.

Таким чином, навіть за відсутності перевищень нормативів, ПАР доцільно розглядати не лише як органолептичний показник, а як маркер комплексного хімічного навантаження на джерела водопостачання. Норматив України (табл. 4) для питної води (0,5 мг/л) залишається менш суворим, ніж рекомендації ВООЗ та підхід ЄС (0,2 мг/л), що додатково обґрунтовує необхідність гармонізації вітчизняних підходів до моніторингу й оцінки ризику [2, 13, 30].

Міжнародний досвід: методологія STAR. У міжнародній практиці громадського здоров'я для структурованого опису та аналізу проблем застосовується методологія STAR (Situation – Target – Action – Result).

Ця модель дозволяє системно підходити до вирішення питань захисту водних ресурсів від забруднення:

Таблиця 4

Гігієнічні нормативи вмісту ПАР у питній воді

Показник / Речовина	Україна (ДСанПіН)	ВООЗ	ЄС (Директива 98/83)
ПАР аніонні (загальні) у питній воді	0,5 мг/л	0,2 мг/л	0,2 мг/л
LAS у поверхневих водах	0,1 мг/л	0,15 мг/л	0,1 мг/л
Піноутворення (органолептика)	Відсутнє	Відсутнє	Відсутнє
Клас небезпеки ПАР у воді	III–IV	–	–

Таблиця 5

Застосування методології STAR до проблеми забруднення ПАР водойм ЄС

Компонент STAR	Розшифровка	Зміст у контексті ПАР	Результат / приклад
S – Situation (Ситуація)	Вихідна проблема	Виявлення підвищених концентрацій ПАР у водоймах – джерелах водопостачання в країнах ЄС	Рівні SLES у р. Рейн: 50–120 мкг/л (понад норму ВООЗ)
T – Target (Ціль)	Поставлена мета	Зниження концентрацій ПАР у питній воді до рівнів, безпечних для здоров'я населення	Цільовий показник: <0,2 мг/л (ДСТУ/ВООЗ)
A – Action (Дія)	Вжиті заходи	Перехід виробників на біорозкладні ПАР (APG, CAPB), вдосконалення технологій очищення стічних вод	Програма ЄС REACH, директива 648/2004/ЄС щодо детергентів
R – Result (Результат)	Досягнутий ефект	Зменшення надходження ПАР у водойми, покращення якості питної води	Зниження рівнів LAS у питній воді Нідерландів з 0,35 до 0,08 мг/л (2005–2022)

від опису поточної ситуації до визначення цільових індикаторів, управлінських дій і вимірюваних результатів. Нижче (табл. 5) представлено застосування методології STAR до проблеми забруднення водойм ПАР в ЄС.

Методологія STAR дозволила країнам ЄС чітко ідентифікувати масштаб проблеми та виміряти ефективність вжитих заходів. Ключовим результатом стало прийняття Регламенту (ЄС) № 648/2004, який зобов'язав виробників детергентів забезпечити біорозкладність ПАР, а також запровадив обов'язкове маркування складу засобів. Аналогічний підхід рекомендується для впровадження в Україні в рамках гармонізації з законодавством ЄС [27].

Висновки з дослідження. 1. Аналіз складу популярних мийних засобів, представлених на ринку України, показав, що більшість із них містить аніонні та/або неіоногенні ПАР. З огляду на сталі обсяги споживання побутової хімії ці речовини формують постійне навантаження на системи водовідведення та очисні споруди.

2. Надходження ПАР у джерела водопостачання обумовлює комплекс гігієнічних ризиків: мембранотропну дію, підвищення проникності епітелію, екотоксичність для водних організмів, ендокринну активність продуктів деградації та можливу участь QACs у підтриманні антибіотикорезистентності.

3. За даними моніторингу 2021–2025 рр., аніонні ПАР у трьох контрольних пунктах р. Дніпро в межах м. Дніпро залишалися нижчими за межу визначення (<0,025 мг/дм³), тобто нижчими за норматив ДСТУ 4808:2007. Ортофосфати не перевищували гігієнічний норматив, однак демонстрували часові коливання з локальним підвищенням у 2025 р..

4. Міжнародний досвід свідчить, що ефективне управління ризиками ПАР має поєднувати нормативне регулювання складу детергентів, вимоги до біорозкладності, технологічне вдосконалення очищення стічних вод та стимулювання менш токсичних рецептур.

5. Для України доцільним є: (а) регулярний контроль аніонних ПАР, ортофосфатів і показників органічного навантаження у джерелах водопостачання; (б) перегляд нормативної бази у напрямку гармонізації з підходами ЄС та ВООЗ; (в) запровадження маркування біорозкладності ПАР; (г) розвиток локальних програм моніторингу у великих промислових містах, зокрема в басейні р. Дніпро.

Інформація про конфлікт інтересів. Конфлікту інтересів немає.

Інформація про фінансування. Автор гарантує, що він не отримував жодних винагород у будь-якій формі, здатних вплинути на результати роботи.

Особистий внесок кожного автора у виконання роботи:

Шевченко О. А. – загальне керівництво дослідженням, формування концепції та дизайну роботи, визначення основних наукових напрямів аналізу, критичне редагування статті, узагальнення результатів і затвердження остаточного варіанту рукопису;

Штепа О. П. – науково-методичний супровід дослідження, аналіз нормативно-правових джерел, участь в інтерпретації отриманих результатів, редагування окремих розділів статті;

Вальчук С. І. –адміністрування моніторингових досліджень поверхнево активних речовин річки Дніпро;

Щудро С. А. – організація пілотних досліджень асортименту мийних засобів, представлених на офіційних сайтах торговельних мереж, для подальшого аналізу вмісту поверхнево-активних речовин у їх складі;

Кривсун В.Є. – пошук і аналіз літературних джерел, систематизація матеріалів, підготовка первинного тексту статті, оформлення списку літератури та технічне оформлення рукопису.

ЛІТЕРАТУРА

1. Державна служба статистики України. Промисловість України у 2022 році : статистичний збірник. Київ, 2023. 220 с.
2. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : наказ МОЗ України від 12.05.2010 № 400. Київ : МОЗ України, 2010. 52 с.
3. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. Київ : Держспоживстандарт України, 2007.
4. Екологічний паспорт Дніпропетровської області за 2016 рік / Дніпропетровська обласна державна адміністрація. Дніпро, 2017. URL: https://www.slideshare.net/slideshow/ss-87975316/87975316.
5. Екологічний паспорт Дніпропетровської області за 2018 рік / Дніпропетровська обласна державна адміністрація. Дніпро, 2019. URL: https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/uploaded-files/ekopasport2018.pdf.
6. Екологічний паспорт Дніпропетровської області за 2019 рік/ Дніпропетровська обласна державна адміністрація. Дніпро, 2020. URL: https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/EKOLOGIA/ekologichnij_pasport_2019_.pdf.
7. Екологічний паспорт Дніпропетровської області за 2021 рік / Дніпропетровська обласна військова адміністрація. Дніпро, 2021. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/Dnipropetrovska-obl-_-2021.pdf.
8. Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 02.05.2022 № 721. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22.
9. Badmus S. O., Amusa H. K., Adepoke A., Saleh T. A. Environmental risks and toxicity of surfactants: overview of analysis, assessment, and remediation techniques. Environmental Science and Pollution Research. 2021. Vol. 28, No. 44. P. 62085–62104. DOI: 10.1007/s11356-021-16483-w.
10. Bhandari G., Bagheri A. R., Bhatt P., Bilal M. Occurrence, potential ecological risks, and degradation of endocrine disrupter, nonylphenol, from the aqueous environment. Chemosphere. 2021. Vol. 275. Article 130013. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.130013.
11. Boyce J. M. Quaternary ammonium disinfectants and antiseptics: tolerance, resistance and potential impact on antibiotic resistance. Antimicrobial Resistance & Infection Control. 2023. Vol. 12, Article 32. DOI: 10.1186/s13756-023-01241-z.
12. Camilleri M. Leaky gut: mechanisms, measurement and clinical implications in humans. Gut. 2019. Vol. 68, No. 8. P. 1516–1526. DOI: 10.1136/gutjnl-2019-318427.
13. Cowan-Ellsberry C., Belanger S., Dorn P., Dyer S., McAvoy D., Sanderson H., Versteeg D., Ferrer D., Stanton K. Environmental Safety of the Use of Major Surfactant Classes in North America. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2014. Vol. 44, No. 17. P. 1893–1993. DOI: 10.1080/10739149.2013.803777.
14. Directive 98/83/EC of the Council of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Communities. 1998. L 330. P. 32–54.
15. Euromonitor International. Home Care in the World. London : Euromonitor International, 2023.
16. Gałązka A., Jankiewicz U. Endocrine Disrupting Compounds (Nonylphenol and Bisphenol A) – Sources, Harmfulness and Laccase-Assisted Degradation in the Aquatic Environment. Microorganisms. 2022. Vol. 10, No. 11. Article 2236. DOI: 10.3390/microorganisms10112236.
17. Hegstad K., Langsrud S., Lunestad B. T., Scheie A. A., Sunde M., Yazdankhah S. P. Does the wide use of quaternary ammonium compounds enhance the selection and spread of antimicrobial resistance and thus threaten our health? Microbial Drug Resistance. 2010. Vol. 16, No. 2. P. 91–104. DOI: 10.1089/mdr.2009.0120.
18. Jackson M., Eadsforth C., Schowanek D., Delfosse T., Riddle A., Budgen N. Comprehensive review of several surfactants in marine environments: fate and ecotoxicity. Environmental Toxicology and Chemistry. 2016. Vol. 35, No. 5. P. 1077–1086. DOI: 10.1002/etc.3297.
19. Jardak K., Drogui P., Daghrir R. Surfactants in aquatic and terrestrial environment: occurrence, behavior, and treatment processes. Environmental Science and Pollution Research. 2016. Vol. 23, No. 4. P. 3195–3216. DOI: 10.1007/s11356-015-5803-x.
20. Jena G., Dutta K., Daverey A. Surfactants in water and wastewater (greywater): Environmental toxicity and treatment options. Chemosphere. 2023. Vol. 341. Article 140082. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.140082.
21. Lechuga M., Fernández-Serrano M., Jurado E., Núñez-Olea J., Ríos F. Acute toxicity of anionic and non-ionic surfactants to aquatic organisms. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2016. Vol. 125. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2015.11.027.
22. Lu J., Wang Y., Li J., Mao L., Nguyen S. H., Duarte T., Coin L., Bond P., Yuan Z., Guo J. Triclosan at environmentally relevant concentrations promotes horizontal transfer of multidrug resistance genes within and across bacterial genera. Environment International. 2018. Vol. 121. P. 1217–1226. DOI: 10.1016/j.envint.2018.10.040.
23. Maher S., Geoghegan C., Brayden D. J. Safety of surfactant excipients in oral drug formulations. Advanced Drug Delivery Reviews. 2023. Vol. 202. Article 115086. DOI: 10.1016/j.addr.2023.115086.
24. Mohapatra S., Yutao L., Goh S. G., Ng C., Luhua Y., Tran N. H., Gin K. Y. H. Quaternary ammonium compounds of emerging concern: Classification, occurrence, fate, toxicity and antimicrobial resistance. Journal of Hazardous Materials. 2023. Vol. 445. Article 130393. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.130393.
25. Nagtode V. S., Cardoza C., Yasin H. K. A., Mali S. N., Tambe S. M., Roy P., Singh K., Goel A., Amin P. D., Thorat B. R., Cruz J. N., Pratap A. P. Green Surfactants (Biosurfactants): A Petroleum-Free Substitute for Sustainability-Comparison, Applications, Market, and Future Prospects. ACS Omega. 2023. Vol. 8, No. 13. P. 11674–11699. DOI: 10.1021/acsomega.3c00591.

26. Najem T., Ayoub G. M., Salam D., Zayyat R. M. Eliminating hazardous pollutants: treatment options for dioxins and surfactants from water and wastewater: an updated review. Environmental Science and Pollution Research. 2024. Vol. 31, No. 54. P. 62702–62729. DOI: 10.1007/s11356-024-35416-x.
27. Regulation (EC) No 648/2004 of the European Parliament and of the Council of 31 March 2004 on detergents. Official Journal of the European Union. 2004. L 104. P. 1–35.
28. Scott M. J., Jones M. N. The biodegradation of surfactants in the environment. Biochimica et Biophysica Acta. Vol. 1508, No. 1–2. P. 235–251. DOI: 10.1016/S0304-4157(00)00013-7.
29. Wang X., Du G., Qiao Z., Yang Y., Shi H., Zhang D., Pan X. Environmental concentrations of surfactants as a trigger for climax of horizonal gene transfer of antibiotic resistance. Heliyon. 2023. Vol. 9, No. 6. Article e17034. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e17034.
30. World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First and Second Addenda. Geneva : WHO, 2022. 614 p.
31. Xu C., Ling H., Fan C., Xiang L., Zhang S., Li W., Yi C. Higher levels of nonylphenol were found in human urine and drinking water from rural areas as compared to metropolitan regions of Wuhan, China. Environmental Science and Pollution Research. 2022. Vol. 29, No. 44. P. 66950–66959. DOI: 10.1007/s11356-022-20513-6.
32. Ying G.-G. Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment. Environment International. Vol. 32, No. 3. P. 417–431. DOI: 10.1016/j.envint.2005.07.004.

Дата першого надходження статті до видання: 31.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 09.11.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0