

ТОКСИКОЛОГІЧНИЙ ТА ГІГІЄНИЧНИЙ АНАЛІЗ ОЧИЩЕНОЇ ПИТНОЇ ВОДИ ДЛЯ БЕЗПЕЧНОГО ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ

TOXICOLOGICAL AND HYGIENIC ANALYSIS OF TREATED DRINKING WATER FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY IN FIELD CONDITIONS OF THE NATIONAL GUARD OF UKRAINE

Володимир Андронов, головний науковий співробітник, д. т. н., професор, e-mail: va_andronov@ukr.net, Національна академія національної гвардії України, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7486-482X>

Юлія Данченко, завідувач кафедри фундаментальних дисциплін, д. т. н., професор, e-mail: yuliyadanchenko7@gmail.com, Національна академія національної гвардії України, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3865-2496>

<https://doi.org/10.32447/bcet.2025.03>

Анотація. Токсикологічні та гігієнічні дослідження очищеної питної води для потреб Національної гвардії України проведені у відповідності до науково-технічної роботи на замовлення Національної академії Національної гвардії України на тему «Науково-практичні основи безпечного питного водопостачання в польових умовах Національної гвардії України», державний реєстраційний номер 0125U000163. Встановлено, що природна вода зі свердловини (очисна станція в західному регіоні) не може бути використана для питного водопостачання, оскільки не відповідає за деякими показниками гігієнічних вимог: вмістом нітратів та важких металів — кадмію, свинцю, нікелю. За іншими двадцятьма показниками, за якими проводилось дослідження, вода зі свердловини відповідає нормам. Для отримання питної води, яка призначена для використання в польових умовах військовослужбовцями Національної гвардії України, обрано низку методів очистки та знезараження: грубу очистку від механічних домішок, іонний обмін, пом'якшення, зворотній осмос та обробка ультрафіолетовим випромінюванням. Аналізом показано, що використання фільтрів грубої очистки, іонного обміну з використанням Na-катіоніту та пом'якшення недостатньо для отримання якісної питної води. Після такої обробки вода не відповідає нормам за чотирма показниками: вмісту нітратів, кадмію, нікелю та свинцю. Показано, що іонний обмін на поверхні Na-катіоніту відбувається головним чином за рахунок іонів кальцію та магнію. Встановлено, що використання іонного обміну в існуючому технологічному процесі очищення є недоцільним, оскільки не дозволяє видалити з води важкі метали, а з іншого боку збіднює воду на корисні для людини елементи — іони кальцію та магнію. Для отримання якісної питної води було використано мембранний метод очистки — зворотній осмос. Встановлено, що після обробки зворотнім осмосом, отримана питна вода відповідає всім гігієнічним нормам, окрім водневого показника, який дорівнює $\text{pH}=5,55$. Крім того, встановлено, що ця вода характеризується низьким солевмістом, суттєво зменшився вміст сухого залишку (з 720 до 54 мг/дм³), кальцію (з 164 до 4 мг / дм³), гідрокарбонатів (з 439 до 20 мг / дм³) та магнію (з 5 до 0,2 мг / дм³), що є неприпустимим для якісної питної води, оскільки при постійному вживанні ця вода негативно впливає на здоров'я людини. Встановлено, що для одержання якісної питної води, безпечної для організму людини, необхідно удосконалення існуючого технологічного процесу очистки: по-перше,

видалення ланки іонного обміну з використанням Na-катіоніту, а по-друге, додавання ланки додаткової мінералізації після повного циклу очищення. В роботі наведені актуальні способи додаткової мінералізації для покращення якості та безпечного водопостачання в польових умовах Національної гвардії України.

Ключові слова: очищення води, безпечне водопостачання, гігієнічні вимоги, токсикологічний аналіз, зворотній осмос, іонний обмін, мінералізація.

Abstract. Toxicological and hygienic studies of purified drinking water for the needs of the National Guard of Ukraine were conducted in accordance with the scientific and technical work commissioned by the National Academy of the National Guard of Ukraine on the topic “Scientific and practical foundations of safe drinking water supply in field conditions of the National Guard of Ukraine”, state registration number 0125U000163. It has been established that natural water from a well (treatment plant in the western region) cannot be used for drinking water supply, as it does not meet some hygiene requirements: nitrate content, as well as the content of heavy metals — cadmium, lead, nickel. According to the other twenty indicators for which the study was conducted, the water from the well meets the standards. To obtain drinking water intended for use in field conditions by servicemen of the National Guard of Ukraine, a number of purification and disinfection methods were selected: rough cleaning from mechanical impurities, ion exchange, softening, reverse osmosis and ultraviolet radiation treatment. The analysis showed that the use of coarse cleaning filters, ion exchange using Na-cationite and softening is not enough to obtain high-quality drinking water. After such treatment, the water does not meet the standards for four indicators: the content of nitrates, cadmium, nickel and lead. It was shown that ion exchange on the surface of Na-cationite occurs mainly due to calcium and magnesium ions. It was established that the use of ion exchange in the existing technological purification process is impractical, since it does not allow removing heavy metals from water, and on the other hand, it depletes water of elements useful for humans - calcium and magnesium ions. To obtain high-quality drinking water, a membrane purification method was used - reverse osmosis. It was found that after treatment with reverse osmosis, the obtained drinking water meets all hygienic standards, except for the hydrogen indicator, which is equal to $\text{pH} = 5.55$. In addition, it was found that this water is characterized by a low salt content, the content of dry residue has significantly decreased (from 720 to 54 mg / dm³), calcium (from 164 to 4 mg / dm³), hydrocarbonates (from 439 to 20 mg / dm³) and magnesium (from 5 to 0.2 mg / dm³), which is unacceptable for high-quality drinking water, since with constant use this water negatively affects human health. It has been established that in order to obtain high-quality drinking water that is safe for the human body, it is necessary to improve the existing technological purification process: first, removing the ion exchange link using Na-cationite, and second, adding an additional mineralization link after the full purification cycle. The paper presents current methods of additional mineralization to improve the quality and safe water supply in the field conditions of the National Guard of Ukraine.

Keywords: water purification, safe water supply, hygiene requirements, toxicological analysis, reverse osmosis, ion exchange, mineralization.

1. ВСТУП

Аналіз становища водопостачання Сил оборони України під час повномасштабної російсько-української війни показує, що всебічне бойове забезпечення військовослужбовців Національної гвардії України (НГУ), а саме, забезпечення якісною питною водою в необхідній кількості, є

надзвичайно важливою задачею та навіть умовою боєздатності військ в польових умовах⁴⁴. Складні кліматичні умови ведення бойових дій, недостатня водозабезпеченість, погіршення санітарно-епідеміологічної обстановки джерел водозабезпечення в прифронтовій зоні, ускладнення логістики призводить до збільшення потреб військ у питній воді втричі^{45,46}. Технологія очистки, водопідготовки, зберігання та транспортування чистої питної води в пластиковій тарі до місця дислокації безпосередньо зумовлюють якість та безпечність, токсикологічні та органоліптичні властивості води, яку отримують військовослужбовці в польових умовах.

На якість та безпечність питної води впливають наступні фактори: технологічний процес очистки (водопідготовки), хімічна природа пластику тари, термін та умови зберігання в тарі – освітленість, температура, механічні навантаження. В теперішній час фасована питна вода, яку використовують в підрозділах НГУ поза межами постійної дислокації, отримується очищенням природної води зі свердловин та транспортується в одноразових бутлях 1,5, 5,0 та 10 літрів з поліетилентерефталату (PET). У розпорядженні НГУ в наявності п'ять очисних станцій для одержання питної води, які розташовані в Північному, Східному та Західному регіонах країни та майже повністю забезпечують потреби у питній воді Північний і Західний регіони та частково Східний регіон. На типових очисних станціях очищену воду розливають у одноразові бутлі. Після використання тара підлягає утилізації. Враховуючи великі обсяги тари, це є економічно недоцільним, а також має шкідливі наслідки для навколишнього середовища. Очищену воду отримують шляхом обробки з використанням технології, яка включає очистку вихідної води зі свердловини від механічних домішок (груба очистка), установку іонного обміну з використанням Na-катіоніту, стадію пом'якшення (додавання хімічних реагентів), установку зворотного осмосу та стадію знезараження ультрафіолетовим випромінюванням.

Метою цього дослідження є токсикологічний і гігієнічний аналіз, органоліптичні властивості очищеної питної води, яка постачається в підрозділи НГУ для використання в польових умовах. Також на основі отриманих результатів з урахуванням властивостей вихідної природної води, що обробляється, і властивостей очищеної води, визначити шляхи удосконалення існуючої технології очищення, що розташована в західному регіоні України.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

З метою встановлення ефективності кожного з етапів існуючої технології очищення природної води в західному регіоні, були обрані три проби води: вода природна зі свердловини неочищена, вода очищена від механічних домішок, оброблена іонообмінною смолою та пом'якшена; вода очищена методом зворотного осмосу. Проби води досліджувались на відповідність нормам за 25 токсикологічними і органоліптичними показниками. Умови довкілля під час проведення випробувань були наступні: температура повітря +21,0 °C - +23,0 °C; вологість повітря 55,0% - 72,0%. Випробування проб води були проведені на відповідність вимогам

⁴⁴ Я Король та інші, «Проблемні питання водопостачання підрозділів сухопутних військ Збройних сил України в польових умовах» (2019) № 3(81) *Збірник наукових праць НАДПСУ. Серія: Військові та технічні науки* 376 https://periodica.nadpsu.edu.ua/index.php/military_tech/article/download/482/463

⁴⁵ О В Лотоцька та інші, «Гігієнічні проблеми водопостачання у Тернопільській області» (2028) № 1(85) *Довкілля та здоров'я* 36 <https://cyberleninka.ru/article/n/gigienichni-problemi-vodopostachannya-u-ternopilskiy-oblasti/viewer>

⁴⁶ В В Снітинський та інші, «Сучасний стан та екологічні проблеми водних ресурсів України» (2014) Т 4 № 1 *Науково-технічний журнал: журнал агробіології та екології* 9 <http://lnau.lviv.ua/lnau/files/visnuku/jurnal%20agrobiologii%20ta%20ekologii.pdf#page=11>

нормативних документів ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»^{47,48}.

Для досліджень використовувались наступні прилади:

- ваги електронні марки Pioneer PA 214C;
- рН-метр марки AD 1030 (Угорщина);
- спектрофотометр марки E-1000V (США);
- спектрофотометр атомно-абсорбційний марки C-115M1 (Україна);
- хроматограф газовий марки «Кристалл 2000»;
- стерилізатор сухоповітряний марки ШСС-40;
- комплект діагностичний з мікроскопом лабораторним марки «Мікмед-6».

При інтерпретації отриманих результатів було застосовано «правило прийняття рішення» з урахуванням розширеної невизначеності вимірювань ($U, \%, k=2, p=0,95$).

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

В результаті проведення досліджень токсикологічних та органоліптичних властивостей неочищеної природної води зі свердловини були отримані наступні показники, які представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Токсикологічна та гігієнічна характеристика неочищеної природної води зі свердловини

Показник, од. вимірювання	Норма	Значення показника	Невизначеність вимірювання, U, %	Метод визначення	Відповідність нормі
Органоліптичні властивості					
Запах при 20°C	<3	0	-	ДСТУ EN 1420-1	відповідає
при 60°C	<3	0	-		
Смак та присмак, бали	<3	1	-	ДСТУ EN 1420-1	відповідає
Забарвленість, градуси	<10	<2	5,0	ДСТУ EN ISO 7887	відповідає
Показники, які впливають на органоліптичні властивості					
Водневий показник рН, од. рН	6,5-8,5	7,27	5,0	ДСТУ 4077	відповідає
Залізо загальне, мг / дм ³	<1,2	0,13	25,0	ДСТУ ISO 6332	відповідає
Жорсткість загальна, ммоль / дм ³	<10,0	8,6	5,0	ДСТУ ISO 6059	відповідає
Кальцій, мг / дм ³	Не визначається	164,32	5,0	ДСТУ ISO 6058	-
Магній, мг / дм ³	Не визначається	4,86	5,0	ДСТУ ISO 6059	-
Гідрокарбонати, мг / дм ³	Не визначається	439,0	5,0	МБ 1.5-02010793:2019	-
Марганець, мг / дм ³	<0,5	<0,01	18,0	МБ 1.15-02010793:2021	відповідає
Мідь, мг / дм ³	не визначається	0,009	18,0	МБ 31.2-02010793:2023	-

⁴⁷ ДСанПіН 2.2.4-171-10, Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною, Наказ МОЗ України № 400 від 12.05.2010 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>

⁴⁸ ДСТУ 7525:2014, Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10672-dstu_voda_pytna.pdf

Продовження таблиці 1

Показник, од. вимірювання	Норма	Значення показника	Невизначеність вимірювання, U, %	Метод визначення	Відповідність нормі
Показники, які впливають на органоліптичні властивості					
Сульфати, мг / дм ³	<500	10,0	5,0	МВ 1.16-02010793:2021	відповідає
Поліфосфати, мг / дм ³	не визначається	<0,01	16,0	МВ 1.10-02010793:2021	-
Хлориди, мг / дм ³	<350	44,0	5,0	ДСТУ ISO 9297	відповідає
Цинк, мг / дм ³	не визначається	0,033	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	-
Натрій, мг / дм ³	не визначається	7,5	15,0	МВ 1.14-02010793:2019	-
Сухий залишок, мг / дм ³	<1500	720,0	5,0	МВ 1.17-02010793:2021	-
Токсикологічні показники					
Кадмій, мг / дм ³	не визначається	0,0038	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	-
Свинець, мг / дм ³	не визначається	0,028	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	-
Нікель, мг / дм ³	не визначається	0,22	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	-
Нітрати, мг / дм ³	<50	53,2	25,0	МВ 1.9-02010793:2019	не відповідає
Нітрити, мг / дм ³	<3,3	<0,003	25,0	МВ 1.19-02010793:2021	відповідає
Хром загальний, мг / дм ³	не визначається	<0,02	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	-

Окрім неорганічних показників, представлених у табл. 1, був визначений вміст деяких токсичних органічних речовин: нафтопродукти <0,01 мг / дм³, аніонні поверхнево-активні речовини (АПАР) <0,05 мг / дм³, пестициди (сума – алдрин, ГХЦГ (сума ізомерів), ГХЦГ (гама-ізомер), гептахлор, 4,4'-ДДТ; 4,4'-ДДЕ, 4,4'-ДДД) <0,0001 мг / дм³. Визначено, що вміст цих речовин відповідає встановленим нормам.

Аналізуючи отримані результати можна стверджувати наступне. Вода зі свердловини неочищена за токсикологічними та органоліптичними показниками не відповідає нормам, які пред'являються для питної води. По-перше, природна вода містить високу кількість нітратів (53,2 мг / дм³), а по-друге, до складу входять важкі метали: кадмій (0,0038 мг / дм³), нікель (0,22 мг / дм³), свинець (0,028 мг / дм³) та цинк (0,033 мг / дм³). Перевищення вмісту важких металів у воді, а саме, нікелю, кадмію, свинцю небезпечний тим, що, потрапляючи в організм, вони не тільки накопичуються в нирках, печінці та інших органах, а й порушують обмін речовин. Іони важких металів засмічують нирки й печінку і ці органи перестають виконувати функції фільтра. Внаслідок цього з організму не виводяться токсини. Наслідки накопичення в організмі важких металів можуть бути найсерйознішими, аж до спадкових мутацій. *Вода, забруднена нітратами, надзвичайно небезпечна для організму, а особливо для дітей у перші місяці життя. Нітрати малотоксичні, але в організмі під впливом кишкової мікрофлори здатні відновлюватись у нітрити. Одним з основних механізмів токсичної дії нітритів є перетворення гемоглобіну в метгемоглобін.*

Отже, для використання природної води зі свердловини необхідним є використання сучасних технологій очистки з метою доведення до встановлених гігієнічних норм, які пред'являються до питної води.

Існуюча станція очистки природної води для потреб НГУ в західному регіоні включає декілька основних стадій: фільтрування з використанням фільтрів грубої очистки, іонний обмін на поверхні На-катионіту, хімічне пом'якшення (додавання таблетованої солі – натрію хлориду кількістю 3000 мг / дм³), мембранна очистка зворотнім осмосом, знезараження УФ-випромінюванням. Для встановлення ефективності кожного з етапів очистки, були досліджені зразки природної води після обробки фільтрами грубої очистки, іонним обміном та хімічним пом'якшенням. Одержані результати представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Токсикологічна та гігієнічна характеристика природної води, обробленої методами грубої очистки, іонним обміном та хімічним пом'якшенням

Показник, од. вимірювання	Норма	Значення показника	Невизначеність вимірювання, U, %	Метод визначення	Відповідність нормі
Органоліптичні властивості					
Запах при 20°C при 60°C	<0 <1	0 0	-	ДСТУ EN 1420-1	відповідає
Смак та присмак, бали	0	0	-	ДСТУ EN 1420-1	відповідає
Забарвленість, градуси	<10	<2	5,0	ДСТУ EN ISO 7887	відповідає
Показники, які впливають на органоліптичні властивості					
Водневий показник рН, од. рН	6,5-8,5	7,16	5,0	ДСТУ 4077	відповідає
Залізо загальне, мг / дм ³	<1,2	0,14	25,0	ДСТУ ISO 6332	відповідає
Жорсткість загальна, ммоль / дм ³	<7,0	0,3	5,0	ДСТУ ISO 6059	відповідає
Кальцій, мг / дм ³	<130	6,01	5,0	ДСТУ ISO 6058	відповідає
Магній, мг / дм ³	<80	0,2	5,0	ДСТУ ISO 6059	відповідає
Гідрокарбонати, мг / дм ³	Не визначається	463,6	5,0	МВ 1.5-02010793:2019	-
Марганець, мг / дм ³	<0,05	<0,01	18,0	МВ 1.15-02010793:2021	відповідає
Мідь, мг / дм ³	<1,0	0,025	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає
Сульфати, мг / дм ³	<250	5,0	5,0	МВ 1.16-02010793:2021	відповідає
Поліфосфати, мг / дм ³	<0,6	<0,01	16,0	МВ 1.10-02010793:2021	відповідає
Хлориди, мг / дм ³	<250	40,0	5,0	ДСТУ ISO 9297	відповідає
Цинк, мг / дм ³	<1,0	0,045	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає
Натрій, мг / дм ³	<200	56,0	15,0	МВ 1.14-02010793:2019	відповідає
Сухий залишок, мг / дм ³	<1000	638,0	5,0	МВ 1.17-02010793:2021	відповідає
Токсикологічні показники					
Кадмій, мг / дм ³	<0,001	0,0018	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	не відповідає

Продовження таблиці 2

Показник, од. вимірювання	Норма	Значення показника	Невизначеність вимірювання, U, %	Метод визначення	Відповідність нормі
Токсикологічні показники					
Свинець, мг / дм ³	<0,01	0,014	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	не відповідає
Нікель, мг / дм ³	<0,02	0,03	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	не відповідає
Нітрати, мг / дм ³	<10	65,17	25,0	МВ 1.9-02010793:2019	не відповідає
Нітриди, мг / дм ³	<0,1	<0,003	25,0	МВ 1.19-02010793:2021	відповідає
Хром загальний, мг / дм ³	<0,05	<0,02	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає

Вміст токсичних органічних речовин: нафтопродукти <0,01 мг / дм³, аніонні поверхнево-активні речовини (АПАР) <0,05 мг / дм³, пестициди (сума – алдрин, ГХЦГ (сума ізомерів), ГХЦГ (гама-ізомер), гептахлор, 4,4'-ДДТ; 4,4'-ДДЕ, 4,4'-ДДД) <0,0001 мг / дм³ відповідає встановленим нормам.

Аналізуючи результати, представлені в табл. 2, можна стверджувати, що, з одного боку, вказані методи обробки дозволили покращити органоліптичні властивості води, а саме, прибрати смак та присмак (0 балів) та зменшити вміст деяких важких металів. Так, удвічі зменшився вміст кадмію – з 0,0038 до 0,0018 мг / дм³ та свинцю – з 0,028 до 0,014 мг / дм³, майже в 7 разів зменшився вміст нікелю – з 0,22 до 0,3 мг / дм³. Однак, ефективність цих методів виявилась недостатньою, оскільки вміст важких металів в обробленій воді все одно перевищує встановлені норми.

В той же час є і небажані результати обробки природної води методами іонного обміну та хімічного пом'якшення. А саме, майже в 27 разів зменшилися показники жорсткості загальної – з 8,6 до 0,3 ммоль / дм³ та кальцію – з 164,3 до 6 мг / дм³, у 24 рази зменшився вміст магнію – з 4,86 до 0,2 мг / дм³. Ці показники не перевищували норми у вихідній воді зі свердловини, а зменшення концентрації кальцію і магнію є небажаним, оскільки це мікроелементи, які є корисними для організму людини і мають бути у складі питної води для щоденного споживання.

Враховуючи той факт, що вміст хлоридів після обробки майже не змінився (40 мг / дм³), можна стверджувати, що в даному випадку таблетовану сіль не додавали (при додаванні натрію хлориду в кількості 3000 мг / дм³ у воду потрапляє натрію близько 1180 мг / дм³ та хлоридів близько 1820 мг / дм³). Отже, збільшення вмісту натрію більше ніж у 7 разів після обробки (з 7,5 до 56 мг / дм³) можна пов'язувати з іонним обміном з використанням Na-катиону. І більша частина іонообмінних процесів пов'язана з видаленням іонів кальцію та магнію. Частково видаляються важкі метали кадмій, нікель, свинець. При цьому кількість нітратів у воді навіть збільшується (з 53 до 65 мг / дм³). У випадку використання таблетованої солі натрій хлориду окрім того, що у воду потрапляє велика кількість хлоридів, які здатні видалити з води тільки свинець у вигляді малорозчинного плюмбум хлориду. При цьому нікель хлорид та кадмій хлорид є розчинними солями і не видаляються при такому способі пом'якшення. З іншого боку, додавання таблетованої солі дозволяє частково регенерувати Na-катионіт та збільшити ресурс іонообмінної стадії очистки.

Враховуючи вищезначене можна стверджувати, що для встановлення доцільності та ефективності застосування стадій іонного обміну та хімічного пом'якшення, а також визначення раціональної кількості таблетованої солі, яка додається на цьому етапі очистки, потребує подальших досліджень та випробувань. Встановлено, що цих методів недостатньо для очистки природної води зі свердловини та отримання питної води, яка відповідає встановленим нормам.

Для отримання якісної та безпечної питної води, до складу очисної станції входить стадія мембранної очистки методом зворотнього осмосу. Було проведено дослідження проби води після мембранної очистки та знезараження. Деякі отримані результати представлені у табл. 3.

Таблиця 3

Токсикологічна та гігієнічна характеристика очищеної природної води

Показник, од. вимірювання	Норма	Значення показника	Невизначеність вимірювання, U, %	Метод визначення	Відповідність нормі
Органоліптичні властивості					
Запах при 20°C	<0	0	-	ДСТУ EN 1420-1	відповідає
при 60°C	<1	0			
Смак та присмак, бали	0	0	-	ДСТУ EN 1420-1	відповідає
Забарвленість, градуси	<10	<2	5,0	ДСТУ EN ISO 7887	відповідає
Показники, які впливають на органоліптичні властивості					
Водневий показник рН, од. рН	6,5-8,5	5,55	5,0	ДСТУ 4077	не відповідає
Залізо загальне, мг / дм ³	<0,2	0,1	25,0	ДСТУ ISO 6332	відповідає
Жорсткість загальна, ммоль / дм ³	<7,0	0,2	5,0	ДСТУ ISO 6059	відповідає
Кальцій, мг / дм ³	<130	4,0	5,0	ДСТУ ISO 6058	відповідає
Магній, мг / дм ³	<80	0,2	5,0	ДСТУ ISO 6059	відповідає
Гідрокарбонати, мг / дм ³	Не визначається	19,5	5,0	МВ 1.5-02010793:2019	-
Марганець, мг / дм ³	<0,05	<0,01	18,0	МВ 1.15-02010793:2021	відповідає
Мідь, мг / дм ³	<1,0	0,12	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає
Сульфати, мг / дм ³	<250	5,0	5,0	МВ 1.16-02010793:2021	відповідає
Поліфосфати, мг / дм ³	<0,6	<0,01	16,0	МВ 1.10-02010793:2021	відповідає
Хлориди, мг / дм ³	<250	3,0	5,0	ДСТУ ISO 9297	відповідає
Цинк, мг / дм ³	<1,0	0,11	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає
Сухий залишок, мг / дм ³	<1000	54,0	5,0	МВ 1.17-02010793:2021	відповідає
Токсикологічні показники					
Кадмій, мг / дм ³	<0,001	<0,001	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає
Свинець, мг / дм ³	<0,01	<0,01	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає
Нікель, мг / дм ³	<0,02	0,01	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає
Нітрати, мг / дм ³	<10	8,47	25,0	МВ 1.9-02010793:2019	відповідає
Нітриди, мг / дм ³	<0,1	<0,003	25,0	МВ 1.19-02010793:2021	відповідає
Хром загальний, мг / дм ³	<0,05	<0,02	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає

Аналізуючи результати, представлені в табл. 2, можна стверджувати, що використання мембранної очистки дозволяє отримати питну воду, яка за органоліптичними властивостями майже повністю відповідає встановленим нормам та не містить токсичних компонентів в неприпустимих кількостях. В той же час отриману воду не можна визначати як якісну та безпечну для питного водопостачання. Це пов'язано з тим, що, по-перше, очищена вода не відповідає встановленим нормам за водневим показником ($\text{pH}=5,55$), а по-друге, очищена вода характеризується неприпустимо низьким солевмістом та інших корисних мікроелементів – сухий залишок 54 мг / дм^3 , вміст кальцію – 4 мг / дм^3 , магнію – $0,2 \text{ мг / дм}^3$, гідрокарбонатів – $19,5 \text{ мг / дм}^3$, сульфатів – 5 мг / дм^3 , хлоридів – 3 мг / дм^3 .

Вважається, що якість та безпечність питної води, яку людина може вживати щоденно, визначається деяким оптимальним вмістом загальної кількості солей та деяких корисних мікроелементів^{49,50}. Так, мінімальним значенням сухого залишку у питній воді в країнах Східної Європи вважається значення 100 мг / дм^3 , для хлорсульфатних вод це значення має бути в діапазоні $200\text{--}400 \text{ мг / дм}^3$, а для гідрокарбонатних вод – в діапазоні $250\text{--}500 \text{ мг / дм}^3$. Оптимальним вмістом натрію у питній воді вважається значення 50 мг / дм^3 (у країнах Східної Європи) та 200 мг / дм^3 (за рекомендацією ВООЗ). Оптимальним вмістом кальцію у питній воді вважається 30 мг / дм^3 (у країнах Східної Європи), 20 мг / дм^3 (у Німеччині), має бути в діапазоні $60\text{--}125 \text{ мг / дм}^3$ (у Великій Британії). Оптимальним вмістом магнію у питній воді вважається значення 10 мг / дм^3 (у країнах Східної Європи), має бути в діапазоні $50\text{--}100 \text{ мг / дм}^3$ (у Великій Британії). Відомо, що постійне вживання питної води з недостатнім солевмістом може призводити до порушення водно-солевого балансу в організмі людини, зростання кількості серцево-судинних та інших захворювань. Тому, стає очевидним, що питна вода, отримана після мембранної очистки зворотнім осмосом потребує додаткової обробки з метою коригування мінерального складу.

Мінералізацію очищеної води можна забезпечити декількома способами: додаванням розчинних твердих солей або концентрованих розчинів або пропусканням води через природні джерела розчинних мінералів (мармур, вапняк, доломіт). Ці методи дозволяють скоригувати вміст мікроелементів, а також привести до норми водневий показник pH . Отже, додаткова мінералізація очищеної води є обов'язковою стадією на станціях очищення, оскільки дозволяє отримати питну воду належної якості для безпечного водопостачання в польових умовах Національної гвардії України.

4. ВИСНОВКИ

У результаті досліджень було встановлено:

- вода зі свердловини, яка розташована в західному регіоні України, неочищена за токсикологічними та органоліптичними показниками не відповідає нормам, які пред'являються для питної води: містить високу кількість нітратів ($53,2 \text{ мг / дм}^3$) та важких металів — кадмію ($0,0038 \text{ мг / дм}^3$), нікелю ($0,22 \text{ мг / дм}^3$), свинцю ($0,028 \text{ мг / дм}^3$) та цинку ($0,033 \text{ мг / дм}^3$);
- існуюча станція очистки природної води для потреб НГУ в західному регіоні, яка потребує додаткових досліджень щодо встановлення ефективності, включає декілька основних стадій: фільтрування від механічних домішок (груба очистка), іонний обмін з використанням Na-катионіту, хімічне пом'якшення (додавання таблетованої солі – натрію хлориду в кількості 3000 мг / дм^3), мембранна очистка зворотнім осмосом, знезараження УФ-випромінюванням;

⁴⁹ М Т Брик, «Питна вода і мембранні технології (огляд)» (2000) Т 18 *Наукові записки НаУКМА. Хімічні науки* 4 <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/f678d5b8-c97f-48a9-ad2c-641144f93636/content>

⁵⁰ М В Кравченко та інші, «Застосування методу зворотного осмосу для доочистки питної води» (2021) № 4(40) *Екологічна безпека та природокористування* 32 <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.4.32-45>

- обробка води методом іонного обміну дозволила покращити органоліптичні властивості води, а саме, прибрати смак та присмак (0 балів), а також зменшити вміст деяких важких металів: удвічі зменшився вміст кадмію – з 0,0038 до 0,0018 мг / дм³ та свинцю – з 0,028 до 0,014 мг / дм³, майже в 7 разів зменшився вміст нікелю – з 0,22 до 0,3 мг / дм³; ефективність іонного обміну з використанням Na-катіоніту виявилась недостатньою, оскільки вміст важких металів в обробленій воді залишився неприпустимим;

- після обробки природної води методом іонного обміну майже в 27 разів зменшились показники жорсткості загальної – з 8,6 до 0,3 ммоль / дм³ та кальцію – з 164,3 до 6 мг / дм³, у 24 рази зменшився вміст магнію – з 4,86 до 0,2 мг / дм³, показники, що не перевищували норми у вихідній воді зі свердловини, а зменшення концентрації кальцію і магнію є небажаним, оскільки це мікроелементи, які є корисними для організму людини і мають бути у складі питної води для щоденного споживання;

- після обробки вміст хлоридів майже не змінився (40 мг / дм³), отже, що в даному випадку таблетовану сіль не додавали (при додаванні натрію хлориду в кількості 3000 мг / дм³ у воду потрапляє натрію близько 1180 мг / дм³ та хлоридів близько 1820 мг / дм³); збільшення вмісту натрію більше ніж у 7 разів після обробки (з 7,5 до 56 мг / дм³) пов'язано з іонним обміном з використанням Na-катіоніту, а більша частина іонообмінних процесів пов'язана з видаленням іонів кальцію та магнію та частково з видаленням важких металів;

- для встановлення доцільності та ефективності застосування стадій іонного обміну та хімічного пом'якшення, а також визначення раціональної кількості таблетованої солі, яка додається на цьому етапі очистки, потребує подальших досліджень та випробувань; використання цих методів недостатньо для очистки природної води зі свердловини та отримання питної води, яка відповідає встановленим нормам;

- використання мембранної очистки зворотнім осмосом дозволяє отримати очищену питну воду, яка за органоліптичними властивостями майже повністю відповідає встановленим нормам та не містить токсичних компонентів в неприпустимих кількостях;

- очищену воду не можна визначати як якісну та безпечну для питного водопостачання, оскільки, по-перше, очищена вода не відповідає встановленим нормам за водневим показником (рН=5,55), а по-друге, характеризується неприпустимо низьким солевмістом та інших корисних мікроелементів – сухий залишок 54 мг / дм³, вміст кальцію – 4 мг / дм³, магнію – 0,2 мг / дм³, гідрокарбонатів – 19,5 мг / дм³, сульфатів – 5 мг / дм³, хлоридів – 3 мг / дм³;

- зважаючи на те, що постійне вживання питної води з недостатнім солевмістом може призводити до порушення водно-сольового балансу в організмі людини, зростання кількості серцево-судинних та інших захворювань, стає очевидним, що питна вода, отримана після мембранної очистки зворотнім осмосом потребує додаткової обробки з метою коригування мінерального складу.

Висловлюємо подяку Тетяні Зозуляк, доктору біологічних наук, старшому науковому співробітнику, керівниці центральної науково-дослідної лабораторії та лабораторії промислової токсикології Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького, за допомогу в проведенні токсикологічного та гігієнічного аналізу проб води.