УДК 628.16.067 https://doi.org/10.31713/vt120223

Олійник Т. П., к.т.н., доцент, Маковецька О. О., асистент, Кириленко Г. А., асистент (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса), **Клімов С. В., к.т.н. доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, s.v.klimov@nuwm.edu.ua)

ЗАСТОСУВАННЯ ЗВОРОТНООСМОТИЧНИХ МЕМБРАН ДЛЯ ДООЧИЩЕННЯ ВОДОПРОВІДНОЇ ВОДИ

Наведено аналіз стану природних водойм України як джерел питного водопостачання. Показано, що якість їх води не відповідає вимогам нормативних документів у більшості областей. Високий рівень антропогенного забруднення природних джерел не забезпечує очищення води до сучасних стандартів при використанні традиційних схем та прийнятих технологій водопідготовки. Проаналізовано сучасні проблеми забезпечення південно-західного регіону Одещини якісною питною водою. Відзначено, що реагентне знезараження води хлорагентами є основним джерелом утворення токсичних хлорорганічних сполук (тригалометани, чотирихлористий вуглець тощо) у питній воді. При цьому кількісний вміст легколетких галогенпохідних сполук, що утворилися, має тенденцію до зростання.

Сучасні високоефективні технології доочищення води з використанням мембранних фільтрів є надійним бар'єром від цих домішок. У роботі розглянуто актуальне науково-практичне завдання щодо обґрунтування впровадження зворотноосмотичних локальних водоочисних пристроїв для доочищення питної води. Проведено порівняльний аналіз складу водопровідної води та доочищеної води після двох типів побутових установок із зворотноосмотичними мембранами. Встановлено, що обидва фільтри ефективно очищають водопровідну воду від хлору, органічних речовин та мінеральних домішок.

Зроблено висновок, що якість води, одержаної із застосуванням мембранних технологій, відповідає вимогам для питної води за компонентами, що утворилися у воді після традиційної схеми водопідготовки. Отримані результати досліджень свідчать, що впровадження сучасних

ресурсозберігаючих технологій для доочищення питної води дозволить вирішити задачу кондиціювання водопровідної води.

Ключові слова: **антропогенне забруднення; очищення; доочищення; зворотноосмотична установка; мембрана; селективність; якість води.**

Постановка проблеми. З огляду на антропогенне забруднення природних водойм України якість їх вод не відповідає нормативам для джерел водопостачання. Основні причини забруднення поверхневих вод – це надходження безпосередньо у водні об'єкти або через міську каналізацію забруднених комунальних, промислових стічних вод та стоків із сільськогосподарських угідь. За таких умов традиційні схеми очисних споруд та прийняті технології водопідготовки не здатні очистити воду до сучасних стандартів [1].

Вся без винятку південна частина Одеської області страждає від нестачі чистої питної води [2]. Сьогодні очевидно, що однією з головних економічних проблем південно-західного регіону Одещини є забезпечення населення якісною питною водою. Регіональна програма «Питна вода Одеської області на 2010–2013 та на період до 2020 року» була спрямована на вирішення існуючих проблем щодо забезпечення населених пунктів області якісним водопостачанням. Цілі Програми – покращення забезпечення населення регіону питною водою нормативної якості, реформування та розвиток водопровідно-каналізаційного господарства, підвищення ефективності його роботи та надійності функціонування. Один із напрямків Програми – проведення досліджень з розробки новітніх технологій обробки водопровідної води та застосування локальних установок з доочищення питної води [3].

Актуальність теми. У роботі розглянуто науково-практичне завдання щодо обґрунтування використання сучасних локальних водоочисних пристроїв для кондиціювання питної вод.

Наразі 30–40% досліджених проб одеської питної води за бактеріологічними показниками не відповідають нормативам. Збудники інфекційних захворювань виділено у 0,9% проб. Вірусологічними дослідженнями встановлено наявність у питній воді вірусів гепатиту А, рота- та ентеровірусів. Проблемою є вторинне зараження води, що вже пройшла очищення. Це відбувається через зношену водопровідну мережу міста. Іржаві труби, окисні процеси,

синьо-зелені водорості, постійні пориви трубопроводів – все це призводить до потрапляння забруднюючих речовин у питну воду.

Для знезараження води з р. Дністер, яка є основним джерелом водопостачання для м. Одеса, використовується газоподібний хлор та гіпохлорит натрію (NaClO). Внаслідок хлорування води утворюються хлорорганічні сполуки, тобто канцерогени, леткі вуглеводневі сполуки групи тригалогенметанів (хлороформ, хлордибромметан та ін.). Залишковий хлор поглинається трубами з полівінілхлориду, твердого і м'якого поліетилену, і потім здатний тривалий час (від 2 до 50 діб) десорбуватися в питну воду, підвищуючи в ній вміст розчиненого хлору. Сьогодні надмірне хлорування – це головна проблема одеської води. Саме із постійним споживанням хлорованої води лікарі пов'язують зростання кількості онкологічних захворювань в Одесі. Ризик ураження раком серед споживачів хлорованої води на 93% вище тих, що споживають нехлоровану воду [4].

У науковій літературі наведена інформація про перетворення гумінових (ГК) та фульвокислот (ФК) при обробці природних вод хлоровмісними агентами. Ідентифіковано 2,3,5 хлорпохідні, у тому числі тригалогенметани (ТГМ), що утворюються при обробці гумусовмісних природних вод активним хлором. Багато з цих інгредієнтів мають канцерогенну активність, а також імунотоксичність. Зокрема, доведено здатність хлороформу (ТГМ) до акумуляції живими організмами. Вплив хлороформу на нервову систему загальновідомий, тому розробка ефективних заходів щодо зниження рівня забруднення питної води летючими галогенорганічними сполуками висувається до ряду найважливіших і невідкладних завдань [5].

Погіршує становище з якістю одеської питної води наявність у ній хлоростійких штамів хвороботворних бактерій навіть після очищення води. У водопровідній воді є умовно патогенна синьогнійна паличка (Pseudomonas aeruginosa), виявлення якої є критерієм санітарно-епідеміологічного неблагополуччя [6].

Таким чином, враховуючи кількість нових забруднень, викликаних діяльністю людини, не можна гарантувати, що населення буде забезпечено якісною та безпечною для здоров'я питною водою навіть після проведення заходів з водопідготовки.

Існують різноманітні прийоми обробки води, у тому числі централізованого водопостачання, які дозволяють покращити її

якість та довести до норм, що висуваються до питної води. При виборі того чи іншого методу, споруди або установки з очищення води, необхідно в кожному конкретному випадку враховувати склад вхідної води, задані параметри очищення, кількість води, що очищається, вартість, експлуатаційні витрати та інші обставини [7].

В останні роки в області обробки природних вод широко застосовуються мембранні процеси, оскільки вони мають високі показники видалення забруднюючих речовин і ряд інших переваг. Нанофільтраційні технології, що використовують баромембранні процеси, дозволяють отримати питну воду заданої якості з мінімальними експлуатаційними витратами. Постійне вдосконалення техніки виготовлення мембран та обладнання сприяють поширенню цього методу [8].

Зворотноосмотичні (Reverse osmosis, RO) мембрани є високоселективними для найрізноманітніших видів домішок. Мембрани затримують бактерії та віруси, більшу частину розчинених солей та органічних речовин, пропускаючи лише молекули води, невеликі органічні сполуки та легкі мінеральні солі. У середньому RO мембрани затримують 97–99% розчинених речовин. Системи зворотного осмосу мають цілу низку переваг. Вони здатні працювати 24 години на добу, зручні в експлуатації, вимагають значно менше витратних матеріалів (інгібітори, миючі розчини), мають неагресивні скидні води. До недоліків відносять необхідність якісної попередньої підготовки води перед мембранами [9].

Мембранні установки набули широкого поширення в побуті при доочищенні водопровідної води. Це стало можливим завдяки науковим та технологічним досягненням: мембранні апарати стали дешевшими, зросла їх питома продуктивність, знизився робочий тиск, високий ступінь очищення питної води від домішок.

Однак оскільки RO мембрани характеризуються високим рівнем селективності за всіма іонами, доочищена вода може не відповідати рекомендаціям ДСанПін 2.2.4.-171-10 за показниками фізіологічної придатності питної води. Низький рівень мінералізації несприятливо впливає на здоров'я людини. Відсутність у воді мінеральних солей призводить до зниження осмотичного тиску у клітинах. Кальцій та інші іони є найважливішими елементами питної води [10].

Мета дослідження. З оцінки якості доочищеної питної води (пермеату, permeate) визначити ефективність мембранних методів для доочищення питної води.

Об'єкт дослідження: зворотноосмотичні апарати на основі мембран марки Осмос Е і Leader RO-6.

Предмет дослідження: хімічний склад і показники якості питної та доочищенної води.

Методи дослідження. В дослідженнях використані фізико-хімічні методи, передбачені відповідними нормативними документами. Головні іони (хлориди, кальцій, магній, гідрокарбонати), загальну жорсткість і перманганатну окислюваність визначали титриметричним методом; сульфати – ваговим методом; мінералізацію розраховували як суму головних іонів; натрій – розрахунковим методом. Обробка результатів проводилася за стандартними методиками [11; 12].

Результати досліджень і обговорення. В роботі досліджено якість водопровідної води та зразків водопровідної води, що доочищена на побутових фільтрах зворотноосмотичними системами очищення води Осмос Е (проба № 1) і Leader RO-6 (проба № 2).

Аналіз вхідної питної води за головними іонами, наведений на рис. 1, показав, що фізико-хімічні показники не перевищує допустимих норм для питної води централізованого водопостачання за ДСанПіН 2.2.4-171-10. Однак, за органолептичними показниками відзначено перевищення нормативу по запаху в 1,5 рази. У воді відчувається запах хлору – 3 бали. Вміст залишкового вільного хлору у воді – 0,82 мг/дм^3 при максимальній нормі 0,5 мг/дм^3 [12]. Загальна жорсткість водопровідної води становить 5,25 мг-экв/дм^3, що відповідає воді середньої жорсткості. Перманганатна окиснюваність 4,8 мгО/дм^3, наближається до межі норми 5 мгО/дм^3.

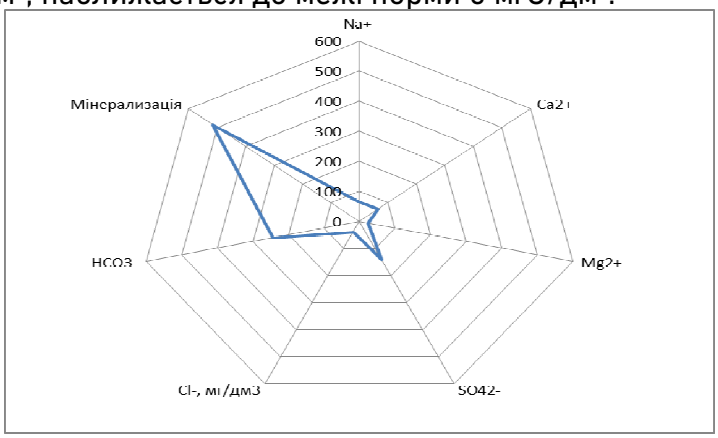

Рис. 1. Склад вхідної питної води

Доочищення води на мембранних установках включає обов'язкову попередню підготовку води, фільтрування через

зворотноосмотичну мембрану, кондиціювання води.

Проба № 1. Система очищення води Осмос Е має 5 стадій очищення води, що відповідає світовим стандартам для зворотноосмотичних систем. Головний елемент системи очищення води Осмос Е – це мембранний елемент FILMTEC (США), який гарантує фільтрацію 99,8% усіх домішок, включаючи бактерії та віруси. Стадії очищення: передфільтр 1 – пористий поліпропіленовий картридж, видаляє механічні домішки пісок, іржу, мул, зважені частинки та ін.; передфільтри 2, 3 – картриджі з активованого вугілля у гранулах та брикетах (Calgon Carbon Corporation, США) захищають мембрану від окислювача; затримують, хлор та хлорорганічні сполуки, механічні частинки розміром більше 1 мкм, органічні домішки; мембрана зворотного осмосу FILMTEC 50GPD (виробництво Dow Chemical, США); посткарбон (AIC 10) – картридж із високоякісного активованого вугілля та шкарлупи кокосового горіха покращує органолептичні властивості води. Продуктивність до 190 л/добу. Оптимальний робочий тиск – 2,8–6 атм. (2,75–5,8 бар).

Проба № 2. Система очищення води Leader RO-6: 6-ступінчаста система глибокого очищення складається з фільтра механічного очищення з розміром пор 5 мікрон; фільтра з активованим гранульованим та пресованим вугіллям; картриджа механічної очистки з розміром пор 1 мікрон; зворотноосмотичної мембрани 75GPD; вугільного постфільтра; фільтра-мінералізатора. Швидкість очищення води – до 284 л/добу. Оптимальний робочий тиск – 2,55–6,1 атм. (2,5–6 бар).

У табл. 1 та на рис. 2 наведено результати дослідження хімічного складу води доочищеної на зворотноосмотичних апаратах Осмос Е та Leader RO-6.

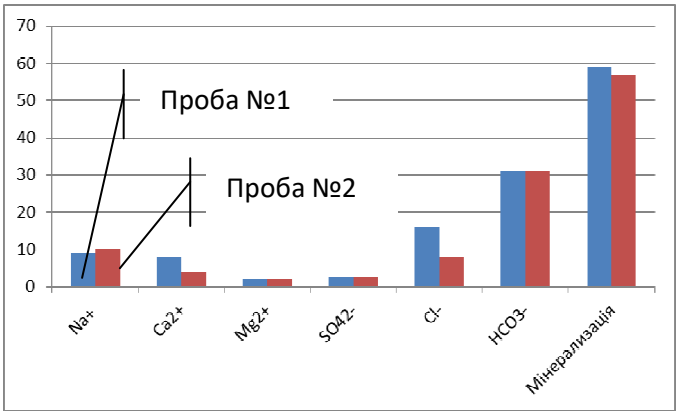

Рис. 2. Склад пермеатів за основними іонами для зразків проб № 1, 2 (мг/дм^3)

Порівняння хімічного складу зразків пермеатів показує, що в результаті очищення води pH змінилося незначно на 4% від 7,5 до 7,1–7,2. За рештою показників спостерігається високий ефект доочищення. Вихідна величина загальної жорсткості (5,65 ммоль/дм^3) після очищення склала 0,35–0,6 ммоль/дм^3, що знаходиться на межі фізіологічно допустимого значення (0,5 ммоль/дм^3). Очищена вода характеризується також значним зниженням окислюваності з 4,8 до 0,2–0,5 мгО/дм^3, кольоровості, запаху. Завислі речовини у пермеаті не виявлені. Залишковий хлор після очищення був відсутній в обох зразках.

Таблиця

Склад пермеатів

Показник	Проба № 1	Проба № 2	ДСанПін 2.2.4.-171-10
pH	7,1	7,2	6,5-8,5
Забарвленість (град)	‹10	‹10	20(35*)
Запах при t 20 °С (балл)	1	1	2
Перманганатна окиснюваність, мгО/дм^3	0,2	0,5	5
Жорсткість, ммоль/дм^3 - загальна - карбонатна - некарбонатна	 0,6 0,5 0,1	 0,35 0,5 0	 7 (10*) - -
Залишковий хлор, мг/дм^3	0	0	0,3-0,5

* - Максимальний рівень застосовується в окремих випадках, що пов'язані з особливими природними умовами та технологією підготовки питної води.

Показники селективності мембран за основними іонами наведені на рис. 3.

Аналіз результатів показує, що селективність мембран показника мінералізація становить 86–89%; для головних іонів – 85–96%; для органічних речовин з перманганатної окиснюваності – 90–95%. Найменша селективність для хлорид-іонів (40%) для зразка 2 після фільтра.

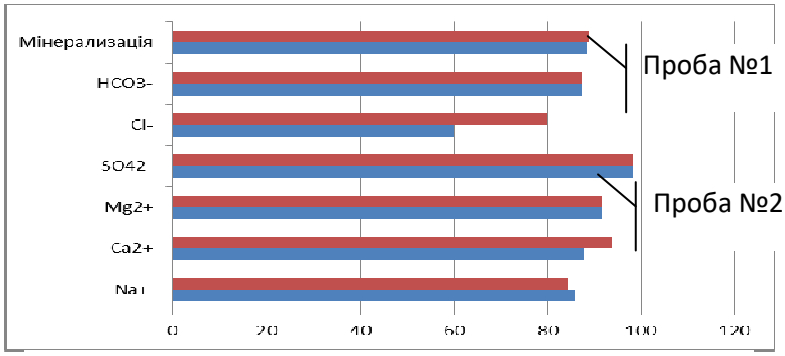

Рис. 3. Селективність (%) мембран за основними іонами

Висновки. При існуючому рівні забруднення природних вод України споруди водопідготовки, на яких використовуються традиційні методи та процеси очищення, не завжди можуть забезпечити необхідний ступінь очищення води.

Розглянуто перспективний метод доочищення питної води та використанням локальних зворотньоосмотичних установок. Аналіз складу доочищеної водопровідної води після зворотноосмотичних мембран за досліджуваними хімічними показниками дозволяє зробити попередній висновок про те, що якість очищеної води відповідає нормам ДСанПін 2.2.4.-171-10. Оцінка ефективності доочищення показує, що обидва фільтри ефективно очищають водопровідну воду від хлору та органічних речовин.

Метод нанофільтрації можна рекомендувати для доочищення питної води. Метод універсальний і ефективніший проти традиційних методів доочистки.

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в України у 2020 році. URL: https://mepr.gov.ua/news/38840.html (дата звернення: 14.03.2022). **2.** Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2020 році. URL: https://mepr.gov.ua/news/38741.html (дата звернення: 09.03.2022). **3.** Про стан виконання регіональної програми «Питна вода Одеської області на 2010-2013 роки і період до 2020 року». URL: https://oblrada.od.gov.ua/blog/pro-stan-vykonannya-regionalnoyi-programy-pytna-voda-odeskoyi-oblasti-na-2010-2013-roky-i-period-do-2020-roku/ (дата звернення: 10.03.2022). **4.** Макотрина Л. В., Зверькова А. С. Влияние обеззараживания питьевой воды хлором на здоровье человека. *Известия*

вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2011. № 1 (1). С. 87–94. **5.** Мокиенко А. В., Петренко Н. Ф., Гоженко А. И. Обеззараживание воды. Гигиенические и медико-экологические аспекты. *Хлор и его соединения*. Одесса : ТЭС, 2011. Т. 1. 484 с. Илл.: ISBN 978-966-2389-30-2. **6.** Можно ли пить одесскую питьевую воду? URL: https://pivdenukraine.com.ua/2019/06/01/mozhno-li-pit-odesskuyu-pitevuyu-vodu/ (дата звернення: 10.03.2022). **7.** Очищення води з природних джерел водопостачання реагентно-баромембранним методом / Шкавро З., Кочкодан В., Бардарска Г., Добрев Х. *Хімічні науки і технології* : наукові записки. Київ : НаУКМА, 2009. Т. 92. С. 28–31. **8.** Гулієнко С. В. Моделювання процесів мембранного розділення : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 166 с. **9.** Гончарук В. В., Кавицкая А. А., Скильская М. Д. Нанофильтрация в питьевом водоснабжении. *Химия и технология воды*. 2011. № 1. Т. 33. С. 63–94. **10.** Збалансованність мінерального складу питних вод як чинник впливу на здоров'я населення міських агломерацій північно – західного Причорномор'я / Сафранов Т. А., Грабко Н. В., Поліщук А. А., Трохименко Г. Г. *Вісн. Одес. держ. екол. Унів.* 2016. № 20. С. 5–17. **11.** ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 20 с. **12.** ДСанПіН 2.2.4.-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної для споживання людиною. Київ : МОЗ України, 2010. Із змінами, згідно з Наказом МОН України № 341 від 18.02.2022. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text (дата звернення: 15.03.2022).

REFERENCES:

1. Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ukrainy u 2020 rotsi. URL: https://mepr.gov.ua/news/38840.html (data zvernennia: 14.03.2022). **2.** Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Odeskii oblasti u 2020 rotsi. URL: https://mepr.gov.ua/news/38741.html (data zvernennia: 09.03.2022). **3.** Pro stan vykonannia rehionalnoi prohramy «Pytna voda Odeskoi oblasti na 2010-2013 roky i period do 2020 roku». URL: https://oblrada.od.gov.ua/blog/pro-stan-vykonannya-regionalnoyi-programy-pytna-voda-odeskoyi-oblasti-na-2010-2013-roky-i-period-do-2020-roku/ (data zvernennia: 10.03.2022). **4.** Makotrina L. V., Zverkova A. S. Vliyanie obezzarajivaniya pitevoy vodyi hlorom na zdorove cheloveka. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvijimost*. 2011. № 1 (1). C. 87–94. **5.** Mokienko A. V., Petrenko N. F., Gojenko A. I. Obezzarajivanie vodyi. Gigienicheskie i mediko-ekologicheskie aspektyi. T. 1. *Hlor i ego soedineniya*. Odessa : TES, 2011. 484 s. Ill.: ISBN 978-966-2389-30-2. **6.** Mojno li pit odesskuyu pitevuyu vodu? URL: https://pivdenukraine.com.ua/2019/06/01/mozhno-li-pit-odesskuyu-

pitevuyu-vodu/ (data zvernennia: 10.03.2022). **7.** Ochyshchennia vody z pryrodnykh dzherel vodopostachannia reahentno-baromembrannym metodom / Shkavro Z., Kochkodan V., Bardarska H., Dobrev Kh. *Khimichni nauky i tekhnolohii* : naukovi zapysky. Kyiv : NaUKMA, 2009. T. 92. S. 28–31. **8.** Huliienko S. V. Modeliuvannia protsesiv membrannoho rozdilennia : navch. posib. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2017. 166 s. **9.** Goncharuk V. V., Kavitskaya A. A., Skilskaya M. D. Nanofiltratsiya v pitevom vodosnabjenii. *Himiya i tehnologiya vodyi*. 2011. № 1. T. 33. S. 63–94. **10.** Zbalansovannist mineralnoho skladu pytnykh vod yak chynnyk vplyvu na zdorovia naselennia miskykh ahlomeratsii pivnichno – zakhidnoho Prychornomoria / Safranov T. A., Hrabko N. V., Polishchuk A. A., Trokhymenko H. H. *Visn. Odes. Derzh. Ekol. Univ*. 2016. № 20. S. 5–17. **11.** DSTU 7525:2014. Voda pytna. Vymohy ta metody kontroliuvannia yakosti. Kyiv : Minekonomrozvytku Ukrainy, 2014. 20 s. **12.** DSanPiN 2.2.4.-171-10. Hihiienichni vymohy do vody pytnoi dlia spozhyvannia liudynoiu. Kyiv : MOZ Ukrainy, 2010. Iz zminamy, zghidno Nakazom MON Ukrainy № 341 vid 18.02.2022. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text (data zvernennia: 10.03.2022).

Oliinyk T. P., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Makovetska O. O., Assistant, Kyrylenko H. A., Assistant (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa), **Klimov S. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, s.v.klimov@nuwm.edu.ua)

APPLICATION OF REVERSE OSMOSIS MEMBRANES FOR TAP WATER PURIFICATION

The analysis of the state of natural reservoirs of Ukraine as sources of drinking water supply is given. It is shown that the quality of their waters does not meet the requirements of regulatory documents in most areas. A high level of anthropogenic pollution of natural sources does not provide water purification up to modern standards when using traditional schemes and accepted water treatment technologies. The modern problems of providing the southwestern region of the Odessa region with high-quality drinking water are analyzed. It is noted that reagent disinfection of water with chlorine agents is the main source of formation of toxic organochlorine

compounds (trihalomethanes, carbon tetrachloride, etc.) in drinking water. At the same time, the quantitative content of the formed volatile halogen derivatives tends to increase.

Modern highly efficient technologies for water purification using membrane filters are a reliable barrier to these impurities. The paper considers an urgent scientific and practical task to justify the introduction of reverse osmosis local water treatment devices for the post-treatment of drinking water. A comparative analysis of the composition of tap water and additionally purified water after two types of domestic installations with reverse osmosis membranes was carried out. It has been established that both filters effectively purify tap water from chlorine, organic substances and mineral impurities.

It is concluded that the quality of water obtained using membrane technologies meets the requirements for drinking water in terms of the components that were formed in the water after the traditional water treatment scheme. The obtained research results indicate that the introduction of modern resource-saving technologies for post-treatment of drinking water will solve the problem of conditioning tap water.

Keywords: **anthropogenic pollution; purification; post-treatment; reverse osmosis unit; membrane; selectivity; water quality.**