

## ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД КП «ВОДГЕО» М. СМІЛА ТА ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ОЧИЩЕННЯ

Хоменко О.М.<sup>1</sup>, Жицька Л.І.<sup>1</sup>, Папач В.В.<sup>2</sup>, Частоколенко І.П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Черкаський державний технологічний університет  
бульв. Шевченка, 460, 18006, м. Черкаси

<sup>2</sup>Державна установа «Черкаський обласний Центр контролю та профілактики хвороб  
Міністерства охорони здоров'я України»  
вул. захисників України, 3, 18005, м. Черкаси

<sup>3</sup>Національний університет цивільного захисту України  
вул. Онопрієнка, 8, 18034, м. Черкаси  
o.khomenko@chdtu.edu.ua

У роботі проведено екологічну оцінку якості питних підземних вод Смілянського родовища із використанням затверджених методик та визначено їх відповідність вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». Встановлено відхилення від нормативних значень за органолептичними показниками, а також підвищений вміст загального заліза, що знаходиться на межі нормативного значення, що складає 0,2 мг/дм<sup>3</sup> та зростає під час постачання води споживачеві. Розглянуто проблему наявності хлороорганічних сполук у воді в результаті її хлорування, зокрема трихлорметану, хлорфенолів, хлороцтових кислот, хлорацетонітрилу, хлораміну та хлорпікрину, та охарактеризовано їх негативний вплив на здоров'я людини. Проаналізовано діючу технологію очищення води на підприємстві «КП ВОДГЕО» м. Сміла Черкаської області, а також сучасні альтернативні методи водопідготовки та водоочищення. Обґрунтовано доцільність застосування на підприємстві методу озонування питної води з метою її знезараження як високо-ефективної та екологічно безпечної технології. Проаналізовано переваги озонування питної води в порівнянні з хлоруванням, що визначаються величиною окислювально-відновлювального потенціалу, який характеризує бактерицидну ефективність. Розроблено принципову схему очищення води методом озонування з використанням озонаторної установки. Наведено показники якості води при впровадженні технології первинного озонування та доведено її ефективність за техніко-експлуатаційними показниками. Встановлено, що в процесі озонування питної води ефективність очищення значно зростає за всіма досліджуваними показниками від 4 до 90,3%, зокрема вміст загального заліза знижується більше ніж на 90%, що важливо для здоров'я людини. *Ключові слова:* оцінка якості підземних вод, нормативні показники, озонування, ефективність технології очищення, техніко-експлуатаційні показники.

### **Ecological assessment of the quality of groundwater of the municipal enterprise «VODGEO» of the city of Smila and promising ways to improve the technology of their purification. Khomenko O., Zhytska L., Papach V., Chastokolenko I.**

This study conducted an environmental assessment of the quality of drinking groundwater from the Smila deposit using approved methodologies and determined its compliance with the requirements of the State Sanitary Standards and Regulations «Hygienic Requirements for Drinking Water Intended for Human Consumption». Deviations from the standard values for organoleptic parameters have been detected, as well as an elevated total iron content, which is at the upper limit of the standard value of 0.2 mg/dm<sup>3</sup> and increases during the supply of water to the consumer. This paper examines the issue of the presence of organochlorine compounds in water as a result of chlorination, specifically trichloromethane, chlorophenols, chloroacetic acids, chloroacetonitrile, chloramine and chloropicrin, and describes their adverse effects on human health. This study analyses the current water treatment technology in use at the «KP VODGEO» enterprise in Smila, Cherkasy region, as well as modern alternative methods of water treatment and purification. The report demonstrates the merits of using the ozone treatment method for drinking water at the enterprise for disinfection purposes, as a highly effective and environmentally safe technology. The advantages of ozonation of drinking water compared with chlorination have been analysed, as determined by the oxidation-reduction potential, which characterises bactericidal efficacy. A conceptual scheme of water treatment by ozonation using an ozonation unit has been developed. Water quality parameters following the implementation of primary ozonation technology are presented, and its effectiveness is demonstrated on the basis of technical and operational indicators. It has been established that, during the ozonation of drinking water, the purification efficiency increases significantly across all parameters studied, ranging from 4% to 90.3%; in particular, the total iron content is reduced by more than 90%, which is important for human health. *Key words:* groundwater quality assessment, regulatory indicators, ozonation, efficiency of purification technology, technical and operational indicators.

**Постановка проблеми.** За останні 100 років населення до 2050 року, його прогнозовані об'єми загальне використання прісних вод підвищилось вже можуть становити 5500 км<sup>3</sup>, а екологічна стійкість водних ресурсів планети досягне своєї критич- на 3115 км<sup>3</sup> – у 4,5 рази і, у разі зростання кількості



ної межі [1, 2]. Тому застосування високоефективних технологій водопідготовки та систем очищення прісної води є важливим етапом раціонального водокористування для забезпечення сталого розвитку. Водоспоживання з підземних джерел на сьогодні становить 20% від загального обсягу [3]. Передумовою такого зростання є інтенсифікація процесів забруднення й виснаження значної частини поверхневих водних об'єктів, а також проблеми з недостатньою кількістю питної води необхідної якості. За прогнозами Інституту водних проблем і меліорації, через 30 років Україні доведеться імпортувати питну воду через підвищене забруднення поверхневих та підземних джерел [4]. Стрімке зростання попиту на прісні підземні води, які в деяких регіонах є одним із основних джерел питної води, обумовлюється ще й хибним твердженням про їх чистоту і високу екологічну якість. Реальна ж картина щодо їх якісних показників характеризується різною мірою напруженості. Разом з цим, ст. 61 Водного кодексу України та Правила охорони підземних вод (п. 2, розд. 3), обумовлюють використання підземних вод питної якості, у першу чергу, для задоволення потреб питного, господарсько-побутового водокористування населенням, а також для харчової промисловості і тваринництва [5, 6]. Державні санітарні норми та правила (ДСанПіН 2.2.4-171-10) передбачають надання переваги водам підземних джерел у забезпеченні потреб громадян, оскільки вони захищені від біологічного, хімічного та радіаційного забруднення (п. 3.1 розд. 3), відповідають медико-санітарним вимогам, критеріям безпечності для здоров'я і життя людини, водних об'єктів та питної води [7-9].

Зважаючи на те, що ресурси підземних вод в Україні є обмеженими, а використання централізованого водопостачання міст із підземних джерел іноді є єдиним практичним рішенням, то виникає необхідність проведення екологічної оцінки технологій водопідготовки та умов водопостачання, адже якісні характеристики питних підземних вод у природному стані або після спеціальної обробки повинні відповідати вимогам, встановленим у відповідності до національних стандартів, нормативів екологічної безпеки водокористування, а також затвердженим санітарним нормам.

**Актуальність дослідження.** Вода є одним із ключових складових людського буття. Її якість важлива і релевантна для здоров'я людини. Однак, розвиток промисловості, інтенсифікація сільського господарства та пов'язане з цим широке застосування різноманітних добрив, стимуляторів росту, пестицидів і отрутохімікатів, а також військові дії, прямо та опосередковано є тими факторами, що впливають на якість води. Важливим фактором, який визначає якість підземних вод є також природний фактор їх формування. Для забезпечення здоров'я людей вкрай важливо дотримуватись норм оптимального мінерального складу питних вод, який забезпечує не

тільки відповідні смакові якості, а й отримання деяких необхідних організму макро- і мікроелементів, а також токсикологічної нешкідливості, епідеміологічної безпечності, фізико-органолептичних та фізико-хімічних показників безпеки. Тому використання сучасних високоефективних технологічних процесів водопідготовки, що гарантують дотримання санітарно-гігієнічних норм, наукові підходи щодо оцінки та аналізу діючих технологій завжди є актуальними.

**Мета роботи.** Метою роботи є оцінювання ефективності технології очищення підземних питних вод за ступенем їх безпечності на діючому комунальному підприємстві «КП «ВодГео»» м. Сміла та розробка можливих шляхів підвищення їх якісних санітарно-гігієнічних показників.

**Новизна.** Проаналізовано фактори, які впливають на показники якості питної води з підземного Смілянського родовища на різних етапах водопідготовки та водокористування з експлуатацією п'яти свердловин. Доведено ефективність використання технології озонування питної води на етапі водопідготовки. Запропоновано схему технологічного процесу та розроблено відповідні рекомендації.

**Методи дослідження.** У даній роботі використовувались загальнонаукові методи: емпіричні (експеримент, спостереження, а також порівняльно-аналітичні лабораторні методи дослідження нормованих показників питної води, на основі ДСТУ 7525:2014. «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості»), статистичні та системні методи, як одні з найважливіших методів наукових досліджень в екології. Акцентувалась увага на необхідності дотримання відповідної чистоти питної води, гарантування умов екологічної безпеки для здоров'я населення.

**Результати досліджень.** Статтею 7 Закону України «Про питну воду та питне водопостачання» та статтею 18 Закону України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» обумовлюється гарантування державою забезпечення кожної людини питною водою нормативної якості відповідно до науково-обґрунтованих норм питного водопостачання, зважаючи на райони та умови проживання [10, 11]. Вода з підземних джерел питного водопостачання у багатьох випадках не відповідає I класу якості і тому потребує кондиціювання. Це, насамперед, стосується даних мінерального складу, підвищені рівні якого дуже часто мають природне походження. Некондиційні показники в артезіанських водопроводах мають стабільний характер і в динаміці майже не змінюються [12]. Науковці також зазначають, що у разі експлуатації застарілих очисних технологій, що на сьогодні продовжують застосовуватись, деякі гідрохімічні показники питної води можуть не відповідати гігієнічним вимогам. Небезпечними є хімічні речовини з токсикологічними ознаками шкідливості, а саме: галогенорганічні сполуки (тригалометани, галогеноцтові кислоти тощо), які можуть утворитися внас-

лідок використання хлору та його похідних на водопровідних станціях у технології підготовки питної води [13]. В цілому ряді публікацій зазначено, що 25 регіонів держави отримують питну воду з місцевих джерел, що має певні відхилення від нормативних значень (підвищені показники загальної твердості, вмісту хлоридів, сухого залишку, сульфатів, сполук заліза, нітратів, аміаку, мангану), тому значна кількість населення частково або ж повністю споживає привізну питну воду. Останнім часом погіршення якості питних вод у мережах водопостачання й водовідведення значною мірою обумовлене зростаючим впливом процесів корозії та підтоплення, що за умов погодинної водоподачі призводить до гідравлічних перетоків забруднень у трубопроводні системи та формування санітарно-гігієнічного ризику для населення [14, 15]. Військові дії, часті пожежі та вибухи створюють високу ймовірність забруднення підземних водоносних горизонтів унаслідок інфільтрації води з поверхонь вулиць і дворів, просочення крізь нещільності конструкцій дренажних каналів і каналізаційних систем, проходження атмосферних опадів крізь звалища твердого сміття та забруднені горизонти ґрунту [16].

В процесі проведених досліджень нами виявлено, що природні води водоносного горизонту Смілянського родовища, які використовує КП «ВодГео», характеризуються гідрокарбонатно-кальцієвим ( $\text{HCO}_3^- \text{Ca}^{2+}$ ) або магнієвим типом ( $\text{Mg}^{2+}$ ) за гідрохімічним складом. Значення мінералізації води Смілянського родовища становить від 0,3 до 2,0 г/л. Водневий показник (рН) води складає від 6,8 до 7,6, що відповідає слабко-кислому та слабко-лужному середовищу. Загальна твердість вод Смілянського родовища складає від 6 до 9 мг-екв/л, що характеризується як дуже тверда вода. До того ж Черкаська область має поклади залізо-марган-

цевих руд, і основні родовища зосереджені в центральній та південній її частині, зокрема, в межах Черкаського району, до якого відноситься територія нашого дослідження, і через що залізо та марганець можуть знаходитись у питній воді. З огляду на вище зазначені факти питної води із родовища обов'язково повинні проходити доочищення та знезараження, оскільки постачаються мешканцям великого населеного пункту.

Встановлено, що ділянка Смілянського родовища, за рахунок якого на сьогодні функціонує система водопостачання м. Сміла, знаходиться на землях Білозірської селищної ради у південно-східній частині Черкаського району. Спрощену схему циклу видобутку підземних вод та їх водопостачання наведено на рисунку 1.

До основних видів діяльності КП «ВодГео» відносяться: підйом, розподіл, очищення води, забір, перекачування та очищення стічних вод. Основними напрямками КП «ВодГео» щодо водовідведення є прийняття стічних вод та їх транспортування, очищення та знезараження стічних вод.

До системи водопостачання міста входить комплекс інженерних споруд, що використовується для вилучення води з природних джерел, комплекс заходів і методів із метою приведення якості питної води до встановлених нормативних показників, а також транспортування і постачання води споживачам [17].

Водопідготовка включає надходження води на камери переключення 1 та 3 від артезіанських свердловин (насосна станція I-го підйому) та подальшу подачу води на станцію знезалізнення (насосна станція II-го підйому) із метою її подальшого очищення. В технологічну схему очищення води включено 8 швидких одношарових фільтрів (6 фільтрів є робочими та 2 фільтри для перспективного використання), що корегують як хімічні, так і фізичні



Рис. 1. Спрощена схема системи водопостачання міста Сміла

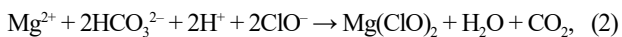
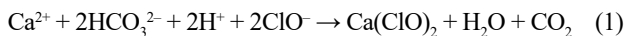
показники якості води.

Технологічна схема водопідготовки підземних вод наведена на рисунку 2.

З метою підвищення ефективності роботи робочих фільтрів для очищення води на підприємстві проводять регенерацію фільтрів, що характеризується повітряно-водяною промивкою фільтрів та використанням фільтроциклу.

Підприємство «ВодГео» з метою знезараження питної води використовує рідкий хлор (Cl<sub>2</sub>), що міститься у балонах, а також гіпохлорит натрію (NaClO) марки «Б» та гіпохлорит натрію (NaClO).

Оскільки у воді виявлено наявність солей загальної твердості, а саме гідрокарбонатів кальцію (Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) та магнію (Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), то відбувається їх хімічна взаємодія з хлорнуватистою кислотою (HClO), яку можна описати наступними рівняннями хімічних реакцій:



де карбонатна кислота (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) є нестійкою хімічною сполукою, тому відразу піддається розкладу до вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) та води (H<sub>2</sub>O).

Іншим реагентом, що використовується підприємством з метою знезараження води, є гіпохлорит натрію (NaClO), у процесі розчинення якого проходить процес дисоціації, що призводить до утворення гіпохлорит-іону, хлорнуватистої кислоти HClO та гідроксиду натрію NaOH:



Слід відзначити, що метод хлорування води характеризується рядом недоліків, зокрема знезара-

ження питної води хлором потребує матеріальних витрат на придбання необхідних хімічних реагентів. Проте більш вагомим недоліком, що призводить до негативних наслідків для здоров'я населення, є утворення хлорорганічних сполук (ХОС) у процесі хлорування. До таких ХОС відносять: трихлорметан (ТХМ), хлорфенол, хлороцтові кислоти, хлорацетонітрил, хлорамін і хлорпікрин [18]. Головною небезпекою вмісту ХОС у питній воді є надходження до організму людини із питною водою канцерогенних сполук, що можуть викликати онкологічні захворювання та відповідно зменшувати тривалість життя населення [19].

Досліджені нами показники якості питної води після очищення згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 наведено у таблиці 1.

На основі аналізу даних, що наведено в таблиці 1, можна зробити висновок, що якість питної води в період дослідження за всіма показниками відповідає основним вимогам Державних санітарних правил і норм (ДСанПіН) 2.2.4-171-10 [7], хоча слід звернути увагу на концентрацію заліза загального, яка знаходиться на межі нормативного значення, що складає 0,2 мг/дм<sup>3</sup> та зростає під час доставки води споживачеві. Даний вміст заліза загального можна обґрунтувати загальним станом водопровідних мереж міста Сміла та їх моральною застарілістю, а також низькою насиченістю вод киснем, який витрачається на окиснення сполук заліза, що в кінцевому рахунку впливає на смакові якості води.

З метою знезараження питної води КП «ВодГео» використовує метод хлорування рідким хлором та гіпохлоритом натрію, в результаті чого утворюються хлорорганічні сполуки, що становлять небезпеку для здоров'я людини. Одним із шляхів вирішення даної

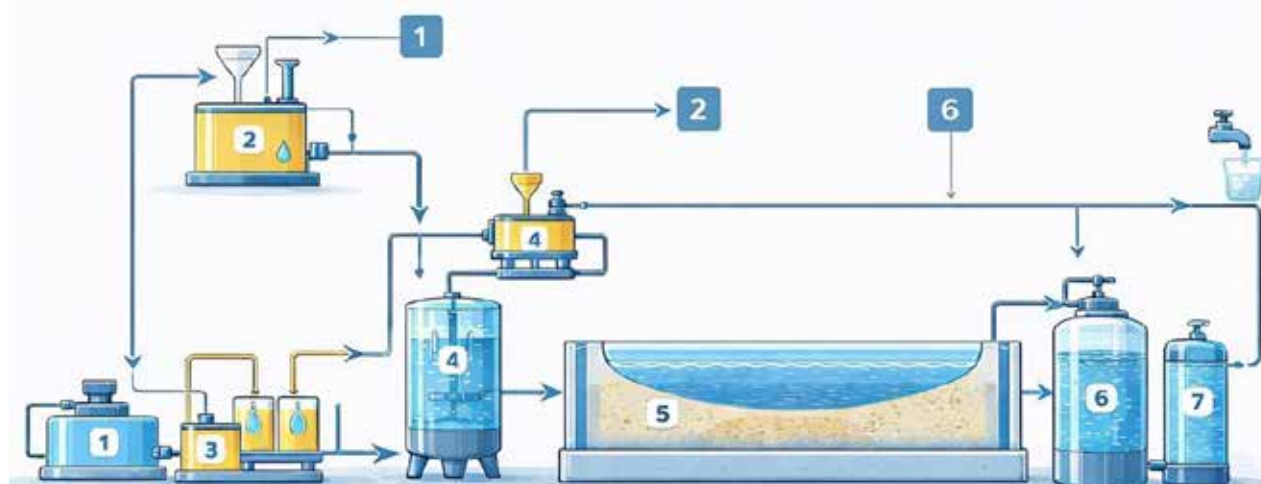


Рис. 2. Технологічна схема водопідготовки підземних вод

1 – насосна станція першого підйому; 2 – установка для дозування хлору; 3 – камера утворення та росту пластівців (флокуляції); 4 – стадія попереднього хлорування; 5 – відстійник горизонтального типу; 6 – резервуар з очищеною водою; 8 – транспортування води до споживачів

## Результати дослідження якості питної води в м. Сміла КП «ВодГео»

№ п/п	Показники	Одиниці виміру	Показники після очищення	Показники в кранах споживача	ДСанПіН 2.2.4-171-10 Не більше
<b>1. Мікробіологічні показники</b>					
1.	Загальне мікробне число при $t=37^{\circ}\text{C} - 24$ год.	КУО/см <sup>3</sup>	1	1	100
2.	Загальні коліформи	КУО/см <sup>3</sup>	відсутні	відсутні	відсутність
3.	E, coli	КУО/100см <sup>3</sup>	відсутні	відсутні	відсутність
4.	Ентерококи	КУО/100см <sup>3</sup>	відсутні	відсутні	відсутність
<b>2. Органолептичні показники</b>					
5.	Запах при 20°C та 60°C	бали	1 1	1 1	2
6.	Забарвленість	градуси	10,4	10,4	20
7.	Каламутність	Нефеломет-рична одиниця каламутності (НОК)	0,30	0,30	1
8.	Смак та присмак	бали	0	1	2
<b>3. Фізико-хімічні показники</b>					
9.	Водневий показник	од.рН	7,4	7,2	6,5-8,5
10.	Залізо загальне	мг/дм <sup>3</sup>	0,11	0,18	0,2
11.	Сухий залишок	мг/дм <sup>3</sup>	227,9	227,9	1000
<b>4. Санітарно-токсикологічні показники</b>					
12.	Амоній іони NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	J	J	0,5
13.	Нітрити NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	J	0,005	0,5
14.	Нітрати NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	3,5	3,8	50
15.	Перманганатна окиснюваність	мгО/дм <sup>3</sup>	3,6	3,68	5,0

проблеми є використання альтернативних методів знезараження питної води, серед яких слід виділити озонування [20, 21].

Схему генерації озону та процесу знезараження води наведено на рисунку 3.

Необхідно зазначити, що процес озонування питної води є досить ефективною та екологічно безпечною технологією очищення, що дозволяє знищити близько 650 видів вірусів, спор та бактерій, що можуть знаходитись у воді. Знезаражувальна дія O<sub>3</sub> базується на його властивості високої окислювальної здатності, що визначається величиною окислювально-відновлювального потенціалу (Eh). Перевага озону в порівнянні з хлором полягає в тому, що значення окислювально-відновлювального потенціалу O<sub>3</sub> становить Eh=2,07 В, що в 1,5 рази є більшим за потенціал хлору (Eh=1,36 В) [22]. Саме індикатором ефективності знезараження питної води є величина окислювально-відновлювального потенціалу, що характеризує бактерицидну ефективність.

Також експериментально доведено, що до важливих характеристик озону у процесі очищення води, відноситься забезпечення ним так званого антими-

кробного бар'єру для всіх представників патогенної мікрофлори. Використання озону на всіх етапах очищення води призводить до розкладу органічних сполук у воді, усунення присмаку та запаху, освітлення води та зменшення концентрації ХОС, які утворюються в процесі хлорування питної води. Важливою перевагою очищення питної води озоном є збільшення концентрації розчиненого кисню у воді в результаті оброблення її озоном, що надає їй присмаку джерельної води. Також до переваг даного методу оброблення питної води належить ефективність вилучення із води катіонів заліза та марганцю. Проте головною перевагою методу озонування питної води є виключення утворень канцерогенних і токсичних сполук, які призводять до онкологічних захворювань.

Тому ми вважаємо, що одним із перспективних шляхів удосконалення технологічної системи підготовки та водопостачання м. Сміла, що здійснюється КП «ВодГео», є використання озонаторної установки.

Стандартну схему очищення питної води за допомогою озону, яка може бути використана для знеза-



Рис. 3. Схема знезараження води озonom

раження питної води та вилучення надлишкового хлору й ХОС, що утворюються в процесі хлорування води, наведено на рисунку 4.

Озонаторна установка містить фільтр, функції якого полягають у знепиленні повітря, яке поступає до генератора озону. З метою забору повітря з вулиці застосовують компресор. Після очищення повітря від пилу та вологи утворюється озono-повітряна суміш, яку й використовують для швидкого очищення, що,

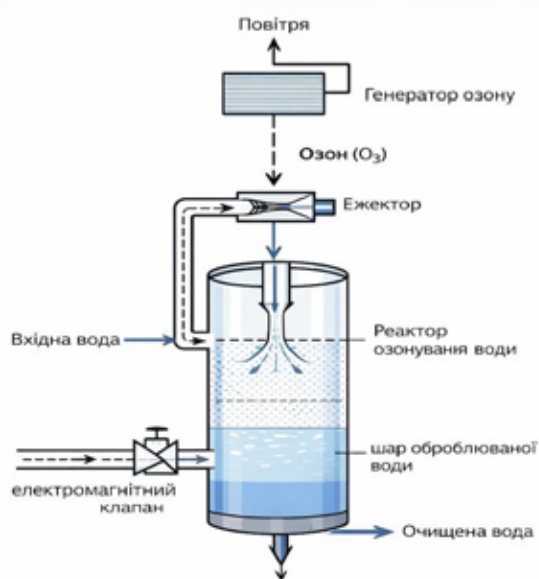


Рис. 4. Принципова схема очищення води озonom за допомогою озонаторної установки

у свою чергу, не призводить до утворення небезпечних ХОС на відміну від технології хлорування води. Механізм знезараження питної води озonom в установці ґрунтується на процесі хімічної взаємодії розпорошеної озono-повітряної суміші з водою. Це призводить до об'ємного поглинання парів  $O_3$  рідиною за відповідним ланцюгом хімічних реакцій.

Вважаємо, що запровадження такої технології забезпечить покращення органолептичних показників якості питної води. Слід відзначити, що у країнах ЄС близько 98% води, яка споживається населенням, знезаражується саме методом озонування. Прикладом використання методу озонування питної води в Україні є його запровадження ще в 2000 році на Дніпровській водопровідній станції м. Києва, де вперше введено в експлуатацію технологічну схему із застосуванням первинного озонування. Аналіз використання даної технології показав, що із застосуванням озону збільшується споживання електроенергії на 10%, під час його виробництва, а сумарні матеріальні витрати зростають у середньому на 9,5% (рисунок 5).

Також нами встановлено, що використання озону під час знезараження питної води забезпечує покращення її якості за багатьма показниками, проте найбільш ефективно фіксувалось зниження утворення побічних речовин, особливо залишкового заліза, на 90%, що зменшує дозу коагулянту після озонування в 10 разів. Отже, в сумарному підрахунку впровадження не призводить до значного зростання загальних ресурсних та матеріальних витрат під час технологічного процесу.

Нами проведено порівняння експериментальних досліджень показників якості води до та після використання технології первинного озонування, які представлено у таблиці 2.

Аналіз таблиці 2 показує, що в процесі озонування питної води ефективність очищення значно зростає за всіма досліджуваними показниками від 4 до 90,3%. Зокрема, вміст загального заліза знижується більше ніж на 90%, що важливо для здоров'я людини, адже тривале вживання питної води з надмірним вмістом заліза може спричинити в деяких людей нудоту, біль у животі, метеоризм, ламкість волосся, сухість шкіри, подразнення та алергічні реакції, втому, слабкість, закрепи або діарею [23].

Аналіз техніко – експлуатаційних показників із використанням технології озонування підтверджує ефективність застосування даної технології, незважаючи на те, що відбувається деяке зростання споживання електроенергії (рисунок 6).

Отже, проведені дослідження показують, що за рахунок впровадження даної технології спостерігається не тільки покращення якісних показників води, а й скорочення сумарних витрат на процес очищення питної води, і споживання таких ресурсів як коагулянт, хлор та електроенергія, знижується на 41% (рисунок 7).

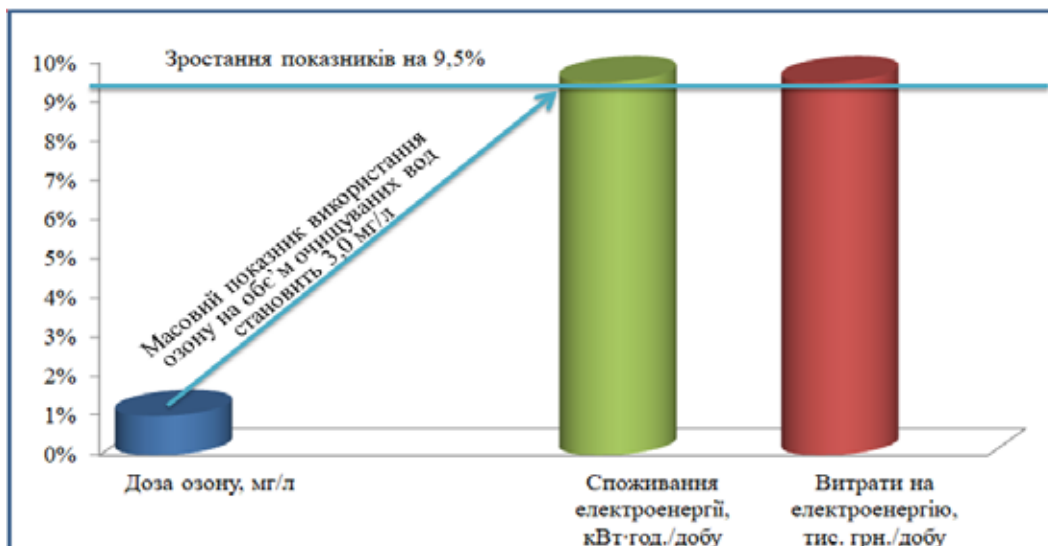


Рис. 5. Зростання витрат під час застосування технології озонування

Таблиця 2

Показники якості води в технології первинного озонування

Показник	Технологія		Зниження показника, %
	Без озону	З використанням озону	
Окиснюваність, мг/л	3,68	3,54	4
Каламутність, мг/л	1,1	<0,58	48
Кольоровість, град	12	10	17
Залізо загальне, мг/л	0,41	<0,04	90,3

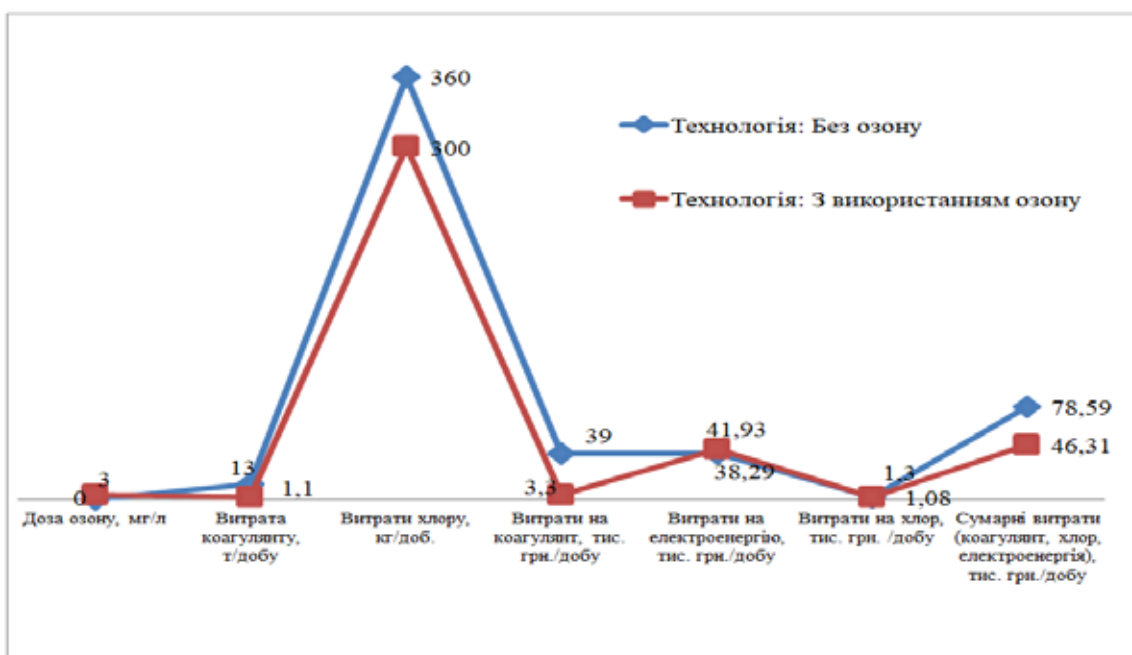


Рис. 6. Техніко-експлуатаційні показники в технології первинного озонування

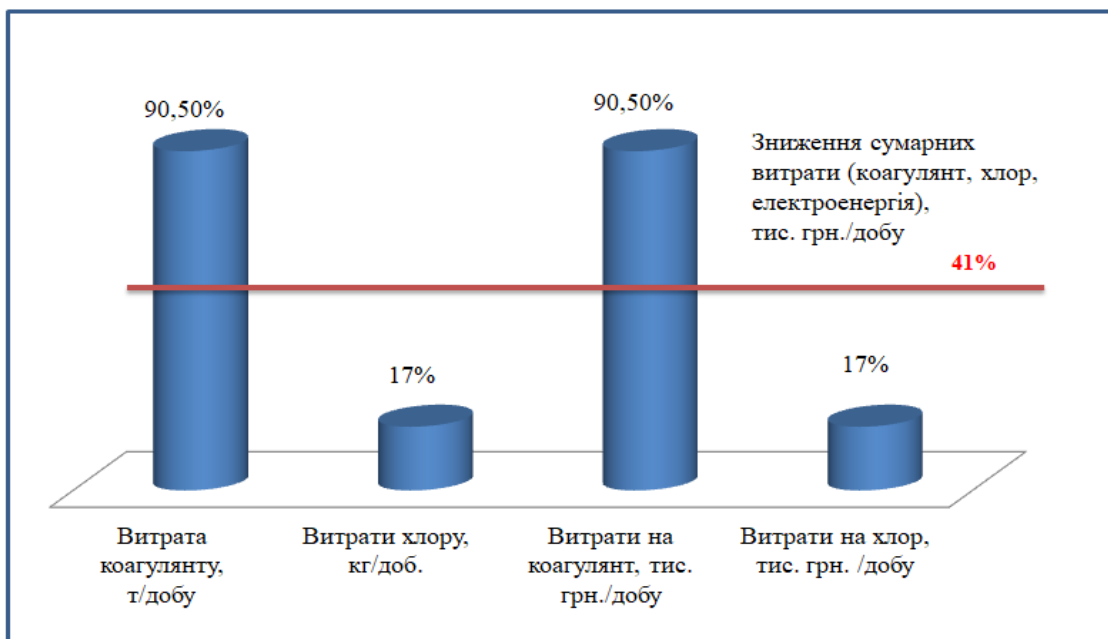


Рис. 7. Зниження техніко-експлуатаційних витрат

Проведені дослідження підтвердили, що пріоритетним напрямком для покращення якості питної води є оновлення та удосконалення систем водопостачання, будівництво і реконструкція водоочисних систем з використанням нових технологій.

Вода з підвищеним вмістом заліза є серйозною загрозою для здоров'я населення та стану побутової техніки. Тому для покращення ситуації з питною водою в м. Сміла нами розроблені рекомендації, серед яких своєчасний аналіз води і встановлення систем очищення питної води, які допоможуть оптимально видалити надлишок заліза для уникнення негативних наслідків. Якщо ж виявлено зміну смаку, кольору чи запаху води, а також відмічається утворення нальоту на сантехніці, необхідно встановлювати фільтри для видалення заліза, проводити відстоювання води, застосовувати процес природної або ж механічної аерації для окислення та видалення заліза киснем повітря чи використовувати більш дієві іонообмінні системи у побуті. Регулярний аналіз води й встановлення якісних систем фільтрації дозволять уникнути накопичення шкідливих речовин та продовжать терміни служби побутової техніки.

**Головні висновки.** Характерною особливістю м. Сміла є низька його забезпеченість експлуатаційними запасами підземних вод, а також відсутність поверхневих джерел для питного водозабезпечення. Тому головним джерелом водопостачання міста є підземні води, а саме розвідані запаси Смілянського та Білозірського водозаборів на території Білозірської селищної ради Черкаського району.

Згідно результатів аналізу встановлено, що вода Смілянського родовища КП «ВодГео» відповідає нормативам якості за ДСанПіН 2.2.4-171-10, проте концен-

трація амонію  $\text{NH}_4^+$  та заліза загального не відповідає нормативам якості, а метод хлорування води характеризується рядом недоліків. По перше, знезараження питної води хлором потребує матеріальних витрат на купівлю необхідних реагентів. По друге, в процесі хлорування питна вода забруднюється хлорорганічними сполуками, до яких відносяться трихлорметани (ТХМ), хлорфеноли, хлороцтові кислоти, хлорацетонітрили, хлораміни та хлорпикрин тощо, які періодично виявляються у питній воді з показниками, що перевищують гігієнічні нормативи до якості питної води. Їх високий вміст також можна пояснити застарілим обладнанням лабораторій КП «ВодГео», а також відсутністю нормативів для ряду ХОС.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування альтернативних технологій знезараження води, до яких можна віднести озонування. Використання озону на всіх етапах оброблення води призводить до розкладу органічних сполук у воді, її освітлення, знищення запаху та присмаку, а також зменшення вмісту побічних хлорорганічних сполук, що утворюються в процесі її хлорування.

Запропонована нами технологічна схема знезараження питної води на КП «ВодГео» з використанням озонаторної установки сприятиме не тільки покращенню органолептичних показників якості води та підвищенню ефективності технології процесу, а й зниженню техніко-експлуатаційних витрат на системи очищення на підприємстві.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати роботи можуть бути використані для впровадження технологічного процесу озонування води на діючому підприємстві та розробки проектно-кошторисної документації на проект.

## Література

1. Хільчевський В.К. Глобальні водні ресурси: виклики XXI століття. *Вісник КНУ імені Т. Шевченка. Серія: Географія*. 2020. 1/2 (76/77). С. 6-16. <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2020.76-77.1>.
2. Khilchevskiy V., Karamushka V. Global Water Resources: Distribution and Demand / In: Leal Filho W., Azul A.M., Brandli L., Lange Salvia A., Wall T. (eds). *Clean Water and Sanitation. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. Springer, 2022. P. 240-250. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-95846-0\\_101](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95846-0_101).
3. Хільчевський В.К. Управління транскордонними водними ресурсами: навч. посібник. К.: ДІА, 2024. 208 с.
4. Експерти прогнозують Україні неминучий дефіцит питної води: названо причини. *Екополітика*, 2021. URL: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/eksperti-prognozujut-ukraini-neminuchij-deficit-pitnoi-vodi-nazvano-prichini/> (дата звернення: 10.03.2026).
5. Водний кодекс України від 6 червня 1995 р. № 213/95-ВР / Верховна Рада України. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 24. Ст. 189. Поточ. ред.: 08.08.2025 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 10.03.2026).
6. Про затвердження Правил охорони підземних вод: Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 11 травня 2023 р. № 325 / *Офіційний вісник України*. 2023. № 65, т 2. Ст. 3736.
7. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) від 12 травня 2010 р. № 400 / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 10.03.2026).
8. Черкашина М.К. Особливості правового режиму питних підземних вод України. *Науковий вісник Ужгородського Національного Університету. Серія «Право»*. 2025. Вип. 91. Ч. 2. С. 272–283. <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2025.91.2.35>.
9. Шестопапов О.В., Сакур А.О., Лізантан П.С., Кануннікова Н.О., Гайдучек О.Г., Томашевський Р.С., Воробйов Б.В. Аналіз показників якості води: сучасні аспекти і виклики. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2024. № 3(54). С. 76 – 82. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.3-54.10>.
10. Яковлев Є.О. Регіональна оцінка територіального розподілу та екологічного стану підземних вод України (зона активного водообміну). *Водопостачання та водовідведення. Спецвипуск*. 2008. С. 46–51.
11. Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення: Закон України від 18 травня 2017 р. № 2047–VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14/ed20230331#Text> (дата звернення: 10.03.2026).
12. Petrenko N.F., Mokienco A.V., Platov S.M. Conditions of drinking water supply in Ukraine. *Актуальні проблеми транспортної медицини*. 2018. 4(54). С. 64-74. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.2525778>.
13. Прокопов В.О. Питна вода України: медико-екологічні та санітарно-гігієнічні аспекти: монографія / за ред. А.М. Сердюка. Київ: ВСВ «Медицина», 2016. 400 с.
14. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Стельмах В.Ю. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення: навч. посібник. Київ: ДІА, 2023. 228 с.
15. Рудько Г.І., Нецьків О.В. Водозабезпечення України підземними водами та здоров'я населення. *Медико-гідрогеохімічні чинники геологічного середовища України*: монографія/ за ред. Г.І. Рудька. Чернівці: Букрек, 2015. С. 169-356.
16. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2024 р. / *Міністерство розвитку громад та територій України*. Київ, 2025. 449 с. URL: <https://mindev.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/nacionalna-dopovid-pro-iakest-pitnoyi-vodi-ta-stan-za-2024-rik.pdf> (дата звернення: 10.03.2026).
17. Офіційний сайт КП «ВодГео» м. Сміла. Режим доступу: <http://vodgeo.com.ua>.
18. Стискал О.А., Петрук В.Г. Вплив хлороорганічних сполук у питній воді на злякисні новоутворення (на прикладі Вінницької області). *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2015. № 2. С. 16 – 21. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/805>.
19. Стискал О.А., Петрук В.Г. Аналіз чинників екологічної небезпеки хлорованої питної води. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2014. № 5. С.69–75. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/887/886>.
20. Яковлев І.О. Знезараження води озonom: старі проблеми і нова гіпотеза. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2024. № 6(57). – С. 197 – 200. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.29>.
21. П'ятковський Т.І., Покришко О.В., Данилков С.О. Оцінка ефективності використання озонування для знезараження прісної води. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. 2023. № 4. С. 113–118. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2023.v.i4.14189>.
22. Epelle E.I, Macfarlane A., Cusack M., Burns A., Okolie J.A., Mackay W., Rateb M., Yaseen M. Ozone application in different industries: A review of recent developments. *Chemical Engineering Journal*. 2023. V.454. Part 2. p. 140188. doi: 10.1016/j.cej.2022.140188.
23. Чому шкідлива вода з високим вмістом заліза? – [Електронний ресурс]. – URL: <https://akvantis.com.ua/stati-i-obzory/pochemu-vredna-voda-s-vysokim-soderzhaniem-zheleza> (дата звернення: 12.03.2026).

Дата першого надходження статті до видання: 25.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026