

Виробничі впровадження перманганату натрію (Carusol) для покращення якості питної води на очисних спорудах комунального підприємства «Житомирводоканал»

Production Implementation of Sodium Permanganate (Carusol) for Improving the Quality of Drinking Water at the Treatment Facilities of the “Zhytomyrvodokanal” Utility Company

Ірина Башинська ¹
Iryna Bashynska

¹ Zhytomyr National Agroecological University
7 Staryi Bulvar, Zhytomyr, 10008, Ukraine

DOI: [10.22178/pos.64-8](https://doi.org/10.22178/pos.64-8)

LCC Subject Category:
[QH540-549.5](#)

Received 20.10.2020
Accepted 25.11.2020
Published online 30.11.2020

Corresponding Author:
bashinskaya77@ukr.net

© 2020 The Author. This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License



Анотація. В статті представлені результати досліджень, які були отримані в процесі виробничого впровадження нового реагенту – окисника перманганату натрію (торгова марка *Carusol*) в технологію водопідготовки на очисних спорудах водопроводу КП «Житомирводоканал». Метою даної роботи було визначити ефективність видалення із складу водопровідної води таких забруднюючих речовин, як окиснюваність перманганатна, марганець, фітопланктон, а особливо, хлороформ та покращення її якості за органолептичними показниками. Даний експеримент був проведений в літній час для визначення технологічної та екологічної ефективності використання реагенту при високих температурах води, оскільки саме в літній час джерело водопостачання м. Житомира характеризується підвищеним рівнем органічного забруднення, що спричиняє утворення понаднормативних концентрацій хлороформу, наявності високих концентрацій марганцю та фітопланктону. Виробничий експеримент показав, що ефективність очищення води реагентом *Carusol* в теплий період року при підвищених температурах води за показником кольоровості достатньо висока; за показником окиснюваності перманганатної має місце, хоча для нормативної якості питної води не достатня та потребує застосовувати додатково активоване вугілля для більш ретельного видалення органічного забруднення; відзначається висока технологічна та екологічна ефективність очищення питної води від вмісту хлороформу, в деякі експериментальні дні ефективність була на рівні до 60-70%; окислення марганцю відбувалося на 60-90%; видалення фітопланктону за допомогою реагенту характеризувалося високою ефективністю та було на рівні 90% і більше.

Ключові слова: *Carusol*, перманганат натрію, якість питної води, хлороформ, марганець, перманганатна окиснюваність, фітопланктон.

Abstract. The article presents the results of the research, obtained during the production of a new reagent - sodium permanganate oxidant (*Carusol* trademark) in the technology of water treatment at the treatment plant of the «Zhytomyrvodokanal» utility company. The purpose of this work is to determine the effectiveness of removal from the composition of tap water of such pollutants as permanganate oxidation, manganese, phytoplankton, and especially chloroform and improve its quality by organoleptic parameters.

This experiment was conducted in summer to determine the technological and environmental efficiency of the reagent at high water temperatures, because it is in summer that the water supply source in Zhytomyr is characterized by the increased levels of organic pollution, which causes excessive concentration of chloroform, high concentration of manganese and phytoplankton. The production experiment showed

that the efficiency of water purification with Carusol reagent in the warm period of the year at increased water temperatures in terms of chromaticity is quite high; according to the oxidation index of permanganate, although it is not sufficient for the normative quality of drinking water and requires the use of additional activated carbon for more thorough removal of organic pollution; there is a high technological and environmental efficiency of purification of drinking water from chloroform, in some experimental days the efficiency was up to 60-70%; oxidation of manganese occurred by 60-90%; removal of phytoplankton with the reagent was characterized by high efficiency and was at the level of 90% or more.

Keywords: *Carusol*; sodium permanganate; drinking water quality; chloroform; manganese; permanganate oxidation; phytoplankton.

ВСТУП

Стан водних екосистем України стрімко наближується до критичного, оскільки, як відомо, прісноводні ресурси в нас обмежені і в них спостерігається тенденція стрімкого погіршення якості води [1].

Майже всі водні ресурси на території України потерпають від антропогенного навантаження, прямо чи опосередковано. І цей вплив призводить до їх виснаження, забруднення, деградації і, в результаті, їх безповоротного зникнення [2]. Навіть той факт, що за останні 25 років кількість населення України та об'єми більшості видів виробництва значно скоротилися, не вплинув на негативну тенденцію погіршення якості водних ресурсів [3].

В умовах сьогодення, пріоритетним та надважливим завданням, що постає перед будь-яким водопостачальним підприємством України є вирішення проблем, пов'язаних із забезпеченням населення якісною водопровідною водою. Такі рішення неодмінно потребують впровадження нових, більш ефективних методів та реагентів, оскільки з кожним роком якість води у джерелах водопостачання катастрофічно погіршується. Це відбувається внаслідок необачного та нерозсудливого ставлення людини до водних ресурсів, що, в результаті, призводить до невідворотного їх забруднення. Використання застарілих технологій та неефективних реагентів для очищення поверхневої води, яка за своїм складом відноситься до 3-4 класу згідно ДСТУ 4808:2007 є недостатнім для гарантування населенню отримання якісної питної води з крану [4]. Для очищення та покращення якості води на комунальному підприємстві «Житомирводоканал» нами був запропонований новітній реагент – окисник перманганат натрію (торгова марка *Carusol*).

Довгий час перманганат вироблявся більшістю підприємств – постачальників реагентів у вигляді калієвої солі (KMnO_4), що являє собою стійкий кристалічний порошок високої чистоти (мінімум 95%). Але з кінця 1990 – х років виробник *Carus* (США) почав виготовляти перманганат у рідкому концентрованому вигляді – перманганату натрію (NaMnO_4) [5].

«Перманганат натрію (NaMnO_4) – це окисник, який володіє такою ж природою дії, як і перманганат калію. Використовується для передокислення, як альтернатива хлору і діоксиду хлору та виключає можливість утворення у питній воді побічних продуктів хлорування – тригалогенметанів. Використання перманганату натрію забезпечує ефективне вирішення таких нагальних проблем, як окислення та видалення з води неорганічних речовин – заліза, марганцю, миш'яку, радію, окислення природних органічних речовин, що містяться у джерелі водопостачання, видалення присмаків та запахів води, покращення кольоровості води» [5, 6]. Більш детально про реагент надана інформація у попередній статті [6].

Історія запровадження у технологію водопідготовки перманганату натрію почалася із використанням в якості реагенту для очищення води перманганату калію.

У 1915-1916 роках доктор Едвард Хегелер Карус вперше виготовив перманганат калію у університеті у Вісконсині за допомогою саморобного обладнання. А вже у 1918 році був побудований завод по виробництву перманганату калію в місті Ласаль штат Іллінойс. У 1959 році М. Боуком Карусом був розроблений та вперше впроваджений метод очищення питної води від водоростей та фітопланктону за допомогою перманганату калію. А у 1999 році на ринок був представлений рідкий перманганат натрію *Carusol C* [7].

Використання перманганату калію для окислення органічної речовини, яка є попередником для утворення хлорорганічних сполук, було вперше досліджено в США м. Цинциннаті, штат Огайо. Багаточисленними дослідженнями, які проводилися на воді з річки Огайо, виявили зниження концентрації ТГМ на 5-20 % при додавання перманганату калію у дозах від 0,7 до 5,0 мг/л, а при обробці дозою 10 мг/л досягалося зниження на 40 %. Було доведено, що введення перманганату у технологію водопідготовки без переміщення точки вводу хлору, не призведе до зниження концентрації ТГМ у питній воді. Згідно доповіді представників водопостачального підприємства м. Франкфурт, що у Західній Німеччині, через зміну точки хлорування і додавання перманганату у сиру воду, було досягнуто скорочення утворення ТГМ на 50 % [8].

В Україні, першими, хто застосував *Carusol* в технологію очищення води, були спеціалісти ТОВ «БІЛОЦЕРКІВВОДА» у 2014 році. Метою їх впровадження реагенту було усунення неприємного присмаку та запаху питної водопровідної води, які обумовлені присутністю в природних водах річки Рось незабарвлених органічних молекулярних речовин, до яких належать продукти внутрішньо водних біологічних процесів (карбонові кислоти, феноли та інші) [9, 10].

Протягом 2015-2018 рр. в лабораторії КП «Житомирводоканал» нами були успішно

проведені лабораторні експериментальні роботи по впровадженню реагенту – окисника *Carusol* в технологію водопідготовки [6, 11, 12], після чого було прийняте рішення провести виробничі випробування реагенту.

Впродовж виробничого впровадження проводилося відбирання зразків води та визначення показників її якості за загальноприйнятими методиками: температура води – відповідно до паспорту термометру ТЛС-4; органолептичні показники: кольоровість, каламутність вимірювали за методикою – ГОСТ 3351-74; окиснюваність перманганатна – ГОСТ 23268.12-91; марганець – «Методика виконання вимірювань масової концентрації алюмінію, заліза, кадмію, кобальту, марганцю, міді, молібдену, нікелю, свинцю, стронцію, хрому та цинку у питній воді», для атомно-абсорбційного спектрофотометру «Сатурн-3-П1»; хлороформ – методичні вказівки № 0052-98 «Газохроматографічне визначення тригалогенметанів (хлороформу) у воді»; фітопланктон – «Методика визначення фітопланктону, зоопланктону та детриту у воді. СТП-32-19-01». Оцінку якості питної води проводили шляхом порівняння фактичних даних із нормативами ДСанПіНу 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». Схема дозування реагенту – окисника *Carusol*, за якою був проведений виробничий експеримент в літній час представлена на рисунку 1 [6].

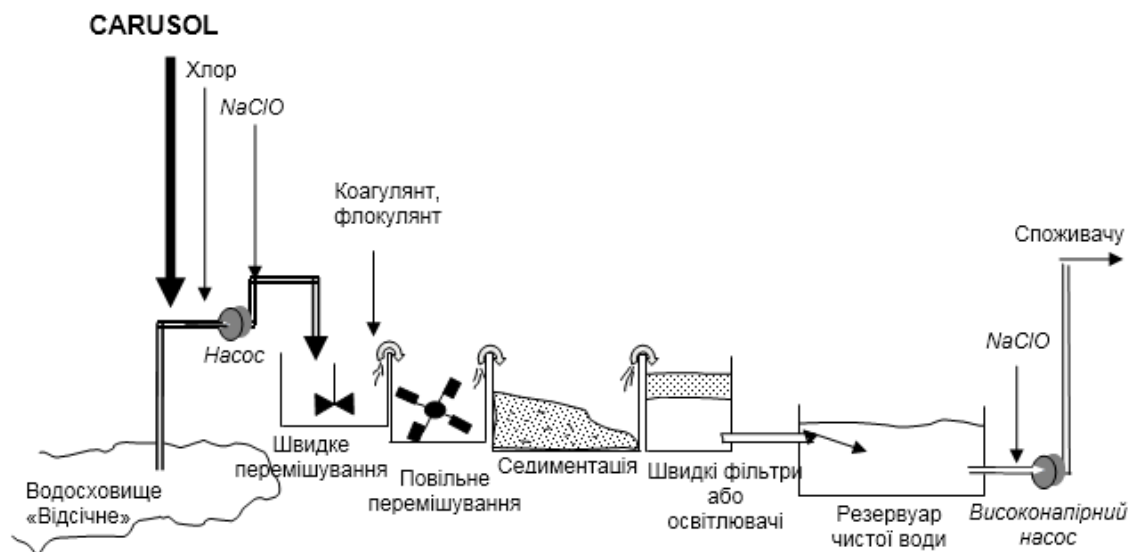


Рисунок 1 – Схема вводу реагенту *Carusol* в технологію водопідготовки на водопровідних спорудах КП «Житомирводоканал»

Точка вводу реагенту знаходилася у водоприймальній камері, одразу після підйому води з водосховища.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Після успішно проведених довготривалих лабораторних експериментальних робіт по використанню реагенту – окисника перманганату натрію в технології водопідготовки, які тривали протягом 2015–2018 років [6, 11, 12], виробничі впровадження реагенту *Carusol* для очищення води на водопровідних спорудах КП «Житомирводоканал» проводилися впродовж двох сезонів 2018-2019 років – літній (16.07–06.08.2018) (таблиця 1) та зимовий (18.02–1.03.2019). Таке рішення було прийняте з метою визначення технологічної та екологічної ефективності використання реагенту при різних умовах застосування, а саме, відмінних температурах води. В даній статті ми розглянули результати виробничо-

го впровадження, яке відбувалися у літній період.

Послідовність введення реагентів у виробничому впровадженні в літній час була наступною: *Carusol* (1 підйом) + через 2 хвилини хлор, через 2 години гіпохлорит натрію (2 підйом), через 30 секунд коагулянт, через 30 секунд флокулянт.

За лабораторних умов нами була визначена найбільш ефективною та оптимальною дозою *Carusol* для використання в технології водопідготовки доза 0,2 мг/дм³ [12]. У даному експерименті використовувалися реагенти: флокулянт аніонний на основі поліакриламід-у – *EXTRAFLOCK P-70* з фіксованою дозою 0,3 мг/дм³, алюмовмісний коагулянт – (масова частка Al₂O₃ – 16 %) – доза 30 мг/дм³, доза *Carusol* – 0,2 мг/дм³, доза хлору на першому підйомі коливалася в межах 7,27-13,19 мг/дм³, доза гіпохлориту натрію на другому підйомі коливалася в межах 2,95-6,42 мг/дм³.

Таблиця 1 – Результати виробничого впровадження реагенту – перманганату натрію *CasuroI* в технології водопідготовки на водоочисних спорудах КП «Житомирводоканал» протягом 16.07-06.08.2018 р.

Дата та місце відбору проб води	Каламутність, мг/дм ³	Кольоровість, град.	Окиснюваність, мг/дм ³	Марганець, мг/дм ³	Залізо, мг/дм ³	Залишковий алюміній, мг/дм ³	Хлороформ, мг/дм ³	Фітопанктон, тис. кл/дм ³
16.07.2018								
Водосховище «Відсічне», t води – 20 °С	7,4	44	10,08	0,234	0,38	відс.	Відс.	334,425
Водовод	4,5	24	8,8	0,308	0,24	відс.	0,089	22,5
РЧВ 5 тис м ³	0,5	7	6,08	0,122	0,1	0,17	0,134	6,64
РЧВ 20 тис м ³	0,7	8	5,92	0,098	0,1	0,14	0,122	3,68
17.07.2018								
Водовод	5,2	24	8,64	0,337	0,3	відс.	0,048	88,28
РЧВ 5 тис м ³	1,1	6	6,24	0,059	0,1	0,21	0,091	6,64
РЧВ 20 тис м ³	1,0	9	6,4	0,063	0,1	0,15	0,083	7,72
18.07.2018								
Водовод	6,2	32	8,32	0,351	0,27	відс.	0,045	142,52
РЧВ 5 тис м ³	1,4	7	5,74	0,107	0,1	0,3	0,049	7,8
РЧВ 20 тис м ³	1,4	11	6,4	0,117	0,1	0,2	0,045	9,32
19.07.2018								
Водовод	6,0	28	8,96	0,322	0,3	відс.	0,051	69,99
РЧВ 5 тис м ³	1,2	9	5,6	0,073	0,1	0,2	0,036	6,14
РЧВ 20 тис м ³	1,4	11	6,4	0,059	0,1	0,14	0,045	10,36
20.07.2018								
Водовод	6,2	32	9,76	0,332	0,3	Відс.	0,066	209,475
РЧВ 5 тис м ³	1,0	7	6,4	0,098	0,1	0,21	0,068	4,48
РЧВ 20 тис м ³	1,2	12	6,72	0,056	0,1	0,15	0,093	5,54
23.07.2018								
Водосховище «Відсічне»,	9,9	36	11,04	0,434	0,43	відс..	відс.	166,28

Дата та місце відбору проб води	Каламутність, мг/дм ³	Кольоровість, град.	Окиснюваність, мг/дм ³	Марганець, мг/дм ³	Залізо, мг/дм ³	Залишковий алюміній, мг/дм ³	Хлороформ, мг/дм ³	Фітопанктон, тис. кл/дм ³
<i>t</i> води – 21 °С								
Водовод	7,1	28	9,92	0,381	0,32	відс.	0,021	107,66
РЧВ 5 тис м ³	1,6	11	6,08	0,073	0,1	0,2	0,031	10,64
РЧВ 20 тис м ³	1,7	13	6,72	0,158	0,11	0,14	0,036	9,18
24.07.2018								
Водовод	5,9	28	9,12	0,582	0,33	відс.	0,017	89,02
РЧВ 5 тис м ³	1,3	12	6,24	0,112	0,11	0,21	0,054	4,78
РЧВ 20 тис м ³	1,3	14	6,56	0,192	0,12	0,15	0,059	6,12
25.07.2018								
Водовод	6,8	32	8,8	0,52	0,32	відс.	0,028	101,38
РЧВ 5 тис м ³	1,4	18	5,92	0,107	0,11	0,09	0,054	7,86
РЧВ 20 тис м ³	1,4	18	5,74	0,11	0,1	0,11	0,057	10,2
26.07.2018								
Водовод	8,3	48	8,32	0,525	0,22	відс.	0,076	224,14
РЧВ 5 тис м ³	1,7	28	5,28	0,148	0,1	0,11	0,09	3,16
РЧВ 20 тис м ³	1,7	28	5,12	0,158	0,1	0,14	0,102	1,48
27.07.2018								
Водовод	8,3	56	8,48	0,368	0,33	відс.	0,032	295,38
РЧВ 5 тис м ³	1,4	18	5,6	0,128	0,1	0,09	0,023	3,82
РЧВ 20 тис м ³	1,3	22	5,6	0,11	0,11	0,1	0,023	5,28
30.07.2018								
Водосховище «Відсічне», <i>t</i> води – 22 °С	8,4	56	11,52	0,663	0,51	відс.	відс.	359,22
Водовод	7,6	36	10,76	0,56	0,4	відс.	0,045	178,08
РЧВ 5 тис м ³	1,4	24	6,24	0,191	0,14	0,14	0,086	4,06
РЧВ 20 тис м ³	1,3	26	5,92	0,253	0,1	0,16	0,087	4,94
31.07.2018								
Водовод	8,0	48	9,52	0,583	0,38	відс.	0,053	174,72
РЧВ 5 тис м ³	1,3	14	5,92	0,216	0,18	0,33	0,052	5,4
РЧВ 20 тис м ³	1,7	18	6,24	0,138	0,12	0,18	0,055	8,64
01.08.2018								
Водовод	9,0	56	9,92	0,501	0,37	відс.	0,16	72,18
РЧВ 5 тис м ³	1,4	16	5,74	0,064	0,17	0,4	0,197	4,64
РЧВ 20 тис м ³	2,0	26	6,72	0,206	0,13	0,35	0,206	9,24
02.08.2018								
Водовод	7,6	56	10,4	0,626	0,39	відс.	0,123	164,66
РЧВ 5 тис м ³	1,4	16	5,6	0,038	0,16	0,28	0,173	6,0
РЧВ 20 тис м ³	2,0	26	7,2	0,196	0,12	0,21	0,197	9,8
03.08.2018								
Водовод	6,9	48	8,8	0,583	0,39	відс.	0,088	156,24
РЧВ 5 тис м ³	1,4	18	4,48	0,009	0,19	0,32	0,077	5,64
РЧВ 20 тис м ³	1,8	24	5,92	0,208	0,13	0,2	0,114	7,22
06.08.2018								
Водосховище «Відсічне», <i>t</i> води – 23 °С	9,8	56	12,0	0,379	0,48	відс.	Відс.	277,16
Водовод	5,7	36	10,72	0,414	0,38	відс.	0,084	69,04
РЧВ 5 тис м ³	1,7	18	6,08	0,049	0,15	0,33	0,165	4,82
РЧВ 20 тис м ³	1,7	16	7,04	0,189	0,13	0,22	0,176	12,78

Виробничий експеримент почався в той момент, коли температура води у водосховищі «Відсічне» складала 20 °С, органолептичні

показники відповідали: каламутність – 7,4 мг/дм³, кольоровість – 44 °; концентрація марганцю становила – 0,234 мг/дм³, заліза –

0,38 мг/дм³, окиснюваність перманганатна була на рівні 10,08 мг/дм³, фітопланктон – 334,425 тис. кл/дм³, хлороформ у воді був відсутній. Оскільки ми визначили, що найбільш проблемними показниками для питної водопровідної води є окиснюваність, марганець, хлороформ та фітопланктон, в дослідженнях приділяли найбільшу увагу саме їм.

В першу чергу, під час лабораторних досліджень якості питної води визначали органолептичні показники – каламутність та кольоровість, щоб з'ясувати чи не вплине впровадження нового реагенту на погіршення якості води за органолептикою. Як видно на рисунку 2, каламутність води у водосховищі «Відсічне» впродовж виробничого експерименту коливалася від 7,4 мг/дм³ до 9,9 мг/дм³. При цьому, після введення *Carusol* на 1 підйомі, якість води за показником каламутності не погіршувалася, а, навпаки, відбувалося її зниження при досягненні 2 підйому (Водовод) на 0,8-4,1 мг/дм³ або на 10–42%. Каламутність варіювала в межах значень 4,5–9 мг/дм³, розраховане середнє значення відповідало 6,83±1,24 мг/дм³. Далі, в процесі технологічного очищення води на водоочисних спорудах, вміст каламутності вже перебував в рамках нормативного значення 2,031 мг/дм³ [13].

Концентрація каламутності за період експерименту змінювалася в межах: РЧВ 5000 м³ – 1,32±0,29 мг/дм³, РЧВ 20000 м³ – 1,47±0,35 мг/дм³, а значення, які найбільше зустрічалися протягом всього виробничого експерименту були: РЧВ 5000 м³ – 1,4 мг/дм³, РЧВ 20000 м³ – 1,7 мг/дм³.

Що стосується кольоровості води, то вона у водосховищі протягом експерименту також підвищилася з 44 до 56 ° (рисунок 3). Однією з причин такого збільшення кольоровості та каламутності є підвищення температури води у «Відсічному» з 20 до 23 °С, оскільки нами вже було попередньо доведено тісний зв'язок між зміною температури та органолептичними показниками [14]. Кольоровість варіювала в межах 24–56 °С, а середнє значення за час експерименту було на рівні 38±12 С.

Отже, після першого введення реагенту 16.07, кольоровість води у водоводі зменшилася у 2 рази, а після технологічного очищення досягла нормативної якості 7–8 С. В наступні дні експерименту відбувалося також достатнє зниження кольоровості у водоводі: 23.07 – на 8 ° або на 22 %, 30.07 та 06.08 – на 20 ° або на 36 %. Але наголошую, що на 1 підйомі додатково після введення *Carusol* проводили дозування і хлору, тому такий результат, це об'єднана дія двох реагентів.

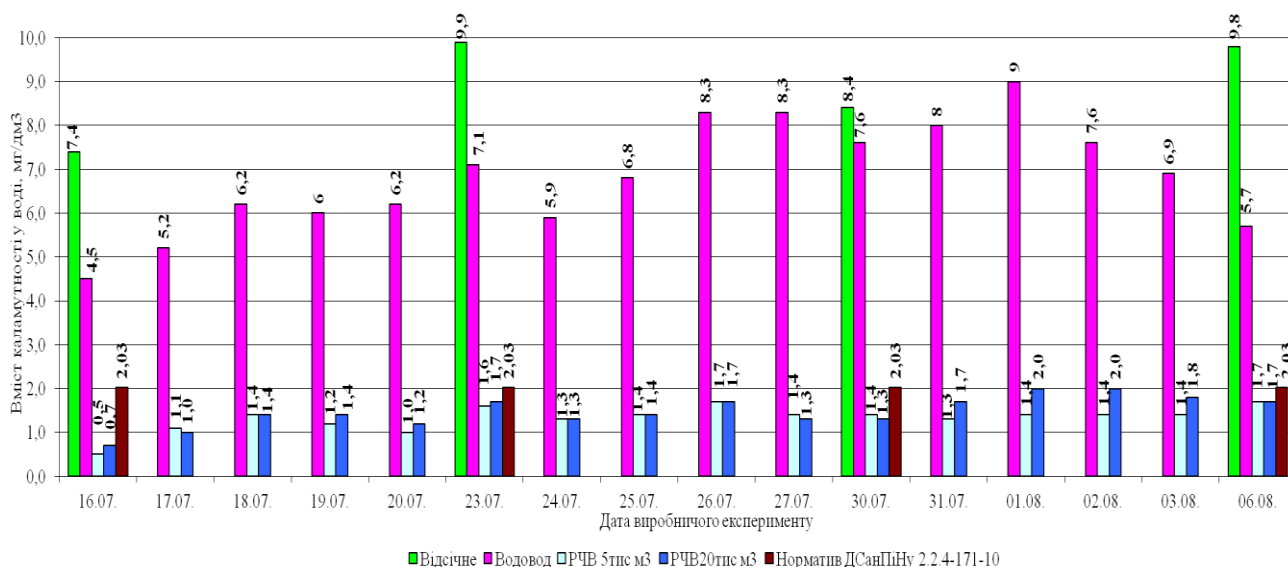


Рисунок 2 – Динаміка зміни якості води по вмісту каламутності при введенні *Carusol*

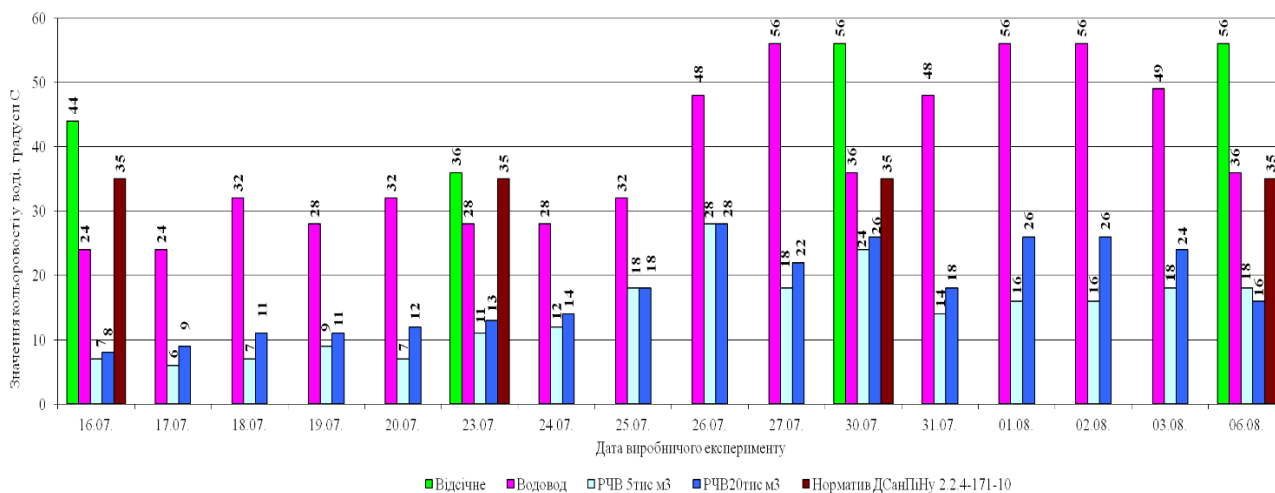


Рисунок 3 – Динаміка зміни якості води по кольоровості при введенні *Carusol*

Як ми знаємо, застосування перманганату натрію в технології водопідготовки ефективно впливає на процес коагуляції та дозволяє зменшити дозу коагулянту, яка використовується для очищення води. Так, за дози коагулянту 30 мг/дм³ (хоча найчастіше в літній період використовується доза 45 мг/дм³ і вище), відбулося достатнє очищення за кольоровістю. Після водоочисних споруд питна вода в резервуарах по кольоровості мала значення нижче за нормативне. За період виробничого впровадження кольоровість варіювала в межах: РЧВ 5000 м³ – 6–28°, РЧВ 20000 м³ – 8–28°, розраховане середнє значення було на рівні: РЧВ 5000 м³ – 14±6°, РЧВ 20000 м³ – 18±9°.

Нами визначено, що ефективність очистки води у резервуарах (приймалося до уваги найменше значення кольоровості з двох ре-

зервуарів) по відношенню до якості води у водоводі складала: першу неділю – 68-78%, другу неділю – 42-68%, третю – 33-63%. Можна зробити висновок, що ефективність очищення води реагентом *Carusol* в теплий період року за показником кольоровості достатньо висока.

Оскільки водосховище «Відсічне» характеризувалося високим рівнем органічного забруднення впродовж періоду нашого спостереження 2005-2018 рр., то якість питної води досить тривалий час за показником окиснюваності перманганатної не відповідала встановленому нормативу [14]. На момент введення *Carusol*, а саме 16.07, значення окиснюваності у водосховищі відповідало 10,08 мг/дм³ та впродовж експерименту зросло на 2,08 мг/дм³ (06.08) до 12 мг/дм³ (рисунок 4).

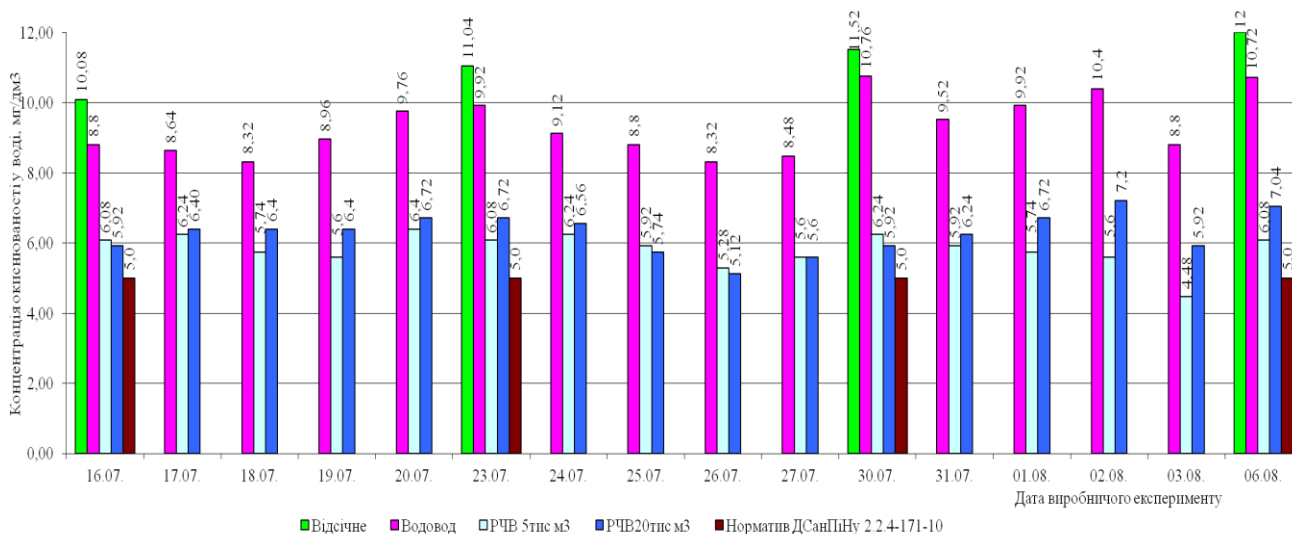


Рисунок 4 – Динаміка зміни якості води по окиснюваності перманганатній при введенні *Carusol*

Після введення реагенту, у водоводі сирій води окиснюваність поступово знижувалася, але не на багато, на 0,76–1,28 мг/дм³, а далі, після очищення на фільтрах та освітлювачах, досягала значень 4,48 (03.08) – 7,2 мг/дм³ (02.08). Окиснюваність впродовж часу спостереження змінювалася в межах 8,32–10,76 мг/дм³, значення, які частіше зустрічалися становили 8,8 мг/дм³, а розрахована середня концентрація була на рівні 9,33±0,44 мг/дм³ (p<0,05).

Як видно з діаграми на рисунку 4, 16.07 відбулося очищення води в резервуарах по відношенню до якості води у водосховищі на 4 та 4,16 мг/дм³, тобто на 40 і 41% відповідно; 23.07 – на 4,96 та 4,32 мг/дм³ або на 45 і 39%; 30.07 – 5,28 та 5,6 мг/дм³ або на 46 і 49%; 06.08 – 5,92 та 4,96 мг/дм³ або на 49 та 41% відповідно. Але нормативного значення окиснюваність під час експерименту досягла лише 03.08 – 4,48 мг/дм³ та 26.07 – 5,12 мг/дм³, за весь період експерименту вона варіювала в діапазоні 4,48 – 7,2 мг/дм³. Це говорить лише про те, що необхідно, все ж таки, для повного очищення води від органічного забруднення додатково застосовувати активоване вугілля, або як засипку для фільтрів, або проводити дозування порошкоподібного вугілля.

Розраховане середнє значення окиснюваності становило: РЧВ 5000 м³ – 5,83±0,25 мг/дм³, РЧВ 20000 м³ – 6,29±0,3 мг/дм³ (p<0,05), що не відповідало встановленому ДСанПіНом нормативу (5,0 мг/дм³).

Отже, ефективність очищення води від окислюваності перманганатної має місце, хоча і не достатньо висока. Для більш ретельного видалення, все ж таки, необхідно застосовувати активоване вугілля.

Попередньо проаналізовані нами результати власного дослідження доводять, що очищення та дезінфекція води, яка має високий ступінь органічного забруднення, хлором, призводить до утворення хлороформу у високих концентраціях [15].

Як видно з рисунку 5, з 16.07 по 01.08 завдяки дозуванню *Carusol* на 1 підйомі та зменшенню дози хлору (7,5 мг/дм³), що використовувалася додатково, окислення органічної речовини відбулося із утворенням меншої концентрації хлороформу у воді водоводу. Завдяки цьому, вміст хлороформу з 0,089 мг/дм³ почав знижуватися та досяг свого мінімуму 23–25.07 і становив 0,017–0,028 мг/дм³. Відбулося його зменшення майже на 80%, а взагалі, впродовж експерименту фіксувалося зниження хлороформу у водоводі в порівнянні із першим днем дозування *Carusol* на 15% (26.07) – 64% (27.07). При цьому, починаючи вже з 18.07 відбувається суттєве зменшення утвореного хлороформу і у резервуарах питної води. В окремі дні (18–19.07, 23–25.07, 31.07) його концентрація відповідає встановленому ДСанПіНом 2.2.4.-171-10 нормативному значенню 0,06 мг/дм³.

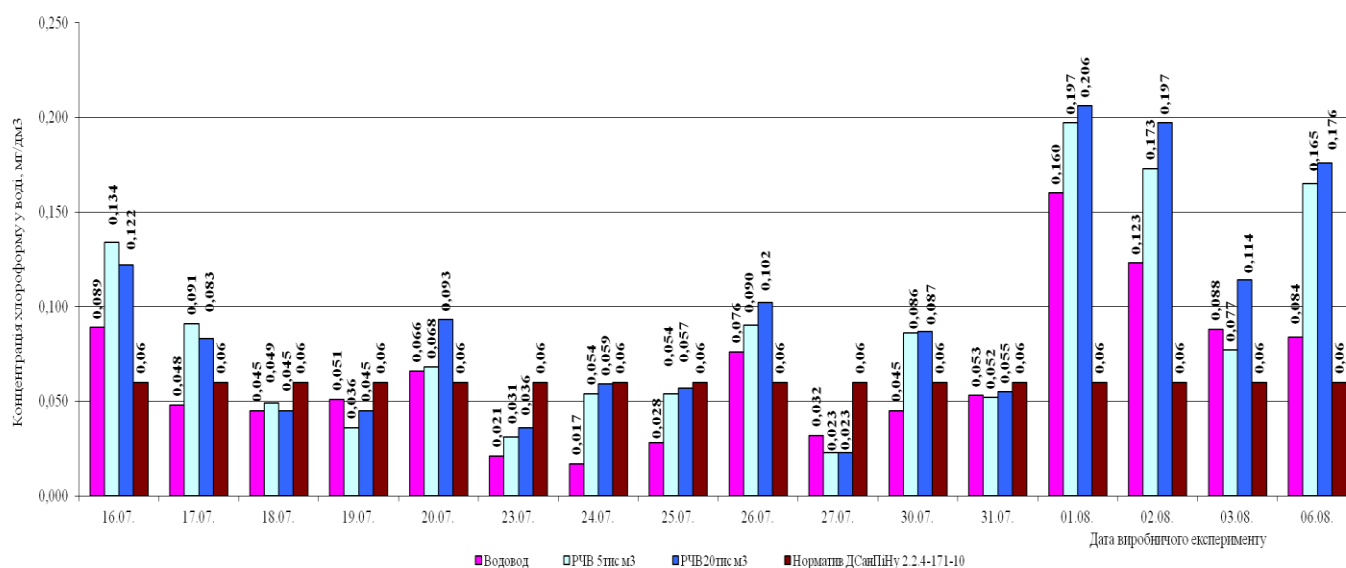


Рисунок 5 – Динаміка зміни якості води по хлороформу при введенні *Carusol*

Якщо проводити порівняння ефективності видалення утвореного хлороформу у резервуарах у перший день експерименту 16.07.2018 (0,134 та 0,122 мг/дм³) з наступними днями, то ми отримуємо наступні дані:

17.07.2018 (0,091 і 0,083 мг/дм³) – відбулося зменшення у РЧВ 5000 м³ на 0,043 мг/дм³ або на 32%; у РЧВ 20000 м³ на 0,039 мг/дм³ або на 32%;

18.07.2018 (0,049 і 0,045 мг/дм³) – відбулося зменшення у РЧВ 5000 м³ на 0,085 мг/дм³ або на 64%; у РЧВ 20000 м³ на 0,077 мг/дм³ або на 63%;

19.07.(0,036 і 0,045 мг/дм³) – відбулося зменшення у РЧВ 5000 м³ на 0,098 мг/дм³ або на 73%; у РЧВ 20000 м³ на 0,077 мг/дм³ або на 63%;

20.07.2018 (0,068 і 0,093 мг/дм³) – відбулося зменшення у РЧВ 5000 м³ на 0,066 мг/дм³ або на 49%; у РЧВ 20000 м³ на 0,029 мг/дм³ або на 24%;

23.07.2018 (0,031 і 0,036 мг/дм³) – відбулося зменшення у РЧВ 5000 м³ на 0,103 мг/дм³ або на 77%; у РЧВ 20000 м³ на 0,086 мг/дм³ або на 70%; і т. д.

За перші дві неділі експерименту концентрація хлороформу змінювалася в рамках значень: водовод – 0,017-0,089 мг/дм³, РЧВ 5000 м³ – 0,023-0,134 мг/дм³, у РЧВ 20000 м³ – 0,023-0,122 мг/дм³. Розраховане середнє значення концентрації було на рівні: водовод – 0,047±0,014 мг/дм³, РЧВ 5000 м³ – 0,064±0,02 мг/дм³, у РЧВ 20000 м³ – 0,067±0,019 мг/дм³ (p<0,05).

З 01.08. паралельно із дозуванням *Carusol* відбулося збільшення дози подання хлору на 1 підйомі (12,6 мг/дм³) і це одразу позначилося на кількості утвореного хлороформу у воді водоводу, і, як результат, у резервуарах питної води (рисунок 5). Концентрація хлороформу зросла в порівнянні з 31.07 у водоводі на 0,107 мг/дм³ або в 3 рази; у РЧВ 5000 м³ на 0,145 мг/дм³ або у 3,8 разів; у РЧВ 20000 м³ на 151 мг/дм³ або у 3,7 разів. Вже до кінця експерименту концентрація хлороформу залишалася на рівні, що набагато вищий за нормативне значення. За ці дні виробничого експерименту концентрація хлороформу варіювала в межах: водовод – 0,084-0,16 мг/дм³, РЧВ 5000 м³ – 0,077-0,197 мг/дм³, у РЧВ 20000 м³ – 0,092-0,206 мг/дм³. Розраховане

середнє значення концентрації було на рівні: водовод – 0,113±0,056 мг/дм³, РЧВ 5000 м³ – 0,153±0,083 мг/дм³, у РЧВ 20000 м³ – 0,173±0,066 мг/дм³ (p<0,05).

За весь період виробничого впровадження реагенту – окисника концентрація хлороформу змінювалася: водовод – від 0,017 до 0,16 мг/дм³, РЧВ 5000 м³ – 0,023-0,197 мг/дм³, у РЧВ 20000 м³ – 0,023-0,206 мг/дм³. Розраховане середнє значення концентрації було на рівні: водовод – 0,064±0,02 мг/дм³, РЧВ 5000 м³ – 0,086±0,028 мг/дм³, у РЧВ 20000 м³ – 0,094±0,03 мг/дм³ (p<0,05).

Отже, можна стверджувати про достатньо високу ефективність очищення питної води за допомогою використання в технології водопідготовки реагенту перманганату натрію, оскільки в деякі дні вона складала 60-70%.

Наступним показником якості води, на який варто було звернути увагу під час виробничого впровадження, був показник концентрації марганцю у воді (рисунок 6).

Як свідчать отримані нами результати дослідження, концентрація марганцю у водосховищі «Відсічне» впродовж експерименту з 16.07 по 31.07 зросла майже у 3 рази: з 0,23 до 0,663 мг/дм³. Під час експерименту у водоводі відбувалося незначне окислення марганцю: 23.07 – на 12 %, 30.07 – на 15 %. При цьому вміст марганцю коливався в межах 0,308-0,626 мг/дм³, а середнє розраховане значення було на рівні 0,456±0,061 мг/дм³ (p<0,05). Але, в підсумку, в резервуарах питної води марганець окислювався до значення, яке було нижче нормативу ДСанПіНу (0,5 мг/дм³). Так, на першій неділі експерименту у резервуарах по відношенню до водоводу відбувалося видалення марганцю на 61-82 %, на другій – на 70-80%, на третій – на 66-98 %. Як ми вже знаємо, на останній (третій) неділі експерименту було збільшено дозу подачі хлору, тому такий результат, скоріше за все, спільна дія обох реагентів. Впродовж дослідження якість води по марганцю варіювала в рамках: РЧВ 5000 м³ – 0,009-0,216 мг/дм³, у РЧВ 20000 м³ – 0,056-0,253 мг/дм³. Розраховане середнє значення концентрації було на рівні: РЧВ 5000 м³ – 0,0996±0,029 мг/дм³, у РЧВ 20000 м³ – 0,144±0,032 мг/дм³ (p<0,05).

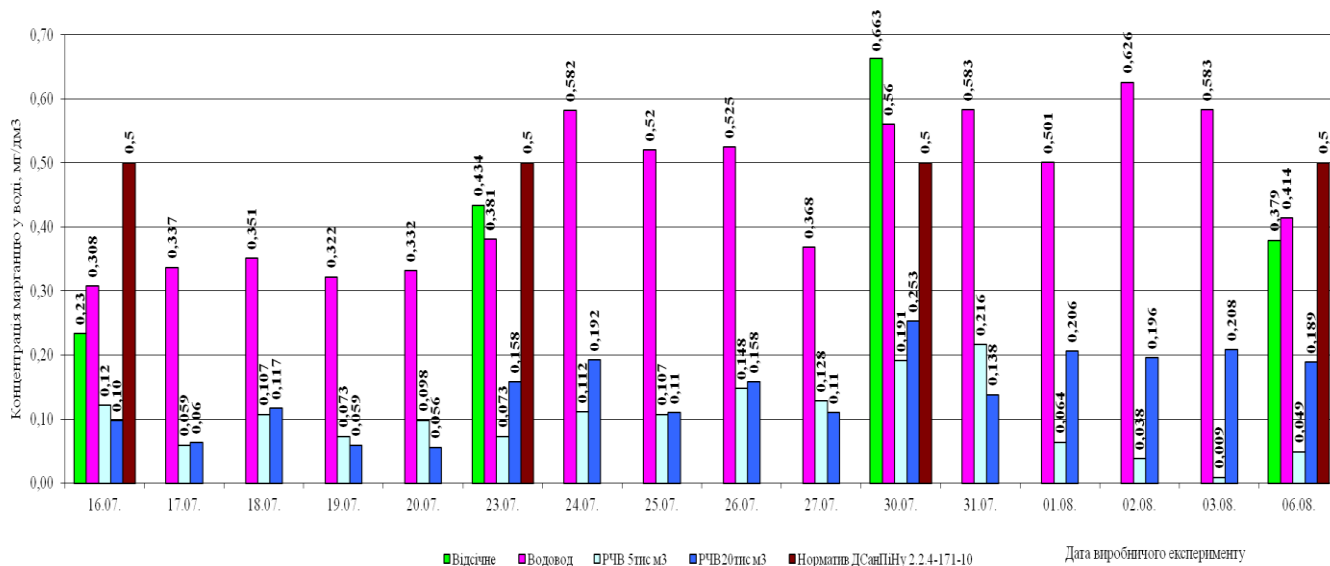


Рисунок 6 – Динаміка зміни якості води по марганцю при введенні *Carusol*

Відтак, ефективність видалення марганцю за допомогою *Carusol* в літній час при температурі води більше 20 °C має місце. Це підтверджено експериментально.

Останнім показником, який потребував нашої уваги під час проведення виробничого впро-

вадження, був показник наявності фітопланктону (рисунок 7), оскільки особливо в літній час кількість клітин фітопланктону у водосховищі «Відсічне» може досягати біля 2 млн. клітин.

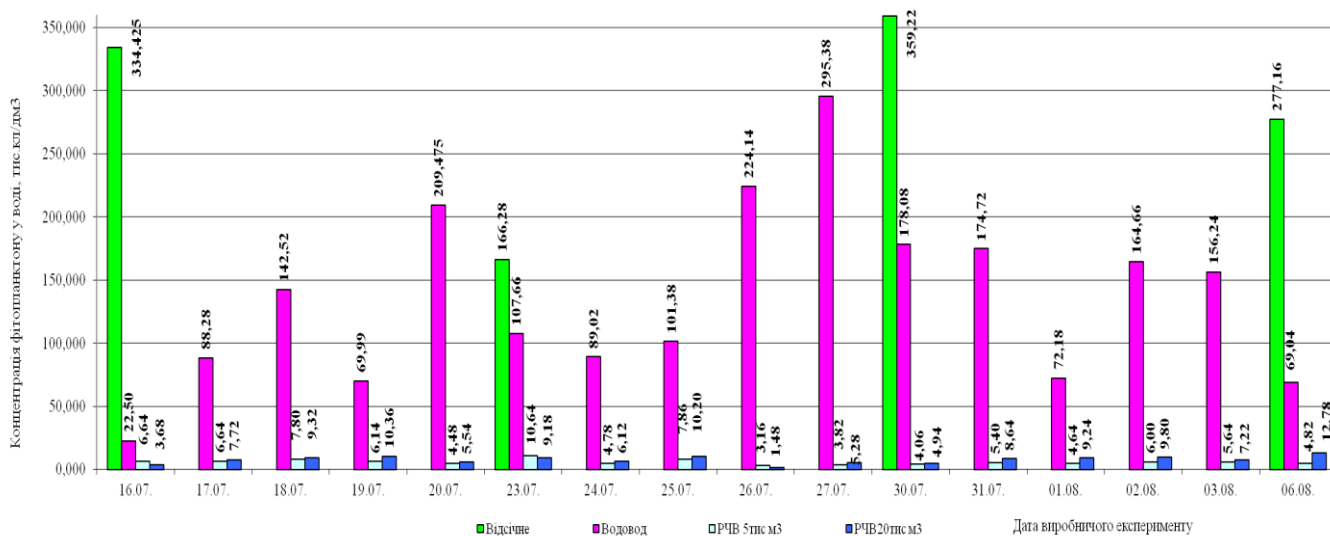


Рисунок 7 – Динаміка зміни якості води за вмістом фітопланктону при введенні *Carusol*

Лабораторно нами було доведено ефективність використання перманганату натрію для зниження концентрації фітопланктону. Оптимальна доза реагенту *Carusol* тоді була запропонована 0,2 мг/дм³.

За період експерименту якість води по фітопланктону коливалася в межах: водовод – 22,5-295,38 тис кл/дм³, РЧВ 5000 м³ – 3,16-10,64 тис кл/дм³, у РЧВ 20000 м³ – 0,1,48-

12,76 тис кл/дм³. Розраховане середнє значення концентрації було на рівні: водовод – 135,33±37,78 тис кл/дм³, РЧВ 5000 м³ – 5,78±0,99 тис кл/дм³, у РЧВ 20000 м³ – 7,59±1,55 тис кл/дм³ (p<0,05).

Як свідчать отримані нами дані, в перший день експерименту відбулося окислення фітопланктону у водоводі у 15 разів або на 93%. Відповідно при цьому у резервуарах фітопла-

нктон окислився у РЧВ 5000 м³ – на 98%, у РЧВ 20000 м³ – на 99%. Якщо аналізувати щоденні результати по фітопланктону у резервуарах отримані впродовж першої неділі по відношенню до концентрації у водоводі, то відбулося видалення на 91-95%, другої неділі – 92-99%, третьої неділі – 94-98%. Отже, підтверджується висока ефективність окислення фітопланктону за допомогою реагенту *Carusol* за умов високої температури води.

ВИСНОВКИ

По заключенню проведеного виробничого експерименту можна зробити наступні ви-

сновки: в літній період за високої температури води у джерелі водопостачання відмічається достатньо висока технологічна та екологічна ефективність очищення питної води за допомогою реагенту – окисника *Carusol* за такими показниками, як органолептичні показники, фітопланктон та хлороформ. Ефективність очищення води від окислюваності перманганатної має місце, хоча і не достатньо висока. Для більш ретельного видалення необхідно застосовувати активоване вугілля. Окислення марганцю також має місце на достатньому рівні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Honcharuk, V. V. (2009). *Khimiiia vody i problemy vodopostachannia* [Water chemistry and water supply problems]. *Nauka i tekhnolohiia*, 4, 18–24 (in Ukrainian)
[Гончарук, В. В. (2009). Хімія води і проблеми водопостачання. *Наука і технологія*, 4, 18–24].
2. Yatsyk, A. V. (Ed.). (2007). *Vodni resursy: vykorystannia, okhorona, vidtvorennia, upravlinnia* [Water resources: use, protection, reproduction, management]. Kyiv: Heneza (in Ukrainian)
[Яцик, А. В. (Ред.). (2007). *Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління*. Київ: Генеза].
3. Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. (2016). *Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha Ukrainy u 2014 rotsi* [National report on the state of the environment of Ukraine in 2014] (in Ukrainian)
[Міністерство екології та природних ресурсів України. (2016). *Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища України у 2014 році*].
4. Prokopov, V. O. (2016). *Pytna voda Ukrainy: medyko-ekolohichni ta sanitarno-hihiiienichni aspekty* [Drinking water of Ukraine: medical-ecological and sanitary-hygienic aspects]. Kyiv: Medytsyna (in Ukrainian)
[Прокопов, В. О. (2016). *Питна вода України: медико-екологічні та санітарно-гігієнічні аспекти*. Київ: Медицина].
5. Carus Water. (2015). *Carusol Liquid Permanganate. Technical Support*. Retrieved from <https://www.carusllc.com/resources/content/1/1/3/documents/comparison-of-carusol-and-carusol-c.pdf>
6. Bashynska, I. L. (2019). Preparation of drinking water by Carusol reagent. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(1), 7–18.
7. Carus Group. (2020). *History*. Retrieved from <https://www.carusllc.com/home/about-us/history>
8. Ficek, K., Boll, Jh. (1980). *Potassium Permanganate: An Alternative to Prechlorination*. Retrieved from <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.404.9201&rep=rep1&type=pdf>
9. Andriichuk, V. I. (2014). *Vodoprovodna voda bez zapakhu i prysmaku – realnist: Permanhanat natriiui e rishenniam usikh problem* [Odorless and tasteless tap water - a reality: Sodium permanganate is the solution to all problems]. *Vodopostachannia ta vodovidvedennia*, 5, 30–43 (in Ukrainian)
[Андрійчук, В. І. (2014). *Водопровідна вода без запаху і присмаку – реальність: Перманганат натрію є рішенням усіх проблем*. *Водопостачання та водовідведення*, 5, 30–43].

10. Fedorchenko, L. (2015). Permanhanat natriiu: dovhoochikuvane vyrishennia problemy nepryiemnykh zapakhiv ta prysmakiv vodoprovudnoi vody [Sodium permanganate: a long-awaited solution to the problem of odors and tastes of tap water]. *Vodopostachannia ta vodovidvedennia*, 5, 28–30 (in Ukrainian)
[Федорченко, Л. (2015). Перманганат натрію: довгоочікуване вирішення проблеми неприємних запахів та присмаків водопровідної води. *Водопостачання та водовідведення*, 5, 28–30].
11. Bashynska, I. L. (2019). *Carusol – alternatyva dezinfektsii vody khlorom* [Carusol is an alternative to disinfecting water with chlorine]. Retrieved from http://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2019/16024/importantdoc/proceeding_swswr2019.pdf (in Ukrainian)
[Башинська, І. Л. (2019). *Carusol – альтернатива дезінфекції води хлором*. URL: http://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2019/16024/importantdoc/proceeding_swswr2019.pdf].
12. Bashynska, I. L., & Romanchuk, L. D. (2019). Permanhanat natriiu v tekhnolohii vodopidhotovky [Sodium permanganate in water treatment technology]. *Voda v kharchovii promyslovosti* (s. 22–24). Retrieved from https://card-file.onaft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/11256/1/Water_in_food_industry_2019_Bashynska.pdf (in Ukrainian)
[Башинська, І. Л., & Романчук, Л. Д. (2019). Перманганат натрію в технології водопідготовки. *Вода в харчовій промисловості* (с. 22–24). URL: https://card-file.onaft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/11256/1/Water_in_food_industry_2019_Bashynska.pdf].
13. Ministerstvo okhorony zdorov'ia Ukrainy. (2010). Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoi dlia spozhyvannia liudynoii [Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption] (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (in Ukrainian)
[Міністерство охорони здоров'я України. (2010). *Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною* (ДСанПіН 2.2.4-171-10). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>].
14. Bashynska, I. L. (2019). *Ekolohichna otsinka yakosti vody poverkhnevoho dzherela vodopostachannia m. Zhytomyra za orhanoleptychnymy pokaznykamy* [Ecological assessment of water quality of the surface source of water supply of Zhytomyr on organoleptic indicators]. *Hidrolohiiia, hidrokhiimia i hidro ekolohiia*, 3(54), 22–24 (in Ukrainian)
[Башинська, І. Л. (2019). Екологічна оцінка якості води поверхневого джерела водопостачання м. Житомира за органолептичними показниками. *Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія*, 3(54), 22–24].
15. Bashinskaya, I. (2018). Chloroform in drinking-water and analysis of factors that lead to its formation (on example of city of Zhytomyr). *Education and Science*, 2(25), 9–18. doi: [10.31339/2617-0833-2018-2\(25\)-9-18](https://doi.org/10.31339/2617-0833-2018-2(25)-9-18)