

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202102-303>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/303>

УДК 618.3.621.395

НОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ ВОДОПІДГОТОВКИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Є.М. Мацелюк¹, канд. техн. наук, Д.В. Чарний², докт. техн. наук, В.Д. Левицька³, С.В. Марисик⁴

¹Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-9960-6333>; e-mail: evgen1523@ukr.net;

²Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-6150-6433>; e-mail: dmitriych10@gmail.com;

³Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2213-1696>; e-mail: veral@ukr.net;

⁴Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-0100-7787>; e-mail: sergsi.marisik@ukr.net

Анотація. Розглянуто сучасний стан формування якості води в поверхневих водоймах, які слугують джерелами питного водопостачання в басейні р. Дніпро. Проаналізовано основи діючих в Україні технологій підготовки води. Встановлено невідповідність даних технологій сучасній якості води в цих джерелах водопостачання, оскільки дана технологія не зовсім придатна для очищення води із значною органічною складовою будь-якого генезу. Виявлено, що одним із головних факторів, який формує якість води у водосховищах у теплий період, є фітопланктон, особливо в період «цвітіння» водосховищ. Показано супутні фактори, що супроводжують це явище, проаналізовано тренди розвитку та їх вплив на діючі системи водопідготовки. Розглянуто можливість застосування реагентів з ефектом окиснення органічної складової вихідної води, зокрема діоксиду хлору, застосування якого є ефективним при знезараженні хлор-резистентної мікробіоти, окисненні фенолів, а головне, в умовах очікуваного зростання концентрації мікоцистинів діоксид хлору може бути, за аналогією з озonom, доволі ефективним окисником цих токсинів та ще й з пролонгованим ефектом знезараження. Наведено можливі напрями розвитку систем водопідготовки шляхом інтенсифікації біо-фізико-хімічних процесів на базі існуючого типового ємнісного і корпусного обладнання водоочисних станцій. Встановлено перспективні в даних умовах напрями науково-технологічних розробок для обґрунтування ефективних рішень із модернізації існуючих водоочисних споруд, а саме: доцільно розглядати лише ті напрями, які забезпечують можливість очищення води з високою концентрацією фітопланктону без глобальної чи докорінної зміни технології водопідготовки. Тобто ці підходи мають максимально використовувати вже існуючі очисні споруди або шляхом їх реконструкції, або ж із використанням нових реагентів, чи поєднуючи обидва ці напрями.

Ключові слова: фітопланктон, технологія водопідготовки, біогенні речовини, реагенти, ζ -потенціал

Актуальність проблеми. Поширені в Україні технології очистки води з поверхневих джерел водопостачання розроблені в кінці XIX – на початку XX сторіччя. Їх теоретичним підґрунтям слугували доволі прогресивні, як для того часу, положення хімічної теорії коагуляції Дюкло і адсорбційної теорії коагуляції Фрейндліха, а також загальноприйнятої нині теорії ДЛФО (теорія стійкості ліофобних колоїдів Дерягіна, Ландау, Фервея, та Овербека). На основі цього теоретичного базису був визначений головний чинник технологічних процесів водопідготовки – коагулянт на основі солей алюмінію, який став найбільш розповсюдженим коагулянтом у світі з усіма своїми перевагами і недоліками.

Для знезараження природних вод дедалі поширенішим дезінфектантом стає гіпохлорит натрію. В нинішніх умовах антропогенних і кліматичних змін, що змінюють якість поверхневих вод, а саме – підвищення концентрації органічної складової забруднень води, такі коагулянти і дезінфектанти не в змозі забезпечити нормативну якість води. Виникає необхідність обґрунтування нових підходів до процесів водопідготовки, насамперед – при використанні поверхневих джерел водопостачання.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. В результаті аналізу проектних рішень, а також обстеження діючих станцій водопідготовки, виконаних ІВПіМ НААН (водоочисні

станції міст Горішні Плавні, Нікополь, Житомир, головні очисні споруди Західного, Іванівського групових водопроводів), встановлено: технологічний ланцюг – забір води з поверхневого джерела водопостачання, первинне хлорування, введення коагулянту, відстоювання (на окремих водопроводах ця ланка відсутня і відразу починається контактне фільтрування на так званих контактних прояснювачах), фільтрування і кінцеве знезараження за допомогою хлоргазу чи інших хлорвмісних реагентів є типовим для всіх водопроводів. Така система водопідготовки досить надійно працює з каламутними водами, тобто очищає воду від твердої неорганічної фази суспензії та захищає від збудників епідемій шлунково-кишкового тракту, подібних до спалахів дизентерії або холери. Але вже у випадку кольорових і слабокаламутних вод, особливо у холодну пору року з довготерміновим суцільним льодовим покривом, традиційно виникають складнощі при знебарвленні води. Особливо це відчувалось на водопровідних очисних станціях, вихідною водою для яких є води р. Дніпро і його притоків, а це питна вода для понад 70% населення України; кольоровість даних вод обумовлена фульватними сполуками. Тобто, вже при незначній органічній складовій ми починаємо стикатися з функціональною обмеженістю даної технології, особливо це відчувається у випадку відсутності відстійників. Відповідно, дана технологія не зовсім придатна до очищення води зі значною органічною складовою будь-якого генезу, а епізодичне суттєве зростання концентрацій органічної складової вимушено

приводить до використання понаднормових доз хлору і коагулянту. Майже так само непридатна така технологія і у випадку появи хлоррезистентних збудників інфекційних захворювань подібних до гепатиту або туберкульозу, у цьому разі ступінь епідемічної захищеності населення суттєво знижується. Загалом підвищені дози хлору, у поєднанні з органічною складовою вихідної води і залишковим алюмінієм, обумовлюють погіршення органолептичних показників та зростання концентрації хлорорганічних сполук (хлороформ, діхлорметан тощо) в очищеній воді. Стале споживання такої води провокує алергенні, канцерогенні та мутагенні захворювання.

Формування нової якості поверхневих вод. Нині ситуація ускладнюється тим, що під впливом кліматичних і антропогенних змін відбуваються докорінні зміни в якості і кількості води у водоймах України, одним із головних проявів чого є утворення фітопланктону, інтенсивному розвитку якого сприяють продукти сільськогосподарського і фармацевтичного виробництва, які потрапляють у водойми зі стічними водами.

Відповідно, скиди біогенних речовин і підвищення температурного фону утворили умови, при яких акваторії, особливо мілких рівнинних водосховищ, стали надзвичайно сприятливим середовищем для розвитку фітопланктону, головним чином ціанобактерій (синьо-зелених водоростей) [1–5]. При цьому спостерігається процес нарощування біомаси ціан за експоненціальним законом (рис. 1).

Враховуючи характер нарощування біомаси, є підстави стверджувати, що вона

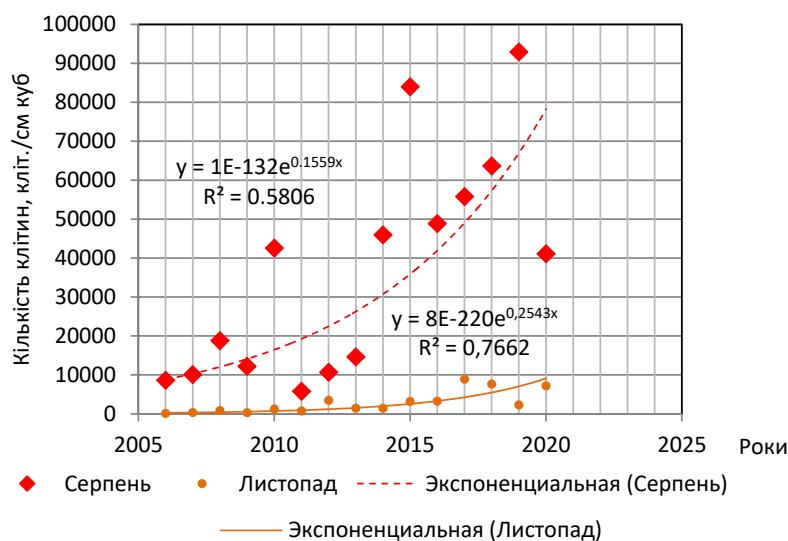


Рис. 1. Характер зміни кількості біомаси фітопланктону в період серпень, листопад 2006–2020 рр. Дніпровського водозабору м. Києва

на сьогодні вже досягає як мінімум десяти мільйонів тонн, і це лише у Кременчуцькому водосховищі.

Новим додатковим чинником, який негативно впливає на якість води, стало те, що збільшення сукупної біомаси ціан спонукає їх видове різноманіття, а це призводить до внутрішньовидової конкурентної боротьби, засобом якої є мікроцистини – токсини з гепатогенною і алергенною дією. Мікроцистини – або ціаногінозини – це токсини, що виробляються ціанобактеріями, насамперед *Microcystis aeruginosa* та іншими *Microcystis*, а також членами родів *Планкототрікс*, *Анабаена*, *Осцилаторії* і *Носток*. Ці токсини також є доволі стійкими при їх обробці за допомогою хлорвмісних реагентів.

Також простежується систематичність у періодах коливань інтенсивності розвитку біомаси фітопланктону.

Фактично ми перебуваємо на порозі ситуації, коли через 5–7 років відбудеться суттєве погіршення води в поверхневих джерелах водопостачання, а поширені у нас технології водопідготовки є недосконалими перед навалюючим фітопланктоном. Відповідно, слід провести ретельний аналіз можливих заходів, які будуть здатні покращити цю ситуацію.

Нові підходи і технологічні рішення при водопідготовці. На наш погляд доцільно розглядати лише ті напрями, які забезпечують можливість очищення води з високою концентрацією фітопланктону без глобальної чи докорінної зміни технології водопідготовки. Тобто ці підходи мають максимально використовувати вже існуючі очисні споруди шляхом їх реконструкції, або ж з використанням нових реагентів, чи поєднуючи обидва ці напрями.

Це стало можливим через такі обставини: за останні 30 років відбулося суттєве зменшення обсягів водоспоживання, приблизно на 60–70%, а площі і об'єми технологічних споруд залишилися ті самі, тобто вони і зараз розраховані на попередні витрати. Відповідно, ми маємо можливість на базі цих споруд розгорнути дещо інші технологічні ланцюги водопідготовки, які зможуть поєднати все краще, що існує як в технологіях фізико-хімічної, так і біологічної обробки води. Масове поширення біологічних технологій чи їх комбінації з фізико-хімічними технологіями стримувалось необхідним часом контакту або швидкістю фільтрації і, відповідно, значними розмірами споруд. Наразі ми фактично маємо необхідні параметри і зараз є ще час, коли можливо визначити оптимальні

напрями реконструкції діючих споруд, а необхідність реконструкції обумовлена не лише невідповідністю очисних споруд якості води у джерелах водопостачання, а і тим, що переважна частина цих споруд вже відпрацювала свій проектний термін.

Розраховувати лише на якийсь один окремо взятий реагент, який дозволить вирішити питання якості води, на наш погляд, є дуже сумнівним. Зараз значна маса живої органіки на вході викликає, в першу чергу, бажання знайти заміну хлору в операції з первинного хлорування і використати його для її первинного окиснення з одночасним недопущенням утворення хлорорганічних сполук, знебарвленням води і нейтралізацією запаху. Існує такий реагент – діоксид хлору. Так, він дійсно не утворює хлорорганічних сполук і поліпшує органолептичні показники оброблюваної води, а при середніх показниках органіки його застосування є більш економічним ніж застосування хлоргазу чи гіпохлориту натрію. Такі привабливі перспективи використання даного реагенту можливо пояснити, виходячи з механізму його дії. Діоксид хлору – неорганічна сполука хлору і кисню з формулою ClO_2 . Якщо застосувати принцип аналогії і розглядати механізм окиснення ClO_2 , приймаючи за основу його головну діючу речовину – атомарний кисень O , то аналогами за діючою речовиною будуть озон O_3 , а також чогось подібного можливо очікувати і від застосування перекису водню H_2O_2 , але ні озон, ні перекис водню не мають серед своїх властивостей – післядії ефекту знезараження.

Виходячи з діючої речовини, стає зрозумілим, чому не утворюються хлорорганічні сполуки у випадку застосування ClO_2 , а також чому замість них слід очікувати появу підвищених концентрацій різноманітних альдегідів, кетонів, ацетонів і тому подібних сполук. Це підтверджується і тим, що після застосування O_3 зазвичай використовують адсорбційну обробку води за допомогою активованого вугілля. До того ж і саму обробку озонуванням не застосовують у якості первинного окиснювача поверхневих вод. Також слід врахувати, що застосування ClO_2 при збільшених концентраціях органічної складової вихідної води буде викликати зростання концентрації хлоритів понад нормативні значення. Підвищені концентрації органічних сполук обумовляють додаткові витрати реагентів на синтез ClO_2 , а це спричинить зменшення економічної ефективності його використання. Але, з іншого боку, застосування ClO_2 є доволі ефективним при знезараженні

хлор-резистентної мікробіоти, окисненні фенолів, а головне, в умовах очікуваного зростання концентрації мікоцистинів, ClO_2 може бути за аналогією з O_3 [6–8] доволі ефективним окисником цих токсинів та ще й з пролонгованим ефектом знезараження.

Наразі ми маємо перспективний реагент, який необхідно грамотно вбудувати в діючий технологічний ланцюг в умовах надзвичайно швидкозростаючого навантаження за фітопланктоном. Тобто вже зараз зрозуміло, що пряме попереднє введення ClO_2 може призвести до дискредитації цього доволі універсального реагенту. Одночасно застосування його після суттєвого зниження концентрації фітопланктону дозволить значно поліпшити якість води і полегшить роботу наступних технологічних процесів.

Фактично ми приходимо до необхідності недопущення чи вилучення значних мас фітопланктону (ціан) перед введенням ClO_2 . Звідси впливає декілька можливих шляхів:

1. Фітопланктон має особливість – його концентрація в одному місці акваторії доволі мінлива, вона постійно змінюється як по глибині, так і по площі. Тобто при постійному моніторингу можливо відбирати воду у період зменшення кількості фітопланктону в районі водозабірних отворів. Це тим більше можливо, якщо врахувати зменшення водоспоживання і наявні об'єми РЧВ та відстійників. Тобто одним з найдешевших шляхів зменшення концентрації фітопланктону у вихідній воді, яка надходить на очисні споруди, є цілодобовий щогодинний моніторинг кількості фітопланктону. Він може провадитись за допомогою автоматичного програмно-апаратного комплексу, розташованого в районі водозабору. Вітчизняні розробки в цьому напрямку вже ведуться [9–12]. Існують і закордонні аналоги, наприклад проточний цитометр і аналізатор частинок FlowCam корпорації Fluid Imaging Technologies [13]. Відповідно забір води чи його зупинка буде визначатись як потребами споживачів, так і концентраціями фітопланктону в районі водозабірних споруд на момент відбору.

2. Логічними є напрями по фізичному недопущенню фітопланктону у технологічний ланцюг водопідготовки, чи хоча б його затримання на перших ланках. Затримка біомаси фітопланктону можлива як за рахунок різноманітних систем фільтрації в «голіві» очисних споруд, так і на самих водозабірних спорудах, можливо, з використанням різноманітних захисних споруд навколо місць водозабору. Вони можуть працювати, наприклад,

за рахунок інфільтрації або інших процесів. У випадку прийняття рішення про затримання фітопланктону на перших ланках очисних споруд можливе застосування специфічних реагентів, здатних активно коагулювати саме біомасу фітопланктону. Але тут виникають специфічні вимоги до цього реагенту: крім ефективної коагуляції фітопланктону він повинен запобігати вторинному забрудненню води у відстійниках. Ці маси фітопланктону мають бути не допущені у відстійники та видалені на рівні камер утворення пластівців, або ж цей коагулянт має завадити процесам посмертального розпаду і гниття зкоагульованих мас фітопланктону. Наразі промислові коагулянти з подібними властивостями нам невідомі, існують лише окремі відомості про експериментальні лабораторні дослідження з вапнування мас фітопланктону за рахунок введення в них сполук кальцію у вигляді наночастинок, ці дослідження мають обнадійливий характер, але сам матеріал, як і всякий наноматеріал, є досить дороговартісним.

Для вилучення фітопланктону шляхом фільтрації потрібен специфічний фільтрувальний матеріал із двома суперечливими вимогами: з одного боку, він має активно адсорбувати на себе фітопланктон, а з іншого – цей матеріал має легко скидати затриманий фітопланктон, процес регенерації такого матеріалу має бути простим і невитратним. Прикладом такого процесу регенерації є зворотня промивка зернистих фільтрів. Такий фільтрувальний матеріал може бути використаний як матеріал для попередніх фільтрів, які можуть вирішувати декілька завдань і бути розміщеними:

1. В районі водозабору НС-1 на напірному колекторі у вигляді фільтрів, подібних до фільтра [14].

2. Також можливе включення первинних фільтрів як складової частини водозаборів, наприклад як своєрідного фільтруючого водозабору, розміщеного в аванкамері насосних станцій [15] або у водозабірних оголовках [16].

3. У камерах утворення пластівців із використанням цих фільтрів як для затримки фітопланктону, так і як контактних фільтрів для прискорення процесу коагуляції [17].

Попередні дослідження з визначення фільтрувального матеріалу свідчать про доволі високу ефективність використання в якості подібного фільтрувального завантаження спінених гранул пінополістиролу.

Нами були проведені дослідження у 2020 р. на водозабірній КП «Житомирводоканал» р. Тетерів, водосховище «Відсічне», а перед тим подібні дослідження проводили на базі

Дніпровського водозабору ПрАТ «АК «Київводоканал»» у 2013 році.

В результаті цих дослідів було встановлено, що фільтрувальне завантаження зі спінених гранул пінополістиролу, яким був завантажений первинний фільтр, є перспективним матеріалом. Воно суттєво знижує вміст фітопланктону навіть при великих швидкостях фільтрування у 20–50 м/год. Ефективність очистки на таких швидкостях становила 50 і більше відсотків. Завантаження досить легко регенерувалось шляхом зворотної промивки. Інтенсивність промивки перебувала в межах 10–14 л/с·м².

Наразі можемо стверджувати, що нам вдалось встановити механізм дії із затримання фітопланктону пінополістиролом. Він полягає в поєднанні фізичних властивостей матеріалу і біологічних особливостей ціан. Головними чинниками ми вважаємо різницю зарядів ζ -потенціал конгломератів ціан $-13 \pm 4,29$ mV і поверхні гранул пінополістиролу $+2,1 \pm 0,4$ mV [2], а також схильність ціан до іммобілізації на твердих і рівних поверхнях.

Нами розроблено гіпотезу, що пояснює «спорідненість» пінополістирольних гранул і конгломератів ціанобактерій (рис. 2).

Процес роботи пінополістирольного фільтра при затримці фітопланктону (найбільше ціанобактерій) наведено на схемі (рис. 3).

Процес затримки ціанобактерій у фільтрі з пінополістирольним фільтрувальним завантаженням такий:

1. Адсорбція конгломератів ціанобактерій на нижньому шарі фільтрувального завантаження за рахунок різниці ζ -потенціалів: -13 mV ціанобактерій і $+2,5$ mV гранул пінополістиролу.

2. Подальша іммобілізація ціанобактерій на поверхні гранул за рахунок «біоклею».

3. Утворення суцільної оболонки з біоплівки на поверхні гранул пінополістиролу та зміна ζ -потенціалу поверхні гранули з $+$ на $-$, одночасно початок кольматації міжпорового простору нижнього шару фільтрувального завантаження фільтра.

4. Формування крупних об'єднань ціанобактерій в міжгранульному просторі з поступовим їх винесенням до верхнього (чистого) шару фільтрувального завантаження і початок нового циклу адсорбції на поверхні гранул пінополістиролу.

5. Поступовий процес адсорбції і кольматації всього фільтрувального завантаження фільтра по всій висоті.

6. Процес виносу ціанобактерій в надфільтровий простір із чистою водою і початок відмирання і розпаду ціанобактерій в товщі фільтра та початок вторинного забруднення фільтрату.

7. Промивка фільтра, в результаті якої відновлюється позитивний ζ -потенціал поверхні гранул. В процесі зворотної промивки за рахунок механічного тертя гранул порушуються зв'язки, що обумовлюють фізичну адсорбцію, і надлишок біоплівки виноситься з промивною водою.

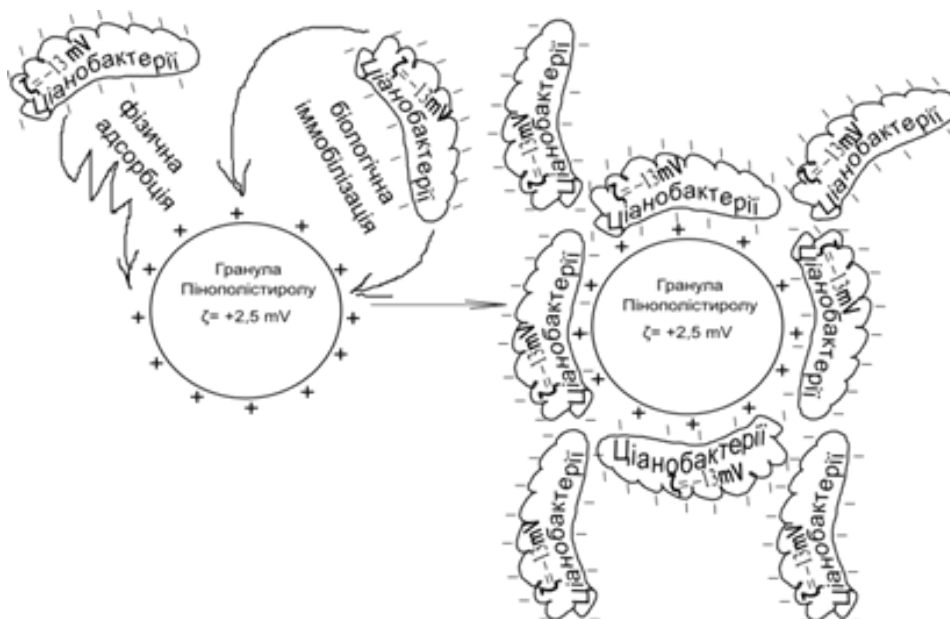


Рис. 2. Спрощена схема затримання ціанобактерій із врахуванням ζ потенціалів, фізичної адсорбції і біологічної іммобілізації з утворенням на поверхні гранул біоплівки

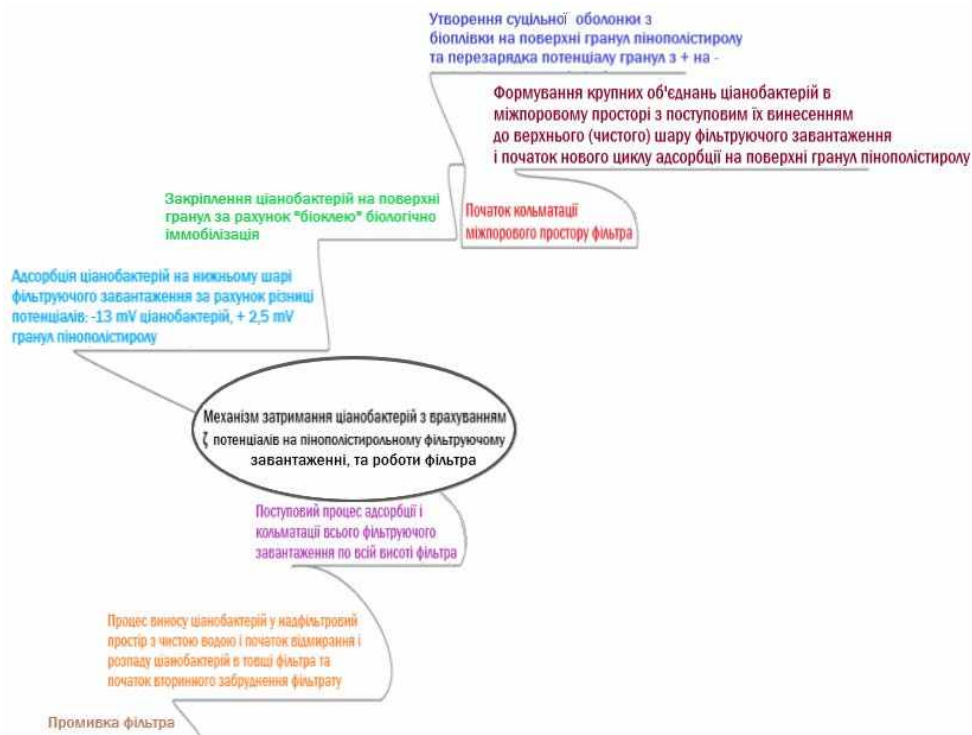


Рис. 3. Процес затримання фітопланктону за допомогою пінополістирольного фільтрувального завантаження

Перспективи подальших досліджень. Для встановлення всіх можливих технічних рішень щодо ефективного затримання фітопланктону необхідно провести низку додаткових досліджень, включно із цілорічною роботою моделей фільтрів із пінополістирольним завантаженням, як попередніх у створі водозабору, так і з моделюванням їх роботи в якості контактних фільтрів поряд із камерами утворення пластівців. Доцільно перевірити роботу інших фільтрувальних матеріалів, чи спробувати розробити новий матеріал зі змінним зарядом ζ -потенціалу – +/- . Необхідною також є програма досліджень із натурального моделювання роботи інфільтраційних споруд захисту водозаборів.

Висновки. Сформульована і підтверджена гіпотеза щодо механізму дії із затримання фітопланктону пінополістиролом. Він полягає в поєднанні фізичних властивостей фільтрувального матеріалу і біологічних властивостей ціан. Головним чинником є різниця зарядів ζ -потенціалів ціан і поверхні гранул пінополістиролу. Встановлено, що пінополістирольне завантаження є ефективним при швидкості фільтрування до $V_f=50$ м/год. Отримані результати досліджень властивостей і ефективності роботи пінополістирольних фільтрів дозволили визначитись з основними напрямками вирішення проблеми очищення води від фітопланктону.

Бібліографія

1. Слободник Я., Алігізакіс Н., Освальд П. Скринінговий моніторинг річкового басейну Дніпра. Київ : Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України; Державне агентство водних ресурсів України; Водна Ініціатива Плюс Європейського Союзу для країн Східного партнерства (EUWI+). Відень : Umweltbundesamt GmbH; Париж : Office International de l'Eau (IOW), 2021. 34 с.
2. Greven A. C. Polycarbonate and polystyrene nanoparticles act as stressors to the innate immune system of fathead minnows (pimephales promelas, rafinesque 1820) Dissertation, LMU, Faculty of Veterinary Medicine. München, 2016. 112 p.
3. Вишневський В. І., Лопата Л. М. «Цвітіння» води на водозборі дніпровської водопровідної станції. *Меліорація і водне господарство*. 2016. № 104. С. 31–35.
4. Влияние антропогенного загрязнения на фитопланктон Каневского водохранилища (Украина): сравнение размерных спектров. Каменир Ю. и др. *Альгология*. 2008. Vol. 18, № 2. С. 149–159.

5. Єльнікова Т. О., Подчашинський Ю. О. Моделювання евтрофних процесів у водосховищах річки Тетерів Житомирської області на основі відеозображень проб води. *Вісник ЖДТУ*. 2015. № 3(74). С. 54–59.
6. Health and Ecological Criteria Division Drinking water health advisory for the cyanobacterial microcystin toxins. Washington, DC : U.S. Environmental Protection Agency Office of Water (4304T), 2015. 75 p.
7. Cyanobacterial toxins: microcystin-Lr in drinking-water. Geneva : World Health Organization, 2003. 14 p.
8. Chorus I., Bartram J. Toxic cyanobacteria in water: a guide to public health significance, monitoring and management. London : Für WHO durch E & FN Spon / Chapman & Hall, 1999. 416 p.
9. Безвесільна О. М., Подчашинський Ю. О. Алгоритмічна обробка двовимірної інформації про механічні величини на основі штучних нейронних мереж. *Вісник ЖДТУ*. 2010. № 2. С. 44–49.
10. Єльнікова Т. О., Коцюба І. Г. Автоматизована система контролю параметрів розвитку фітопланктону у водоймах. *Вісник ЖДТУ*. 2016. № 3(78). С. 143–149.
11. Єльнікова Т. О. Автоматизована система для вимірювання геометричних параметрів фітопланктону. *Вісник ЖДТУ*. 2009. № 1(48). С. 160–164.
12. Єльнікова Т. О. Методика розрахунку точності вимірювань геометричних параметрів фітопланктону за його відеозображеннями. *Вісник ЖДТУ*. 2008. № 4(47). С. 247–252.
13. Fluid Imaging Technologies FlowCam® for harmful algal bloom monitoring. Fluid Imaging Technologies. 2021. URL: <https://www.fluidimaging.com>
14. Фільтр напірний: пат. 147043 Україна: МПК6 B01D 29/00, C02F 1/46. № 202006892; заявл. 27.10.20; опубл. 08.04.21. Бюл. № 7. 5 с.
15. Береговий фільтрувальний водозабір: пат. 143655 Україна: МПК6 B01D 29/00, E03B 3/00. № 202000766; заявл. 10.02.20; опубл. 10.08.20. Бюл. № 15. 5 с.
16. Водозабірний оголовок: пат. 103076 Україна: МПК6 E02B 9/04, E03B3/32. № 201406915; заявл. 20.06.14; опубл. 10.12.15. Бюл. № 23. 4 с.
17. Спосіб підвищення ефективності роботи існуючих типових водопровідних очисних споруд: пат. 128460 Україна: МПК6 C02F 1/64, B01D24/00. № 201711509; заявл. 24.11.17; опубл. 25.09.18. Бюл. 18. 5 с.

References

1. Slobodnyk, Ya. Aligizakis, N., & Osvald P. (2021). Skrynihovyy monitoring richkovogo baseyny Dnipra [Screening monitoring of the Dnieper river basin.] Kyiv : Ministerstvo zakhystu dovkillya ta pryrodnykh resursiv Ukrainy; Derzhavne ahentstvo vodnykh resursiv Ukrainy. Vodna Initsiatyva Plyus Yevropeyskoho Soyuzu dlya krayin Skhidnoho partnerstva (EUWI+). Viden : Umweltbundesamt GmbH. Paryzh : Office International de l'Eau (IOW). [in Ukrainian]
2. Greven, A. C. (2016). Polycarbonate and polystyrene nanoparticles act as stressors to the innate immune system of fathead minnows (pimephales promelas, rafinesque 1820). Candidate's thesis. München : LMU München. [in English]
3. Vyshnevskyy, V. I., & Lopata. L. M. (2016). Tsvitinnya vody na vodozabori dniprovs'koyi vodoprovodnoyi stantsiyi [Flowering of water at the water intake of the Dnieper water supply station]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 104, 31–35. [in Ukrainian]
4. Kamenir, Yu., Mikhaylyuk, T. I., & Popova, A. F (2008). Vliyaniye antropogennoho zagryazneniya na fitoplankton Kanevskogo vodokhranilishcha (Ukraina). sravneniye rozmernykh spektrov [The effect of anthropogenic pollution on phytoplankton of the Kanev reservoir (Ukraine). comparison of dimensional spectra] *Algologiya*, Vol. 18, 2. [in Russian]
5. Yelnikova, T. O., & Podchashynskyy, Yu. O. (2015). Modelyuvannya evtrofnykh protsesiv u vodoskhovyshchakh richky Teteriv Zhytomyrskoyi oblasti na osnovi videozobrazhen prob vody. [Modeling of eutrophic processes in the reservoirs of the river Teteriv, Zhytomyr region on the basis of video images of water samples.] *Visnyk ZHDTU*, 3(74), 54–59. [in Ukrainian]
6. Health and Ecological Criteria Division Drinking water health advisory for the cyanobacterial microcystin toxins. (2015). Washington : U.S. Environmental Protection Agency Office of Water. [in English]
7. Cyanobacterial toxins: microcystin-Lr in drinking-water. (2003). Geneva : World Health Organization. [in English]
8. Chorus, I., & Bartram, J. (1999). Toxic cyanobacteria in water: a guide to public health significance, monitoring and management. London : Für WHO durch E & FN Spon. Chapman & Hall. [in English]

9. Bezvesilna, O. M., & Podchashynskyu, Yu. O. (2010). Alhorytmichna obrobka dvovymirnoyi informatsiyi pro mekhanichni velychyny na osnovi sztuchnykh neyronnykh merezh [Algorithmic processing of two-dimensional information about mechanical quantities on the basis of artificial neural networks]. Visnyk ZHDTU, № 2, 44–49. [in Ukrainian]
10. Yelnikova, T. O., & Kotsyuba, I. G. (2016). Avtomatyzovana systema kontrolyu parametriv rozvytku fitoplanktonu u vodoymakh [Automated control system for phytoplankton development parameters in reservoirs]. Visnyk ZHDTU, 3(78), 143–149. [in Ukrainian]
11. Yelnikova, T. O. (2009). Avtomatyzovana systema dlya vymiryuvannya heometrychnykh parametriv fitoplanktonu [Automated system for measuring geometric parameters of phytoplankton]. Visnyk ZHDTU, 1(48), 160–164. [in Ukrainian]
12. Yelnikova, T. O. (2008). V Metodyka rozrakhunku tochnosti vymiryuvan heometrychnykh parametriv fitoplanktonu za yoho video zobrazhennyamy [Method of calculating the accuracy of measurements of geometric parameters of phytoplankton on its video images]. Visnyk ZHDTU, 4(47), 247–252. [in Ukrainian]
13. Fluid Imaging Technologies FlowCam® for harmful algal bloom monitoring. (2021). Fluid Imaging Technologies. Retrieved from: <https://www.fluidimaging.com>
14. Charnyy, D. V., Zabulonov, Y. L., Dolin, V. V., Matselyuk, Ye. M., & Onanko, Yu. A. (2021). Filtr napirnyy. [The pressure filter]. Patent of Ukraine 147043. [in Ukrainian]
15. Charnyy, D. V., Zabulonov, Yu. L., Dolin, V. V., Matselyuk, Ye. M., & Onanko Yu. A. (2020). Berehovyy filtruvalnyy vodozabir. [Coastal filter water intake]. Patent of Ukraine 143655. [in Ukrainian]
16. Vodozabirnyy oholovok. (2015) [Water intake head]. Patent of Ukraine 103076. [in Ukrainian]
17. Khoruzhyy, P. D., Charnyy, D. V., Matselyuk, Ye. M., Haydabura, M. O., & Kharchenko, M. Yu (2018). Sposib pidvyshchennya efektyvnosti roboty isnuyuchykh typovykh vodoprovodnykh ochysnykh sporud. [A method of improving the efficiency of existing typical water treatment plants]. Patent of Ukraine 128460. [in Ukrainian]

Е.М. Мацелюк, Д.В. Чарный, В.Д. Левицкая, С.В. Марысык
Новые технологические решения для систем водоподготовки
в современных условиях

***Аннотация.** Рассмотрено современное состояние формирования качества воды в поверхностных водоемах, которые служат источниками питьевого водоснабжения в бассейне р. Днепр. Проанализированы основы действующей у нас технологии подготовки воды. Установлено несоответствие данных технологий современному качеству воды в этих источниках водоснабжения. Выявлено, что одним из главных факторов, который формирует качество воды в водохранилищах в теплый период, становится фитопланктон, особенно в период «цветения» водохранилищ. Показаны сопутствующие факторы, сопровождающие это явление, проанализированы тренды развития и их влияние на действующие системы водоподготовки. Рассмотрена возможность применения реагентов с эффектом окисления органической составляющей исходной воды, в том числе диоксида хлора. Приведены возможные направления развития систем водоподготовки путем интенсификации био-физико-химических процессов на базе существующего типового емкостного и корпусного оборудования водоочистных станций. Установлены перспективные в данных условиях направления научно-технологических разработок для обоснования эффективных решений по модернизации водоочистных сооружений. То есть эти подходы должны максимально использовать уже существующие сооружения водоочистки путем их реконструкции или же с использованием новых реагентов или соединяя оба направления.*

***Ключевые слова:** фитопланктон, технология водоподготовки, биогенные вещества, реагенты, ζ-потенциал.*

Ye.M. Matseluk, D.V. Charnyy, V.D. Levytska, S.V. Marysyk
New technological solutions for water treatment systems in modern conditions

***Abstract.** The current state of water quality formation in surface water bodies, which serve as sources of drinking water supply in the Dnieper river basin, was considered. The water treatment technologies currently used in Ukraine, were analyzed. The inconsistency of these technologies with the current water quality in these sources of water supply was established, as these technologies are not quite suitable for the purification of water with a significant organic component of any genesis. It was found that one of the main factors that influences the quality of water in water bodies in the warm period is phytoplankton, especially during their «flowering. The factors accompanying this phenomenon were shown, the development trends and their influence on the operating water treatment systems were analyzed. It was considered the*

feasibility of using reagents with the effect of oxidation of the organic component of the source water, in particular chlorine dioxide, the use of which is effective in disinfection of chlorine-resistant microbiota and phenols oxidations. Moreover, in the conditions of the expected increase in the concentration of mycrocystins, chlorine dioxide can be, by analogy with ozone, a fairly effective oxidant of these toxins with a prolonged disinfection effect.

The potential development areas of water treatment systems by intensifying bio-physico-chemical processes on the basis of the existing typical capacitive and package units of water treatment plants are given. The perspective areas of scientific and technological developments for substantiation of effective solutions on modernization of existing water treatment facilities were established in these conditions, namely it is reasonable to consider only those solutions, which provide effective purification of water with high concentration of phytoplankton without comprehensive or radical change of water treatment technology. That is, these approaches should make maximum use of existing treatment facilities, either by their reconstruction, or with the use of new reagents, or a combination of both.

Key words: *phytoplankton, water treatment technology, biogenic matters, reagents, ζ -potential.*