

water supplies is of crucial significance for countries all over the world regardless of their economical or social development levels. Guaranteeing the safety and quality of drinking water used by population is an aim of primary importance for the public authorities of Belarus.

The present work is dedicated the analysis of the results of 7 years study

(2001-2007) of virological safety of drinking water and water-supply systems (both centralized and decentralized), and to improvement and further development of water quality control in Republic of Belarus.

*Впервые поступила в редакцию 23.06.2008 г.
Рекомендована к печати на заседании ученого совета НИИ медицины транспорта (протокол № 4 от 27.06.2008 г.).*

УДК 628.515:614.777

ВИКОРИСТАННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМАХ ВОДОПІДГОТОВКИ: ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Засипка Л.Г., Ворохта Ю.М., Кільдишова А.М. *, Болотнікова Л.В. *, Бабієнко В.В., Мельнік К.С., Цебенюга М.Ю.

Одеський державний медичний університет, м. Одеса, Україна

**Обласна санітарно-епідеміологічна станція, м. Одеса, Україна*

В останні роки набули надзвичайно високої популярності ідеї використання нанотехнологій у різних галузях науки і техніки. Відповідно до прогнозів вчених, нанотехнології можуть принести величезну користь при створенні нових матеріалів з унікальними властивостями, для удосконалення електронних пристроїв, проектуванні нових екологічно чистих промислових процесів, створенні лікарських препаратів тощо. Успіхи нанотехнологій пов'язують з тим, що саме в системах нанометрового діапазону відбувається перехід від індивідуальної поведінки атомів до колективної, що дозволяє створювати атомні, молекулярні і супрамолекулярні ансамблі з заданими властивостями [1-2]. Однак для України, нанотехнології поки що здебільшого лишаються сферою наукових спекуляцій. Це пов'язано насамперед із незадовільним станом матеріально-технічного забезпечення вітчизняних науково-дослідних установ.

Втім, науковий потенціал України дозволяє розраховувати на швидкий розвиток нанотехнологій, одною з найперспективніших сфер використання яких є водопідготовка [3]. Водночас проблеми питного водопостачання є одними з найбільш актуальних для сучасного пе-

ріоду розвитку цивілізації. Сьогодні 1,2 мільярди людей не мають доступу до безпечної питної води, 2,6 мільярдів вживають недостатньо очищену питну воду. Близько 85% всіх випадків захворювань у світі пов'язані із незадовільною якістю питної води. Щодня у світі помирає 3900 дітей від інфекційних хвороб, що поширюються водним шляхом [4, 5]. Отже, пошук нових ефективних методів водопідготовки є надзвичайно актуальним завданням.

Метод огляду була оцінка сучасних тенденцій у використанні нанотехнологій у системах кондиціонування питних вод.

Матеріали і методи

Бібліографічний пошук та бібліометричні дослідження проведені в інформаційному масиві з ретроспективою у 20 років. Основними джерелами інформації були відкриті спеціалізовані бібліографічні бази EMBASE, Direct Science, HINARI, Ovid, PubMed, OMIM. Додатковими джерелами бібліографічної інформації були електронні бібліотеки Стенфордського та Гарвардського університетів, відкриті портали біомедичної літератури, електронні каталоги дисертацій. Пошук проводився по ключовим словам "нанотехнології", "водопідготовка", "питна вода" із

використанням MeSH Thesaurus.

Результати дослідження

На підставі проаналізованих літературних джерел можна дійти висновку про те, що використання наномембран у технологіях водоочистки почалося у 70-х роках ХХ сторіччя, коли у водопідготовці знайшли поширення методи зворотнього осмосу. Перші повідомлення про використання нанофільтрації належать Conlon і McClellan (1989); Eriksson, 1988) [6, 7]. Вони рекомендували їх переважно для пом'якшення жорстких вод. Така точка зору тривалий час переважала, деякі автори навіть називали нанофільтруючі мембрани "пом'якшувачими мембранами" - "softening" membranes" (Duran & Dunkelberger, 1995; Fu et al., 1994) [8, 9]. Усунення солей жорсткості залишається однією з основних сфер застосування нанофільтрації і сьогодні. Втім, увага дослідників і технологів сьогодні прикута і до проблеми очистки питних вод від органічного забруднення. Дослідження Fu et al. (1994), Lo & Sudak (1992), Watson & Hornburg (1989); Taylor et al. (1987) свідчать про те, що нанофільтрація є ефективною для зменшення окислюваності і колірності питних вод [9-12].

Загалом, сучасні автори (Van der Bruggen B. & Vandecasteele C., 2003; Shannon M. et al., 2008) пропонують розглядати нанофільтрацію як універсальний метод водопідготовки, який дозволяє впливати як на органічні так і на неорганічні домішки [13, 14].

Існують повідомлення про високу ефективність нанофільтрації для усунення вірусного забруднення питної води (Yahya et al., 1993) [15], пестицидів та інших мікрополітантів (Montovay et al., 1996; Taylor et al., 1995) [12, 16], арсену (Wauera et al., 1997) [17], нітратів (Van der Bruggen et al., 2001) [18]. Фахівців з країн Перської затоки мають досвід використання нанофільтрації для знесолення морської води (Al-Sofi et al., 2001; Hassan et al., 1998), але використовують її як попередній етап перед зворотнім осмосом [19, 20].

сом [19, 20].

Наприкінці 1990-х років у світі з'явилися потужні установки, які для очищення води використовували нанофільтруючі мембрани. Втім до останнього часу залишалася дискусійною можливість їх широкого застосування для усунення інфектагентів, як протозойної, так і бактеріальної і вірусної природи. Це пов'язано як і з надзвичайною поширеністю таких протозойних інфекцій як лямблійоз і криптоспоридіоз в країнах, що розвиваються, так і з недостатньою ефективністю існуючих засобів знезараження. Втім, Jacangelo et al. (1997) рекомендують використовувати мікрофільтрацію і ультрафільтрацію на мембранах з розміром пор біля 10 нм (для порівняння розмір вірусів - 20 – 80 нм, бактерій – 0,5-10 мкм, цист найпростіших 3–15 мм) [21]. Зважаючи на те, що наномембрани мають розмір до 1 нм, їх ефективність є вищою. Але, як правило, використовують комбінації мембран з різним розміром пор (Integrated Membrane System (IMS)), тому що використання для знезараження тільки наномембран не дає ніяких суттєвих переваг і більш того, суттєво збільшує себевартість знезараженої води.

В літературі обговорюються перспективи одночасного застосування нанофільтрації і ультрафіолетового опромінення [14, 21]. Подібні схеми можуть використовуватися для очистки стічних вод (рис. 1), застосування нанофільтрації у технологічній схемі поряд із зворотнім осмосом та УФО дозволяє одержати безпечну питну воду високої якості. Однак, самостійне застосування нанофільтрів, зочевидь, може знайти лише обмежене використання.

На думку прихильників широкого впровадження нанофільтрів у практику дозволить зменшити використання хлорування та ризик захворювань, обумовлених впливом галоген-похідних вуглеводнів, в тому числі ароматичних [13, 15, 22, 23]. За даними Madireddi et al., 1997 комбінація нанофільтрації із зворотнім осмосом дозволяє зменшити концент-



Рис. 1 Схема очистки стічних вод із застосуванням нанofільтрів

рації бактеріофагу у 10^{22} разів, а лямблій і криптоспоридій – у 10^{10} разів [22]. У порівнянні з класичними повільними піщаними фільтрами нанofільтри зменшують кількість бактеріофагу у 10^4 - 10^6 разів (Yahya et al., 1993) [15]. Otaki et al. (1998) одержали 10^6 -разове зниження концентрації колифагу Q-Іс та 10^7 -разове зниження концентрації вакцинного штаму вірусу поліомієліту за допомогою наномембрани NTR-729HFS4 [23].

На жаль, у наявних літературних джерелах не проводилося співставлення нанofільтрації з іншими методами знезараження питної води. Неясними залишаються перспективи впровадження нанofільтраційних систем у промисловості та господарсько-питному водопостачанні країн СНД. Зочевидь, бажаним є проведення додаткових поглиблених досліджень соціально-економічної та екологічної доцільності використання подібних технологій у водопідготовці.

Література

1. Theron J, Walker JA, Cloete TE. Nanotechnology and water treatment: applications and emerging opportunities. // *Crit Rev Microbiol.* 2008 – Vol. 34(1) – P. 43-69
2. Stern ST, McNeil SE. Nanotechnology safety concerns revisited. // *Toxicol Sci.* 2008 – Vol. 101(1) – P. 4-21
3. Wiesner MR. Responsible development of nanotechnologies for water and wastewater treatment. // *Water Sci Technol.* 2006 – Vol. 53(3) – P. 45-51.
4. Sobsey MD, Bartram S. Water quality and health in the new millennium: the role of the World Health Organization Guidelines for Drinking-Water Quality. // *Forum Nutr.* 2003 - Vol. 56 - P. 396-405
5. Hillie T, Hlopho M. Nanotechnology and the challenge of clean water. // *Nat Nanotechnol.* 2007 – Vol. 2(11) – P. 663-664
6. Conlon, W.J., McClellan, S.A. Membrane softening: treatment process comes of age. // *J. AWWA* – 1989 – Vol. 81 (11) – P. 47–51.
7. Eriksson P. Nanofiltration extends the range of membrane filtration. // *Environ. Prog.* – 1988 - Vol. 7 (1) – P. 58–62
8. Duran, F.E., Dunkelberger, G.W., A comparison of membrane softening on 3 South Florida groundwaters. // *Desalination* – 1995 – Vol. 102 (1–3) – P. 27–34
9. Fu P. et al. A pilot study on groundwater natural organics removal by low-pressure membranes. // *Desalination* – 1995 – Vol. 102 – P. 47–56.
10. Lo, T., Sudak, R.G. Removing color from a groundwater source. // *J. AWWA* – 1992 – Vol. 84 (1) – P. 79–87.
11. Watson, B.M., Hornburg, C.D. Low-energy membrane nanofiltration for removal of color, organics and hardness from drinking-water supplies. // *Desalination* – 1989 – Vol. 72 (1–2) – P. 11–22.
12. Taylor, J.S., Mulford, L.A., Chen, S.S., Hofman, J.A.M. Membrane filtration of pesticides. // *Proceedings of the Annual Conference AWWA* – 1999 – P. 593

13. Van der Bruggen B., Vandecasteele C. Removal of pollutants from surface water and groundwater by nanofiltration: overview of possible applications in the drinking water industry // Environmental Pollution – 2003 – Vol. 122 – P. 435–445
14. Shannon M. et al. Science and technology for water purification in the coming decades // Nature – 2008 – Vol. 452 – P. 301–310
15. Yahya, M.T., Bluff, C.B., Gerba, C.P. Virus removal by slow sand filtration and nanofiltration. // Water Sci. Technol. – 1993 – P. 27 (3–4) – P. 445–448
16. Montovay, T., Assenmacher, M., Frimmel, F.H. Elimination of pesticides from aqueous solution by nanofiltration. // Magyar Kemiai Folyoirat - Vol. 102 (5) – P. 241–247.
17. Waypa, J.J., Elimelech, M., Hering, J.G. Arsenic removal by RO and NF membranes. // J. AWWA 1997 – Vol. 89 (10) – P. 102–114.
18. Van der Bruggen, B., Everaert, K., Wilms, D., Vandecasteele, C. Application of nanofiltration for the removal of pesticides, nitrate and hardness from ground water: retention properties and economic evaluation. // J. Membr. Sci. 2001 – Vol. 193 (2) – P. 239–248.
19. Al-Sofi M. et al. Nanofiltration as a means of achieving higher TBT of ≥ 120 degrees C in MSF. // Desalination – 1998 – Vol. 118 (1–3) – P. 123–129.
20. Hassan, A.M. et al. A new approach to thermal seawater desalination processes using nanofiltration membranes (Part 1). // Desalination 1998 – Vol. 118 (1–3). – P. 35–51.
21. Jacangelo, J.G., Trussell, R.R., Watson, M. Role of membrane technology in drinking water treatment in the United States. // Desalination – 1997. – Vol. 113 (2–3) – P. 119–127
22. Madireddi, K. et al. Wastewater reclamation at Lake Arrowhead,

California: an overview. // Water Environ. Res. – 1997 – Vol. 69 (3) – P. 350–362.

23. Otaki, M., Yano, K., Ohgaki, S. Virus removal in a membrane separation process. // Water Sci. Technol. 1998 – P. 37 (10) – Vol. 107–116

Резюме

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ ВОДОПОДГОТОВКИ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.

Засыпка Л.И., Ворохта Ю.Н., Кильдышова А.Н., Болотникова Л.В., Бабиенко В.В., Мельник Е.С., Цебенюга Н.Ю.

Обсуждаются вопросы использования наночистоты для удаления загрязнителей в водоподготовке. Показаны возможности применения наночистоты для умягчения жестких вод, для устранения органического загрязнения, в т.ч. пестицидов и ароматических углеводородов, вирусов, бактерий, простейших, обессоливания, устранение нитратов и мышьяка. Дискутируются перспективы внедрения наночистотных систем в промышленности и хозяйственно-питьевом водоснабжении стран СНГ.

Summary

THE USE OF NANOTECHNOLOGIES IN THE WATER TREATMENT SYSTEMS: THE LITERATURE REVIEW.

Zasyпка L.G., Vorokhta Y.M., Kildishova A.M., Bolotnikova L.V., Babienko V.V., Melnik K.S., Tzebenoga M.Y.

The issues of nanofiltration application for the removal of pollutants in the water treatment are discussed. There were demonstrated the options of using nanofiltration for water softening as well as for the removal natural organic substances, including pesticides and volatile organic compounds, viruses, bacteria and protozoa; salinity, nitrates, and arsenic. The possible implementation into the practice of water treatment in CIS countries is urged.

Впервые поступила в редакцию 22.06.2008 г. Рекомендована к печати на заседании ученого совета НИИ медицины транспорта (протокол № 4 от 27.06.2008 г.).