

Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields).

5. Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und –anwendung / Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 221.

Sitzung der Strahlenschutzkommission am 21./22. Februar 2008. P. 31.

6. Dimbylow P.J. The calculation of SAR from limb current in the female voxel phantom, NAOMI / Radiat Prot Dosimetry. – 2006, № 121(3). – P. 236-239.

7. Berlana T. Occupational exposure of NMR spectrometrists to static and radiofrequency fields. / T. Berlana, A. Ubeda. Radiat Prot Dosimetry. 2017. № 177 (4). P. 397-406.

8. Glushkov S.I. *Toksikologicheskiiy vestnik*. 2003 ; 5 : 6-12 (in Russian).

9. Hudnitskiy S.S. Zdorovia i okruzhayuchaya sreda. 2008 ; 11 : 266-269 (in Belarus).

10. Tomashevskaya L.A., Kravchun T.E. *Gigiena naselenykh mist : zbirka naukovykh prats*. 2011 ; 58 : 259-264

(in Ukrainian).

11. Zavgorodnyi I.V. Aktualni problemy profilakticheskoy medicyny. 2017 ; 1 (14) : 50-58 (in Ukrainian).

12. Danilova N.A. Handbook of laboratory research methods. 2003 : 736 (in Russian).

13. Kamishnikov V.S. Handbook of clinical and biochemical studies and laboratory diagnostics. 2009 : 896 (in Russian).

14. OECD. Principles of Good Laboratory Practice. 1996.

15. Antomonov M.Yu. Mathematical processing and analysis of biomedical data. 2017 : 579 (in Ukrainian).

16. Sharapova O.M. *Medichni perspektivy*. 2012 ; XVII (4) : 17-21 (in Ukrainian).

17. Dumanskyi V.Yu. Dumanskyi Yu.D., Bitkin S.V. Topical issues of environmental protection and health of the population of Ukraine. 2015 : 111-160 (in Ukrainian).

Надійшла до редакції 18.10.2018

## DRINKING WATER TREATMENT FOR RADON REMOVAL. REVIEW OF THE METHODS ACCORDING TO THE EUROPEAN PROJECT

Buzynny M.G., Mykhailova L.L.

### ОБРОБКА ПИТНОЇ ВОДИ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ РАДОНУ. ОГЛЯД МЕТОДІВ ЗА ЄВРОПЕЙСЬКИМ ПРОЕКТОМ



**БУЗИННИЙ М.Г.,  
МИХАЙЛОВА Л.Л.**

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України»

УДК 614.777:546.79 : 628.16

<https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.010>

**Ключові слова : питна вода, радон, методи видалення.**

Проаналізовано методи обробки для видалення радону із питної води за матеріалами заключного звіту європейського проекту TENAWA. Необхідність здійснення проекту була зумовлена тим, що більшість наявних ресурсів підземних вод у багатьох країнах містить значну кількість природних радіонуклідів, зокрема радону. Розглянуто результати лабораторних і польових досліджень щодо можливості застосування різного устаткування і методів видалення радону із питної води для індивідуальних та колективних водопроводів.

**Мета.** Проаналізувати ефективність різних методів вилучення радону із питної артезіанської води за умов індивідуального та колективного водокористування. Оцінити можливості застосування методів в Україні та з'ясувати практичні аспекти їх реалізації.

**Матеріали.** Проведено аналіз заключного звіту європейського про-

**ОБРАБОТКА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ РАДОНА.  
ОБЗОР МЕТОДОВ ПО ЕВРОПЕЙСКОМУ ПРОЕКТУ**

**Бузинный М.Г., Михайлова Л.Л.**

ГУ «Институт общественного здоровья им. А.Н. Марзеева НАМН Украины», г. Киев

Проанализированы методы обработки для удаления радона из питьевой воды по материалам заключительного отчета европейского проекта TENAWA. Необходимость осуществления проекта была обусловлена тем, что большинство имеющихся ресурсов подземных вод во многих странах содержит значительное количество природных радионуклидов, в частности радона.

Рассмотрены результаты лабораторных и полевых исследований относительно возможности применения различного оборудования и методов удаления радона из питьевой воды в Украине для индивидуальных и коллективных водопроводов.

**Цель.** Проанализировать эффективность различных методов извлечения радона из питьевой артезианской воды в условиях индивидуального и коллективного водопользования. Оценить возможности применения методов в Украине и выяснить практические аспекты их реализации.

**Материалы.** Проведен анализ заключительного отчета европейского проекта TENAWA по эффективности методов очистки артезианской питьевой воды от радона. Исследованы способы реализации систем очистки питьевых вод от радона с использованием процессов аэрации или фильтрации на гранулированном активированном угле, результаты их испытаний, эффективность, улучшение качества воды из приповерхностных и подземных источников относительно содержания радона.

**Методы:** библиографические, физико-химические, санитарно-гигиенические и экспертной оценки.

**Ключевые слова :** питьевая вода, радон, методы удаления.

© Бузинний М.Г., Михайлова Л.Л. СТАТТЯ, 2018.

екту TENAWA щодо ефективності методів очистки артезіанської питної води від радону. Досліджено способи реалізації систем очистки питних вод від радону з використанням процесів аерації або фільтрування на гранульованому активованому вугіллі, результати їх випробувань, ефективність, поліпшення якості води із поверхневих і підземних джерел щодо вмісту радону.

**Методи:** бібліографічні, аналітичні, фізико-хімічні, санітарно-гігієнічні та експертної оцінки.

У більшості країн Європи доступні підземні води використовуються як питна вода, причому їхня частка останнім часом зростає [1]. Підземні води, особливо води кристалічних порід, можуть містити значну кількість природної радіоактивності. Підвищені рівні природних радіонуклідів у підземних водах пов'язані переважно з багатими на уран і торій ґрунтами і кристалічними породами або з відкладеннями урану, торію, радію. Дослідження природної радіоактивності у питній воді були проведені у багатьох європейських країнах [1]. Так, було показано, що у воді свердловин Скандинавії зазвичай присутні високі концентрації радону ( $^{222}\text{Rn}$ ) та інших радіонуклідів [2, 3]. Існують свідчення високої природної радіоактивності питних і мінеральних вод на території багатьох інших держав [4, 5].

Відповідно до законодавства України допустимий рівень питомої активності  $^{222}\text{Rn}$  для джерел питного і господарського водозабезпечення становить  $100 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$ . Про стан забруднення підземної води в Україні свідчать і наші дослідження [6-9]. Ці дослідження показують, що на території України активність  $^{222}\text{Rn}$  у підземних джерелах змінюється у широких межах – від десятих часток до майже  $2000 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$ . Звичайно, підвищені рівні  $^{222}\text{Rn}$  у воді характерні не для усіх регіонів країни, та питання зменшення його вмісту у питній воді залишається актуальним.

Вода, що містить високі рівні природних радіонуклідів, перед використанням потребує очищення. Для цього застосовують низку способів, які ґрунтуються на різних принципах. Для очистки води від радону застосовують аерацію та/або

## ГІГІЕНА ВОДИ ТА ДЖЕРЕЛ ВОДОПОСТАЧАННЯ

фільтрування на активованому вугіллі. Аерація – метод, який можна застосовувати для видалення високих рівнів  $^{222}\text{Rn}$  із питної води. Фільтрація через активоване вугілля може використовуватися, якщо концентрація  $^{222}\text{Rn}$  у воді не занадто висока, в індивідуальних системах та невеликих системах групового користування.

**Видалення радону із води шляхом аерації.** Видалення радону із води (її очистку) розглядаємо за заключним звітом проекту TENAWA [1]. Існує три основні методи очищення води, які можуть бути використані для видалення радону: зберігання води до розпаду радіонуклідів, аерація і фільтрація на гранульованому активованому вугіллі (GAC). У ході виконання проекту було випробувано різні типи аераторів щодо їхньої ефективності видалення радону. Аерацію води можна здійснювати двома способами: або розбризкувати її у повітря, або ж повітря нагнітати у воду. Найчастіше необроблену воду розпорошують у резервуар за допомогою розпилювального сопла. Теоретично при змішуванні одного літра повітря з одним літром розпорошеної води досягається зниження радону на 70%. При дифузійній бульбашковій аерації компресор високого тиску проштовхує повітря через тонкий бульбашковий дифузор, розміщений на дні резервуара. У комерційній системі зазвичай використовують комбінацію обох принципів.

Системи видалення  $^{222}\text{Rn}$ , які засновані на аерації, можуть бути спроектовані і встановлені по-різному. При проектуванні слід враховувати такі аспекти: середнє споживання води, максимальне миттєве споживання, концентрацію  $^{222}\text{Rn}$  у вихідній воді, потребу у необробленій воді, існуючі, рані-

ше встановлені компоненти обладнання, додаткові установки, вимоги до робочого приміщення, особливості обслуговування системи підготовки води.

Тестування різних методів аерації для малих гідроспоруд показали, що аерація є високоєфективним методом видалення  $^{222}\text{Rn}$  із води. Наприклад, за допомогою аератора з дрібним розпилюванням тонкого шару ефективність видалення може сягати понад 98%. Зручність використання аераційного обладнання того або іншого типу для видалення  $^{222}\text{Rn}$ , а також діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) істотно залежить від кількості води, що підлягає обробці, доступного простору і цілей аерації. Завдяки тому, що в усіх видах аераторів діє фізичний принцип, за яким газообмін відбувається на межі фаз повітря і води, у кожній реалізації методу аерації намагаються підтримувати якомога більшу площу межі розділення фаз. Оскільки під час аерації  $^{222}\text{Rn}$  і  $\text{CO}_2$  демонструють подібну поведінку у процесі їх видалення, при виборі обладнання можна попередньо орієнтуватися на оцінку ефективності видалення  $^{222}\text{Rn}$  за ефективністю видалення вуглекислого газу. Аераційне обладнання добре відоме виробникам води, оскільки аерація є достатньо поширеним методом обробки для зниження її кислотності.

Дослідження показало, що аерація води у гідротехнічних спорудах є досить ефективним інструментом радіаційного захисту. При використанні аераційного обладнання можна істотно зменшити рівень радону, який переходить у повітря від оброблюваної води і таким чином досягти помірного рівня у повітрі приміщення. Для цього необхідно, щоб технологічне повітря повністю



видалялося із аераційного обладнання і з водопроводу.

У ході виконання європейського проекту було підтверджено побічний вплив процесу аерації на деякі параметри якості води [1, 4, 5]. Як і очікували, концентрації заліза (Fe) і марганцю (Mn) були зазвичай меншими в очищеній воді, ніж у сирій. У процесі аерації залізо випадає в осад у вигляді гідроксиду, одночасно з ним може осідати марганець. Ці осади заліза і марганцю, якщо їх не видаляти, можуть призвести до забруднення системи обробки. Осади можна збирати на дні аераційного резервуара, видаляти за допомогою осадового фільтра, встановленого після аератора, або випускати у потік води. До того ж, під час аерації вода насичується киснем. Це покращує смак води і знижує її корозійну активність. Також видаляється  $\text{CO}_2$ , що призводить до підвищення значення рН. Вода з більш високим значенням рН менш агресивна для водопроводу. Інші параметри води змінюються мало.

Результати досліджень показали, що видалення радону шляхом аерації не збільшує концентрацію бактерій у воді. Проте перед установкою блоку аерації завжди слід перевіряти параметри води, що впливають на ріст бактерій, тобто мікробіологічну якість, вміст загального органічного вуглецю (ТОС), а також концентрацію поживних речовин у сирій воді. Щоб мати інформацію про колювання мікробіологічної якості сирої води і необхідності обслуговування, очищення і дезінфекції обладнання до регулярного контролю якості води слід включати визначення кількості гетеротрофних пластинок.

Як було зазначено вище, тип і модель аератора слід обирати відповідно до об'єму споживання води та концентрації радону у сирій воді. Для кожної доступної для споживача аераційної системи виробник обладнання повинен гарантувати певну продуктивність очищення води.

Першим чинником, що впливає на продуктивність системи, є час аерації. Для зниження високих концентрацій радону необхідні триваліші періоди аерації. Однак у разі збільшення часу аерації зменшується

продуктивність системи. Отже, час аерації має бути відрегульовано так, щоб досягти достатньої очистки, але при цьому не перебільшити з аерацією. Відомо, що концентрація радону у сирій воді може істотно коливатися. Встановлений час аерації завжди має бути більшим, ніж це необхідно для відбору води.

Другим чинником, що впливає на продуктивність, є розмір і початковий тиск напірних баків. Обсяг напірного резервуара має бути досить великим, щоб дозволити достатню подачу води до водопроводу під час аерації. Замість того, щоб встановлювати напірні баки, очищену воду можна направляти у резервуар для зберігання. Цей резервуар має бути досить великим, що вимагатиме значного прохолодного простору.

Третім чинником, що впливає на продуктивність подачі очищеної води, є тип і розміщення свердловинного насоса. Якщо свердловина розташована далеко від аератора і використовується занурюваний насос (без напірного бака), час, протягом якого насос має заповнити аератор, може бути досить великим. У більшості аераторів на вході є розпилювальний наконечник або ежектор, встановлений з метою посилення видалення радону. Як наконечник, так і ежектор ефективніше працюють з високим тиском води. Отже, після насоса завжди потрібно встановлювати датчик тиску, адже ефективність видалення радону може зменшуватися, якщо тиск вхідної води низький.

Коли концентрація радону у сирій воді надзвичайно висока, навіть незважаючи на те, що радон був витіснений із води, значну ефективну дозу можуть викликати короткоживучі дочірні продукти розпаду ( $^{222}\text{Rn}$ ), серед яких найбільш значущими є свинець ( $^{214}\text{Pb}$ ) і вісмут ( $^{214}\text{Bi}$ ). Доза опромінювання, викликана продуктами розпаду  $^{222}\text{Rn}$ , становить 10% відповідної дози від  $^{222}\text{Rn}$ . Тому очищену воду перед споживанням необхідно деякий час відстоювати. Напірні баки або резервуар для зберігання мають бути досить великими, щоб забезпечити затримку води, необхідну для зниження активності ДПР. У разі встанов-

лення великих резервуарів продуктивність очистки води у системі поліпшується. Однак надмірне тривале зберігання води може викликати збільшення кількості бактерій у ній.

Загальний висновок, який можна зробити з точки зору радіаційного захисту, полягає у тому, що аератори мають також надзвичайну здатність знижувати дуже високу концентрацію радону у питній воді до прийнятного рівня. Це підтверджує досвід Сполучених Штатів та Швеції, де цей вид обладнання використовують багато років [10, 11].

**Видалення радону із води за допомогою активованого вугілля.** При обробці питної води фільтрація за допомогою гранульованого активованого вугілля (GAC), як правило, використовується для видалення смаку, запаху, кольору і синтетичних органічних хімічних речовин шляхом адсорбції. Активоване вугілля ефективно видаляє низькі або слідові концентрації домішок із води. Адсорбційна здатність GAC безпосередньо пов'язана з надзвичайно високою внутрішньою площею поверхні у пористій структурі, яка складається з макропор і мікропор.

За допомогою фільтра GAC можна ефективно адсорбувати  $^{222}\text{Rn}$ . Оскільки радон хімічно інертний і не утворює хімічних зв'язків, його адсорбція є чисто фізичним процесом. Короткоживучі продукти розпаду радону також затримуються на GAC. Як наслідок, матеріал фільтра може випускати гамма-випромінювання з потужністю дози до 100 мкЗв/год поблизу фільтра, а радіоактивність матеріалу GAC може бути проблемою з його утилізації.

У дослідженні, результати якого розглядаються, було, зокрема, поставлено завдання щодо видалення радону за допомогою фільтрації GAC у повсякденному побутовому використанні. Місце проведення випробувань обирали таким чином, щоб охопити типи води, найбільш характерні для корінних порід. Класифікація типів води ґрунтувалася на концентрації радону, заліза (Fe), марганцю (Mn), загальної органічної речовини (ТОС) і довгоживучих радіонуклідів серії урану (U,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Po}$  і  $^{210}\text{Pb}$ ). Іншими аспектами розгляду були вплив

**DRINKING WATER TREATMENT FOR RADON REMOVAL. REVIEW OF THE METHODS ACCORDING TO THE EUROPEAN PROJECT**  
**Buzynny M.G., Mykhailova L.L.**

*SI «O.M. Marzieiev Institute for Public Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv*

*The treatment methods for the removal of radon from drinking water were analyzed according to the materials of the final report of TENAWA European project. A need for the project was caused by the fact that in many countries the majority of the available groundwater resources contained a significant amount of natural radionuclides, radon in particular. We considered the results of laboratory and field investigations on the possibility of the use of various equipment and methods for the removal of radon from drinking water for individual and collective water pipes in Ukraine.*

**Objective:** *We analyzed the effectiveness of various methods for the removal of radon from drinking*

*artesian water under conditions of individual and collective water use. We assessed a possibility of the application of the methods in Ukraine and ascertained the practical aspects for their implementation.*

**Materials and methods:** *We analyzed the final report of TENAWA European project on the treatment of artesian drinking water from radon. We studied the ways for the construction of the systems for the treatment of drinking water from radon using the processes of aeration or filtration on the granular activated carbon, the results of their tests, the effectiveness, the improvement of the quality of water from subsurface and underground sources for radon content. In our investigations we applied bibliographic, analytical, physical-and-chemical, sanitary-and-hygienic methods, and method of expert evaluation.*

**Keywords :** *artesian water, radon, method of removal.*

фільтрації GAC на параметри якості води (у т.ч. мікробіологічна якість), рівні гамма-випромінювання на поверхні фільтра і поблизу нього, необхідність екранування і утилізація відходів відпрацьованого активованого вугілля.

Фільтри GAC були встановлені у декількох місцях випробувань. Більшість фільтрів GAC була встановлена просто, без блоків додаткової обробки перед фільтрацією GAC. Два фільтри GAC були оснащені осадовим фільтром та системою зворотного промивання, а один фільтр GAC був оснащений осадовим фільтром. Крім того, у двох місцях випробувань перед фільтром GAC було встановлено 21-літровий блок аніонного обміну для видалення урану. У більшості місць випробувань були оснащені витратомірами і пробовідбірниками водопровідної води. Усі фільтри GAC працювали під нормальним тиском у водопроводі у потоковому режимі.

Приблизно кожних три місяці проводили відбір проб води на вході і виході. Регулярно контролювали вміст  $^{222}\text{Rn}$ , U,  $^{222}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ , сумарну альфа-активність, Fe, Mn, TOC, pH, температуру і кількість гетеротрофних пластин. Час від часу визначали  $\text{SiO}_2$ , окислювально-відновний потенціал,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , колір,  $\text{KMnO}_4$ , кислотність,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  та  $\text{NH}_4^+$ . Було розраховано ефективність видалення радону [1, 12]. За різний час випробувань (від 8 до 27 місяців) через фільтри індивідуально пропускали від 150

до 8000 ефективних об'ємів води (ефективний об'єм води дорівнює активному об'єму фільтра).

Потужність дози гамма-випромінювання вимірювали на поверхні фільтрів GAC і на різних відстанях від фільтрів. Було вивчено ослаблення гамма-випромінювання поблизу фільтрів з використанням свинцевого, алюмінієвого, бетонного і водяного щитів. Радон ефективно видалявся більшістю комбінацій фільтрів. Шість установок з тринадцяти були здатні видаляти понад 99,9%  $^{222}\text{Rn}$ . Найменша ефективність видалення становила близько 90%. Тобто кратність очистки води від радону становила від 10 до 1000 разів.

Вплив якості води на швидкість адсорбції вивчали шляхом порівняння різних параметрів якості води (сумарної альфа-активності, вмісту U, Fe, Mn, TOC,  $\text{KMnO}_4$ , pH тощо). Чітка негативна кореляція отримана тільки для сумарної альфа-активності, урану і TOC. Ці речовини (уран і TOC) також частково видаляються за допомогою фільтрації GAC. Це говорить про те, що вони можуть з часом засмітити мікропори GAC, де відбувається сорбція  $^{222}\text{Rn}$ , тобто впливати на часовий ресурс фільтра [1, 12].

Разом з радоном фільтри GAC здатні утримувати різні кількості урану, радію і продуктів розпаду  $^{222}\text{Rn}$ . Дослідження активності радіонуклідів гамма-спектрометричним методом у відпрацьованому GAC

фільтри показали, що  $^{210}\text{Pb}$ , утворений при розпаді радону, на 100% залишається у фільтрі. Таким чином, відпрацьовані пакети GAC можуть містити кілька сотень кілобеккерелів  $^{210}\text{Pb}$ . Питома активність інших радіонуклідів низька.  $^{222}\text{Rn}$  і його продукти розпаду накопичуються у блоці GAC. Короткоживучі дочірні продукти розпаду  $^{222}\text{Rn}$  ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ) приходять у рівновагу з радоном приблизно за 4 години.  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  є бета-випромінювачами, але також випромінюють гамма-фотони. Оскільки дочірні нукліди повністю утримуються у шарі GAC, фільтр стає джерелом гамма-випромінювання.

Потужність дози зовнішнього гамма-випромінювання залежить від концентрації радону у воді на вході, кількості щоденного використання води і розмірів фільтра GAC. Зважаючи на ці факти, дози гамма-випромінювання варіювалися у різних місцях випробувань. У двох місцях випробувань фільтр GAC розміщувався у шафі всередині будинку. Тому там були встановлені радіаційні екрани. Фільтр було укладено у тришаровий лист свинцю завтовшки 1 мм. Свинець ефективно гасив гамма-випромінювання. В інших місцях випробувань фільтри GAC встановлювалися або у підвалі, у технічному приміщенні, або в іншому технічному приміщенні, де екрани не потрібні.

Під час дослідження вихід радону не відбувався у жодному з місць випробувань. Теоретично фільтр GAC постій-

но регенерується щодо радону через радіоактивний розпад і тому може залишатися на службі протягом декількох років. Тільки конкурентні речовини блокують активні ділянки вугілля з часом, завдяки чому ефективність видалення радону може зменшуватися. Однак це багато у чому залежить від інших параметрів води.

З точки зору дотримання вимог радіаційної безпеки для мешканців було рекомендовано, щоб потужність дози на відстані 1 м від фільтра GAC не перевищувала 1 мкЗв/год. Ця межа означає, що для людини, яка перебуватиме поблизу джерела 100 годин на рік, доза опромінення складе 0,1 мЗв – величину, якою можна знехтувати. Зазвичай це обладнання розташоване у таких частинах житла, де не потрібне більш тривале перебування людини.

#### Висновки

У багатьох країнах світу аерація є традиційним високоефективним методом очистки води від газів, зокрема радону. Ефективність очистки визначається параметрами обміну на межі розділу фаз вода-повітря та часом процесу аерації. Відома побічна дія аерації – формування осаду металів Fe та Mn, що може давати ефект очистки за значного забруднення сирової води Fe та Mn, проте цей осад може забруднювати систему очистки води.

У разі тривалого використання аераторів, коли обладнання працює у різних середовищах (наприклад, у районах з теплим кліматом) існує ризик виникнення гігієнічних проблем. У цьому контексті є важливою роль якості сирової води та баланс наявного і необхідного об'єму для витримки води перед використанням після її аерації для мінімізації активності короткоживучих ДПР.

Простим прийнятним способом зменшення підвищених концентрацій радону у питній воді можна вважати також фільтрацію за допомогою гранульованого активованого вугілля.

Довговічність роботи пакета GAC для радону не встановлено, оскільки більшість досліджуваних фільтрів проявляла постійну ефективність видалення радону протягом усього часу дослідження. Було доведено, що присутність у воді

деяких видів аніонів (гумусу, а також урану) зменшує швидкість адсорбції радону на GAC. Інші забруднювачі води також впливають на зміну очисних властивостей фільтра, визначаючи його індивідуальний ресурс. Рекомендації щодо максимальних рівнів конкуруючих речовин можуть бути вироблені за наявності детальної інформації про якість води.

Однією з основних проблем використання фільтрації GAC всередині приміщень є накопичення на фільтрах гамма-випромінювачів продуктів розпаду радону, що може викликати радіаційне опромінення жителів. За умов належного захисту, інструкцій і розміщення пристроїв у нежитлових приміщеннях підвищених доз для жителів можна уникнути. Видалення радону з використанням фільтрації GAC часто залишається життєздатним методом обробки тільки у разі обмеженої концентрації радону або низьких об'ємів води.

Зважаючи на характерні величини вмісту радону-222 у підземних водах України обидва методи очистки води, які обговорюються у проекті TENAWA – аерація та фільтрування за допомогою гранульованого активованого вугілля – є для нас цілком актуальними.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Annanmaki M., Turtiainen T. (Eds.). STUK-A169. Treatment Techniques for Removing Natural Radionuclides from Drinking Water. Final Report of the TENAWA project. January 2000. 101 p.

2. Salonen L. Natural Radionuclides in Ground Water in Finland. *Radiation Protection Dosimetry*. 1988. Vol. 24, Issue 1-4. P. 163-166. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a080263>

3. Vesterbacka P., Mäkeläinen I., Arvela H. Natural Radioactivity in Drinking Water in Private Wells in Finland. *Radiation Protection Dosimetry*. 2005. Vol. 113, № 2. P. 223-232. <https://doi.org/10.1093/rpd/nch446>

4. Raff O., Haberer K., Wilken R.D., Stauder S., Doerfel H. (Eds.). Radon Removal in Waterworks with High Radon Pollution. Germany: TUV-Verlag, 1998.

5. Raff O., Haberer K., Wilken R.D., Funk H., Stueber J., Wanitschek J., Akkermann-

Kubillus A., Stauder S. Radon Reduction in Waterworks (BMU-2000-554). Germany, 2000.

6. Zelensky A.V., Buzinny M.G., Los' I.P. Measurements of <sup>226</sup>Ra, <sup>222</sup>Rn and uranium in Ukrainian groundwater using of Ultra Low-Level Liquid Scintillation Counting. *Liquid Scintillation Spectrometry 1992*, ed. by J.E. Noakes, F. Schonhofer and H.A. Polach. *Radiocarbon*. 1993. P. 405-411.

7. Zelensky A.V., Buzinny M.G., Los' I.P. Radon-222 in Water: Concentrations, Doses, Standards. *Problems of Radiation Medicine and Radiobiology*. 1993. Vol. 5. P. 71-83.

8. Buzinny M., Sakhno V., Romanchenko M. Natural Radionuclides in Underground Water in Ukraine. LSC-2010. *Advances in Liquid Scintillation Counting*, ed. by Philippe Cassette. 2010. P. 81-85.

9. Михайлова Л.Л., Бузинний М.Г., Сахно В.І., Романченко М.О. Статистичний аналіз радіаційних показників води, дослідженої у 2012-2014 рр. *Гігієна населених місць: зб. наук. пр.* К., 2015. Вип. 65. С. 179-185.

10. Proposed Radon in Drinking Water Regulation. U.S. Environmental Protection Agency. URL: <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/regulations.html>

11. Mjones L. Radon Removal Equipment Based on Aeration: A Literature Study of Test Performed in Sweden between 1981 and 1996. SSI Report. 2000. 20 p.

12. Turtiainen T., Salonen L., Myllymaki P. Radon Removal from Different Types of Groundwater Applying Granular Activated Carbon Filtration. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2000. 243 (2). P. 423-432.

#### REFERENCES

1. Annanmaki M., Turtiainen T. (Eds.). STUK-A169. Treatment Techniques for Removing Natural Radionuclides from Drinking Water. Final Report of the TENAWA project. January 2000 : 101 p.

2. Salonen L. *Radiation Protection Dosimetry*. 1988 ; 24 (1-4) : 163-166. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a080263>

3. Vesterbacka P., Mäkeläinen I. and Arvela H. Radiation Protection Dosimetry. 2005 ; 113 (2) : 223-232.

<https://doi.org/10.1093/rpd/nch446>

4. Raff O., Haberer K., Wilken R.D., Stauder S., Doerfel H. (Eds.). Radon Removal in Waterworks with High Radon Pollution. Germany: TUV-Verlag ; 1998.

5. Raff O., Haberer K., Wilken R.D., Funk H., Stueber J., Wanitschek J., Akkermann-Kubillus A. and Stauder S. Radon Reduction in Waterworks (BMU-2000-554). Germany, 2000.

6. Zelensky A.V., Buzinny M.G. and Los' I.P. Measurements of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  and Uranium in Ukrainian Groundwater Using of Ultra Low-Level Liquid Scintillation Counting. Liquid Scintillation Spectrometry 1992, ed. by J. E. Noakes, F. Schonhofer and H. A. Polach. Radiocarbon. 1993 : 405-411.

7. Zelensky A.V., Buzinny M.G. and Los I.P. Problems of Radiation Medicine. 1993 ; 5 : 71-83.

8. Buzinny M., Sakhno V. and Romanchenko M. Natural Radionuclides in Underground Water in Ukraine. LSC-2010. In : *Advances in Liquid Scintillation Counting*. ed. by Philippe Cassette. 2010. P. 81-85.

9. Mykhailova L.L., Buzinny M.G., Sakhno V.I. and Romanchenko M.O. Statystychnyi analiz radiatsiinykh pokaznykiv vody, doslidzhenoi u 2012-2014. [Statistical Analysis of Radiation Parameters of Water Investigated in 2012-2014]. In : *Hihiena naselenykh mist [Hygiene of Settlements]*. Kyiv ; 2015 ; 65 : 179-185 (in Ukrainian).

10. Proposed Radon in Drinking Water Regulation. U.S. Environmental Protection Agency. URL: <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/regulations.html>

11. Mjones L. Radon Removal Equipment Based on Aeration: A Literature Study of Test Performed in Sweden between 1981 and 1996. SSI Report. 2000. 20 p.

12. Turtiainen T., Salonen L. and Myllymäki P. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2000 ; 243 (2) : 423-432.

Надійшла до редакції 30.07.2018

## THE USE OF CHLORIDE DIOXIDE IN THE TECHNOLOGY OF DRINKING WATER TREATMENT AT THE DNIPRO RIVER WATER PIPE-LINE IN KYIV

Prokopov V.O., Lypovetska O.B., Kulish T.V., Sobol V.A., Kostyuk V.A., Bondarchuk A.Yu.

### ВИКОРИСТАННЯ ДІОКСИДУ ХЛОРУ У ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ПИТНОЇ ВОДИ НА ДНІПРОВСЬКОМУ ВОДОПРОВІДІ М. КИЄВА

<sup>1</sup>ПРОКОПОВ В.О.,  
<sup>1</sup>ЛИПОВЕЦЬКА О.Б.,  
<sup>1</sup>КУЛІШ Т.В., <sup>1</sup>СОБОЛЬ В.А.,  
<sup>2</sup>КОСТЮК В.А.,  
<sup>3</sup>БОНДАРЧУК А.Ю.

<sup>1</sup>ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», м. Київ  
<sup>2</sup>ПрАТ «АК «Київводоканал»  
<sup>3</sup>ТОВ «Укрхімстандарт»

УДК 614.777 : 628.16 : 546.134

<https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.015>

В умовах сучасного антропо-техногенного навантаження на поверхневі водойми підвищуються вимоги до знезараження питної води на річкових водопроводах для забезпечення її безпечності від біологічного забруднення [1, 2]. Нині найбільш поширеними дезінфікуючими засобами обробки питної води є хлорвмісні реагенти: хлор-газ, хлораміни, гіпохлорит натрію, діоксид хлору тощо. Найчастіше вико-

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИОКСИДА ХЛОРА В ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА ДНЕПРОВСКОМ ВОДОПРОВОДЕ г. КИЕВА

<sup>1</sup>Прокопов В.А., <sup>1</sup>Липовецкая Е.Б., <sup>1</sup>Кулиш Т.В., <sup>1</sup>Соболь В.А.,  
<sup>2</sup>Костюк В.А., <sup>3</sup>Бондарчук А.Ю.

<sup>1</sup>ГУ «Институт общественного здоровья им. А.Н. Марзеева НАМН Украины», г. Киев, <sup>2</sup>АО «АК «Киевводоканал», <sup>3</sup>ТОВ «Укрхімстандарт»  
**Цель работы:** установление оптимальных дозо-временных параметров применения диоксида хлора в традиционной технологии водоподготовки, обеспечивающих высокое качество и безопасность питьевой воды. **Материалы и методы.** Диоксид хлора для первичного обеззараживания воды р. Днепр применялся в диапазоне 2,0-4,0 мг/дм<sup>3</sup> на фоне коагулянта сульфата алюминия (140,0 мг/дм<sup>3</sup>) и флокулянта TR650 (0,3 мг/дм<sup>3</sup>). Вторичное обеззараживание проводилось диоксидом хлора в дозе 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. Анализ воды до и после обработки по физико-химическим и микробиологическим показателям, с дополнительным определением остаточного диоксида хлора, хлоритов, хлоратов и тригалогенметанов) проводился по общепринятым методикам согласно ГСанПиН 2.2.4-171-10.

**Основные результаты.** Качество речной воды после обработки диоксидом хлора с участием коагулянта и флокулянта, отстаивания и фильтрования улучшалось при всех дозах диоксида хлора. При минимальной дозе диоксида хлора 2,0 мг/дм<sup>3</sup> отмечается снижение показателей мутности, цветности воды, ПО и железа на 82,6%, 86,3%, 65,0% и 18,7% соответственно. Кроме того, отмечается снижение индикаторных микроорганизмов на 93-100%, что свидетельствует о высокой бактерицидной активности диоксида хлора в качестве обеззараживающего средства. В воде не наблюдается образования опасных для организма человека хлоритов, а также алюминия в сверхнормативных концентрациях. Из семи летучих хлорорганических соединений, которые исследовались, в обработанной воде обнаружены только хлороформ и бромдихлорметан в количествах, не превышающих гигиенический норматив. **Выводы.** Экспериментальные исследования обработки речной воды по традиционной технологии с использованием диоксида хлора показали высокую ее эффективность в отношении органического и микробного загрязнения воды р. Днепр. Высокий бактерицидный эффект в отношении санитарно-показательных микроорганизмов (93-100%) отмечался даже при малых дозах диоксида хлора (2,0 мг/дм<sup>3</sup>). Подтверждена низкая способность диоксида хлора к образованию высокотоксичных летучих хлорорганических соединений (тригалогенметанов), которые по приоритетному веществу – хлороформу – определялись в воде на уровне 1,0-3,0 мкг/дм<sup>3</sup>. Целесообразно продолжить эксперимент на речном водопроводе, моделируя в воде повышенные уровни органического загрязнения, которое может приводить к увеличению побочных продуктов дезинфекции, прежде всего опасных хлоритов, образующихся при обработке воды диоксидом хлора. **Ключевые слова:** диоксид хлора, санитарно-химические и микробиологические показатели, хлориты, хлораты, алюминий, тригалогенметаны.

© Прокопов В.О., Липовецкая О.Б., Кулиш Т.В., Соболь В.А., Костюк В.А., Бондарчук А.Ю. СТАТТЯ, 2018.