

УДК 541.183, 541.138

**Р.Д. Чеботарева\*, С.В. Ремез, С.Ю. Баштан**

Институт коллоидной химии и химии воды им. А.В. Думанского НАН Украины, г. Киев

## УМЯГЧЕНИЕ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ В ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЕ С ФИЛЬТРУЮЩИМ КАРТРИДЖЕМ

*Исследован процесс очистки воды от комплексных загрязняющих веществ (солей жесткости, железа, гуминовых веществ и микроорганизмов) в установке, включающей электрохимическую обработку и фильтрующий элемент. Основой электрохимического аппарата является колба для стандартного бытового фильтра с фильтрующим картриджем из спеченного активного угля, имеющего форму полого цилиндра. Внутри картриджа помещен графитовый анод, снаружи картриджа коаксиально размещался катод из стальной сетки. В экспериментах использовали водопроводную воду г. Киева с общей жесткостью 4,5 мг-экв/дм<sup>3</sup> (концентрация ионов кальция – 70, магния – 12 мг/дм<sup>3</sup>) и карбонатной щелочностью 3,6 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Для приготовления рабочего раствора (имитата) в воду добавляли 7 мг/дм<sup>3</sup> железа (II) в виде FeCl<sub>2</sub>, 20 мг/дм<sup>3</sup> гуминовой кислоты фирмы "Aldrich", а также микроорганизмы *Bacillus subtilis* в количестве 10<sup>4</sup> КОЕ/дм<sup>3</sup>. Для оценки эффективности использования фильтрующего картриджа проведен электролиз воды в двух вариантах – без разделения электродных камер при отсутствии картриджа и с картриджем. Без картриджа снижение величины тока было незначительным (с 0,5 до 0,45 А), всего на 10%, а жесткости лишь на 12%. С картриджем величина тока в квазистационарном состоянии составляла ~40% от первоначального при снижении жесткости воды с 4,6 до 0,28 мг-экв/дм<sup>3</sup>, т. е. на 93%. При этом концентрация железа снижалась с 7 до 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, гуминовых веществ – с 20 до 1 мг/дм<sup>3</sup>, микроорганизмов – с 5 · 10<sup>4</sup> до 0 КОЕ/см<sup>3</sup> при расходе электроэнергии до 2 кВт·ч/м<sup>3</sup>.*

*Ключевые слова:* очистка воды от гуминовых веществ, микроорганизмов и железа, умягчение воды, электрохимическая очистка воды.

### ВВЕДЕНИЕ

Как показали результаты проведенного мониторинга [1], около 20% питьевой воды во многих населенных пунктах Украины не соответствует требованиям действующего стандарта. В связи с возросшей интенсивностью антропогенного воздействия во многих городах мира технология водоочистки является

многоступенчатой. Так, в Амстердаме в зависимости от качества исходной воды на станции водоподготовки применяется 14-ступенчатая очистка [2], в то же время на станциях водоподготовки в Украине до настоящего времени практикуется 2-3-ступенчатая очистка воды [3]. Вода из артезианских скважин в отдельных регионах отличается повышенным содержанием железа и других микроэлементов, отмечается также наличие патогенных

\* Для листування: rchebot@i.ua

11. Кублановский В.С., Городынский А.В., Белинский В.Н., Глушак Т.С. *Концентрационные изменения в приэлектродных слоях в процессе электролиза*. Киев. 1978. 212 с.
12. Gabrielli C., Maurin G., Francy-Chausson H., Thery P., Tran T.M., Tlili M. Electrochemical water softening: principle and application. *Desalination*. 2006. 201, Issues 1–3. P. 150–163.
13. Anjuán I., Benavente D., Expósito E., Montiel V. Electrochemical water softening: Influence of water composition on the precipitation behavior. *Separ. and Purif. Technol.* 2019. 211. P. 857–865.
14. Лурье Ю.Ю. *Унифицированные методы анализа вод*. Москва. 1973. 376 с.
15. Методичні вказівки "Санітарно-мікробіологічний контроль якості питної води" 10.2.1-113-2005. – С. 66.

Поступила в редакцію 12.11.2019 г.

Після доработки 09.12.2019 г.

Прийнято к публікації 16.12.2019 г.

#### REFERENCES

1. Nikitin S.V., Mubarakshin R.R. Gigiyenicheskaya otsenka vodosnabzheniya v sel'skom rayone. *Gigiyena i sanitariya*. 2005. №4. S. 55–58.
2. Petrosov V.A. *Bezopasnost' pit'yevogo vodosnabzheniya*. Zb. dop. Mizhnar. kongresu "YETEVK- 2005" (m. Yalta, 24 – 27 travnya, 2005 r.). Yalta. 2005. S. 94–99.
3. Badyuk N.S., Lebedeva T.L., Zhukov V.A. Kachestvo vodoprovodnoy vody i yeye doochistka v ustanovkakh kollektivnogo pol'zovaniya. *Aktual. probl. transport. meditsiny*. 2008. №4 (14). S. 109–114.
4. Aleksyeyev V.S. Patohenni mikroorhanizmy v pidzemnykh vodakh system pytnoho vodopostachannya. *Vodosnabzh. i san. tekhnika*. 2003. №11. S. 5–9.
5. Ponomarenko A.M. Pytna voda yak znachushchykh faktor infektsiynoyi zakhvoryuvanosti naselelnyya Ukrayiny. *Aktual. probl. transport. medysyny*. 2008. №4 (14). S. 7–13.
6. Serdyuk A.M. Medyko-ekolohichni peredumovy demohrafichnoyi kryzysa v Ukrayini ta shlyakhy yikh podolannya. *Zhurn. Akad. med. nauk*. 2007. 13, №3. S. 486–502. [in Ukrainian].
7. Prokopov V.A., Teteneva I.A. K voprosu ispol'zovaniya nekonditsionnykh arteziyanskykh vod dlya khozyaystvenno-pit'yevykh tseley. Dop. Mizhnar. nauk. konf. "Probl. zabezpechennya naselelnyya yakisnoyu vodoyu" (Kiev, 1997). Kiev. 1997. S. 95–96.
8. Plitman S.I., Novikov YU.V., Tulakina N.V. i dr. K voprosu korrektyrovki gigiyenicheskikh normativov s uchetom urovnya zhestkosti pit'yevykh vod. *Gigiyena i sanitariya*. 1989. №7. S. 7–10.
9. RD 34.10.405-87 "Metodicheskiye ukazaniya po primeneniyu norm udel'nogo raskhoda povarennoy soli dlya regeneratsii natriy-kationitnykh fil'trov vodopodgotovitel'nykh ustanovok". <http://www.gosthelp.ru/text/RD343752694-Metodicheskieu.html>
10. Bagrii V.A., Chebotaryeva R.D., Bashtan S.Yu., Remez S.V., Goncharuk V.V. Softening of calcium-hydrocarbonate water in a flow-through electrolyzer with a filtrating cartridge. *J. Water Chem. and Technol.* 2008. 30, №2. P. 100–104.
11. Kublanovskiy V.S., Gorodyskiy A.V., Belinskiy V.N., Glushak T.S. *Kontsentratsionnyye izmeneniya v prielektrodnykh sloyakh v protsesse elektroliza*. Kiev. 1978. 212 s.
12. Gabrielli C., Maurin G., Francy-Chausson H., Thery P., Tran T.M., Tlili M. Electrochemical water softening: principle and application. *Desalination*. 2006. 201, Issues 1–3. P. 150–163.
13. Anjuán I., Benavente D., Expósito E., Montiel V. Electrochemical water softening: Influence of water composition on the precipitation behavior. *Separ. and Purif. Technol.* 2019. 211. P. 857–865.
14. Lur'ye Yu.Yu. *Unifitsirovannyye metody analiza vod*. Moskva. 1973. 376 s.
15. Metodichni vказivki "Sanітарно-мікробіологічний контроль якості питної води" 10.2.1-113-2005. 66 с.

Received 12.11.2019

Revised 09.12.2019

Accepted 16.12.2019

*Р.Д. Чеботарьова\*, С.В. Ремез, С.Ю. Баштан*

Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, м. Київ

\*rchebot@i.ua

### ПОМ'ЯКШЕННЯ І ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ В ЕЛЕКТРОЛІЗЕРІ З ФІЛЬТРУЮЧИМ КАРТРИДЖЕМ

Досліджено процес очищення води від комплексних забруднюючих речовин (солей жорсткості, заліза, гумінових речовин і мікроорганізмів) в установці, що включає електрохімічну обробку і фільтруючий елемент. Основною електрохімічного апарату є колба для стандартного побутового фільтру з фільтруючим картриджем із спеченого активного вугілля, що має форму порожнього циліндра. В середині картриджа поміщений графітовий анод, зовні картриджа коаксиально розміщувався катод зі сталеві сітки. В експериментах використовували водопровідну воду м.Києва із загальною жорсткістю 4,5 мг-екв/дм<sup>3</sup> (концентрація іонів кальцію – 70, магнію – 12 мг/дм<sup>3</sup>) і карбонатної лужністю 3,6 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Для приготування робочого розчину (імітата) у воду додавали 7 мг/дм<sup>3</sup> заліза (II) у вигляді FeCl<sub>2</sub>, 20 мг/дм<sup>3</sup> гуминової кислоти фірми "Aldrich", а також мікроорганізми *Bacillus subtilis* в кількості 10<sup>4</sup> КОЕ/дм<sup>3</sup>. Для оцінки ефективності використання фільтруючого картриджа був проведений електроліз води в двох варіантах – без поділу електродних камер (при відсутності картриджа) і з фільтруючим картриджем. Без картриджа зниження величини струму було незначним (з 0,5 до 0,45 А), всього на 10%, а жорсткості лише на 12%. З картриджем величина струму в квазістаціонарному стані становить ~ 40% від початкового при зниженні жорсткості води з 4,6 до 0,28 мг-екв/дм<sup>3</sup>, тобто на 93%. При цьому залізо знижується з 7 до 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, гумінові речовини з 20 до 1 мг/дм<sup>3</sup>, мікроорганізми – з 5 · 10<sup>4</sup> до 0 КОЕ/см<sup>3</sup> при витраті електроенергії до 2 кВт · год/м<sup>3</sup>.

*Ключові слова: очистка води від гумінових речовин, мікроорганізмів і заліза, пом'якшення води, електрохімічне очищення води.*

*R.D. Chebotareva\*, S.V. Remez, S.Yu. Bashtan*

A.V. Dumansky Institute of Colloid Chemistry and Water Chemistry of NAS of Ukraine, Kyiv

\* rchebot@i.ua

### SOFTENING AND DISINFECTION OF WATER IN THE ELECTROLYZER WITH A FILTER CARTRIDGE

The removal of pollutant complex (hardness salts, iron, humic substances and micro-organisms) from water using the installation which comprises the electro-chemical treatment and filtering element is studied. The basic element of electro-chemical device was the bowl for usual household filter containing the hollow cylindrical filtering cartridge made of sintered active coal. The graphite anode was installed inside the cartridge; the cathode was made of steel mesh located coaxially around the cartridge. Tap water taken from Kyiv municipal water supply with total hardness of 4.5 mg/dm<sup>3</sup> (calcium and magnesium salts concentration of ~70 and ~12 mg/dm<sup>3</sup>, respectively) and carbonate alkalinity 3.6 mg/dm<sup>3</sup> was used for the experimental studies. To prepare the working solution (simulated), 7 mg/dm<sup>3</sup> of Fe (II) as FeCl<sub>2</sub>, 20 mg/dm<sup>3</sup> of humic acid (purchased from "Aldrich") and 10<sup>4</sup> of *Bacillus subtilis* per dm<sup>3</sup> were added into the water. To estimate the efficiency of the filtering cartridge, two sets of experiments were performed. When the electrode chambers were not separated (without the cartridge) the decrease of current was insignificant (from 0.5 to 0.45 A, i.e. by 10% only), and the hardness decreased only by 12%. In the experiments with installed cartridge the current strength in the quasi-stationary regime was ~40% of the initial value, the water hardness decreased from 4.6 to 0.28 mg/dm<sup>3</sup>, i.e. by 93%. In particular, contents of pollutants was decreased: for iron from 7 to 0.01 mg/dm<sup>3</sup>, for humic substances from 20 to 1 mg/dm<sup>3</sup>, for of micro-organisms from 5 · 10<sup>4</sup> to 0 colonies/dm<sup>3</sup> with the electric power consumption up to 2 kWh per cubic meter.

*Keywords: removal of humic substances from water, water softening, electro-chemical purification of water.*