

**А.Е. Кулишенко <sup>1\*</sup>, Н.А. Клименко <sup>1</sup>, С.В. Гречаник <sup>1</sup>,  
В.А. Костюк <sup>2</sup>, Л.П. Авраменко <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт коллоидной химии и химии воды им. А.В. Думанского НАН Украины, г. Киев;

<sup>2</sup> Частное акционерное общество "Киевводоканал", Украина

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЮМОЖЕЛЕЗНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ КОАГУЛЯНТОВ В ОЧИСТКЕ ВОДЫ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ПРИРОДНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

*Утилизация красного шлама алюминиевых производств является общемировой проблемой и имеет большое значение в защите окружающей среды. В предыдущих работах авторы определили возможность получения из шлама композиционного коагулянта для очистки природных и сточных вод. Показана эффективность очистки цветной днепровской воды этим реагентом, обусловленная наличием в его составе соединений железа и алюминия. С другой стороны, возникли сложности, связанные с повышением содержания остаточного железа в очищенной воде. Очевидно, по этой причине железные коагулянты (в "чистом" виде и в смеси с сульфатом алюминия) не используют в очистке днепровской воды. В продолжение указанных работ изучены варианты применения композиционных коагулянтов и смесей, полученных из красного шлама с помощью соляной и серной кислот, сульфатов железа и алюминия в разных пропорциях. Представлены результаты сезонных исследований по очистке днепровской воды с помощью джар-тестов, моделирующих реальные параметры работы действующей водоочистной станции. Установлено, что наиболее высокий эффект очистки днепровской воды достигается при использовании композиционных смесей с соотношением  $Fe_2O_3/Al_2O_3$  не более 1/1. Отмечено значительное влияние рН на остаточные концентрации железа и алюминия в воде. Результаты работы хорошо согласуются с современными представлениями о коагулировании подобных вод, позволяют объяснить неудачи в применении железосодержащих коагулянтов и определить возможные пути их использования в очистке цветной днепровской воды, содержащей значительное количество природных органических соединений.*

*Ключевые слова: алюминий, днепровская вода, железо, композиционный коагулянт, композиционная смесь, красный шлам, отстаивание, пробное коагулирование, сульфат алюминия, сульфат железа, фильтрование, цветность.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Широкий диапазон реагентов, предлагаемых современным рынком, создает возмож-

\* Для листування: kullish@gmail.com

ность выбора коагулянтов для очистки воды конкретных источников [1, 2]. Наиболее используемыми являются алюминиевые коагулянты, такие, как сульфат алюминия (СА) и его основные соли (гидроксохлориды и гидроксо-

19. Martin R.B. Fe<sup>3+</sup> and Al<sup>3+</sup> hydrolysis equilibria. Cooperativity in Al<sup>3+</sup> hydrolysis reactions. *J. Inorg. Biochem.* 1991. 44. P. 141–147.
20. Sillanpää M., Chaker Ncibi M., Matilainen A., Vepsäläinen M. Removal of natural organic matter in drinking water by coagulation: A comprehensive review. *Chemosphere.* 2018. 190. P. 54–71.
21. Chernaut D., Algahmdi A., Aichouni M., Touahmia M. The lethal water tri-therapy: chlorine, alum and polyelectrolyte. *World J. Appl. Chem.* 2018. 3(2). P. 65–71.
22. Walton J.R. A longitudinal study of rats chronically exposed to aluminum at human dietary levels. *Neurosci. Lett.* 2007. 412. P. 29–33.
23. Flaten T.P. Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease with emphasis on drinking water. *Brain Res. Bull.* 2001. 55. P. 187–196.
24. Prokopov V.O. *Pytna voda Ukrainy: medyko-ekolohichni ta sanitarno-hihiyenichni aspekty.* Kiev. 2016. 400 s.
25. DSanPiN 2.2.4-171-10. Hihiyenichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoyi dlya spozhyvannya lyudynoyu. Zatv. nakazom Ministerstva okhorony zdorov'ya Ukrainy N 400 vid 12.05.2010.
26. DSTU 7525:2014. Voda pytna. Vymohy ta metody kontrolyuvannya yakosti. Kiev: Minekonomrozvytku Ukrainy. 2014.
27. Archer A.D., Singer P.C. SUVA and NOM coagulation using the ICR database. *J. Amer. Water Works Assoc.* 2006. 98, N2. P. 110–115.
28. Archer A.D., Singer P.C. Effect of SUVA and enhanced coagulation on removal of TOX precursors. *Ibid.* 2006. 98, N8. P. 97–103.
29. Szlachta M., Adamski W. Effect of natural organic matter removal by integrated processes: alum coagulation and PAC-adsorption. *Water Sci. and Technol.* 2009 59, N10. P. 1951–1957.
30. Sharp E.L., Jarvis P., Parsons S.A., Jefferson B. Impact of fractional character on the coagulation of NOM. *Colloid Surf., A.* 2006. 286, N1/3. P. 104–111.
31. Pivonsky M., Naceradska J., Brabenec T., Novotna K., Boresova M., Jand V. The impact of interactions between algae organic matter and humic substances on coagulation. *Water Res.* 2015. 84. P. 278–285.
32. Zhaoyang S., Ting L., Wenzheng Y., Xing L., Nigel J.D. Graham. Coagulation of surface water. Observations on the significance of biopolymers. *Ibid.* 2017. 126. P. 144–152.
33. Umar M., Roddick F., Fan L. Comparison of coagulation efficiency of aluminium and ferric-based coagulation as pre-treatment for UVC/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> treatment of wastewater RO concentrate. *Chem. Eng. J.* 2016. 284. P. 841–849.
34. Gonzalez-Torres A., Rutman J., Jefferson B., Stuetz R.M., Henderson R.K. Examination of the physical properties of *Microcystis aeruginosa* flocs produced on coagulation with metal salts. *Water Res.* 2014. 60. P. 177–209.
35. Zhao Y.X., Gao B.Y., Shon H.K., Sao B.C., Kim J.H. Coagulation characteristics of titanium (Ti) salt coagulant compared with aluminum (Al) and iron (Fe) salts. *J. Hazard. Mater.* 2011. 185. P. 1536–1542.
36. Zimon A.D. *Adgeziya pyli i poroshkov.* Moskva. 1976. 432 s.
37. Jiang J., Kappler A. Kinetics of microbial and chemical reduction of humic substances: implications for electron shuttling. *Environ. Sci. Technol.* 2008. 42 (10). P. 3363–3569.
38. Rakshit S., Sarkar D. Assessing redox properties of standard humic substances. *Int. J. Environ. Sci. and Technol.* 2017. 14 (7). P. 1497–1504.
39. Heiderscheidt E., Leiviskä T., Kløve B. Coagulation of humic waters for diffused pollution control and the influence of coagulant type on DOC fractions removed. *J. Environ. Manage.* 2016. 181. P. 883–893.
40. Linnik P.N., Vasil'chuk T.A., Bolelaya N.V. Gumusovyye veshchestva v vode dneprovskikh vodokhranilishch. *Gidrobiol. J.* 1995. 31, N2. S. 74–81.
41. Kul'skiy L.A. *Teoreticheskiye osnovy i tekhnologiya konditsionirovaniya vody.* Kiev. 1980. 564 s.
42. Seyong Lee, Younghee Roh, Dong-Chan Koh. Oxidation and reduction of redox-sensitive elements in the presence of humic substances in subsurface environments: A review. *Chemosphere.* 2019. 220. P. 86–97.
43. Rudenko G.G., Goronovskiy I.T. Udalenie primesey iz prirodnykh vod na vodoprovodnykh stantsiyakh. Kiev. 1976. 208 s.

Received 27.08.2019

Revised 20.11.2019

Accepted 11.12.2019

*A.E. Кулішенко<sup>1\*</sup>, Н.А. Клименко<sup>1</sup>, С.В. Гречаник<sup>1</sup>, В.А. Костюк<sup>2</sup>, Л.П. Авраменко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, м. Київ;

<sup>2</sup> Приватне акціонерне товариство "Київводоканал", Україна

\* kullish@gmail.com

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АЛЮМОЖЕЛЕЗНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ КОАГУЛЯНТІВ У ОЧИЩЕННЮ ВОДИ З ВИСОКИМ ЗМІСТОМ ПРИРОДНИХ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

Утилізація червоного шламу алюмінієвих виробництв — загальносвітова проблема, яка має велике значення в захисті навколишнього середовища. В попередніх роботах автори визначили можливість отримання з шламу композиційного коагулянту для очищення природних та стічних вод. Показано ефективність очищення кольорової дніпровської води цим реагентом, що обумовлена наявністю в його складі сполук заліза й алюмінію. З іншого боку, виникли складнощі, пов'язані зі зростанням вмісту залишкового заліза в очищеній воді. Напевно, по цій причині залізни коагулянти (в "чистому" вигляді й у суміші із сірчано-кислим алюмінієм) не застосовують в очищенні дніпровської води. В продовження вказаних робіт досліджені варіанти застосування композиційних коагулянтів і сумішей, отриманих з червоного шламу за допомогою соляної та сірчаної кислот, сульфатів заліза й алюмінію в різних пропорціях. В статті наведені наслідки сезонних досліджень з очищення дніпровської води з допомогою джар-тестів, що моделюють реальні параметри роботи діючої водоочисної станції. Встановлено, що найкращий ефект очищення дніпровської води досягається при застосуванні композиційних сумішей із співвідношенням  $Fe_2O_3/Al_2O_3$  не більше 1/1. Відмічений значний вплив рН на залишкові концентрації заліза й алюмінію у воді. Результати роботи добре узгоджуються із сучасними уявленнями про коагулювання подібних вод, дозволяють пояснити невдачі в застосуванні залізовміщуючих коагулянтів і визначити можливі напрямки їх застосування в очищенні кольорової дніпровської води, що вміщує значну кількість природних органічних сполук.

*Ключові слова:* алюміній, дніпровська вода, залізо, композиційний коагулянт, композиційна суміш, червоний шлам, відстоювання, пробне коагулювання, сульфат алюмінію, сульфат заліза, фільтрування, кольоровість.

*A.E. Kulishenko<sup>1\*</sup>, N.A. Klimenko<sup>1</sup>, S.V. Grechanik<sup>1</sup>, V.A. Kostyuk<sup>2</sup>, L.P. Avramenko<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> A.V. Dumansky Institute of Colloid Chemistry and Water Chemistry of NAS of Ukraine, Kyiv;

<sup>2</sup> Private Joint Stock Company "Kievvodokanal", Ukraine

\* kullish@gmail.com

## FEATURES OF APPLICATION OF ALUMINOUS COMPOSITE COAGULANTS IN PURIFICATION OF WATER WITH HIGH CONTENT OF NATURAL ORGANIC SUBSTANCES

Disposal of red mud from aluminum production is a worldwide problem and is of great importance in protecting the environment. In previous works, the authors determined the possibility of obtaining from this sludge a composite coagulant for the treatment of natural and waste waters. The effectiveness of purification of colored Dnieper water by such a reagent, due to the presence of iron and aluminum compounds in its composition, is shown. On the other hand, there were difficulties associated with an increase in the content of residual iron in purified water. Obviously, for this reason, iron coagulants (in "pure" form and mixed with sulfate of aluminium) are still not used in the purification of Dnieper water. In continuation of these works, we studied the use of composite coagulants and mixtures obtained from red mud using hydrochloric and sulfuric acids, sulfates of iron and aluminum in different proportions. The article presents the results of seasonal studies on the treatment of Dnieper water using jar tests, simulating the real parameters of the existing water treatment plant. It was established that the best cleaning effect of the Dnieper water is achieved by using composite mixtures with a ratio of  $Fe_2O_3/Al_2O_3$  not more than 1/1. A significant effect of pH on the residual concentrations of iron and aluminum in water was noted. The results of the work are in good agreement with modern ideas about the coagulation of such waters, explain the failures in the use of iron-containing coagulants and determine the possible ways of this application in the purification of Dnieper colored water containing a significant amount of natural organic compounds.

*Keywords:* aluminum, Dnieper water, iron, composite coagulant, composite mixture, red mud, sedimentation, trial coagulation, aluminum sulfate, iron sulfate, filtration, color.