

























В присутствии неионогенного ПАВ частицы угля наиболее эффективно извлекаются из растворов, содержащих ионы  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  ( $\alpha = 96\text{--}99\%$ ). Введение ионов  $\text{Al}^{3+}$  также повышают эффективность процесса электрофлотации, однако степень извлечения частиц ОУ-Б достигает значения 86% через 30 мин электрофлотации.

Максимальная степень извлечения частиц ОУ-Б достигается в присутствии таких ионов, как  $\text{Al}^{3+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$ , при этом она равна  $\alpha = 30\text{--}35\%$  после 30 мин процесса электрофлотации. Присутствие частиц кобальта(II) или никеля(II) тормозит процесс электрофлотации. Наличие коагулянтов в растворе ( $\text{Al}^{3+}$ ;  $\text{Fe}^{3+}$ ) улучшает эффективность процесса до 81–98%. Кроме того, присутствие ионов железа(III) интенсифицирует процесс до достижения  $\alpha = 98\%$  после 10 мин электрофлотации. Такое же действие на эффективность и интенсивность процесса оказывают добавки ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ;  $\text{Zn}^{2+}$ . Степень извлечения частиц ОУ-Б в их присутствии достигает величины 90–99% через 10 мин процесса электрофлотации.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, сравнение результатов электрофлотационного извлечения частиц активированного угля марки ОУ-Б из водных растворов позволяет заключить, что наиболее эффективно частицы извлекаются из растворов ПАВ катионного и неионогенного типа. Ионы никеля(II) не сильно влияют на процесс вне зависимости от природы ПАВ. Наличие ионов кобальта(II) в растворе значительно улучшает процесс электрофлотации в присутствии неионогенного ПАВ марки Triton® X-100, тогда как в присутствии NaDDS и Катинола они практически не извлекаются. Наибольшая эффективность процесса извлечения частиц ОУ-Б достигается в присутствии ионов  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  ( $\alpha = 82\text{--}99\%$ ).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Соглашения о предоставлении субсидии №14.574.21.0169 от 26 сентября 2017 г., уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57417X0169.*

### ACKNOWLEDGEMENT

*The work was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in the framework of the Subsidy Grant Agreement No. 14.574.21.0169 of September 26, 2017, a unique identifier of project RFMEFI57417X0169.*

Список литературы:

1. Лурье Ю. Ю., Рыбникова А. И. Химический анализ производственных сточных вод. М.: Химия, 1974. 336 с.
2. Гарбер М.И. Экономика и технология гальванического производства. М.: Химия, 1986. 170 с.

3. Ягодин Г.А., Третьякова Л.Г. Химическая технология и охрана окружающей среды. М.: Знание, 1984. 64 с.
4. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство. М.: ПИП «Глобус», 1998. 302 с.
5. Алферов Л.А., Нечаев А.П. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов. М.: Стройиздат, 1984. 272 с.
6. Ласкорин Б.Н., Громов Б.В., Цыганков А.П., Сенин В.Н. Проблемы развития безотходных производств. М.: Стройиздат, 1981. 207 с.
7. Гребенюк В.Д., Соболевская Т.Т., Махно А.Г. // Химия и технология воды. 1989. Т. 11. № 5. С. 407.
8. Shishlannikov L.A., Alzhanov F.V. // Desalination, 1986. V. 58. No. 1. P. 77. DOI: 10.1016/0011-9164(86)85014-7.
9. Апельцина Е.П. Электрохимические методы в технологии очистки природных и сточных вод. Обзор. М.: Изд. ЦИНИС Госстроя СССР, 1971. 49 с.
10. Колесников В.А., Ильин В.И., Бродский В.А., Колесников А.В. // Теорет. основы хим. технологии. 2017. Т. 51. № 4. С. 361. DOI: 10.7868/S0040357117040054.
11. Шухенина З.М., Багров В.В., Десятов А.В. и др. Вода техногенная: проблемы, технология, ресурсная ценность. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. 401 с.
12. Колесников В.А., Ильин В.И., Капустин Ю.И. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий. М.: Химия, 2007. 304 с.
13. Колесников В.А., Колесников А.В., Ильин В.И. // Теоретические основы химической технологии. 2019. Т. 53. № 2. С. 205. DOI: 10.1134/S0040357119010093.
14. Khelifa A., Moulay S., Naceur A.W. // Desalination. 2005. V. 181. No. 1-3. P. 27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.01.011>.
15. Овчаренко А.Г., Старыгин В.С. // Водоочистка. 2013. № 7. С. 14.
16. Назаров В.Д., Назаров М.В., Хабибуллина М.Р. // Приволж. науч. журнал. 2013. № 2. С. 108.
17. Райзер Ю.С., Назаров М.В. // Башк. хим. журнал. 2010. Т. 17. № 2. С. 142.
18. Назаров В.Д., Назаров М.В. // Защита окруж. среды в нефтегаз. комплексе. 2009. № 2. С. 49.
19. Колесников В.А., Капустин Ю.И., Матвеева Е.В. // Тез. докл. на 17 Менделеевском съезде по общей и прикл. химии. Казань, 2003. Т. 3. С. 204.
20. Обзор рынка активированного угля в СНГ. 7 издание. М.: Исследовательская группа ИНФОМАЙН, 2015. 177 с.
21. Мешалкин В.П., Колесников В.А., Десятов А.В. и др. // Доклады Академии Наук. 2017. Т. 476. № 2. С. 166. DOI: 10.7868/S0869565217260103.
22. Колесников А.В., Милютин А.Д., Воробьева О.И., Колесников В.А. // Химическая промышленность сегодня. 2016. № 5. С. 33.

References:

1. Lurier Yu.Yu., Rybnikova A.I. Chemical analysis of industrial wastewater. М.: Khimiya, 1974. 336 p. [in Russian].
2. Garber M.I. Economics and technology of galvanic production. М.: Khimiya, 1986. 170 p. [in Russian].
3. Yagodin G.A., Tretyakova L.G. Chemical Technology and environmental protection. М.: Znanie, 1984. 64 p. [in Russian].
4. Vinogradov S.S. Environmentally safe galvanic production. М.: PIP Globus, 1998. 302 p. [in Russian].
5. Alferov L.A., Nechaev A.P. Closed systems of water management of industrial enterprises, complexes and regions. М.: Stroiizdat, 1984. 272 p. [in Russian].

6. *Laskorin B.N., Gromov B.V., Tsygankov A.P., Senin V.N.* Problems of development of non-waste productions. M.: Stroizdat, 1981. 207 p. [in Russian].
7. *Grebenyuk V.D., Sobolevskaya T.T., Makhno A.D.* // *Khimiya i tekhnologiya vody* [Chemistry and water technology]. 1989. V. 11. No. 5. P. 407 [in Russian].
8. *Shishlannikov L.A., Alzhanov F.V.* // *Desalination*. 1986. V. 58. No. 1. P. 77. DOI: 10.1016/0011-9164(86)85014-7.
9. *Apelt'syna E.P.* Electrochemical methods in the technology of purification of natural and sewage water. Review. M.: Izd. TsYNIS Gosstroy USSR, 1971. 49 p. [in Russian].
10. *Kolesnikov V.A., Il'in V.I., Brodskiy V.A., Kolesnikov A.V.* // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2017. V. 51. No. 4. P. 369. DOI: 10.1134/S0040579517040200.
11. *Shukhenina Z.M., Bagrov V.V., Desyatov A.V. et al.* Technogenic water: problems, technology, resource value. M.: MGTU im. Baumana, 2015. 401 p. [in Russian].
12. *Kolesnikov V.A., Il'in V.I., Kapustin Yu.I.* Electroflotation technology of sewage treatment in industrial enterprises. M.: Khimiya, 2007. 304 p. [in Russian].
13. *Kolesnikov V.A., Kolesnikov A.V., Il'in V.I.* // *Teoreticheskie osnovy khimicheskoy tekhnologii* [Theoretical foundations of chemical engineering]. 2019. V. 53. No. 2. P. 205 [in Russian]. DOI: 10.1134/S0040357119010093.
14. *Khelifa A., Moulay S., Naceur A.W.* // *Desalination*. 2005. V. 181. No. 1-3. P. 27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.01.011>.
15. *Ovcharenko A.G., Starygin V.S.* // *Vodoochistka* [Water purification]. 2013. No. 7. P. 14 [in Russian].
16. *Nazarov V.D., Nazarov M.V., Khabibullina M.R.* // *Privolzh. nauch. zhurnal* [Privolzhskii scientific journal]. 2013. No. 2. P. 108 [in Russian].
17. *Raizer Yu.S., Nazarov M.V.* // *Bashkirskii khim. zhurnal* [Bashkirskii chemical journal]. 2010. V. 17. No. 2. P. 142 [in Russian].
18. *Nazarov V.D., Nazarov M.V.* // *Zashchita okruzh. sredy v neftegaz. komplekse* [Protection of environment in oil and gas complex]. 2009. No. 2. P. 49 [in Russian].
19. *Kolesnikov V.A., Kapistin Yu. I., Matveeva E.V.* // *Proceedings of 17th Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*. Kazan, 2003. V. 3. P. 204 [in Russian].
20. Review of Activated carbon market in the CIS. 7th edition. M.: INFOMAIN, 2015. 177 p. [in Russian].
21. *Meshalkin V.P., Kolesnikov V.A., Desyatov A.V. et al.* // *Doklady Chemistry*. 2017. V. 476. No. 1. P. 219. DOI: 10.1134/S001250081709004X.
22. *Kolesnikov A.V., Milyutina A.D., Vorobyova O.I., Kolesnikov V.A.* // *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya* [Chemical industry today]. 2016. No. 5. P. 33 [in Russian].