

ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕСЦВЕЧИВАНИЯ ГУМУСОВО-ГИДРОКАРБОНАТНО-КАЛЬЦИЕВЫХ ВОД КОАГУЛИРОВАНИЕМ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ОКИСЛЕНИЕМ ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА В ПРИСУТСТВИИ МЕТАЛЛОВ ПЕРЕМЕННОЙ ВАЛЕНТНОСТИ

Б. Н. Житенёв¹, А. Д. Гуринович²

¹К. т. н., профессор кафедры водоснабжения, водоотведения и охрана водных ресурсов Брестского государственного технического университета, г. Брест, Республика Беларусь, e-mail: gitenev@tut.by

²Д. т. н., профессор кафедры водоснабжения и канализации Белостокского технического университета, Белосток, Польша, e-mail: a.gurinowicz@pd.edu.pl

Реферат

В республике имеются достаточные запасы поверхностных вод, которые по сравнению с подземными, более доступны для использования и являются более мягкими и слабоминерализованными. Широкому их применению препятствует наличие в них загрязнений природного и техногенного происхождения. С учетом исходного качества воды поверхностных источников и требований к технической воде рекомендовано окисление пероксидом водорода в присутствии Fe^{2+} , коагуляцию, напорную флотацию или фильтрацию в качестве основных технологических способов очистки от органических и неорганических соединений природного и антропогенного характера. В статье обоснована возможность применения пероксида водорода для интенсификации очистки поверхностных вод улучшенной окислительной технологией для технического водоснабжения, приведены технологические схемы очистки воды.

Ключевые слова: поверхностные воды, загрязнения природного и техногенного происхождения, пероксид водорода, техническое водоснабжение.

TECHNOLOGY OF COLORING HUMIC-HYDROCARBONATE-CALCIUM WATERS BY COAGULATION WITH PRELIMINARY OXIDATION WITH HYDROGEN PEROXIDE IN THE PRESENCE OF METALS OF VARIABLE VALENCE

B. N. Zhytsianiou, A. D. Hurynovich

Abstract

The republic has sufficient reserves of surface water, which, in comparison with groundwater, are more accessible for use and are softer and less mineralized. Their widespread use is hindered by the presence of natural and man-made pollution in them. Taking into account the initial water quality of surface sources and the requirements for industrial water, oxidation with hydrogen peroxide in the presence of Fe^{2+} , coagulation, pressure flotation or filtration are recommended as the main technological methods of purification from organic and inorganic compounds of natural and anthropogenic nature. The article substantiates the possibility of using hydrogen peroxide to intensify the purification of surface water by an improved oxidizing technology for technical water supply, and provides technological schemes for water purification.

Keywords: surface waters, pollution of natural and technogenic origin, hydrogen peroxide, technical water supply.

Введение

В Республике Беларусь прослеживается тенденция увеличения использования воды питьевого качества для производственных целей. Величина забора воды из поверхностных источников настоящее время по сравнению с 1990 годом уменьшилась в 3,2 раза и составила в 2017 году 560 млн м³ (рисунок 1). В Брестской, Минской областях и городе Минске более 60 % воды, используемой на производственные нужды, – вода питьевого качества (рисунок 2).



Рисунок 1 – Динамика забора воды из природных источников [1]

В целом по республике этот показатель составляет около 40 % и с 2003 года он растет.

Такое нерациональное потребление подземных вод ведет к снижению их эксплуатационных запасов, значительным затратам и удорожанию продукции, выпускаемой предприятиями. Альтернативой является использование поверхностных вод. Поверхностные воды более доступны, к тому же они являются более мягкими и слабоминерализованными по сравнению с подземными. Это выгодно

отличает их при употреблении для технических целей, для которых накладывается ограничения на жесткость и солесодержание.

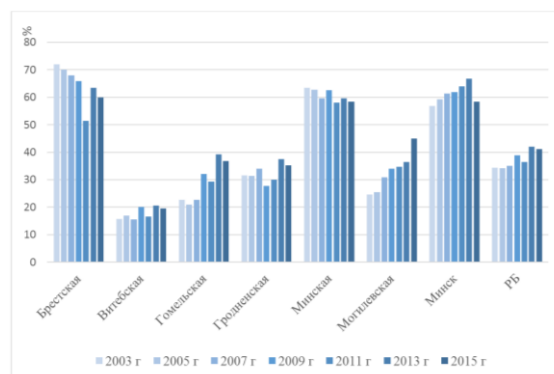


Рисунок 2 – Использование воды питьевого качества для производственных целей за период 2003–2015 годов [1]

Широкому использованию поверхностных вод для производственного водоснабжения препятствуют присутствующие в них органические и минеральные загрязнения. Поверхностные воды западной части Республики Беларусь относятся к гумусово-гидрокарбонатно-кальциевым.

Органические вещества, содержащиеся в большинстве поверхностных природных вод, представлены гуминовыми и фульвокислотами, а также их металлоорганическими комплексами, которые осложняют процессы водоподготовки (рисунок 3). Разработка эффективного метода очистки природных вод от устойчивых к разрушению органических соединений позволит шире использовать природные поверхностные воды для производственных процессов.

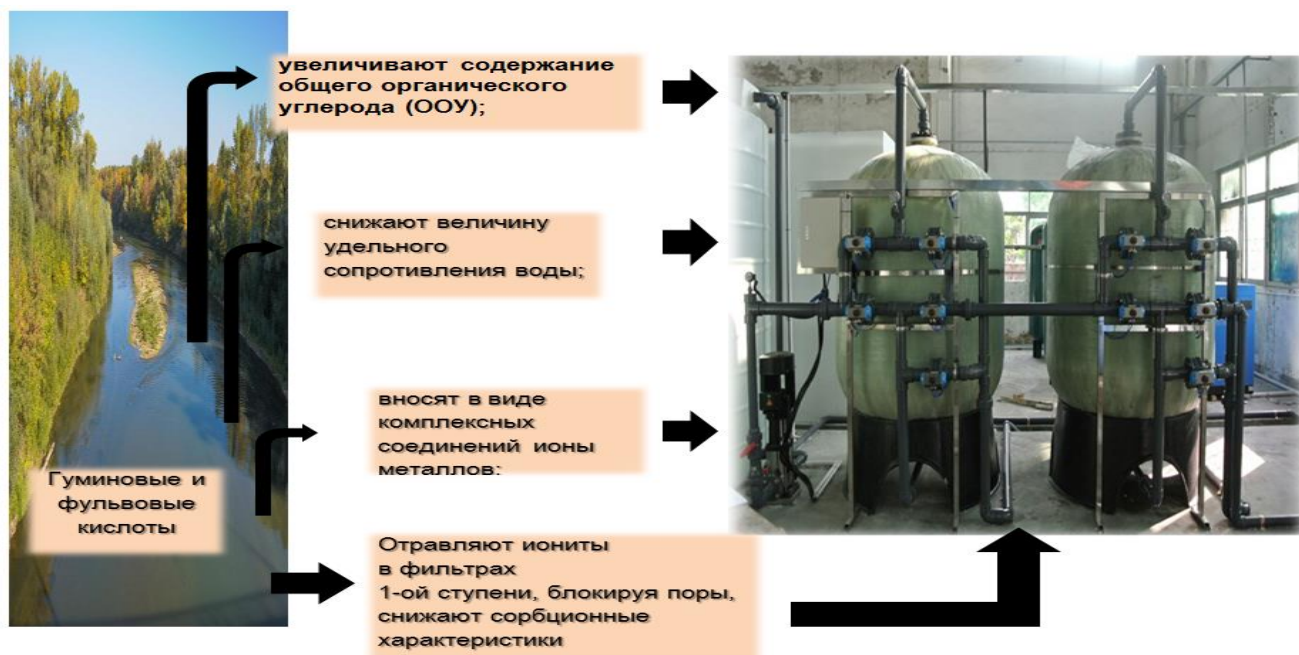
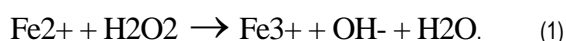


Рисунок 3 – Влияние гуминовых и фульвовых кислот на водоподготовку ионным обменом

Перспективным направлением интенсификации процессов очистки воды от органических примесей является использование окислительных систем с образованием радикалов ОН. В литературе эти процессы получили названия: «улучшенные окислительные технологии», «передовые окислительные процессы», «продвинутое окисление», «глубокое окисление». Радикалы ОН имеют более высокий окислительный потенциал. Примерами таких окислительных процессов могут служить: УФ, О₃, УФ/ТiО₂, О₃/Fe²⁺, О₃/H₂O₂, О₃/УФ, УФ/ H₂O₂, H₂O₂/Fe²⁺, H₂O₂/Fe²⁺/O₃, УФ/ H₂O₂/O₃, H₂O₂/Fe²⁺/УФ и О₃/УФ / H₂O₂/Fe²⁺.

Гумусовые кислоты в поверхностных водах находятся в растворенном, взвешенном и коллоидном состояниях, соотношения между которыми определяются химическим составом вод, pH, биологической ситуацией в водоеме и другими факторами.

Содержание гуминовых кислот в поверхностных водах обычно составляет десятки и сотни микрограммов в 1 дм³ по углероду, достигая нескольких миллиграммов в 1 дм³ в природных водах лесных и болотистых местностей, придавая им характерный бурый цвет. Фульвокислоты представляют соединения типа оксикарбоновых кислот с меньшим относительным содержанием углерода и более выраженными кислотными свойствами. Хорошая растворимость фульвокислот по сравнению с гуминовыми кислотами является причиной их более высоких концентраций и распространения в поверхностных водах. Содержание фульвокислот, как правило, превышает содержание гуминовых кислот в 10 раз и более [2, 3, 4]. В последнее время возрастает интерес к использованию в качестве окислителя пероксида водорода. В нормальных условиях пероксид водорода мало реакционноспособен, но в присутствии катализаторов активируется. На механизм разложения H₂O₂ наибольшее влияние оказывают pH реакционной среды и присутствие ионов металлов переменной валентности (железо, марганец, медь и др.).



Эти катализаторы оказывают активирующее воздействие на процесс разрушения пероксида водорода с образованием свободных радикалов (окислительный потенциал 2,87 В), которые являются сильными окисляющими агентами, способными разрушать многие органические вещества. В работах [5–10] приводятся результаты исследований по очистке воды от органических примесей, в том числе гуминовых и фульвокислот улучшенными окислительными технологиями. Известно, что разложение пероксида водорода интенсифицируется под воздействием солнечного света или УФ-излучения. Кванты света с длиной волны 200–300 нм интенсивно

поглощаются пероксидом водорода. В результате чего образуются радикалы, обладающие высокой окислительной способностью. Это позволяет обезвреживать сточные воды, содержащие лекарственные препараты [11–14], красители [15–20], гербициды [21–23], пестициды [24–29].

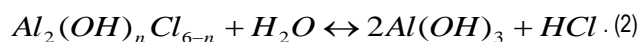
Основная часть

Для разработки метода обесцвечивания гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых вод заболоченных районов Беларуси с улучшенной окислительной технологией было произведено исследование по совместному влиянию массовых концентраций пероксида водорода, сульфата железа (II) и алюминия гидроксид хлорида на процесс удаления органических загрязнений природных вод.

Эффективное снижение цветности воды объясняется тем, что пероксид водорода в присутствии Fe²⁺ разлагается по реакции, в соответствии с уравнением (1).

При этом образующиеся в результате реакции Фентона гидроксидные радикалы окисляют гидрофильные органические соединения, стабилизирующие дисперсные примеси воды, и облегчают условия протекания коагуляции.

После введения АГХ, диссоциирует в водном растворе на ионы, его гидролиз может быть представлен следующей реакцией:



Коллоидные частицы гидроксида алюминия в нейтральной и слабокислой среде вследствие сорбции катионов водорода и алюминия имеют положительные заряды. Поэтому процесс коагуляции этих коллоидов улучшается при увеличении концентрации в воде поливалентных анионов, в частности SO₄²⁻, которые для положительно заряженных коллоидов являются против ионами. Повышение концентрации в воде одновалентных анионов, например Cl⁻, в значительно меньшей степени стимулируют коагуляцию. Однако в результате совместного введения сульфата железа проявляется синергетический эффект [30]. Введение около 45 мг/л пероксида водорода позволяет снизить дозу АГХ для достижения остаточной цветности 20 градусов с 20 до 10 мг/л. Введение около 17 мг/л сульфата железа (II) позволяет уменьшить остаточную цветность с 30 до 15 градусов при дозе АГХ 10 мг/л, т. е. эффект обесцвечивания увеличивается в два раза при той же дозе коагулянта.

На основании выполненных исследований разработаны технологические схемы обесцвечивания и осветления гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых вод коагуляцией и флотацией с предварительным

окислением пероксидом водорода в присутствии ионов Fe^{2+} (рисунки 4, 5).

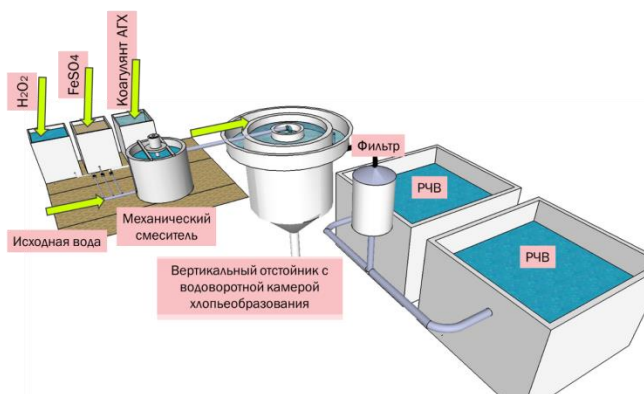


Рисунок 4 – Технологическая схема обесцвечивания и осветления гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых вод коагуляцией с предварительным окислением пероксидом водорода в присутствии ионов Fe^{2+}

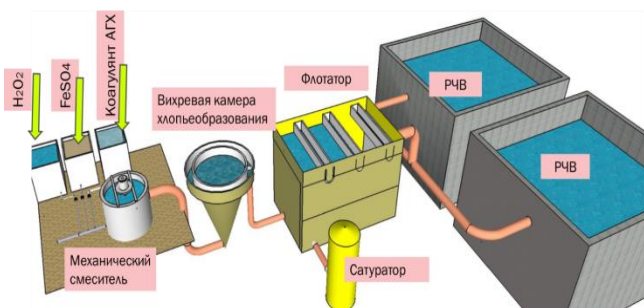


Рисунок 5 – Технологическая схема обесцвечивания и осветления гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых вод напорной реагентной флотацией с предварительным окислением пероксидом водорода в присутствии ионов Fe^{2+} .

Заключение

1. В республике имеются достаточные запасы поверхностных вод, которые по сравнению с подземными, более доступны для использования и являются более мягкими и слабоминерализованными. Широкому их применению препятствует наличие в них загрязнений природного и техногенного происхождения.
2. С учетом исходного качества воды поверхностных источников и требований к технической воде рекомендовано окисление пероксидом водорода в присутствии Fe^{2+} , коагуляцию, напорную флотацию или фильтрацию в качестве основных технологических способов очистки от органических и неорганических соединений природного и антропогенного характера.
3. Обоснована возможность применения пероксида водорода для интенсификации очистки поверхностных вод улучшенной окислительной технологией для технического водоснабжения.
4. Установлено, что применение пероксида водорода позволяет интенсифицировать процесс коагуляции. Введение около 45 мг/л пероксида водорода позволяет снизить дозу АГХ для достижения остаточной цветности 20 градусов с 20 до 10 мг/л.

Список цитированных источников

1. Состояние природной среды Беларуси. Экол. бюл. 2003–2015 гг. / Под ред. В. Ф. Логинова. – Минск: Минсктиппроект, 2004–2016 г.
2. Перминова, И. Гуминовые вещества / И. Перминова // Элементы [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: <http://elementy.ru/lib/430559>. – Дата доступа: 10.10.2010.
3. Гуминовые вещества в контексте зеленой химии / И. В. Перминова [и др.] // Зеленая химия в России. Том В. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. – С. 146–162.
4. Перминова, И. В. Гуминовые вещества – вызов химикам XXI века / И. В. Перминова // Химия и жизнь. – М., 2008. – №1. – С. 143–150.

5. Fukushima, Masami. Характеристики распада гуминовых кислот в процессе фотореакции Фентона. Degradation characteristics of humic acid during photo-fenton processes / M. Fukushima, K. Tatsumi, S. Nagao // Environ. Sci. and Technol. – 2001. – V. 35, N 18. – С. 3683–3690.
6. Wang Gen-Shuh. Фоторазложение гуминовых кислот в присутствии пероксида водорода. Photodegradation of humic acids in the presence of hydrogen peroxide / G.-S. Wang, C.-H. Liao, F.-J. Wu // Chemosphere. – 2001. – V. 42, N 4. – С. 3790–387.
7. Anielak, A. M. Влияние ионов хлора на формирование хлорорганических соединений при окислении фульвокислот. Wplyw chlorkow na powstawanie substancji chloroorganicznych w procesie utleniania kwasow fulwowych / A. M. Anielak, M. Grzegorzczuk, R. Schmidt // Przem. chem. – 2008. – V. 87, N 5. – С. 404–407.
8. Оценка характеристик адсорбции и коагуляции гуминовых кислот, подвергнутых обработке с использованием передовых окислительных технологий / Uyguner Ceyda Senem, Suphandag Serif Altan, Kerc Aslihan, Bekbolet Miray // Вода и экол.: пробл. и решения. – 2007, N 1. – С. 39–51, 84–85.
9. Perchuc, M. Удаление окрашенности воды при ее подготовке. Badania skutecnosci wybranych procesow technologicznych w oczyszczaniu wody o duzej intensywnosci barwy / M. Perchuc, M. Jaroszewska // Ochr. sred. – 2007, N 3. – С. 29–33.
10. Kim, Hyun-Chul, Влияние гуминовых субстанций природных вод на формирование побочных продуктов обеззараживания при подготовке воды повышенного качества. Characterization of aquatic humic substances to DBPs formation in advanced treatment processes for conventionally treated water / H.-C. Kim, M.-J. Yu // J. Hazardous Mater. – 2007. – V. 143, N 1–2. – С. 486–493.
11. Huber Marc M. Oxidation of pharmaceuticals during ozonation and advanced oxidation processes. / M. Huber Marc, S. Canonica, G.-Y. Park, U. Von Gunten // Environ. Sci. and Technol. – 2003. – V. 37, N 5. – С. 1016–1024.
12. Очистка сточных вод от госпиталей с использованием окислительных процессов. Application of advanced oxidation process (AOP) for degradation of hazardous pharmaceuticals in hospital waste water. 27 International Exhibition-Congress on Chemical Engineering, Environmental Protection and Biotechnology, Frankfurt am Main, 19-24 May, 2003: ACHEMA 2003: Abstracts of the Lecture Groups: Sensors for Water Systems, Sustainable Water Management, Contaminants in Groundwater, Wastewater and Sludge, Waste Gas, Adsorption Technology for Waste Gas, Airborne Particles, Gas Sensors, Waste Management / Turk Jochen, Ploger Jorg, Kiffmeyer Thekla K., Kabasci Stephan, Becker Bettina, Schmidt Klaus Gerhard, Kuss Heinz-Martin // Frankfurt/Main: DECHEMA, 2003. – С. 60.
13. Окисление фармацевтического препарата диклофенака УФ-облучением/пероксидом водорода и озоном. Advanced oxidation of the pharmaceutical drug diclofenac with UV/H₂O₂ and ozone. / D. Vogna, R. Marotta, A. Napolitano, R. Andreozzi, M. d'Ischia // Water Res. – 2004. – V. 38, N 2. – С. 414–422.
14. Очистка сточных вод от госпиталей с использованием окислительных процессов. Application of advanced oxidation process (AOP) for degradation of hazardous pharmaceuticals in hospital waste water. 27 International Exhibition-Congress on Chemical Engineering, Environmental Protection and Biotechnology, Frankfurt am Main, 19-24 May, 2003: ACHEMA 2003: Abstracts of the Lecture Groups: Sensors for Water Systems, Sustainable Water Management, Contaminants in Groundwater, Wastewater and Sludge, Waste Gas, Adsorption Technology for Waste Gas, Airborne Particles, Gas Sensors, Waste Management / J. Turk, J. Ploger, K. Kiffmeyer Thekla, S. Kabasci, B. Becker, G. Schmidt Klaus, H.-M. Kuss // Frankfurt/Main: DECHEMA. – 2003. – С. 60.
15. Perez, M. Очистка сточных вод в процессах Фентона. Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents / M. Perez, F. Torrades, X. Domenech, J. Peral // Water Res. – 2002. – V. 36, N 11. – С. 2703–2710.
16. Удаление из сточных вод красителя кислого красного в процессе фотодеструкции. Photooxidative degradation of Acid Red 27 (AR27): modeling of reactin kinetic and influence of operational parameters / N. Daneshvar, M. Rabbani, N. Modirshahla, M.-A. Behnajady // J. Environ. Sci. and Health. A. – 2004. – V. 39, N 9. – С. 2319–2332.

17. Li, L.-z. Исследование разложения метилоранжа в воде ультра-звуковой обработкой и химической окислением. *Yingyong huagong=Appl / L.-z. Li, J.-q. Li // Chem. Ind.* – 2006. – V. 35, N 6. – С. 428–430.
18. Деструкция азокрасителя в процессе фотоокисления. Enhancement of UV-assisted photo-Fenton degradation of reactive orange 4 using TiO₂-P25 nanoparticles / K. Selvam, M. Muruganandham, N. Sobana, M. Swaminathan // *Separ. and Purif. Technol.* – 2007. – V. 54, N 2. – С. 241–247.
19. Riga, A. Деструкция красителей в комбинированном процессе. Effect of system parameters and of inorganic salts on the decolorization and degradation of Procion H-exl dyes. Comparison of H₂O₂/UV, Fenton, UV/Fenton, TiO₂/UV and TiO₂/UV/H₂O₂ processes. / A. Riga, K. Soutsas, K. Ntampogliotis, V. Karayannis, G. Papapolymerou // *Desalination.* – 2007. – V. 211, N 1–3. – С. 72–86.
20. Chang, M.-C. Процесс комбинированной очистки окрашенных сточных вод. An integrated technique using zero-valent iron and UV/H₂O₂ sequential process for complete decolorization and mineralization of C. I. Acid Black 24 wastewater / M.-C. Chang, H.-Y. Shu, H.-H. Yu. // *J. Hazardous Mater.* – 2006. – V. 138, N 3. – С. 574–581.
21. Chu W. Моделирование квантовых выходов разложения гербицида 2,4-D при обработке УФ/H₂O₂. Modeling the quantum yields of herbicide 2,4-D decay in UV/H₂O₂ process / W. Chu // *Chemosphere.* – 2001. V. 44, N 5. – С. 935–941.
22. Wang, Q. Деструкция метрибазина в модифицированном процессе Фентона. Metribuzin degradation by membrane anodic Fenton treatment and its interaction with ferric ion / Q. Wang, M. Scherer Emily, T. Lemley Ann // *Environ. Sci. and Technol.* – 2004. – V. 38, N 4. – С. 1221–1227.
23. Kwan, C. Y. Фотодеструкция 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты с использованием ионов железа. Photodegradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in various iron-mediated oxidation systems / C. Y. Kwan, W. Chu // *Water Res.* – 2003. – V. 37, N 18. – С. 4405–4412.
24. Wong, C. C. Фотокаталитическая деструкция алахлора с использованием диоксида титана и пероксида водорода. The hydrogen peroxide-assisted photocatalytic degradation of alachlor in TiO₂ suspensions / C. C. Wong, W. Chu // *Environ. Sci. and Technol.* – 2003. – V. 37, N 10. – С. 2310–2316.
25. Деструкция пестицидов с применением пероксида водорода и ультрафиолетового излучения. Oxidation of MCPA and 2,4-D by UV radiation, ozone, and the combinations UV/H₂O₂ and O₃/H₂O₂. / Benitez F. Javier, L. Acero Juan, J. Real Francisco, S. Roman // *J. Environ. Sci. and Health. B.* – 2004. – V. 39, N 3. – С. 393–409.
26. Генерирование реактива Фентона в электрохимическом процессе и пример деструкции атразина. Electrochemical generation of the Fenton's reagent: application to atrazine degradation / A. Ventura, G. Jacquet, A. Bermond, V. Camel // *Water Res.* – 2002. – V. 36, N 14. – С. 3517–3522.
27. Деструкция атразина в водных средах. Wet peroxide degradation of atrazine / M. Rodriguez Eva, M. Alvarez Pedro, F. Rivas Javier, J. Beltran Fernando // *Chemosphere.* – 2004. – V. 54, N 1. – С. 71–78.
28. Деструкция линурона в водных средах с использованием реакции Фентона. Degradation of linuron in aqueous solution by the photo-Fenton reaction / H. Katsumata, S. Kaneco, T. Suzuki, K. Ohta, Y. Yobiko // *Chem. Eng. J.* – 2005. – V. 108, N 3. – С. 269–276.
29. Devipriya Suja. Фотокаталитическая деструкция пестицидов в природных водах. Photocatalytic degradation of pesticide contaminants in water / S. Devipriya, S. Yesodharan // *Sol. Energy Mater. and Sol. Cells.* – 2005. – V. 86, N 3. – С. 309–348.
30. Круглов, А. И. Перспективные методы очистки природных и сточных вод смешанными коагулянтами / А. И. Круглов, С. В. Гетманцев, А. В. Сычев // *Водоснабжение и санитарная техника.* – 2006. – № 8. – С. 33–38.
31. Guminovye veshchestva v kontekste zelenoj himii / I. V. Perminova [i dr.] // *Zelenaya himiya v Rossii. Tom V.* – M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2004. – С. 146–162.
32. Perminova, I. V. Guminovye veshchestva – vyzov himikam XXI veka / I. V. Perminova // *Himiya i zhizn'.* – M., 2008. – №1. – С. 143–150.
33. Fukushima, Masami. Charakteristiki raspada guminovyh kislot v processe fotoreakcii Fentona. Degradation characteristics of humic acid during photo-fenton processes / M. Fukushima, K. Tatsumi, S. Nagao // *Environ. Sci. and Technol.* – 2001. – V. 35, N 18. – С. 3683–3690.
34. Wang Gen-Shuh. Fotorazlozhenie guminovyh kislot v prisutstvii peroksida vodoroda. Photodegradation of humic acids in the presence of hydrogen peroxide / G.-S. Wang, C.-H. Liao, F.-J. Wu // *Chemosphere.* – 2001. – V. 42, N 4. – С. 3790–387.
35. Anielak, A. M. Vliyanie ionov hlora na formirovanie hlороrganicheskikh soedinenij pri oksigenii ful'vokislot. Wplyw chlorkow na powstawanie substancji chlороrganicznych w procesie utleniaania kwasow ful'wowych / A. M. Anielak, M. Grzegorzczuk, R. Schmidt // *Przem. chem.* – 2008. – V. 87, N 5. – С. 404–407.
36. Ocenka charakteristik adsorbicii i koagulyacii guminovyh kislot, podvergnutyh obrabotke s ispol'zovaniem peredovyh oksislitel'nyh tekhnologij / Uyguner Ceyda Senem, Suphandag Serif Altan, Kerc Aslihan, Bekbolet Miray // *Voda i ekol.: probl. i resheniya.* – 2007, N 1. – С. 39–51, 84–85.
37. Perchuc, M. Uдалenie okrashennosti vody pri ee podgotovke. Bada-nia skuteczności wybranych procesow technologicznych w oczyszczaniu wody o duzej intensywności barwy / M. Perchuc, M. Jaroszewska // *Ochr. srod.* – 2007, N 3. – С. 29–33.
38. Kim, Hyun-Chul, Vliyanie guminovyh substancij prirodnyh vod na formirovanie pobocznyh produktov obezrazhivaniya pri podgotovke vody povyshennogo kachestva. Characterization of aquatic humic substances to DBPs formation in advanced treatment processes for conventionally treated water / H.-C. Kim, M.-J. Yu // *J. Hazardous Mater.* – 2007. – V. 143, N 1–2. – С. 486–493.
39. Huber Marc M. Oxidation of pharmaceuticals during ozonation and advanced oxidation processes. / M. Huber Marc, S. Canonica, G.-Y. Park, U. Von Gunten // *Environ. Sci. and Technol.* – 2003. – V. 37, N 5. – С. 1016–1024.
40. Ochistka stocznyh vod ot gospitalaj s ispol'zovaniem oksislitel'nyh processov. Application of advanced oxidation process (AOP) for degradation of hazardous pharmaceuticals in hospital waste water. 27 International Exhibition-Congress on Chemical Engineering, Environmental Protection and Bio-technology, Frankfurt am Main, 19-24 May, 2003: AICHEMA 2003: Abstracts of the Lecture Groups: Sensors for Water Systems, Sustainable Water Management, Contaminants in Groundwater, Wastewater and Sludge, Waste Gas, Adsorption Technology for Waste Gas, Airborne Particles, Gas Sensors, Waste Management / Turk Jochen, Ploger Jorg, Kiffmeyer Thekla K., Kabasci Stephan, Becker Bettina, Schmidt Klaus Gerhard, Kuss Heinz-Martin // *Frankfurt/Main: DECHEMA, 2003.* – С. 60.
41. Okislenie farmaceuticheskogo preparata diklofenaka UF-oblučeniem/peroksidom vodoroda i ozonom. Advanced oxidation of the pharmaceutical drug diclofenac with UV/H₂O₂ and ozone. / D. Vogna, R. Marotta, A. Napolitano, R. Andreozzi, M. d'Ischia // *Water Res.* – 2004. – V. 38, N 2. – С. 414–422.
42. Ochistka stocznyh vod ot gospitalaj s ispol'zovaniem oksislitel'nyh processov. Application of advanced oxidation process (AOP) for degradation of hazardous pharmaceuticals in hospital waste water. 27 International Exhibition-Congress on Chemical Engineering, Environmental Protection and Biotechnology, Frankfurt am Main, 19-24 May, 2003: AICHEMA 2003: Abstracts of the Lecture Groups: Sensors for Water Systems, Sustainable Water Management, Contaminants in Groundwater, Wastewater and Sludge, Waste Gas, Adsorption Technology for Waste Gas, Airborne Particles, Gas Sensors, Waste Management / J. Turk, J. Ploger, K. Kiffmeyer Thekla, S. Kabasci, B. Becker, G. Schmidt Klaus, H.-M. Kuss // *Frankfurt/Main: DECHEMA.* – 2003. – С. 60.
43. Perez, M. Oчistka stocznyh vod v processah Fentona. Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents / M. Perez, F. Torrades, X. Domenech, J. Peral // *Water Res.* – 2002. – V. 36, N 11. – С. 2703–2710.

References

1. Sostoyanie prirodnoj sredy Belarusi. Ekol. byul. 2003–2015 gg. / Pod red. V. F. Loginova. – Minsk : Minsktipproekt, 2004–2016 g.
2. Perminova, I. Guminovye veshchestva / I. Perminova // *Elementy [Elektronnyj resurs].* – 2008. – Rezhim dostupa: <http://elementy.ru/lib/430559>. – Data dostupa: 10.10.2010.

16. Udalenie iz stochnyh vod krasitelya kislogo krasnogo v pro-cesse fotodestrukcii. Photooxidative degradation of Acid Red 27 (AR27): modeling of reaction kinetic and influence of operational parameters / N. Daneshvar, M. Rabbani, N. Modirshahla, M.-A. Behnajady // J. Environ. Sci. and Health. A. – 2004. – V. 39, N 9. – С. 2319–2332.
17. Li, L.-z. Issledovanie razlozheniya metiloranžha v vode ul'trazvukovoj obrabotkoj i himicheskoj oksisleniem. Yingyong huagong=Appl / L.-z. Li, J.-q. Li // Chem. Ind. – 2006. – V. 35, N 6. – S. 428–430.
18. Destrukciya azokrasitelya v processe fotookisleniya. Enhancement of UV-assisted photo-Fenton degradation of reactive orange 4 using TiO₂-P25 nanoparticles / K. Selvam, M. Muruganandham, N. Sobana, M. Swaminathan // Separ. and Purif. Technol. – 2007. – V. 54, N 2. – С. 241–247.
19. Riga, A. Destrukciya krasitelej v kombinirovannom processe. Effect of system parameters and of inorganic salts on the decolorization and degradation of Procion H-exl dyes. Comparison of H₂O₂/UV, Fenton, UV/Fenton, TiO₂/UV and TiO₂/UV/H₂O₂ processes. / A. Riga, K. Soutsas, K. Ntampeglitis, V. Karayannis, G. Papapolymerou // Desalination. – 2007. – V. 211, N 1–3. – S. 72–86.
20. Chang, M.-C. Process kombinirovannoj oчитki okrashennyh stochnyh vod. An integrated technique using zero-valent iron and UV/H₂O₂ sequential process for complete decolorization and mineralization of C. I. Acid Black 24 wastewater / M.-C. Chang, H.-Y. Shu, H.-H. Yu. // J. Hazardous Mater. – 2006. – V. 138, N 3. – С. 574–581.
21. Chu W. Modelirovanie kvantovyh vyhodov razlozheniya gerbicide 2,4-D pri obrabotke UF/H₂O₂. Modeling the quantum yields of herbicide 2,4-D decay in UV/H₂O₂ process / W. Chu // Chemosphere. – 2001. V. 44, N 5. – С. 935-941.
22. Wang, Q. Destrukciya metribazina v modifitsirovannom processe Fentona. Metribuzin degradation by membrane anodic Fenton treatment and its interaction with ferric ion / Q. Wang, M. Scherer Emily, T. Lemley Ann // Environ. Sci. and Technol. – 2004. – V. 38, N 4. – S. 1221–1227.
23. Kwan, C. Y. Fotodestrukciya 2,4-dihlorfenoksiusnoj kisloty s ispol'zovaniem ionov zheleza. Photodegradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in various iron-mediated oxidation systems / C. Y. Kwan, W. Chu // Water Res. – 2003. – V. 37, N 18. – S. 4405–4412.
24. Wong, C. C. Fotokataliticheskaya destrukciya alahloro s ispol'zovaniem dioksida titana i peroksida vodoroda. The hydrogen peroxide-assisted photocatalytic degradation of alachlor in TiO₂ suspensions / C. C. Wong, W. Chu // Environ. Sci. and Technol. – 2003. – V. 37, N 10. – S. 2310–2316.
25. Destrukciya pesticidov s primeneniem peroksida vodoroda i ul'trafiol'etovogo izlucheniya. Oxidation of MCPA and 2,4-D by UV radiation, ozone, and the combinations UV/H₂O₂ and O₃/H₂O₂. / Benitez F. Javier, L. Acero Juan, J. Real Francisco, S. Roman // J. Environ. Sci. and Health. B. – 2004. – V. 39, N 3. – С. 393–409.
26. Generirovanie reaktiva Fentona v elektrohimicheskom processe i primer destrukcii atrazina. Electrochemical generation of the Fenton's reagent: application to atrazine degradation / A. Ventura, G. Jacquet, A. Bermond, V. Camel // Water Res. – 2002. – V. 36, N 14. – С. 3517–3522.
27. Destrukciya atrazina v vodnyh sredah. Wet peroxide degradation of atrazine / M. Rodriguez Eva, M. Alvarez Pedro, F. Rivas Javier, J. Beltran Fernando // Chemosphere. – 2004. – V. 54, N 1. – С. 71–78.
28. Destrukciya linurona v vodnyh sredah s ispol'zovaniem reakcii Fentona. Degradation of linuron in aqueous solution by the photo-Fenton reaction / H. Katsumata, S. Kaneco, T. Suzuki, K. Ohta, Y. Yobiko // Chem. Eng. J. – 2005. – V. 108, N 3. – С. 269-276.
29. Devipriya Suja. Fotokataliticheskaya destrukciya pesticidov v prirodnyh vodah. Photocatalytic degradation of pesticide contaminants in water / S. Devipriya, S. Yesodharan // Sol. Energy Mater. and Sol. Cells. – 2005. – V. 86, N 3. – С. 309–348.
30. Kruglov, A. I. Perspektivnye metody oчитki prirodnyh i stochnyh vod smeshannymi koagulyantami / A. I. Kruglov, S. V. Getmancev, A. V. Sychev // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. – 2006. – № 8. – S. 33–38.

Материал поступил в редакцию 26.01.2022