

# ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 622.765

doi: 10.23968/2305-3488.2018.23.4.3-8

## ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ФЕНОЛА РЕАКТИВОМ ФЕНТОНА

Аминова А. Ф., Сухарева И. А., Мазитова А. К.

## OXIDATIVE BREAKDOWN OF PHENOL WITH FENTON'S REAGENT

Aminova A. F., Sukhareva I. A., Mazitova A. K.

### Аннотация

Сточные воды деревообрабатывающих предприятий содержат фенол, который является высокотоксичным веществом. В литературе уделено недостаточно внимания использованию новых методов для их очистки. Поэтому представляет научный и практический интерес исследование закономерности окислительной деструкции токсичных органических соединений, содержащихся в данных сточных водах. Целью работы является исследование способа очистки сточных вод доступным окислителем — реактивом Фентона (пероксид водорода: сульфат железа (II)). Оптимальные условия очистки определяли по кинетическим кривым разложения фенола экспериментальным методом. Подобраны оптимальные условия окисления: соотношение пероксид водорода : сульфат железа (II) — 1,82:0,08 (мг) на один  $\text{дм}^3$  сточной воды, продолжительность обработки 60 минут. Провели доочистку сточной воды с помощью коагулянта 1 % оксихлорида алюминия при дозе 165  $\text{мг/дм}^3$  и флокулянта 0,1 % катионного полиакриламида марки REF FC при дозе 40  $\text{мг/дм}^3$  до нормативных показателей качества. Максимальная степень очистки после окисления составила 89 %, а после обработки коагулянтном и флокулянтном — 94 % (по показателю химического потребления кислорода (ХПК)). Приведены физико-химические показатели качества исходной сточной воды и после очистки. Степень токсичности анализируемой воды классифицируется как «допустимая», индекс токсичности равен 0,40. Достоинством данного метода является дешевизна реагентов, отсутствие концентрата, загрязняющего окружающую среду.

**Ключевые слова:** окислительная деструкция, фенол, реактив Фентона, сточные воды деревообрабатывающей промышленности.

### Введение

Одним из основных поставщиков фенола в сточные воды является деревообрабатывающая промышленность: заводы и цеха по производству мебели, древесноволокнистых и древесностружечных плит, клееной фанеры и т. д. Фенол уху-

### Abstract

Waste waters of woodworking enterprises contain such high-toxic substance as phenol. However, the issue of their treatment using new methods is understudied. Therefore, it is of scientific and practical interest to consider oxidative breakdown of toxic organic compounds in such waste waters. The purpose of the research is to study water treatment with such available oxidant as Fenton's reagent (hydrogen peroxide: iron sulfate (II)). Optimal conditions for treatment are defined experimentally, according to kinetic models of phenol breakdown. The following optimal conditions for oxidation are selected: the mass ratio of hydrogen peroxide to iron sulphate (II) per one cubic decimeter of waste water is 1.82:0.08 (mg), the time of treatment being 60 minutes. Aftertreatment is carried out with 1 % aluminum oxychloride coagulant at a dose of 165  $\text{mg/dm}^3$  and with 0.1 % REF FC cationic polyacrylamide flocculant at a dose of 40  $\text{mg/dm}^3$  to achieve regulatory quality limits. The maximum degree of purification after oxidation is 89 %, and after treatment with the coagulant and flocculant it goes up to 94 % (according to chemical oxygen demand). Physical and chemical parameters of original waste water and aftertreatment water are given. The toxicity level of the water analyzed is considered acceptable, the toxicity index being 0.40. Major advantages of this technique are cheap reagents and the absence of a concentrate polluting the environment.

**Keywords:** oxidative breakdown, phenol, Fenton's reagent, waste waters of woodworking enterprises.

шает общее санитарное состояние водоёмов, так как является высокотоксичным веществом (относится ко второму классу опасности). Фенолы способны аккумулироваться в рыбе и передаваться по пищевым цепям, поражая органы живых организмов. Если при загрязнении водоема токсич-

ными веществами гибель организмов не всегда вероятна, то нарушение репродуктивных способностей наступает в 100 % случаев. Хлорирование фенолсодержащих сточных вод при водоподготовке обязательно приводит к образованию диоксинов — суперэкотоксикантов. Они проявляют канцерогенные и мутагенные свойства. Для характеристики диоксинов применяют показатель онкотоксичности [7].

В настоящее время уделяется большое внимание окислительным методам очистки различных сточных вод, которые являются эффективными, но не исследованы при очистке фенолсодержащих сточных вод деревообрабатывающих предприятий [2, 4, 6, 9–20]. Поэтому представляет научный и практический интерес исследование закономерности окислительной деструкции токсичных органических соединений, содержащихся в данных сточных водах. В качестве дешевого и нетоксичного окислителя применяется пероксид водорода [3]. Его окислительный потенциал (+1,78 В) повышается в присутствии ионов железа (II) до +2,8 В [4]. Цель нашей работы — исследование способа очистки сточных вод вышеуказанным реагентом, в литературе известным под названием «реактив Фентона» (пероксид водорода: сульфат железа (II)). Задачей является определение оптимальных условий очистки по кинетическим кривым разложения фенола экспериментальным методом.

### Методы исследования и материалы

Тип исследования — экспериментальный.

В качестве объекта исследований авторами использованы сточные воды уфимского фанерно-плитного комбината (УФПК) (показатели качества сточных вод приведены в табл. 1).

Перед окислительной очисткой сточную воду фильтровали через аналитический фильтр и подкисляли до pH 3. Водный раствор пероксида водорода готовили из 33 %-ного. Концентрацию раствора определяли окислительно-восстановительным титрованием [5]. В качестве катализатора  $Fe^{2+}$  использовали реактив  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  марки «ч». Взаимодействие сточной воды с окислителем осуществлялось в непроточном режиме. Оптимальные условия очистки сточных вод, содержащих токсичные компоненты, с помощью реактива Фентона определяли на примере фенола по кинетическим кривым разложения. Массовую концентрацию фенола измеряли фотометрическим методом после отгонки с водяным паром (ПНД Ф 14.1:2.105–97). Важным моментом является определение соотношения пероксида водорода и ионов железа (II) и времени контакта их с очищаемой водой. Концентрацию пероксида водорода варьировали в пределах от 0,40 до 2,14 мг/л, концентрацию сульфата железа (II) — от 0,04 до 0,25 мг/дм<sup>3</sup>, установленные по предварительным экспериментам (полученные результаты приведены на рис. 1 и 2).

Таблица 1

Характеристика сточных вод

№ п/п	Показатели качества вод	Результат анализа, мг/дм <sup>3</sup>		НД на методику (метода) измерений
		Исходная сточная вода	Сточная вода после обработки реактивом Фентона	
1	Водородный показатель (ед.рН)	4,4	4,3	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121–97
2	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	7600	836	ПНД Ф 14.1:2.100–97
3	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	3297	–	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123–97
4	Взвешенные вещества	3127	58	ПНД Ф 14.1:2:4.254–09
5	Фенолы (летучие с паром)	0,263	0,034	ПНД Ф 14.1:2.105–97
6	Нефтепродукты	26	0,1	ПНД Ф 14.1:2:4.5–95
7	Хлорид-ион	30	1003	ПНД Ф 14.1:2:4.111–97
8	Сульфат-ион	136	100	ФР .1.31.2014.16937
9	Аммоний-ион	31	56	ПНД Ф 14.1:2.1–95
10	Нитрит-ион	<0,02	0,04	ПНД Ф 14.1:2:4.3–95
11	Фосфат-ион (по Р)	2,5	0,3	ПНД Ф 14.1:2:4.112–97
12	АСПАВ*	1,1	0,35	ПНД Ф 14.1:2:4.15–95

– Не определен.

\* АСПАВ — анионные синтетические поверхностно-активные вещества.

Для определения токсичности очищенной воды в качестве тест-объекта использовали простейшие инфузории-туфельки, культивируемые в лаборатории согласно ПНД Ф Т 14.1:2.3:4.2–98.

### Результаты и обсуждение

Изученный способ очистки сточных вод УФПК от токсичных соединений заключается в обработке реактивом Фентона с последующей коагуляцией оксихлоридом алюминия и флокуляцией катионным полиакриламидом марки REF FC до нормативных показателей качества. При необходимости сточные воды подщелачивали. Максимальная степень очистки достигалась после окисления 89 %, а после добавления коагулянта и флокулянта составила 94 % (по показателю ХПК). Показатели качества сточной воды после очистки представлены в таблице. Степень токсичности анализируемой воды после очистки классифицируется как «допустимая», индекс токсичности равен 0,40.

Из рисунка 1 видно, что наиболее эффективное окисление фенола происходит при концентрации пероксида водорода 1,82 мг/дм<sup>3</sup> (кривая 1). При меньшей концентрации (1,28 мг/дм<sup>3</sup>) процесс деструкции фенола замедляется (кривая 2). Применение более высокой концентрации (2,14 мг/дм<sup>3</sup>) также замедляет реакцию расщепления (кривая 3) — из-за снижения концентрации активных гидроксил-радикалов, которые

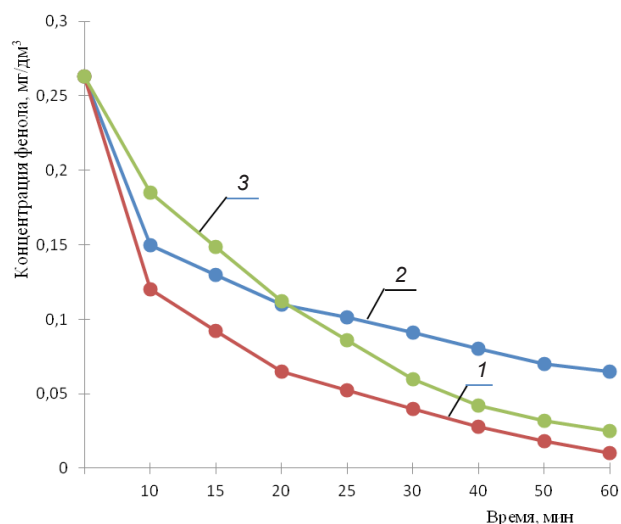


Рис. 1. Кинетические кривые разложения фенола в сточной воде с различным содержанием H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> при постоянной концентрации [Fe<sup>2+</sup>] = 0,08 мг/дм<sup>3</sup>; [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] = 1,82 (кривая 1); 1,28 (кривая 2); 2,14 (кривая 3) мг/дм<sup>3</sup>.

начинают взаимодействовать с избыточным количеством пероксида водорода.

Эффективность окисления фенола зависит также от концентрации ионов железа (II) в воде (рисунок 2). Из полученных результатов видно, что оптимальная концентрация Fe<sup>2+</sup> составляет 0,08 мг/дм<sup>3</sup>, при которой наблюдается максимальное разложение фенола (кривая 1). Снижение концентрации Fe<sup>2+</sup> замедляет процесс окисления (кривая 2), однако если проводить окисление при минимальной концентрации Fe<sup>2+</sup> в течение 60 минут можно достичь той же степени очистки исследуемой сточной воды (судя по концентрации фенола), что и при выбранной оптимальной концентрации. При высоких концентрациях Fe<sup>2+</sup> скорость реакции окисления фенола в течение 20 минут достаточно высока (кривая 3), затем резко снижается, увеличение времени контакта не приводит к улучшению результатов очистки. Возможно, в присутствии избытка ионов железа (II) гидроксильные радикалы, необходимые для окисления фенола, начинают превращаться в неактивные гидроксид-ионы [4].

Сопоставление результатов, отраженных на рис. 1 и 2, показывает, что наилучшие результаты получаются через 60 минут контакта сточной воды с реактивом Фентона при соотношении [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] : [Fe<sup>2+</sup>] — 1,82:0,08 мг на дм<sup>3</sup> сточной воды. При этом достигается максимальная степень окисления фенола — 87 %.

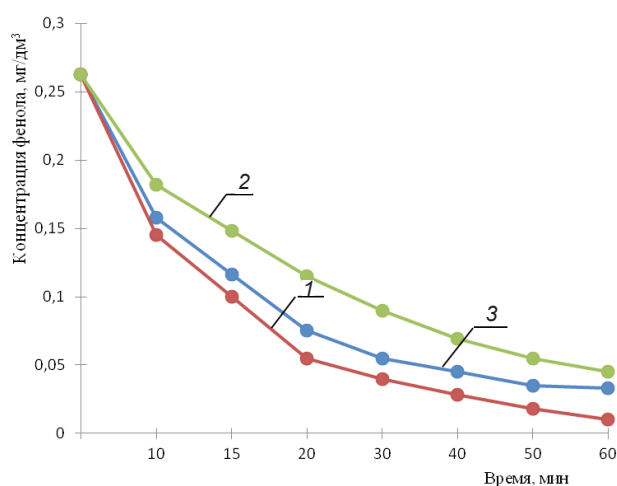


Рис. 2. Кинетические кривые разложения фенола в сточной воде с различным содержанием Fe<sup>2+</sup> при постоянной концентрации [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] = 1,82 мг/дм<sup>3</sup>; [Fe<sup>2+</sup>] = 0,08 (кривая 1); 0,04 (кривая 2); 0,17 (кривая 3) мг/дм<sup>3</sup>.

Недостатком данного метода является то, что в сточных водах остаются ионы железа (II) и (III), что нежелательно. Поэтому после процесса окисления реактивом Фентона проводили коагуляцию сточной воды 1 %-ным раствором оксихлорида алюминия при дозе 165 мг/дм<sup>3</sup> и флокуляцию 0,1 %-ным раствором REF FC при дозе 40 мг/дм<sup>3</sup>. При необходимости сточные воды подщелачивали. Затем сточную воду отфильтровывали с использованием бумажного фильтра марки «синяя лента» и определяли концентрацию фенола. Оптимальные условия коагуляции и флокуляции описаны в работе [8].

#### Заключение

Исследован окислительный метод очистки сточных вод УФПК от фенола с применением реактива Фентона. Достоинством данного метода является дешевизна реагентов, хорошая растворимость окислителя в сточной воде, отсутствие концентрата, загрязняющего окружающую среду. Содержание фенола снижается до нормативных показателей качества, степень токсичности достигает «допустимой».

#### Благодарности

Выражаем благодарность профессору кафедры «Прикладная экология» Ягафаровой Гузель Габдулловне за помощь в организации экспериментов.

#### Литература

1. Драгинский, В. Л., Алексеева, В. А. и Усольцев, В. А. (1995). Повышение эффективности очистки воды с использованием технологии озонирования и сорбции на активных углях. Водоснабжение и санитарная техника, вып. 5, сс. 8–10.
2. Дресвянников, А. Ф., Желовицкая, А. В., Цыганова, М. А. и Пронина, Е. В. (2007). Окисление компонентов сточных вод производства текстильной промышленности электрохимическим способом. Вестник Казанского технологического университета, № 3–4, сс. 172–177.
3. Емжина, В. В., Мирзоева, С. Н. и Иванцова, Н. А. (2014). Окислительная деструкция модельных сточных вод, содержащих фармацевтические препараты, реактивом Фентона. Успехи в химии и химической технологии, т. 28, № 5 (154), сс. 22–25.
4. Селюков, А. В., Бурсова, С. Н. и Тринко, А. И. (1990). Применение экологически чистых окислителей для очистки сточных вод: обзорная информация. М.: ВНИИЭТХИ, 48 с.
5. Сыроватский, И. П., Гончикова, Ю. А. (2017). Использование окислительно-восстановительных методов для количественного анализа лекарственных средств. Иркутск: ИГМУ, 35 с.
6. Сычев, А. Я., Исак, В. Г. (1995). Соединения железа и механизмы гомогенного катализа активации O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и окисление органических субстратов. Успехи химии, № 64 (12), сс. 1183–1209.
7. Фруммин, Г.Т. (2013). Экологическая токсикология (экоотоксикология). Курс лекций. СПб.: РГГМУ, 179 с.
8. Ягафарова, Г. Г., Аминова, А. Ф., Сухарева, И. А., Хангильдин, Р. И. и Хангильдина, А. Р. (2016). Разработка метода очистки сточных вод от трудноокисляемых органических соединений. Вода: химия и экология, № 1 (91), сс. 24–29.
9. Daines, C., Schrotter, J.-Ch., Paillard, H. (2005). Installation et procede d'epuration d'un effluent aqueux par oxydation et par filtration membranaire. № EP1711435A1.
10. Dasong, Zh., Hongge, G., Jie, Sh. (2011). Experimental study on treatment of wastewater containing highly concentrated phenol with UV/Fenton reagent. *Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science)*, vol. 30 (1), pp. 92–95.
11. Gottschalk, C., Libra, J. A., Saupé, A. (2010). *Application of ozone in combined processes. ozonation of water and waste water: a practical guide to understanding ozone and its applications*. Second edition. Weinheim: Wiley-VCH, 378 p.
12. Katsoyiannis, I. A., Canonica, S., von Gunten, U. (2011). Efficiency and energy requirements for the transformation of organic micropollutants by ozone, O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Water Research*, vol. 45, issue 13, pp. 3811–3822. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.04.038>
13. Si, L., Ruixue, K., Lin, S., Sifan, L., Shuangchun, Y. (2013). Study on treatment methods of phenol in industrial wastewater. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 4, issue 5, pp. 230–232.
14. Liu, L., Xiao, Y.-B., Gao, M. (2009). Study on phenol degradation in water with UV-Fenton reagent. *Journal of Changchun University of Technology (Natural Science Edition)*, pp. 25–29.
15. Maya, N., Evans, J., Nasuhoglu, D., Isazadeh, S., Yargeau, V., Chris, D. M. (2018). Evaluation of wastewater treatment by ozonation for reducing the toxicity of contaminants of emerging concern to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 37, issue 1, pp. 274–284. <https://doi.org/10.1002/etc.3952>
16. Pisarenko, A. N., Stanford, B. D., Yan, D., Gerrity, D., Snyder, S. A. (2012). Effects of ozone and ozone/peroxide on trace organic contaminants and NDMA in drinking water and water reuse applications. *Water Research*, vol. 46, issue 2, pp. 316–326. DOI: 10.1016/j.watres.2011.10.021
17. Rakovsky, S., Anachkov, M., Zaikov, G. (2009). Fields of ozone applications. *Chemistry and Chemical Technology*, vol. 3, issue 2, pp. 139–163.
18. Sanchez-Polo, M., von Gunten, U., Rivera-Utrilla, J. (2005). Efficiency of activated carbon to transform ozone OH radicals: influence of operational parameters. *Water Research*, vol. 39, issue 14, pp. 3189–3198. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.05.026>
19. Sobczyński, A., Dobosz, A. (2001). Water purification by photocatalysis on semiconductors. *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 10, No. 4, pp. 195–205.
20. Song, N., Zhaoxi, Zh. (2011). Experimental study on the oxidation degradation of phenolic compound from refinery wastewater by three-dimensional electrode. *Advances in Fine Petrochemicals*, vol. 12 (5), pp. 28–31.



References

1. Draginsky, V. L., Alekseyeva, V. A., Usoltsev, V. A. (1995). Povisheniye effektivnosti ochestky vody s ispolzovaniyem tekhnologii ozonirovaniya i sorbtzii na aktivnykh uglyakh [Improving the efficiency of water purification using the technology of ozonation and sorption on activated carbons]. *Water Supply and Sanitary Technique*, No. 5, pp. 8–10 (in Russian).
2. Dresvyannikov, A. F., Zhelovitskaya, A. V., Tsyganova, M. A., Pronina, Ye. V. (2007). Okisleniye komponentov stochnykh vod proizvodstva tekstilnoy promishlennosti elektrokhimicheskim sposobom [Oxidation of waste water components in the textile industry by the electrochemical method]. *Herald of Kazan Technological University*, issues 3–4, pp. 172–177 (in Russian).
3. Emzhina, V. V., Mirzoeva, S. N., Ivantsova, N. A. (2014). Okislitel'naya destruktivnaya modelnykh stochnykh vod, sodержashikh farmatsevticheskiye preparaty, reaktivom Fentona [Oxidative degradation of model wastewater containing pharmaceuticals by Fenton's reagent]. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*, vol. 28, No. 5 (154), pp. 22–25 (in Russian).
4. Selyukov, A. V., Bursova, S. N., Trinko, A. I. (1990). *Primeneniye ekologicheskikh chistykh okisliteley dlya ochestki stochnykh vod: obzornaya informatsiya [Use of environmentally-friendly oxidants for wastewater treatment: overview]*. Moscow: All-Union Research Institute of Problems of Scientific and Technological Advances and Information in Construction, 48 p. (in Russian).
5. Syrovatsky, I. P., Gonchikova, Yu. A. (2017). *Ispolzovaniye okislitel'no-vosstanovitelnykh metodov dlya kolichestvennogo analiza lekarstvennykh sredstv [Application of oxidation-reduction methods for quantitative analysis of medicinal agents]*. Irkutsk: Irkutsk State Medical University, 35 p. (in Russian).
6. Sychev, A. Ya., Isak, V. G. (1995). Soyedineniya zheleza i mekhanizmy gomogennoy kataliza aktivatsiy  $O_2$ ,  $H_2O_2$  i okisleniye organicheskikh substratov [Iron compounds and the mechanisms of the homogeneous catalysis of the activation of  $O_2$  and  $H_2O_2$  and of the oxidation of organic substrates]. *Russian Chemical Reviews*, issue 64 (12), pp. 1183–1209 (in Russian).
7. Frumin, G. T. (2013). *Ekologicheskaya toksikologiya (ekotoksikologiya). Kurs lektsiy. [Environmental toxicology (ecotoxicology). A course of lectures]*. Saint Petersburg: Russian State Hydrometeorological University, 179 p. (in Russian).
8. Iagafarova, G. G., Aminova, A. F., Sukhareva, I. A., Khangildin, R. I., Khangildina, A. R. (2016). Razrabotka metoda ochestky stochnykh vod ot trudnookislyaemykh organicheskikh soyedineniy [Development of method of waste water treatment from hard oxidizable organic compounds]. *Water: Chemistry and Ecology*, No. 1 (91), pp. 24–29 (in Russian).
9. Daines, C., Schrotter, J.-Ch., Paillard, H. (2005). Installation et procede d'epuration d'un effluent aqueux par oxydation et par filtration membranaire [Installation and method for the purification of an aqueous effluent by means of oxidation and membrane filtration]. Patent No. EP1711435A1.
10. Dasong, Zh., Hongge, G., Jie, Sh. (2011). Experimental study on treatment of wastewater containing highly concentrated phenol with UV/Fenton reagent. *Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science)*, vol. 30 (1), pp. 92–95.
11. Gottschalk, C., Libra, J. A., Saupe, A. (2010). *Application of ozone in combined processes. ozonation of water and waste water: a practical guide to understanding ozone and its applications*. Second edition. Weinheim: Wiley-VCH, 378 p.
12. Katsoyiannis, I. A., Canonica, S., von Gunten, U. (2011). Efficiency and energy requirements for the transformation of organic micropollutants by ozone,  $O_3/H_2O_2$  and UV/ $H_2O_2$ . *Water Research*, vol. 45, issue 13, pp. 3811–3822. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.04.038>
13. Si, L., Ruixue, K., Lin, S., Sifan, L., Shuangchun, Y. (2013). Study on treatment methods of phenol in industrial wastewater. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 4, issue 5, pp. 230–232.
14. Liu, L., Xiao, Y.-B., Gao, M. (2009). Study on phenol degradation in water with UV-Fenton reagent. *Journal of Changchun University of Technology (Natural Science Edition)*, pp. 25–29.
15. Maya, N., Evans, J., Nasuhoglu, D., Isazadeh, S., Yargeau, V., Chris, D. M. (2018). Evaluation of wastewater treatment by ozonation for reducing the toxicity of contaminants of emerging concern to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 37, issue 1, pp. 274–284. <https://doi.org/10.1002/etc.3952>
16. Pisarenko, A. N., Stanford, B. D., Yan, D., Gerrity, D., Snyder, S. A. (2012). Effects of ozone and ozone/peroxide on trace organic contaminants and NDMA in drinking water and water reuse applications. *Water Research*, vol. 46, issue 2, pp. 316–326. DOI: 10.1016/j.watres.2011.10.021
17. Rakovsky, S., Anachkov, M., Zaikov, G. (2009). Fields of ozone applications. *Chemistry and Chemical Technology*, vol. 3, issue 2, pp. 139–163.
18. Sanchez-Polo, M., von Gunten, U., Rivera-Utrilla, J. (2005). Efficiency of activated carbon to transform ozone OH radicals: influence of operational parameters. *Water Research*, vol. 39, issue 14, pp. 3189–3198. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.05.026>
19. Sobczyński, A., Dobosz, A. (2001). Water purification by photocatalysis on semiconductors. *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 10, No. 4, pp. 195–205.
20. Song, N., Zhaoxi, Zh. (2011). Experimental study on the oxidation degradation of phenolic compound from refinery wastewater by three-dimensional electrode. *Advances in Fine Petrochemicals*, vol. 12 (5), pp. 2831.

Авторы

**Аминова Альфия Фатыховна**

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия  
E-mail: aminovagk@inbox.ru

**Сухарева Ирина Александровна**, канд. техн. наук, доцент

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия  
E-mail: suhareva-ira@yandex.ru

**Мазитова Алия Карамовна**, д-р хим. наук, профессор  
Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

E-mail: elenaasf@yandex.ru

**Authors**

**Aminova Alfiya Fatykhovna**

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

E-mail: aminovagk@inbox.ru

**Sukhareva Irina Alexandrovna**, Ph. D. in Engineering,  
Associate Professor

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

E-mail: suhareva-ira@yandex.ru

**Mazitova Aliya Karamovna**, Dr. of Chemistry, Professor

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

E-mail: elenaasf@yandex.ru