

4. Сарсенов А.М., Естекова К.Ж., Тулегенова Д.Т.// Адаптированная оценка экономического ущерба от загрязнения атмосферы/ - Геология, география и глобальная энергетика, 2010. №2 (37).

УДК 628.162

**М.В. Пилипенко**

ЦНИИ комплексного использования водных ресурсов  
Минск, Беларусь

### **ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД КРАСИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ СОВМЕЩЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ С ОЗОНИРОВАНИЕМ**

*Аннотация.* Изучено влияние времени обработки, концентрации озона в газовой смеси на эффективность очистки. Показано увеличение эффективности очистки сточной воды до 12% при комбинировании флотации озono-воздушной смесью вместо воздуха с ультразвуковой обработкой.

**M.V. Pilipenko**

CRI of Complex usage of water resources  
Minsk, Belarus

### **DYE WASTEWATER TREATMENT BY COMBINING SONICATION WITH OZONIZATION**

*Abstract.* Effect of treatment time, ozone concentration in the gas mixture on the purification efficiency has been studied. An increase in the efficiency of wastewater treatment up to 12% has been shown when flotation with an ozone-air mixture instead of air with ultrasonic treatment is combined.

Сточные воды красильно-отделочных производств отличаются широким компонентным составом, зависящим в первую очередь от вида окрашиваемых тканей. Данные сточные воды имеют интенсивную окраску и содержат высокие концентрации красителей, ПАВ, хлоридов, и др. Анализ литературных источников показывает, что в качестве перспективных на сегодняшний день рассматриваются комбинированные системы очистки сточных вод красильно-отделочных производств, а также использование методов, позволяющих интенсифицировать существующие методы очистки. Одними из таких методов могут рассматриваться озонирование [1-3], использование ультразвуковой обработки и гидродинамической

кавитации. В современных литературных источниках отмечаются позитивные эффекты при использовании ультразвука для очистки сточных вод от красителей и ПАВ, что инициирует дополнительные флотационные и коагуляционные эффекты, активизирует тепло и массообменные процессы. Сама по себе ультразвуковая обработка не отличается высокой эффективностью, в то время как она может интенсифицировать другие методы.

В данной работе представлены исследования по комбинированной очистке сточных вод красильно-отделочных производств с использованием ультразвуковой обработки и флотацией озоном. Оценку эффективности очистки проводили на производственной сточной воде. Температура обрабатываемой сточной воды  $21 \pm 2$  °С. Удельный расход озono-воздушной смеси составлял 6,25 л/(л·мин). Для диспергирования газовой смеси использовались керамические аэраторы. Процесс флотации проводили периодически с шагом в 15 мин. После каждого периода проводился отбор пробы и удаление флотошлама.

Были получены уравнения регрессии, описывающие эффективность очистки по оптической плотности ( $Ef_D$ ) и ХПК ( $Ef_{ХПК}$ ) от концентрации озона в озono-воздушной смеси ( $0-8,3$  г/м<sup>3</sup>) и времени обработки ( $0-30$  мин). Коэффициент детерминации модели (1) составляет 0,9862, модели (2) 0,9904 соответственно.

$$Ef_D = -5,499 + 25,85 \cdot t + 1,113 \cdot C_{O_3} - 15,04 \cdot t^2 + 2,713 \cdot t \cdot C_{O_3} - 0,03245 \cdot C_{O_3}^2 + 2,757 \cdot t^3 - 0,3304 \cdot t^2 \cdot C_{O_3} - 0,04265 \cdot t \cdot C_{O_3}^2 + 0,0003 \cdot C_{O_3}^3 - 0,1579 \cdot t^4 + 0,0152 \cdot t^3 \cdot C_{O_3} + 0,00156 \cdot t^2 \cdot C_{O_3}^2 + 0,0002625 \cdot t \cdot C_{O_3}^3, \quad (1)$$

$$Ef_{ХПК} = -0,8188 + 6,614 \cdot t + 0,1214 \cdot C_{O_3} - 4,696 \cdot t^2 + 0,7712 \cdot t \cdot C_{O_3} + 0,01073 \cdot C_{O_3}^2 + 0,9399 \cdot t^3 - 0,1128 \cdot t^2 \cdot C_{O_3} - 0,00531 \cdot t \cdot C_{O_3}^2 - 0,000146 \cdot C_{O_3}^3 - 0,05674 \cdot t^4 + 0,006015 \cdot t^3 \cdot C_{O_3} + 0,0002454 \cdot t^2 \cdot C_{O_3}^2 + 1,258 \cdot 10^{-5} \cdot t \cdot C_{O_3}^3, \quad (2)$$

где  $t$  – время обработки, мин;  $C_{O_3}$  – концентрация озона в озono-воздушной смеси, г/м<sup>3</sup>.

Полученные результаты показывают, что использование ультразвука для очистки сточных вод дает более низкие значения эффективности в сравнении с воздушной флотацией. Несмотря на то, что в процессе ультразвуковой обработки образуются нано и микроразмерные пузырьки (разрывы сплошности среды) они достаточно быстро схлопываются. Т.е. основное влияние на растворенные красители и СПАВ происходит за счет высвобождаемой энергии от схлопывания пузырьков за счет чего происходит разрыв связей. Известно, что наименьшую энергию связи имеют связи

гетероатом-гетероатом, углерод-гетероатом. Как раз данные связи и отвечают за хромофорные свойства красителей. В процессе флотации образуется значительно больший рой пузырьков, несмотря на их размеры в несколько миллиметров [4, 5]. Таким образом, флотация в сравнении с ультразвуковой обработкой является более эффективной.

Результаты по очистке сточных вод (при установленном расходе озono-воздушной смеси 6,25 л/(л·мин)) показали эффективность очистки на уровне 98,8% по оптической плотности и 62,3% по ХПК. Добавление ультразвуковой обработки в процессе флотации озонem привело к увеличению очистки до 10,9% по оптической плотности и 12,0% по ХПК. В процессе озонирования происходит окисление, как самим растворенным озонem, так и образующимися радикалам. Можно сказать, что во время ультразвуковой обработки происходит диспергирование пузырьков, тем самым увеличивая эффективность растворения озона в обрабатываемой сточной воде. Это отражается на графиках. Видно, что использование ультразвука приводит к почти три раза меньшему времени растворения озона, с 15 [4, 5] до 5 мин. Также синергическое усиление связано с разложением  $O_3$  в схлопывающихся пузырьках (ультразвуковая кавитация) с образованием дополнительных свободных радикалов. В процессе ультразвуковой обработки высокой мощности на частотах от 20 до 100 кГц образуется эффект кавитации – образования пузырьков за счет разрыва сплошности среды. Кроме того, в жидкой фазе возникают явления сильного сдвига, которые могут приводить к образованию радикалов, включая  $OH^*$  и  $H^*$ , которые окисляют органические загрязнители в объеме раствора. При ультразвуковой кавитации вода разлагается на гидроксильные и гидропероксильные радикалы. Сочетание ультразвуковой кавитации с озонированием увеличивает образование  $OH^*$  радикалов из-за разложения озона.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы. В условиях эксперимента ультразвуковая обработка привела к увеличению эффективности флотации озонem до 12%. Данный эффект может быть связан в первую очередь с диспергированием пузырьков озono-воздушной смеси, приводящее к увеличению их суммарной поверхности и соответственно увеличению кинетики массообмена – растворения озона.

#### **Список использованных источников**

1 Романовский В.И. Сравнительный анализ методов очистки сточных вод от красителей / В.И. Романовский, В.В. Лихавицкий, М.В. Пилипенко // Вода magazine. 2016. №12(112). С. 54–58.

2 Романовский В. И., Гуринович А. Д., Чайка Ю. Н., Вавженюк П. Дезинфекция озоном водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. 2013. № 3 (159). С. 55–60.

3 Романовский В. И., Гуринович А. Д., Вавженюк П. Эффективность использования озона в технологии водоподготовки // Водоочистка. 2014. № 2. С. 66–70.

4 Романовский, В.И. Исследование растворимости озона в воде по высоте столба жидкости / В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, А. Д. Гуринович // Труды БГТУ. – 2015. – № 3 (176): Химия и технология неорганич. в-в. – С. 113–118.

5 Романовский, В.И. Определение основных параметров дезинфекции и обеззараживания озоном сооружений питьевого водоснабжения / В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, М. В. Рымовская, А. Д. Гуринович // Труды БГТУ. 2015. № 3 (176): Химия и технология неорганич. в-в. С. 108–112.

УДК 504.7.06(339)

**Л.Ю. Пшебельская, А.В. Ледницкий**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

## **ПЛАСТИКОВЫЕ ОТХОДЫ: МИНИМИЗАЦИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

*Аннотация.* В настоящее время загрязнение окружающей среды пластиковыми отходами привело к экологическим, экономическим, социальным последствиям для общества, которые проявляются в ухудшении состояния окружающей природной среды, необходимости значительных финансовых вложений для ее восстановления.

**L.Yu. Pshebelskaya, A.V. Lednitskiy**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## **PLASTIC WASTE: MINIMIZING ENVIRONMENTAL IMPACT**

*Abstract.* Currently, environmental pollution with plastic waste has led to ecological, economic, social consequences for society. They are manifested in the deterioration of the state of the natural environment, and significant financial investments are needed to restore it.