

9. Белов, С.Г. Исследование эффективности применения озона для очистки сточных вод от органических загрязнений различных классов / С.Г. Белов, Г.О. Наумчик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2014. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 72–78.
10. Белов, С.Г. Определение глубины деструкции органических соединений методом УФ-спектрометрии / С.Г. Белов, Г.О. Наумчик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2013. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 46–50.

Материал поступил в редакцию 07.06.2016

**BELOV S.G., NAUMCHIK G.O., BELOV V.S. The necessity of correction of pH value of sewage waters before wastewater discharge purified with ozonation method**

The article deals with the problem arising when ozonation method is applied for purification of industrial sewage waters with the purpose of removing of harmful organic pollution. It is marked, that when the necessary doses of ozone are applied organic substances oxidize to simple organic acids and during this process the pH value of ozonized solution reduces considerably. In the article the results of laboratory research are given, which show the changes of pH value of water solutions of substances of different classes, processed by various specific doses of ozone. It is shown that it is necessary to neutralize ozonized sewage waters before their discharge into city water drain network and natural reservoirs. The problem can be solved with the help of filters with loading from natural neutralizing materials.

УДК 628.316

**Белов С.Г., Наумчик Г.О.**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСТРУКЦИИ НИТРОЗАМЕЩЁННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ПРИ ОЗОНИРОВАНИИ

**Введение.** Сточные воды предприятий различных отраслей промышленности часто содержат нитропроизводные органических соединений. К данным отраслям относятся производство красителей и взрывчатых веществ, основной органический синтез, производство искусственных волокон, текстильная промышленность, производство лекарственных препаратов и средств защиты растений. Данные вещества, как правило, имеют высокую токсичность как для человека, так и для окружающей водной среды (ПДК нитробензола в воде водоемов составляет 0,01 мг/л), а также обладают повышенной химической стойкостью и растворимостью в воде. Поэтому удаление нитрозамещённых органических загрязнений из сточных вод является актуальной и сложной задачей.

Для удаления нитросоединений из сточных вод могут применяться окислительные, электрохимические, сорбционные методы, эвапорация с водяным паром, экстракция органическими растворителями. Выбор конкретного метода очистки определяется как природой органического соединения, так и его концентрацией в сточных водах. Поскольку нитросоединения часто являются ценными продуктами химического синтеза, при высоких их концентрациях в сточных водах предпочтение отдается методам эвапорации, сорбции или экстракции, поскольку данные методы очистки позволяют утилизировать выделенные из сточных вод нитропроизводные. Метод «мокрого сжигания» в данном случае менее приемлем из-за повышенной стойкости к окислению данных соединений и невозможностью их утилизации. При низкой концентрации в сточных водах органических нитросоединений (до 100 мг/л) вышерассмотренные методы имеют низкую эффективность, поэтому прибегают к деструктивным методам, таким как электроокисление, озонирование, процесс Фэнтонна.

Хотя метод электроокисления позволяет при правильном проведении практически полностью удалять нитросоединения из сточных вод [1], его применение осложняется необходимостью использования специальных электрохимических установок, периодичностью процесса, высокими затратами электроэнергии, возможностью образования в обработанной воде токсичных продуктов неполной деструкции нитросоединений, таких как амины, нитросоединения, хиноны.

Проведение процесса Фэнтонна с целью очистки сточных вод до настоящего времени не имеет широкого практического применения, а все публикации на данную тему ограничиваются в основном лабораторными исследованиями. Это объясняется требованием высоких концентраций пероксида водорода и катализатора в обрабатываемой воде, а также дополнительное использование энергетического фактора, такого как повышенная температура (30...100 °С) или интенсивное ультрафиолетовое облучение. При этом

возникает проблема дальнейшей очистки обработанной воды от катализатора, в качестве которого обычно применяют гидроксиды тяжелых металлов. Также большим недостатком процесса Фэнтонна является его периодичность.

В отличие от методов электроокисления и процесса Фэнтонна, применение озона для очистки сточных вод является более предпочтительным, поскольку не требуется применение катализатора, высокой температуры, дополнительных реагентов. При этом процесс озонирования осуществляется в непрерывном режиме и легко поддается автоматизации. Важным преимуществом озона как окислителя является его очень высокий окислительный потенциал (2,07 В), поэтому он эффективно окисляет органические вещества при обычной температуре, в любых концентрациях и независимо от pH среды. Также большим преимуществом метода очистки сточных вод с помощью озонирования является то, что в процессе обработки не образуется никаких осадков и не требуется регенерация загрузочных материалов. Бытующее в научной среде утверждение о том, что озонирование является дорогим методом, в настоящее время устарело, поскольку в связи с совершенствованием устройств для получения озона затраты электроэнергии на его выработку удалось снизить с 25...35 кВт·ч/кг до 10...15 кВт·ч/кг. Для сравнения, 1 кг технической перекиси марки А (концентрация 37%) в пересчете на белорусские рубли (без учета доставки из России) стоит Br 18000, что в пересчете на 100%-ую концентрацию составляет Br 49000. Производство одного килограмма озона на современном озонаторном оборудовании при стоимости 1 кВт·ч электроэнергии Br 1500 составит около Br 20000. Как видно, стоимость одного килограмма озона в 2,5 раза ниже стоимости пероксида водорода. Определенным сдерживающим фактором широкого применения озонирования является относительно высокая стоимость озонаторного оборудования. Однако при использовании реагентных методов деструктивной очистки (пероксид водорода, гипохлорит, надсерная кислота) появляются затраты на транспортировку реагентов, их хранение и дозирование (титановые баки, специальные насосы-дозаторы, коррозионностойкие трубопроводы), которые сравнимы с затратами на озонаторное оборудование. Поэтому на современном этапе озонирование является вполне конкурентоспособным методом очистки сточных вод от стойких органических загрязнений, к которым относятся нитропроизводные органических веществ.

**Методическая часть.** В качестве объекта исследования использовались растворы нитрозамещённых органических веществ различных классов:

- 1) нитробензол;

- 2) пара-нитрофенол;
- 3) 1-нитропропан;
- 4) кислотный металлокомплексный краситель с нитрогруппами «Ланазин черный M-DL».

При проведении исследований использовались следующие методики:

1. Для определения ХПК использовался арбитражный метод, методика которого приведена в [2].
2. БПК по методу разбавления определялась по методике, приведенной в [2].
3. Точное дозирование высоких удельных доз озона осуществлялось по методике, приведенной в [3].
4. Доза озона определялась по методике, приведенной в [4].
5. Определение pH определялось с помощью прибора «Экотест-120».
6. Спектрометрические исследования проводились при помощи сканирующего спектрофотометра СФ-2000 с использованием кварцевых кювет. Длина оптического пути кюветы составляла 50 мм. Шаг сканирования составлял 1 нм. Количество циклов накопления 3. Диапазон длин волн от 200 до 750 нм.

Схема экспериментальной установки приведена в [3].

*Подготовка микрофлоры для заражения.*

Микрофлору для проведения исследований по биологическому окислению исследуемых растворов получали следующим образом. Производился отбор воды из действующего азотанка Брестских городских очистных сооружений, и далее из данной воды выделялась микрофлора для заражения. Для этого отобранная вода предварительно фильтровалась через бумажный фильтр «синяя лента» для удаления микрофауны, затем биомасса бактерий выделялась из воды с помощью фильтрования через мембранный фильтр №3 (размер пор 0,45 мкм). Образовавшуюся на мембранном фильтре «пленочку» бактерий промывали несколько раз 0,5%-м раствором NaCl для удаления растворимых органических веществ, продуктов метаболизма микроорганизмов и нитритов. Далее фильтр с бактериями переносился в стакан с небольшим количеством разбавляющей воды, где тщательно промывался и встряхивался. Образовавшаяся бактериальная взвесь вливалась в бутылку с разбавляющей водой. Все операции по выделению заражающей микрофлоры и ее использованию для определения БПК выполнялись в день отбора проб.

Контроль качества микрофлоры для заражения осуществлялся с помощью заражения тестового раствора, содержащего 150 мг/л глюкозы и 150 мг/л глютаминовой кислоты. При нормальном качестве микрофлоры для заражения БПК<sub>5</sub> данного раствора должно составлять 200...220 мг O<sub>2</sub>/л [5]. Во всех выполненных исследованиях данное условие выполнялось.

**Экспериментальная часть.** Порядок выполнения исследований был следующим. Вначале определяли ХПК исследуемого раствора и по методике, приведенной в [4], определялась оптимальная доза озона. Затем проводилось озонирование с использованием метода точного дозирования высоких удельных доз озона [3]. После этого определялось ХПК раствора после озонирования и определялось БПК<sub>5</sub> исходного и озонированного растворов. В заключение рассчитывалось отношение БПК<sub>5</sub> к ХПК исходного и озонированного растворов. Также в процессе исследования снимались спектры исследуемых растворов и определялось pH данных растворов до и после озонирования.

На первом этапе исследований озонированию подвергались широко распространенные в промышленности ароматические нитросоединения, такие как нитробензол и нитрофенол. На рисунке 1 приведены спектры поглощения исходного водного раствора нитробензола с концентрацией 8 мг/л и озонированного, с использованием оптимальной дозы озона.

Как показывает спектр 2, при использовании оптимальной дозы озона, рассчитанной по разработанной авторами методике, приведенной в [4], нитробензол в растворе полностью отсутствует, что подтверждается исчезновением какого-либо поглощения на длине волны 266 нм, характерного для исходного нитробензола. Данный результат также подтверждает адекватность методики расчета оптимальной дозы озона для сточных вод неизвестного состава, основанной на измерении ХПК и пробном озонировании.

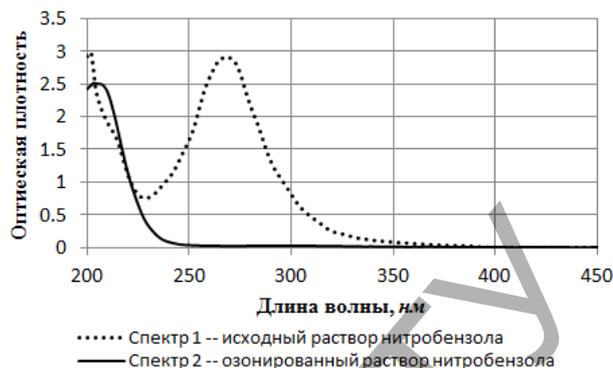


Рисунок 1 – Результаты озонирования водного раствора нитробензола с концентрацией 8 мг/л

На рисунке 2 приведены результаты озонирования водного раствора пара-нитрофенола, который также обрабатывался оптимальной дозой озона.

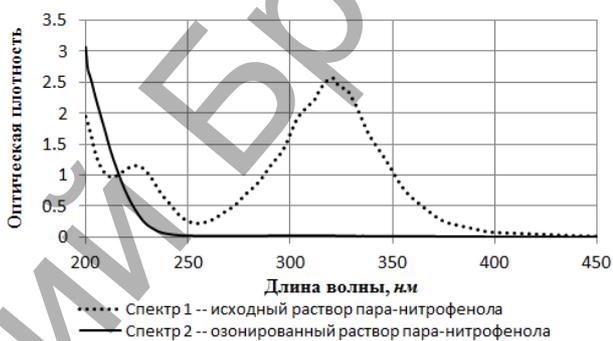


Рисунок 2 – Результаты озонирования водного раствора пара-нитрофенола с концентрацией 5 мг/л

Обработка пара-нитрофенола оптимальной дозой озона, так же как и для нитробензола, приводит к полной деструкции исходного вещества, причем начало поглощения обработанного озонированного раствора наблюдается в более дальней ультрафиолетовой области, чем в случае нитробензола. Это свидетельствует о более глубокой деструкции данного вещества при озонировании, что в целом подтверждает вывод о более легкой деструкции фенолов в водных растворах при озонировании по сравнению с ароматическими углеводородами [6].

Как показывают вышеприведенные результаты исследований, ароматические нитросоединения легко деструктируются озонированием в водных растворах, при этом образуются низкомолекулярные органические окисленные соединения, такие как спирты, альдегиды, кетоны, органические кислоты. Это подтверждается спектральными исследованиями в ультрафиолетовой области, приведенными на рисунках 1 и 2 (формы спектров продуктов озоноразрушения исследованных соединений идентичны формам спектров простых органических кислот) [7].

При облагораживании тканей и другой текстильной продукции в легкой промышленности используются красители различного химического строения, многие из которых в составе своих молекул имеют нитрогруппы, поэтому их тоже можно отнести к нитропроизводным органическим соединениям. В отличие от индивидуальных ароматических нитросоединений, красители содержат кроме нитрогрупп и другие заместители, а также гетероатомы в основных цепях. Поэтому деструкция красителей в водных растворах может сопровождаться образованием более широкого спектра низкомолекулярных органических веществ. В данном исследовании в качестве нитрозамещенного красителя был использован кислотный металлокомплексный краситель «Ланазин черный M-DL». Данный краситель широко использовался на ОАО «Брестский чулочный комбинат» для крашения текстильных изделий. Формула данного красителя представлена на рисунке 3.

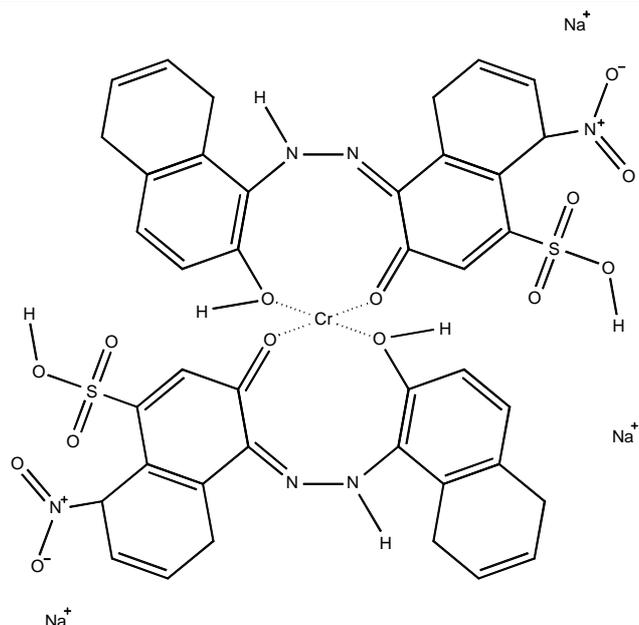


Рисунок 3 – Структурная формула красителя «Ланазин черный M-DL»

Раствор красителя «Ланазин черный M-DL» также обрабатывался оптимальной дозой озона, рассчитанной по методике авторов, основанной на определении ХПК и пробном озонировании [4]. Спектры раствора данного красителя до и после озонирования в видимом и ультрафиолетовом диапазонах представлены на рисунке 4.

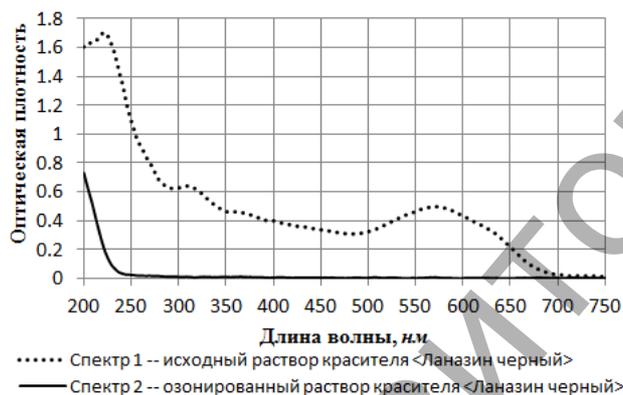


Рисунок 4 – Результаты озонирования водного раствора красителя «Ланазин черный M-DL» с концентрацией 5 мг/л

Результаты спектрометрических исследований показывают, что сложные органические соединения, содержащие в своих молекулах много двойных связей, к которым относятся синтетические красители, очень быстро и легко разрушаются озоном. Это видно по полному исчезновению поглощения в видимой области спектра (от 400 до 750 нм), при этом наличие нитрогрупп в молекуле не сказывается на увеличении стойкости красителя к окислению озоном. В случае с красителем «Ланазин черный M-DL» при дозе озона, равной 2-ХПК, сильной деградации подвергся не только исходный краситель, но также и более крупные фрагменты молекулы, обычно образующиеся после деградации сопряженных связей. Это подтверждается тем, что даже в ультрафиолетовой области спектра заметное поглощение наблюдается при длине волны ниже 245 нм. Такой спектр поглощения характерен для простейших алифатических оксисоединений, в основном органических кислот [7].

Из курса органической химии известно, что кроме ароматических нитросоединений также существуют алифатические нитропроизводные органических соединений. Данные вещества могут являться продуктами деградации ароматических нитросоединений при озонировании сточных вод, поскольку нитрогруппа не взаимодействует с озоном. Для

выяснения возможности деградации алифатических нитросоединений с помощью озона была исследована деградация 1-нитропропана. Алифатические нитропроизводные органических соединений (к которым относятся не только нитросоединения, но также и нитроэфир) также являются токсичными веществами для водных объектов. Поэтому были выполнены исследования по эффективности деградации данных веществ в водных растворах при озонировании.

В качестве алифатического нитропроизводного в исследовании был использован 1-нитропропан. Данное вещество хорошо идентифицируется с помощью спектров поглощения в УФ-диапазоне. Теоретическое ХПК данного вещества составляет 1348 мг O<sub>2</sub>/г, а бихроматное – 245 мг O<sub>2</sub>/г, т.е. данное вещество является очень стойким к окислению даже хромовой смесью. Поэтому озонирование данного вещества выполнялось с различными удельными дозами озона, равными ХПК и 3-ХПК. Доза ХПК соответствует разложению ХПК по механизму присоединения молекулы озона к молекуле вещества, а доза 3-ХПК – взаимодействию озона с веществом по радикальному механизму, когда в молекуле озона только один атом кислорода из трех вступает в реакцию окисления.

На рисунке 5 приведены спектры поглощения исходного раствора 1-нитропропана и этого же раствора, обработанного вышеуказанными удельными дозами озона.

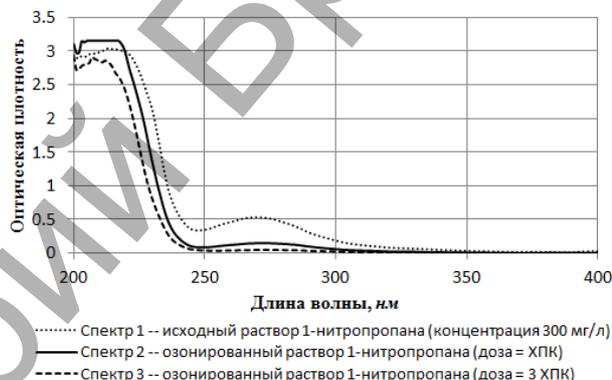


Рисунок 5 – Спектры поглощения водного раствора 1-нитропропана и продуктов его озонирования

Как показывают спектры, приведенные на рисунке 5, удельная доза озона, равная ХПК, была недостаточна, поскольку пик поглощения 1-нитропропана на длине волны 270 нм хотя и снизился по сравнению с исходным в 3,6 раза, но все еще составлял 0,145 единицы оптической плотности, что могло соответствовать его концентрации около 80 мг/л. При использовании дозы озона, равной 3-ХПК, поглощение на длине волны 270 нм практически отсутствовало, что свидетельствовало о полном исчезновении исходного 1-нитропропана в растворе. При этом поглощение в области ниже 245 нм практически не менялось, что говорит о неполной деградации 1-нитропропана, т.е. о его превращении в другие соединения, вероятнее всего в органические нитрооксисоединения. Также это подтверждается тем, что для полной деградации 1-нитропропана до неорганических соединений (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>) потребовалось бы значительно более высокая удельная доза озона, как минимум равная 3-ХПК<sub>теоретическое</sub>. Поэтому можно считать, что нитрогруппы при деградации ароматических нитросоединений остаются связанными с образующимися короткими фрагментами исходной молекулы. При этом образуются алифатические оксинитросоединения, преимущественно нитрозамещенные органические кислоты, которые дальнейшей деградации с помощью озона практически не подвергаются.

После озонирования исследуемых веществ продукты их реакции с озоном также подвергались анализу на ХПК. Далее определялось БПК<sub>5</sub> растворов исходных веществ и этих же растворов после озонирования. Это выполнялось с целью определения отношения БПК<sub>5</sub> к ХПК, которое характеризует возможность удаления данных органических веществ из сточных вод методом биологической очистки в биоокислителях и в водных объектах при протекании в них процессов самоочищения. Результаты данных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение окисляемости нитрозамещенных органических веществ в результате озонирования

Вещество	Показатели, приведенные к концентрации 100 мг/л по исходному веществу					
	ХПК до озонирования	ХПК после озонирования	БПК <sub>5</sub> до озонирования	БПК <sub>5</sub> после озонирования	Отношение БПК <sub>5</sub> /ХПК до озонирования	Отношение БПК <sub>5</sub> /ХПК после озонирования
Нитробензол	159	16,95	13	10,5	0,082	0,62
Пара-нитрофенол	153	27,1	11	16	0,072	0,59
краситель «Лана-зин черный M-DL»	99,5	18,3	32	16,5	0,32	0,9
1-нитропропан	24,5	20,8	4	8	0,16	0,38

Таблица 2 – Изменение pH растворов нитрозамещенных органических веществ в результате озонирования

Вещество	pH раствора	
	до озонирования	после озонирования
Нитробензол (50 мг/л)	5,25	3,15
Пара-нитрофенол (50 мг/л)	5,4	3,21
кислотный металлокомплексный краситель «Ланазин черный M-DL» (50 мг/л)	5,18	3,7
1-нитропропан (300 мг/л)	5,14	4,3

Как показывают результаты исследований, приведенные в таблице 1, при использовании оптимальной дозы озона, рассчитанной по методике [4], ХПК водных растворов ароматических нитросоединений уменьшается более чем в 5 раз. Показатель БПК<sub>5</sub> при этом изменялся незначительно в сторону увеличения или уменьшения, однако следует учитывать, что БПК<sub>5</sub> исходного раствора соответствовало высокой концентрации вещества (100 мг/л), а БПК<sub>5</sub> после озонирования – характеризовало окисляемость продуктов деструкции веществ, молекулы которых в процессе озонирования значительно обогащались кислородом по сравнению с исходным веществом, поэтому на их окисление уже не требовалось много кислорода. Данные изменения хорошо прослеживаются по отношению БПК<sub>5</sub> к ХПК. Если до озонирования данное отношение для исследованных веществ было очень низкое, что говорит о незначительной биологической окисляемости данных веществ, то после озонирования отношение БПК<sub>5</sub> к ХПК превышало 0,5, что свидетельствовало о легкой биологической окисляемости озонированных продуктов реакции.

При исследовании озоноразлагаемости кислотного металлокомплексного красителя «Ланазин черный M-DL», содержащего в своей молекуле нитрогруппы, были получены еще более хорошие результаты, чем при обработке ароматических нитросоединений. Так, до озонирования ХПК раствора красителя при его концентрации 100 мг/л составляло 99,5 мг О<sub>2</sub>/л, при этом БПК<sub>5</sub> данного раствора составляло 32 мг О<sub>2</sub>/л, а их отношение – 0,32. По сравнению с исследованными ароматическими нитросоединениями данный краситель можно отнести к группе веществ со средней биологической разлагаемостью. После обработки озонном ХПК данного раствора красителя снизилось приблизительно в 5,5 раза, а отношение БПК<sub>5</sub> к ХПК продуктов озонирования составило 0,9, т.е. продукты озонирования данного раствора красителя являлись практически полностью биоразлагаемыми. Это еще раз показывает эффективность технологии очистки сточных вод с помощью озона от сложных органических загрязнений.

Необходимо отметить, что теоретическое ХПК водного раствора 1-нитропропана в концентрации 100 мг/л равно 134,8 мг О<sub>2</sub>/л, тогда как бихроматное ХПК этого же раствора равно 24,5 мг О<sub>2</sub>/л. Это свидетельствует об очень высокой стойкости 1-нитропропана к окислению даже хромовой смесью при кипячении. При определении оптимальной дозы озона для деструкции 1-нитропропана было установлено, что после 15 минут реакции с озонном при дозе озона 3-ХПК, бихроматное ХПК водного раствора 1-нитропропана (концентрация 100 мг/л) увеличивалось до 40 мг О<sub>2</sub>/л, а еще через 15 минут оно уменьшалось до 20,8 мг О<sub>2</sub>/л. Это можно объяснить тем, что при обработке озонном в течение первых пятнадцати минут образовались продукты реакции, легко окисляемые хромовой смесью, а затем в течение последующих 15 минут эти продукты озонирования более глубоко окислились озонном и образовались продукты деструкции, бихроматное ХПК которых незначительно. При этом наблюдалось

увеличение БПК<sub>5</sub> и отношения БПК<sub>5</sub> к ХПК, которое увеличивалось более чем в 2 раза. Это свидетельствует о том, что даже такое стойкое к окислению вещество, как 1-нитропропан, при обработке озонном в водном растворе подвергается деструкции, и при этом образуется более легко окисляемые органические оксисоединения.

Увеличение отношения БПК<sub>5</sub> к ХПК в процессе озонирования можно объяснить тем, что при озонировании органических веществ основную массу продуктов окисления озонном составляют органические кислоты, наличие которых косвенно подтверждается снижением pH озонированных растворов по сравнению с растворами исходных веществ. В таблице 2 приведены результаты определения pH исследованных растворов органических нитропроизводных до и после озонирования.

Как показывают результаты определения pH растворов до и после озонирования, для соединений с ненасыщенными связями во всех случаях pH снижалось более чем на 2 единицы, при этом концентрации вещества в исходных растворах были сравнительно невысокие – порядка 50...100 мг/л. Такое значительное снижение pH однозначно указывает на образование преимущественно органических кислот в процессе озонирования, поскольку завершение процессов окисления на стадии образования альдегидов или кетонов не привело бы к такому значительному снижению водородного показателя. Для 1-нитропропана, значение pH снижалось примерно на 1 единицу, что свидетельствует о трудноокисляемости этого вещества озонном и, соответственно, меньшем количестве образующихся в процессе озондеструкции органических кислот, т.к. даже такое снижение значения pH не может быть достигнуто в случае образования альдегидов и кетонов.

**Заключение.** Выполненные исследования показывают, что ароматические нитросоединения, такие как нитробензол, нитрофенол легко подвергаются глубокой деструкции при озонировании, причем для протекания реакции не требуется повышенная температура, наличие катализатора и высокие концентрации реагирующих веществ. Поэтому метод озонирования при относительно невысоких концентрациях нитросоединений в сточных водах (до 100 мг/л) является более предпочтительным по сравнению с такими методами как сорбционная очистка, электрохимическое окисление, другие окислительные методы.

Органические красители, содержащие в своих молекулах нитрогруппы, также хорошо окисляются озонном, как и простые ароматические нитросоединения, поскольку они в своей основе имеют сопряженную структуру двойных связей из гетероциклических и ароматических фрагментов. На примере кислотного металлокомплексного красителя «Ланазин черный M-DL» показано, что при озонировании его водного раствора не только разрушается система сопряженных связей красителя, отвечающая за поглощение в видимой области, но также и все сложные ароматические структуры, поглощающие в ультрафиолетовой области спектра. При этом при

использовании достаточной дозы озона конечной стадией окисления преимущественно являются простейшие органические кислоты, не содержащие двойных связей (муравьиная, щавелевая, пропионовая, янтарная, уксусная и т. д.), что косвенно подтверждается исследованием спектра поглощения озонированного раствора красителя и снижением его pH.

Среди исследованных веществ большую стойкость к озонированию показал водный раствор 1-нитропропана. Алифатические углеводороды метанового ряда даже без заместителей значительно труднее подвергаются окислению озоном [6] поскольку реакция протекает по радикальному механизму. Наличие в молекуле углеводорода электроотрицательного заместителя, такого как нитрогруппа, приводит к еще большему увеличению его стойкости к окислению, что и подтвердили выполненные исследования. Так, теоретическое ХПК 1-нитропропана оказалось выше бихроматного более чем в 5 раз, т. е. даже хромовая смесь при температуре кипения и катализаторе полностью не окисляла 1-нитропропан до неорганических продуктов реакции. Однако, даже такое стойкое вещество при озонировании в водном растворе реагировало с озоном, что подтверждалось изменением спектра поглощения. Также после озонирования изменялось соотношение БПК<sub>5</sub> к ХПК в сторону увеличения более чем в 2 раза, т.е. продукты деструкции, в отличие от исходного биологически слабоокисляемого 1-нитропропана, можно отнести к веществам со средней биологической стойкостью.

В целом наличие нитрогруппы в молекулах органических веществ не оказывает значительного влияния на их стойкость к окислению озоном в водных растворах. Все исследованные вещества реагировали с озоном, при этом конечными продуктами реакции вероятнее всего являлись простейшие органические кислоты, в том числе и нитрозамещенные, которые являются намного более легко биоокисляемыми по сравнению с исходными веществами. Как и в предыдущих исследованиях, при ограниченном времени реакции окисление органического вещества при озонировании до таких неорганических веществ, как CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O не протекало. Однако это не

снижает ценность озонирования как метода очистки производственных сточных вод, поскольку образующиеся органические кислоты могут быть легко удалены в биоокислителях, а приемлемых методов удаления из сточных вод нитропроизводных органических соединений при их низких концентрациях в воде, по мнению авторов, не существует.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жуков, А.И. Методы очистки производственных сточных вод: справочное пособие / А.И. Жуков, И.П. Монгайт, И.Д. Родзиллер. – М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.
2. Лурье, Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1984. – 447 с.
3. Белов, С.Г. Разработка метода точного дозирования высоких удельных доз озона при обработке воды / С.Г. Белов, Г.О. Наумчик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2011. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 73–81.
4. Белов, С.Г. Исследование эффективности применения озона для очистки сточных вод от органических загрязнений различных классов / С.Г. Белов, Г.О. Наумчик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2014. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 72–78.
5. Хенце, М. Очистка сточных вод: Пер. с англ. / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван – М.: Мир, 2004. – 480 с.
6. Разумовский, С.Д. Озон и его реакции с органическими соединениями / С.Д.Разумовский, Г.Е.Заиков. – М.: Наука, 1974. – 324 с.
7. Белов, С.Г. Определение глубины деструкции органических соединений методом УФ-спектроскопии / С.Г. Белов, Г.О. Наумчик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2013. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 46–50.

Материал поступил в редакцию 07.06.2016

#### BELOV S.G., NAUMCHIK G.O. The research of destruction of nitro-substituted organic substances in water solutions in the process of ozonation

The article deals with the research of destruction of nitro-substituted organic compounds of different classes in water solutions under the influence of ozone. It is noted that the problem of removing these very substances from the sewage waters is a rather complicated and actual task especially when their concentration in sewage water is low. But it is possible to gain full destruction of the investigated compounds when the portion of ozone used for this purposes is correct and selected in the right way. There are also marked the spectra of initial and ozonized solutions which prove the effectiveness of removing nitro-compounds by ozonation method. There are also the results of research of biological toxicity of the initial substances and their destruction products after the ozonation. It is stated that the destruction of biological toxicity which is expressed through relation BOD<sub>5</sub> to COD is increased greatly after the ozonation, which tells of decreasing of biological toxicity of ozonized solutions.

УДК: 628.316

**Волкова Г.А., Сторожук Н.Ю.**

### ТЕХНОЛОГИЯ БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Введение.** В последние годы в Брестской области значительно вырос удельный вес предприятий пищевой промышленности. В СЭЗ г. Бреста появилось много предприятий, работающих на экспорт. Но не на всех вновь построенных предприятиях имеются свои локальные очистные сооружения. Большинство белорусских предприятий пищевой промышленности сбрасывают производственные сточные воды (ПСВ), содержащие сотни тонн органических загрязнений, жира, азота и фосфора, в общую «коммунальную» городскую канализацию и водоёмы. На территории Брестской области функционируют 16 предприятий по переработке молока. Суммарная производственная мощность их

составляет 637 тонн в год. Значения показателей загрязнения сточных вод этих предприятий представлены в таблице 1.

Допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, отводимых в хозяйственно-бытовую канализацию населённых пунктов, устанавливаются решением местных органов власти. На предприятия по переработке молока распространяются требования ТКП 17.06.-08-2012 «Общие требования к содержанию загрязняющих веществ в производственных сточных водах предприятий, отводимых в систему хозяйственно-бытовой канализации населённых пунктов», приложение Л. В системы канализации населённых пунктов не допускается отводить

**Волкова Галина Александровна**, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

**Сторожук Наталья Юрьевна**, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.