

- Житенев, Б.Н. Применение озона для снижения окраски сточных вод текстильных предприятий легкой промышленности / Б.Н. Житенев, С.Г. Белов, Г.О. Наумчик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2010. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 90–97.
- Житенев, Б.Н. Применение озона для снижения окраски сточных вод предприятий легкой промышленности на примере ОАО «Брестский чулочный комбинат» / Б.Н. Житенев, С.Г. Белов, Г.О. Наумчик // Проблемы водоснабжения, водоотведения и энергосбережения в западном регионе Республике Беларусь: материалы Международной науч.-технич. конф., посвящ. 65-летию победы в Великой Отечественной войне, Брест, 22–23 апреля 2010 г. / БрГТУ; редкол.: С.В. Басов [и др.]. – Брест, 2010. – С. 284–289.
- Лурье, Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1984. – 447 с.
- Белов, С.Г. Исследование деструкции формальдегида в водных растворах с помощью озона / С.Г. Белов, Г.О. Наумчик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2014. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 54–58.
- 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.

Материал поступил в редакцию 01.06.15

**BELOV S.G., NAUMCHIK G.O. Application of ozonation for processing of the sewage jsc “Svitanak” for the purpose to reach normative indices**

The article deals with the research of the possibility of application of ozonation to solve the problem of lowering intensity of colouring of the sewage of the venture JSC “Svitanak” down to normative indices. The technological system of purification existing at the moment, which is based on electrochemical methods is very complicated and doesn’t allow to lower considerably intensity of sewage colouring. Thus the authors have done some research in the branch of decolourizing of the real sewage, got from JSC “Svitanak”, using the ozonation method. The research has shown that ozone allows to lower the sewage colouring effectively at different stages of its application in a technological scheme of purification. According to achieved results a new technological scheme of purification of Svitanak’s sewages has been proposed with the usage of ozonation. In case it is realized we’ll get the opportunity to simplify the technological process of purification of the sewage, to lower exploitation costs, to reduce quantity of sewage sludge, to lower the intensity of sewage colouring to normative indices.

УДК 628.316

**Белов С.Г., Наумчик Г.О.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ХИНОНОВ В ПРОЦЕССЕ ОЗОНИРОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Введение.** Сточные воды текстильных предприятий часто содержат фенолы, которые могут попадать в сточные воды в процессе отделки тканей в составе отделочных препаратов. Также фенолы могут образовываться при неполной деструкции красителей, содержащих в своих молекулах фенольные остатки. Содержание фенолов в сточных водах текстильных предприятий может колебаться в пределах от 0 до 100 мг/л.

Фенолы в водных растворах легко разрушаются озоном [1]. В работе [2] приводятся данные по очистке сточных вод, содержащих фенолы, методом озонирования. Рекомендуется применять дозу 1...1,5 моль озона на 1 моль фенола, при этом процесс окисления фенолов происходит не до полного исчерпания окисляющихся продуктов, а только до разрушения ароматического ядра.

Механизм и кинетика реакции озона с фенолом изучены слабо, а опубликованные результаты противоречат друг другу. Например в работе [3] приводятся данные, что при окислении фенолов озон атакует С–Н связь в α-положении к гидроксилу и образуется новая оксигруппа, хотя в работе [4] принимается, что озон на начальной стадии окисления отрывает водород от гидроксигруппы, при этом образуется хинон. Т.е. при неполном окислении фенолов существует высокая вероятность образования хинонов, которые являются более

токсичными соединениями для окружающей водной среды, чем исходные фенолы [2].

Существует высокая вероятность образования хинонов при озонировании сточных вод, содержащих некоторые виды красителей. Например, в статье [5] приводится вероятное уравнение реакции взаимодействия красителя, содержащего фенольные группы при невысокой удельной дозе озона по отношению к разрушаемому красителю (схема 1).

В данном уравнении реакции молекула исходного красителя в первую очередь атакуется озоном по двойной азосвязи (—N=N—). В результате ее разрыва при указанном в уравнении реакции стехиометрическом соотношении образуется сульфокислота нитрозоафтохинона и хлорнитрофенол. Оба данных соединения являются более токсичными, чем исходный краситель.

Поскольку до настоящего времени механизм взаимодействия озона с фенолами и органическими веществами, содержащими фенольные группы, достаточно подробно не исследован, т.е. дополнено неизвестно, образуются ли хиноны при озонировании фенольных соединений, является актуальным провести экспериментальные исследования по озонированию растворов фенолов и красителей, содержащих фенольные группы. Результаты данных ис-

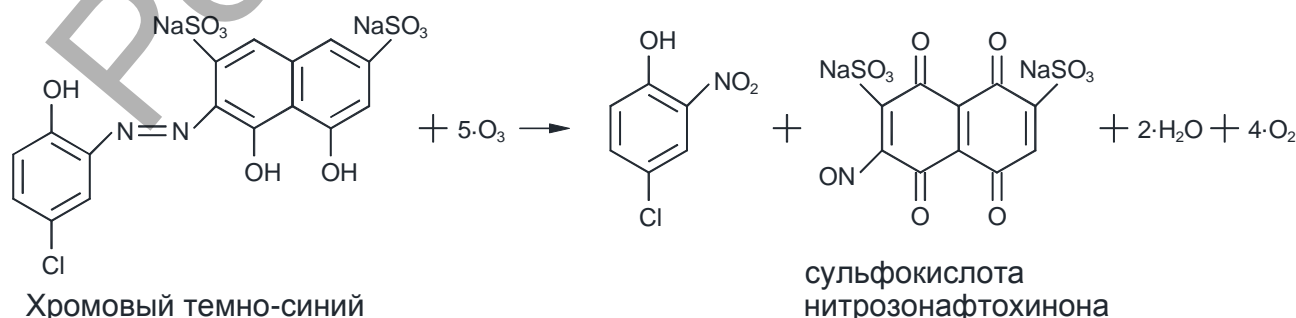


Схема 1

следований могли бы позволить точнее установить механизм деградации фенолов и их производных в результате озонирования, а также исследовать устойчивость образующихся хинонов к последующему озонированию. Данная информация является важной для разработки технологии очистки сточных вод, содержащих фенолы, и другие органические вещества, содержащие фенольные остатки.

**Методическая часть.** Анализ хинонов выполнялся по методике, приведенной в [6]. В основу данной методики положена реакция хинона с бензолсульфиновой кислотой. В результате реакции образуется диоксиарилсульфоны, спектры которых имеют максимум поглощения в районе длины волны 320 нм. В качестве стандартного вещества для построения калибровочного графика использовался 1,4-бензохинон. На рисунке 1 представлены спектры поглощения исходного 1,4-бензохинона и продукта его реакции с бензолсульфиновой кислотой. Также на данном рисунке приведен спектр поглощения индикатора — бензолсульфиновой кислоты (в концентрации 1,59 г/л, используемой для анализа) с дистиллированной водой в соотношении 1:1. Для получения спектров использовался сканирующий спектрофотометр СФ-2000 и кварцевые кюветы с длиной оптического пути 50 мм.

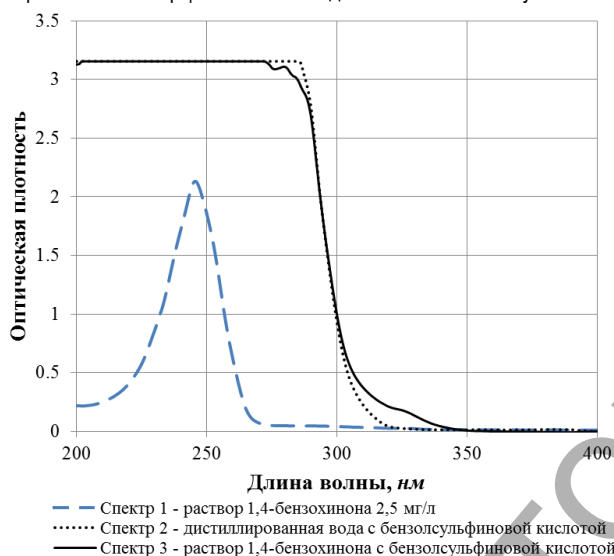


Рис. 1. Спектры поглощения 1,4-бензохинона, продукта его реакции с бензолсульфиновой кислотой и бензолсульфиновой кислоты без 1,4-бензохинона. Концентрация 1,4-бензохинона 2,5 мг/л

Как показывают спектры, приведенные на рисунке 1, ни 1,4-бензохинон, ни чистая бензолсульфиновая кислота на длине волны 320 нм не поглощают, а продукт реакции бензолсульфиновой кислоты с 1,4-бензохиноном (спектр 3) показывает заметное поглощение.

На рисунке 2 приведен калибровочный график для определения концентрации 1,4-бензохинона в диапазоне от 0 до 25 мг/л, построенный на основе реакции 1,4-бензохинона с бензолсульфиновой кислотой. Оптическая плотность определялась на длине волны 320 нм.



Рис. 2. Калибровочный график определения концентрации 1,4-бензохинона

При построении данного калибровочного графика учитывалось фоновое поглощение раствора бензолсульфиновой кислоты (концентрация 1,59 г/л) в соотношении 1:1 с дистиллированной водой на длине 320 нм, которое составляло 0,043. Данное значение оптической плотности вычиталось из значений оптической плотности точек калибровочного графика, соответствующих концентрациям 1,4-бензохинона.

Также были выполнены спектрометрические исследования 1,4-бензохинона с целью выяснения возможности его обнаружения в небольших концентрациях в водных растворах без использования индикаторов. Результаты данного исследования имеют значение при анализе спектров поглощения продуктов реакции различных веществ с озоном, в которых возможно присутствие хинонов. На рисунке 3 приведены спектры поглощения водного раствора 1,4-бензохинона в концентрациях от 0,5 до 5 мг/л.

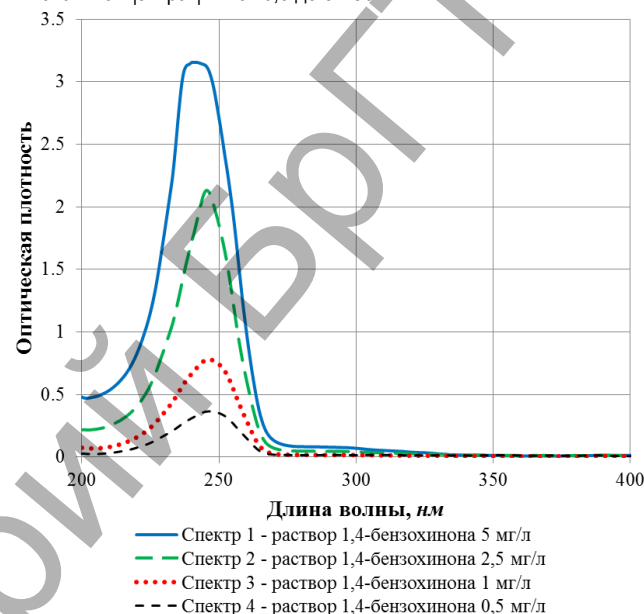


Рис. 3. Спектры поглощения водных растворов 1,4-бензохинона в УФ-диапазоне

Как показывают приведенные спектры, 1,4-бензохинон уверенно идентифицируется в водных растворах даже при концентрации 0,5 мг/л на характерной длине волны 246 нм, при этом оптическая плотность составляет 0,366.

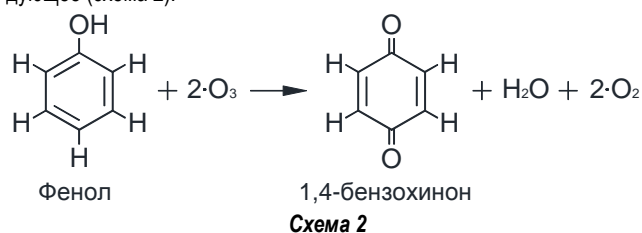
Эксперименты по озонированию исследуемых веществ проводились методом точного дозирования высоких удельных доз озона, подробно описанном в [7].

В данном исследовании использовались следующие основные реагенты: 1,4-бензохинон, бензолсульфиновая кислота, фенол, краситель «Хромовый темно-синий». Методика подготовки данных реагентов была следующей. Парабензохинон очищался методом возгонки. Бензолсульфиновая кислота дополнительно очищалась методом перекристаллизации из водного раствора. Фенол, используемый в исследовании, являлся химически чистым. Краситель «Хромовый темно-синий» очищался путем растворения в растворе щелочи и последующим выделением из раствора при подкислении.

**Экспериментальная часть.** Поскольку в научной литературе указывается, что основным источником образования хинонов в процессе окисления сточных вод являются фенолы [6], в первой серии экспериментов проверялось предположение об образовании хинонов из фенолов на определенной стадии озонирования. Экспериментальные исследования выполнялись на растворах фенола (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH) в дистиллированной воде.

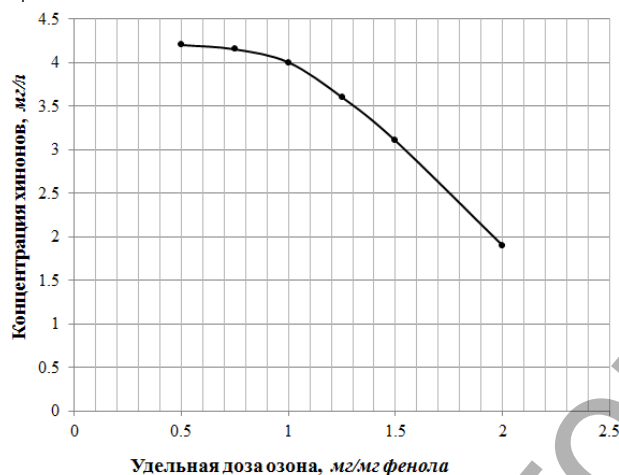
Поскольку при образовании хинона ароматическое кольцо фенола не разрушается, реакция фенола с озоном должна происходить по радикальному механизму. Это значит, что из трех атомов кислорода молекулы озона только один входит в состав продуктов окисления, а два оставшихся образуют молекулярный кислород. С уче-

том этого, возможное уравнение реакции образования хинона следующее (схема 2).



Молекулярная масса фенола равна 94, а молекулярная масса двух молекул озона, вступающих в реакцию с одним атомом фенола, равна 96. Следовательно, исходя из приведенного выше уравнения реакции, для образования 1,4-бензохинона из фенола необходима удельная доза озона, приблизительно равная концентрации фенола в обрабатываемом растворе. Исходя из этого, для исследования процесса окисления фенола под действием озона использовались удельные дозы озона от 0,5 до 2 мг озона на мг фенола.

На рисунке 4 представлены результаты анализа продуктов реакции на наличие хинонов.

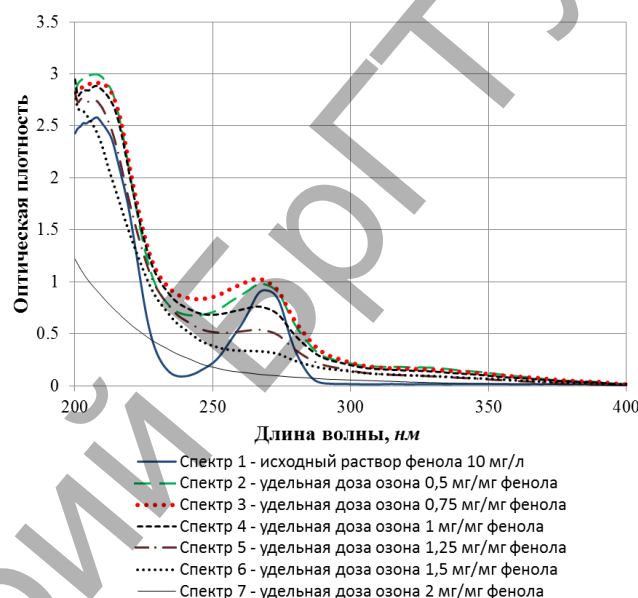


**Рис. 4.** Зависимость концентрации хинонов в продуктах реакции озонированного раствора фенола концентрации 130 мг/л

Как показывает данные, представленные на рисунке 4, при озонировании водного раствора фенола хиноны образуются в сравнительно небольших количествах. Так, при удельной дозе озона 0,5 мг/мг фенола концентрация хинонов, определяемая с помощью реакции с бензолсульфиновой кислотой, составляла около 4,2 мг/л, при увеличении удельной дозы озона вначале она существенно не менялась, а начиная с удельной дозы озона более 1 мг/мг фенола, концентрация хинонов в продуктах реакции быстро снижалась. Однако даже при максимальной удельной дозе озона 2 мг/мг фенола реакция с бензолсульфиновой кислотой показывала, что в продуктах реакции присутствуют хиноны. При этом удельная доза озона 2 мг/мг фенола являлась максимальной в данном исследовании, поскольку даже при такой дозе озон вступал в реакцию в течение длительного времени (более 30 минут), поэтому дальнейшее увеличение дозы было нецелесообразным. Для того чтобы убедиться в адекватности определения концентрации хинонов в продуктах озонирования фенола были проведены спектрометрические исследования продуктов реакции фенола с озоном в УФ-диапазоне. Полученные спектры представлены на рисунке 5.

Спектр 1 соответствует исходному раствору фенола в концентрации 10 мг/л, не обработанному озоном. На нем четко виден характерный пик поглощения на длине волны 270 нм, соответствующий В-полосе ароматического ядра фенола. Поглощение на длинах волн 240...250 нм, соответствующее хинонам незначительно. При озонировании раствора фенола наблюдалось вначале увеличение, а затем снижение поглощения на характерных длинах волн порядка

240...250 нм, что можно объяснить первоначальным накоплением и последующим разрушением образующихся хинонов и других промежуточных продуктов озонирования. Спектр 7 на рисунке 5, соответствующий удельной дозе озона 2 мг/мг фенола, показывает полное отсутствие исходного фенола в продуктах реакции, а также очень слабое поглощение в диапазоне длин волн 240...250 нм, характерном для поглощения хинонов. Это свидетельствует об отсутствии в продуктах реакции не только исходного фенола, но также и хинонов. Форма данного спектра и интенсивность его поглощения в целом характерна для смеси алифатических органических оксисоединений (органических кислот, альдегидов и кетонов) [8].



**Рис. 5.** Спектры раствора фенола (концентрация 10 мг/л), обработанного различными удельными дозами озона

При сравнении результатов исследования продуктов озонирования раствора фенола с помощью характерной реакции с бензолсульфиновой кислотой и спектрометрическим методом в целом наблюдаются похожие результаты — с увеличением удельной дозы озона происходит снижение концентрации хинонов. Однако при применении максимальной дозы озона (2 мг/мг фенола) спектрометрические исследования показывают отсутствие хинонов, а реакция с бензолсульфиновой кислотой показывает остаточную концентрацию хинонов порядка 1,9 мг/л. Данное противоречие можно объяснить взаимодействием бензолсульфиновой кислоты с веществами, образовавшимися при деструкции как исходного фенола, так и хинонов. Для выяснения данного предположения были выполнены экспериментальные исследования по деструкции раствора 1,4-бензохинона с помощью озона.

Озонированию подвергался раствор 1,4-бензохинона в концентрации 100 мг/л. Работа выполнялась методом дозирования высоких удельных доз озона [7]. Исследования выполнялись в диапазоне удельных доз озона от 0,5 до 1 мг/мг 1,4-бензохинона. Данный диапазон был выбран на основе вероятного уравнения реакции взаимодействия 1,4-бензохинона с озоном по механизму присоединения молекулы озона к двойной связи ароматического ядра (схема 3).

Как показывает уравнение, приведенное выше, к одной молекуле 1,4-бензохинона присоединяется одна молекула озона, что приводит к образованию мольозонида бензохинона, который в водной среде практически мгновенно гидролизуется с образованием алифатического оксисоединения и перекиси водорода. При этом теоретическая доза озона для полной деструкции 1,4-бензохинона согласно уравнению реакции составляет  $48/108 = 0,44$  мг озона на 1 мг 1,4-бензохинона. С учетом потерь озона на самораспад минимальная доза была выбрана 0,5 мг/мг 1,4-бензохинона.

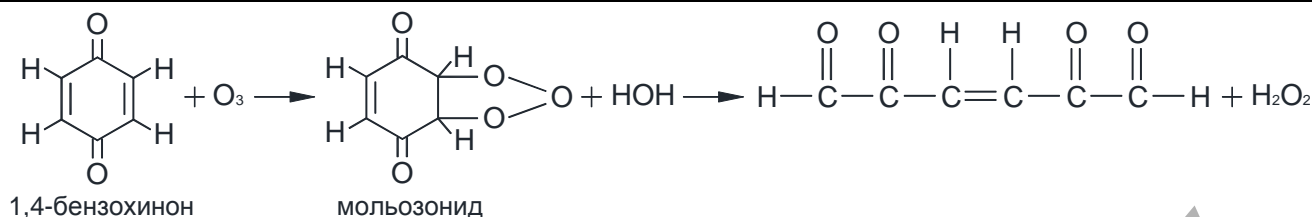


Схема 3

На рисунке 6 приведены спектры раствора 1,4-бензохинона, обработанного различными удельными дозами озона. Для получения спектров исследуемый раствор разбавлялся в 20 раз до концентрации 5 мг/л по исходному 1,4-бензохинону, поскольку при более высоких концентрациях поглощение в УФ-области было слишком высоким.

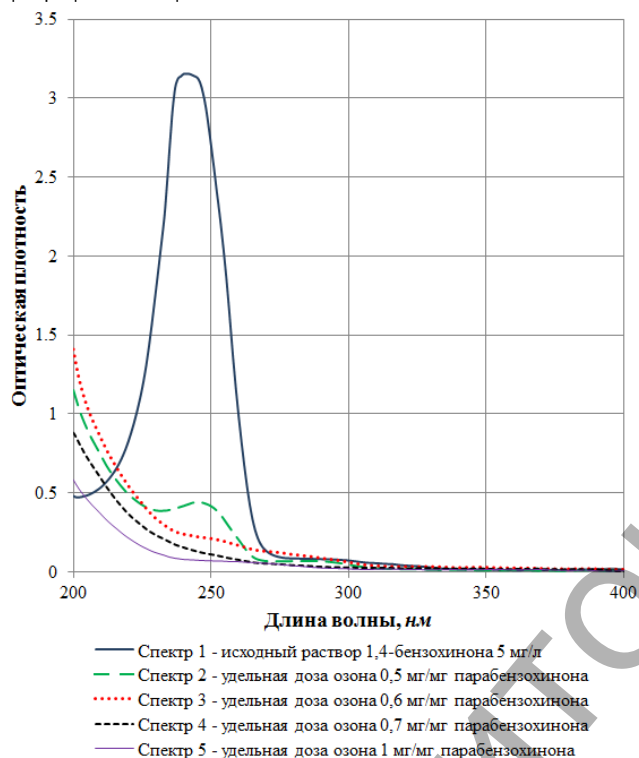


Рис. 6. Спектры раствора 1,4-бензохинона (концентрация 5 мг/л), обработанного различными удельными дозами озона

Спектры, представленные на рисунке 6, показывают, что удельная доза озона 0,5 мг/мг бензохинона была недостаточна для полной его деструкции. Очевидно, часть озона в процессе проведения реакции терялась на самораспад и взаимодействие с продуктами деструкции бензохинона. Также возможно, что часть озона взаимодействовала с парабензохиноном с образованием димольозонида, т.е. к одной молекуле парабензохинона присоединялись две молекулы озона, хотя вероятность данной реакции значительно ниже. При удельной дозе 0,6 мг/мг бензохинона наблюдалась полная его деструкция, т.е. на характерной длине волны 246 нм отсутствовал экстремум поглощения (спектр 3). При дальнейшем повышении удельной дозы озона наблюдалось пропорциональное снижение поглощения во всем УФ-диапазоне, что говорит об увеличении глубины деструкции продуктов озонирования парабензохинона при увеличении удельной дозы озона.

Также все пробы озонированного раствора 1,4-бензохинона анализировались на остаточное содержание хинона по характерной реакции с бензолсульфиновой кислотой. На рисунке 7 представлены результаты данных анализов.

Результаты анализов, представленные на рисунке 7, показывают, что во всех случаях в озонированном растворе содержался бензохинон. Однако, это противоречит результатам спектрометрических исследований, которые представлены на рисунке 6. Согласно спектро-

метрическим исследованиям, поглощение, характерное для 1,4-бензохинона на длине волны 246 нм исчезло при удельной дозе озона 0,6 мг/мг бензохинона, а реакция с бензолсульфиновой кислотой показывает, что при данной удельной дозе озона в растворе содержалось около 3 мг/л бензохинона. В такой концентрации экстремум поглощения 1,4-бензохинона является очень сильным (см. рисунок 3). Поэтому можно сделать вывод о том, что определение остаточной концентрации хинонов по реакции с бензолсульфиновой кислотой в растворах, подвергнутых озонированию, является не очень корректным. Для более адекватной оценки результатов анализа данных растворов необходимо вводить поправку на фоновое поглощение продуктами деструкции ароматических соединений, которые могут взаимодействовать с бензолсульфиновой кислотой. В случае с 1,4-бензохиноном при его исходной концентрации 100 мг/л максимальным фоновым поглощением может являться его значение, соответствующее оптической плотности 0,22. Эта оптическая плотность соответствует озонированному раствору, обработанному удельной дозой озона 0,6 мг/мг бензохинона. Более высокие удельные дозы озона приводят к дальнейшей деструкции образовавшихся продуктов озонирования 1,4-бензохинона, поэтому фоновая оптическая плотность, по мере увеличения удельной дозы озона, снижается.

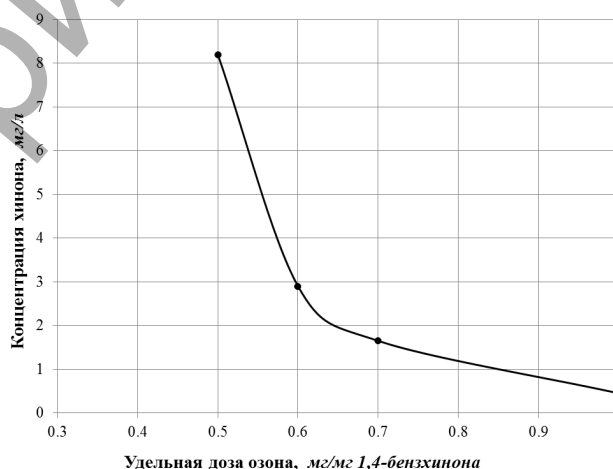


Рис. 7. Остаточная концентрация 1,4-бензохинона при его озонировании различными удельными дозами озона и определении по реакции с бензолсульфиновой кислотой. Исходная концентрация раствора 1,4-бензохинона 100 мг/л

Поскольку одним из основных загрязнителей сточных вод предприятий текстильной промышленности являются органические красители, также исследовалась возможность образования хинонов в процессе озонирования сточных вод, содержащих красители. Для этого в качестве объекта исследования использовался раствор красителя «Хромовый темно-синий» в концентрации 50 мг/л. Предполагаемое уравнение реакции данного красителя с озоном при удельной дозе озона, соответствующей разрушению хромофорной системы красителя представлено ниже (схема 4).

Согласно данной реакции при разрушении хромофорной системы красителя «Хромовый темно-синий» образуется сульфокислота нитрозафтохинона, которая должна вступать в характерную для хинонов реакцию с бензолсульфиновой кислотой. Поэтому раствор красителя, обработанный различными удельными дозами озона, анализировался

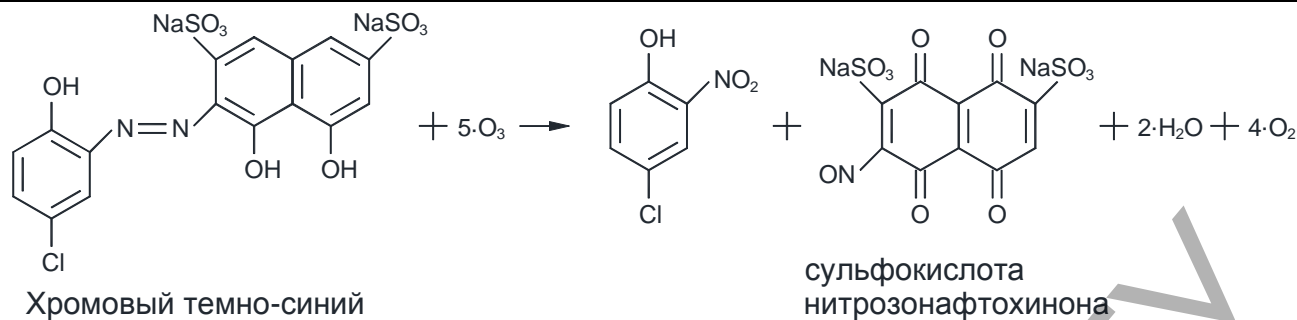


Схема 4

по характерной реакции на содержание хинонов. Результаты данных анализов, без учета фонового поглощения продуктов деструкции на длине волны 320 нм, представлены на рисунке 8.

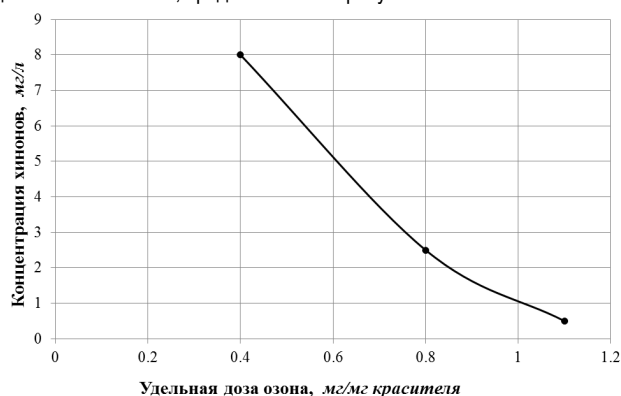


Рис. 8. Концентрация хинонов при озонировании раствора красителя «Хромовый темно-синий» в концентрации 50 мг/л в зависимости от удельной дозы озона

Зависимость, представленная на рисунке 8, показывает, что при удельной дозе озона более 1 мг/мг красителя концентрация хинонов, определяемая по характерной реакции с бензолсульфиновой кислотой, составляет менее 1 мг/л. Однако, так же как и с фенолами, при изучении спектров продуктов деструкции красителя «Хромовый темно-синий», представленных на рисунке 9, каких-либо экстремумов на спектрах не обнаруживается.

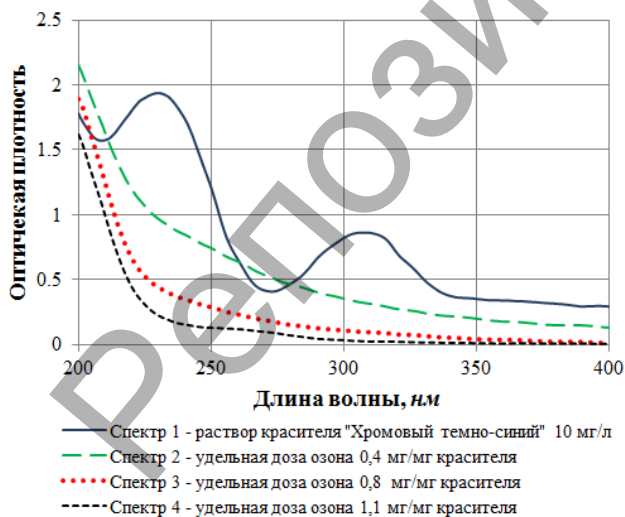


Рис. 9. Спектры раствора красителя «Хромовый темно-синий» (концентрация 10 мг/л), обработанного различными удельными дозами озона

При низкой удельной дозе озона 0,4 мг/мг красителя уровень поглощения в диапазоне длин волн 240...250 нм довольно значи-

тельный, поэтому хиноны могут присутствовать в продуктах озонирования. При более высоких удельных дозах озона уровень поглощения озона на всех участках спектра значительно снижается, что говорит о глубокой деструкции промежуточных продуктов реакции, в том числе и хинонов, поэтому их присутствие в продуктах деструкции при высоких удельных дозах озона маловероятно.

Как было показано при исследовании деструкции 1,4-бензохинона озонем, бензолсульфиновая кислота реагирует с неароматическими продуктами озонирования, поэтому результаты анализов концентрации хинонов, представленных на рисунках 4 и 8, нуждаются в корректировке на фоновое поглощение продуктов деструкции. Авторами за фоновое поглощение в данных исследованиях было принято значение, соответствующее оптической плотности 0,19 (значение поглощения на длине волны 320 нм после проведения характерной реакции на хиноны, полученное как среднее между поглощением озонированной пробы фенола при удельной дозе озона 2 мг/мг, и поглощением озонированной пробы 1,4-бензохинона при удельной дозе озона 0,6 мг/мг). На рисунке 10 приведены результаты анализа концентрации хинонов по реакции с бензолсульфиновой кислотой в продуктах озонирования фенола и красителя «Хромовый темно-синий» с учетом принятого среднего фонового поглощения продуктов озонирования.

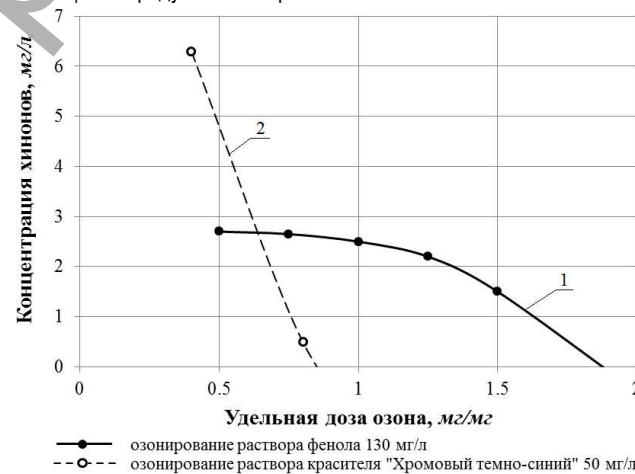


Рис. 10. Уточненная концентрация хинонов при озонировании раствора фенола (концентрация 130 мг/л) и красителя «Хромовый темно-синий» (концентрация 50 мг/л) в зависимости от удельной дозы озона

Уточненные зависимости концентрации хинонов при озонировании растворов фенола и красителя, представленные на рисунке 10, показывают, что при определенных удельных дозах озона продукты озонирования не содержат хинонов. Для раствора фенола данная удельная доза составляет 1,8 мг/мг фенола, для раствора красителя — 0,75 мг/мг красителя. Форма и наклон кривых зависимости концентрации хинонов от удельной дозы озона для исследованных веществ отличается по той причине, что озон реагирует с данными веществами по различным механизмам.

Фенол, согласно уравнению, представленному выше, реагирует с озонем по радикальному механизму, а образующийся 1,4-бензохинон

— по механизму присоединения. Поэтому, пока в системе имеется непрореагировавший с озоном фенол, концентрация хинона меняется незначительно, при этом общее значение данной концентрации сравнительно низкое — порядка 2...3 мг/л. Это объясняется невысокой скоростью реакции озона с фенолом по радикальному механизму, и высокой скоростью реакции образовавшегося хинона с озоном по механизму присоединения. После деструкции всего фенола в растворе концентрация хинона также становится равной нулю, что подтверждается спектрами, представленными на рисунке 5.

При обработке раствора красителя «Хромовый темно-синий» озоном, в отличие от фенолов, наблюдается другая зависимость концентрации хинонов от удельной дозы озона. Согласно вышеприведенному уравнению взаимодействия данного красителя с озоном в первую очередь озон присоединяется к азосвязи красителя ( $—N=N—$ ), поскольку она является наиболее реакционноспособной в данной молекуле по отношению к озону, при этом в системе накапливается в значительных количествах замещенный нитрозоафтохинон. После деструкции всего красителя, находящегося в системе, озон начинает преимущественно взаимодействовать с образовавшимся нитрозоафтохиноном, и поскольку он имеет большую молекулярную массу, довольно небольшое приращение удельной дозы озона приводит к полной деструкции нитрозоафтохинона в системе. Это объясняет тренд зависимости 2 на рисунке 10.

**Заключение.** Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. В процессе озонирования растворов, содержащих фенолы и другие замещенные ароматические соединения, хиноны могут образовываться на начальных стадиях процесса и в сравнительно небольших количествах, поскольку они, также как и исходные вещества, интенсивно взаимодействуют с озоном, что приводит к образованию алифатических окислительных нециклического строения.
2. Механизм образования и разрушения хинонов в процессе озонирования зависит от химического строения исходного ароматического соединения, из которого хинон образуется. При озонировании фенолов в водных растворах хиноны образуются в результате реакции с озоном по радикальному механизму, скорость которой значительно ниже по сравнению с реакцией присоединения озона по двойным связям. Образующийся в результате реакции хинон, в отличие от исходного фенола, взаимодействует с озоном по механизму присоединения, поэтому он является промежуточным продуктом при окислении фенолов в водных растворах с помощью озона.

3. При обработке сточных вод, содержащих органические красители, озон в первую очередь взаимодействует с хромофорной системой красителя, имеющей в своей основе систему сопряженных двойных связей. В результате, как было показано на примере красителя «Хромовый темно-синий», в продуктах реакции могут накапливаться хиноны, однако после того, как хромофорная система красителя с двойными связями под воздействием озона разрушается, образовавшиеся хиноны, также содержащие в своих молекулах двойные связи, начинают преимущественно реагировать с озоном и быстро исчезают из системы.
4. Сточные воды текстильных предприятий могут содержать ароматические соединения, являющиеся источником образования хинонов в процессе озонирования. Выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что при дозах озона, достаточных для разрушения всех находящихся в сточных водах ароматических соединений, хиноны также гарантированно разрушаются.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Каштанов, Л.И. Окисление фенола озоном / Л.И. Каштанов, О.Н. Олещук // Журнал общей химии. — 1937. — № 7. — С. 1413–1414.
2. Разумовский, С.Д. Озон и его реакции с органическими соединениями / С.Д. Разумовский, Г.Е. Заиков. — М.: Наука, 1974. — 324 с.
3. Каплин, В.Т. Механизм окисления фенола озоном / В.Т. Каплин, Е.И. Перельштейн, Н.Г. Фесенко // Гидрохимические материалы. — 1966. — № 42. — С. 274–276.
4. Разумовский, С.Д. Особенности взаимодействия озона с фенолом / С.Д. Разумовский, Г.М. Глобенко, Г.А. Никифоров [и др.] // Нефтехимия. — 1972. — № 12. — С. 376–379.
5. Житенев, Б.Н. Спектрометрические исследования влияния дозы озона на степень деструкции красителей в водных растворах / Б.Н. Житенев, С.Г. Белов, Г.О. Наумчик // Вестник Брестского государственного технического университета. — 2012. — № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геозология. — С. 26–32.
6. Лурье, Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю.Ю. Лурье. — М.: Химия, 1984. — 447 с.
7. 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 геозология. — С. 73–81.
8. 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 геозология. — С. 46–50.

Материал поступил в редакцию 02.06.15

#### BELOV S.G., NAUMCHIK G.O. Research of formation and destruction of quinones in the process of ozonation of waste water at textile plants

The article is dedicated to the problem of formation of quinones in the waste water ozonation process. These water contains phenols, dye stuff and other aromatic compounds. It has been cleared up that in the phase of phenol ozonation the quantity of quinone formed is little, and with a definite specific ozone dose quinone can't be traced in the ozonation products. The above-mentioned results can be proved either by a characteristic reaction with benzenesulfinic acid, or by spectrometric research. It was also found that quinones themselves relatively easily destroyed by ozone, so when administered a sufficient dose of ozone their appearance in waste waters is eliminated. Unlike phenol, the organic dye reacts with ozone in the first place, which leads to a certain accumulation of quinones in the reaction mixture at low dosages ozone. But after the whole dye stuff has been destroyed, ozone starts reacting to formed quinones, which actually comes to their complete destruction in the reaction mixture. That is why in order to conduct the process of ozonation of waste water containing aromatic compounds in the right way, it is very essential to select the correct dose of ozone with the purpose not to let quinones appear in ozonated waste water.

УДК 551.5(476)

Волчек А.А., Шпока И.Н., Шпока Д.А.

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВТОРЯЕМОСТИ ГОЛОЛЕДНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

### Введение

Гололед — слой плотного льда, образующийся на земной поверхности и на предметах при намерзании переохлажденных капель

дождя и тумана [1]. Иногда гололед становится причиной обрушения крыш, линий электропередач. При проектировании, возведении и эксплуатации зданий, сооружений следует учитывать нагрузки на

Шпока И.Н., к.г.н., доцент, доцент кафедры природоустройства Брестского государственного технического университета.

Шпока Д.А., студентка Брестского государственного технического университета.

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