

Так как явление агломерации биоплёнки может интенсифицироваться при увеличении пути для её осаждения, то в дальнейшем была поставлена цель выяснить эту зависимость.

Для определения эффективности осветления сточных вод была создана экспериментальная модель вертикального отстойника с рабочей высотой 2100 мм, диаметром 300 мм и рабочим объёмом 148 дм³.

Были проведены по три серии опытов с концентрацией биоплёнки в сточной воде 1850 мг/л и 2050 мг/л. Затем результаты трёх серий опытов для определённой концентрации – осреднялись.

По результатам проведённых исследований для каждой продолжительности отстаивания были построены эпюры распределения биоплёнки по высоте вертикального отстойника (рис. 3).

На основании эпюр для разных высот столба воды (0.5; 1.0; 1.5; 2.0 м) был определён эффект осветления сточной воды при различной продолжительности отстаивания (t_{om}). По результатам вычислений были построены графики зависимости $\mathcal{E}=f(t_{om})$ для различных значений начальной концентрации биоплёнки в сточной воде и различных значениях h и C_0 . Один из графиков представлен на рис. 4.

Анализ полученных графиков зависимости $\mathcal{E}=f(t_{om})$, позволяет выделить две характерные области осветления сточных вод.

Первая – область интенсивного осветления сточных вод, характерная для начальной продолжительности их отстаивания от 0 до 30 минут. Кривые зависимости $\mathcal{E}=f(t_{om})$ в этой области близки к прямым линиям. Столь интенсивное осветление сточной воды, можно объяснить явлением гравитационной коагуляции биоплёнки, в начальный период отстаивания.

Вторая – область слабого осветления сточных вод, характерная для конечного периода их осветления при продолжительности отстаивания более 30 минут. По данным визуального осмотра к этому периоду времени в сточной воде остаётся мало частиц биоплёнки, способных к самостоятельному осаждению.

УДК 628.395:547.281.1

Басов С.В., Халецкий В.А., Халитов В.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА г. БРЕСТА ФОРМАЛЬДЕГИДОМ

Город Брест имеет большое число постоянно действующих и мгновенных источников загрязнения. В результате работы промышленных предприятий, транспорта, ТЭЦ, котельных и других систем отопления зданий и сооружений в атмосферу поступает значительное количество токсичных веществ. Основная масса загрязнителей сосредоточена в самых нижних слоях атмосферы, концентрируясь в районах скопления промышленности, железнодорожного и автомобильного транспорта.

По данным наблюдений загрязнения атмосферного воздуха, полученным наблюдательными органами Брестоблгидромета [1], в последние годы в городской черте отмечаются устойчивые высокие максимально-разовые концентрации

Но осветление сточной воды в этой области также происходит благодаря агломерации частиц биоплёнки, которая обусловлена простым слипанием или же молекулярным притяжением. Этой агломерации частиц биоплёнки могут способствовать вихревые процессы и турбулентность потока.

При анализе графиков $\mathcal{E}=f(t_{om})$ можно заметить, что при продолжительности отстаивания сточных вод более 60 минут эффект её осветления практически не зависит от высоты столба сточной жидкости (эффект осветления колеблется в диапазоне 3-5%), а зависит только от продолжительности отстаивания и начальной концентрации биоплёнки в исходной воде.

В ходе проведения экспериментальных исследований было установлено, что гидравлическая крупность частиц биоплёнки изменяется в пределах от 0.1 до 2-3 мм/с; процентное содержание фракций биоплёнки определённой гидравлической крупности составляет: 60-70% для $u < 1$ мм/с; 25-35% для $u = 1-2$ мм/с; 5-15% для $u = 2-3$ мм/с., это означает, что биоплёнка является явно выраженной полидисперсной средой и при проектировании вторичных отстойников следует принимать значения скорости осаждения соответствующее требуемому эффекту осветления по кривым осаждаемости; оптимальное время отстаивания, при котором достигается эффект осветления, равный 75-85%, составляет 1.5-2 часа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения. / Госстрой СССР. – М. ЦИТП Госстоя СССР, 1986. – 72 с.
2. Калицун В.И., Ласков Ю.М. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод/ Учебн. Пособие для вузов. – 2-изд., - М.: Стройиздат. 1995. – 266 с.
3. Яромский В.Н., Ковальчук В.Л. Очистка сточных вод молокоперерабатывающих предприятий на дисковом био-фильтре – отстойнике // Вестник Брестского госуд. техн. университета. – 2001. - № . – С. 81-83.

формальдегида в воздухе, превышающие предельно-допустимые (ПДК). Причем скачки ПДК наблюдаются во всех без исключения районах города.

Высокий уровень формальдегида в воздухе типичен для всех больших городов. Рост его в последние годы - повсеместное явление. В самых крупных центрах его содержание может доходить до 10 ПДК и более. В частности, крупные города России характеризуются очень высокими концентрациями формальдегида – среднее содержание по всем городам составляет 8 мкг/м³, что почти в 3 раза выше ПДК. Очень высокие средние концентрации формальдегида, превышающие 20 мкг/м³, отмечаются в Липецке и Норильске.

Басов Сергей Владимирович, к.т.н., доцент каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Халецкий Виталий Анатольевич, доцент каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Халитов Виталий Валерьевич, студент I курса электронно-механического факультета Брестского государственного технического университета.

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

Таблица 1. Относительный выход НСНО и его содержание в пламени

Топливо	Относительный выход	Молярная доля
метан	0,02	$2 \cdot 10^{-4}$
этилен	0,1 – 0,4	$3 \cdot 10^{-3}$
ацетилен	нет данных	$(2 - 6) \cdot 10^{-3}$
пропан	0,08 – 0,15	$4 \cdot 10^{-3}$
гексан	нет данных	$1 \cdot 10^{-2}$
гексен	нет данных	$5 \cdot 10^{-4}$
метанол	нет данных	$2 \cdot 10^{-2}$
ацетальдегид	0,2 – 0,5	
диэтиловый эфир	нет данных	$1 \cdot 10^{-4}$

Город Брест выглядит в сравнении с такими показателями более чем скромно. Но главная причина обеспокоенности специалистов - экологов, санитарных врачей и сотрудников городского управления охраны окружающей среды - в том, что увеличение концентрации формальдегида в атмосферном воздухе проявляется в нелинейной зависимости, случайным образом, а точную причину этого явления до сих пор не удается установить. Это не позволяет создать адекватную математическую модель, прогнозирующую развитие ситуации, выявление и локализацию выбросов.

То, что рост концентрации формальдегида в атмосферном воздухе вызван антропогенными факторами – очевидно. Но анализ работы промышленных предприятий, способных повлиять на состав воздуха, не выявил новых источников загрязнения, по сравнению с существовавшими в городе в период 1986-93 гг. Сравнительная оценка ситуации в других крупных городах позволяет подозревать в ухудшении ситуации автотранспорт, который в последние годы становится одним из главных источников загрязнения атмосферного воздуха. Однако не все специалисты склоняются к этой версии.

Как известно, формальдегид - это бесцветный газ с характерным запахом, относящийся ко II классу опасности и имеющий предельно допустимую среднесуточную концентрацию ПДК с.с. = 0,012 мг/м³ и предельно допустимую максимально-разовую концентрацию ПДК м.р. = 0,035 мг/м³ [2]. Он применяется в качестве исходного материала при производстве целого ряда изделий, в том числе, является очень важным материалом для производства древесных адгезивов (клеев).

На организм человека формальдегид оказывает общетоксическое действие, обладает раздражающим, аллергическим и канцерогенным действием. Формальдегид усиливает канцерогенное воздействие, вызываемое другими канцерогенами, в частности бензпиреном.

Формальдегид, являясь канцерогенным веществом, может приводить к онкологическим заболеваниям желудочно-кишечного тракта. Что касается канцерогенного действия формальдегида, то опубликованы две различные классификации: Международное агентство по исследованиям в области рака (IARC) классифицирует формальдегид как 2A (возможно канцерогенный для людей). Последнее переиздание было сделано в 1995 году. В ЕС формальдегид классифицируется в соответствии с Директивой по опасным веществам как категория 3 (3C) по канцерогенности, уровень риска в которой R40 (возможный риск необратимых изменений). Это самый слабый класс канцерогенного риска.

Формальдегид образуется при сжигании органического топлива, содержится в выхлопных газах автомобилей, а также в сигаретном дыме. ПДК для внутренних помещений может быть легко превышена из-за одного только курения сигарет. В табл.1 представлены данные о содержании формальдегида в пламени некоторых видов органического топлива [3].

Хроническая интоксикация организма человека сопровождается раздражением слизистых оболочек верхних дыхательных путей, поражением тканей легких, может развивать-

ся лейкоз. С воздействием формальдегида связывают общее ухудшение самочувствия, ощущение головокружения, усталости и тошноты.

Согласно данным американской консультационной фирмы "SRI Consulting", потребление формальдегида в мире постоянно растет. Так спрос на формальдегид в США в период до конца 2004 г. будет расти примерно такими же темпами, что и ВВП, - в среднем на 3% в год по сравнению с 2,0-2,5 % в предыдущие пять лет. Ожидается, что в странах Западной Европы темпы несколько снизятся - соответственно с 4 до 2,2 %.

Однако наиболее высокими темпами в ближайшие годы будет расти потребление формальдегида для производства формальдегидных смол, особенно фенолформальдегидных, как раз в странах ЕС.

Поскольку Беларусь расположена на пути перемещения воздушных масс западного и северо-западного направлений, загрязненных выбросами промышленных, энергетических и транспортных комплексов Западной и Центральной Европы, то нельзя не учитывать распространяющиеся за пределы национальных границ европейских стран на нашу территорию непреднамеренные, случайные загрязнения.

Цель данной работы состояла в исследовании загрязнения атмосферного воздуха г.Бреста формальдегидом методом нормированного размаха, оценке показателя Херста и прогнозировании развития ситуации.

Оценка динамики загрязнения атмосферного воздуха г. Бреста формальдегидом проводилась в следующей последовательности.

На первом этапе проводился интервальный анализ временных рядов данных о состоянии загрязнения воздуха г. Бреста формальдегидом в период с 1986 по 1993 гг. (в соответствии с данными [2]) и в период с 1999 по 2004 гг. (в соответствии с данными [1]). Каждый временной ряд разбивался на частичные временные ряды одинаковой длины, для которых рассчитывали статистические характеристики (среднее значение, дисперсию, максимальное и минимальное значение и их разброс) и проводили их сравнительный анализ (табл. 2).

Очевидно, что распределение величины загрязнения атмосферного воздуха г. Бреста формальдегидом в построенных временных рядах определялось случайным сочетанием множества факторов.

Случайность присуща всем естественным процессам, и имеются веские основания полагать, что многие природные явления наилучшим образом описываются как фракталы [4,5]. В свою очередь, статистические свойства многих фракталов удобно исследовать методом нормированного размаха, предложенного Херстом.

Метод нормированного размаха (метод R/S) или метод Херста, широко используемый для исследования временных последовательностей измерений таких величин, как температура, сток рек, количество осадков, толщина колец деревьев, высота морских волн и т.п., основан на расчете и анализе величины показателя H , называемого показателем Херста.

Таблица 2. Статистические характеристики исследованных временных рядов

Временной период 1986 –1993 гг.		
Год *	ПДК м.р. формальдегида	
1986	2,31	среднее значение = 2,168 максимальное значение = 6,43 минимальное значение = 0,40 дисперсия = 4,700998 $R = 6,03$ $S = 2,17$ $R/S = 2,78$ $H = 0,74$
1987	6,43	
1988	1,83	
1989	4,31	
1990	1,40	
1991	4,57	
1992	0,40	
1993	0,46	
Временной период 1999 –2004 гг.		
1999	3,74	среднее значение = 3,06 максимальное значение = 4,80 минимальное значение = 1,91 дисперсия = 1,077977 $R = 2,89$ $S = 1,04$ $R/S = 2,78$ $H = 0,93$
2000	2,49	
2001	2,80	
2002	2,63	
2003	1,91	
2004	4,80	

* в графе даны максимальные значения ПДК м.р. формальдегида во временном ряду указанного года.

В работе [5], на примерах временных рядов экологического мониторинга показано, что показатель Херста нетривиально зависит от длины временного ряда, а также от свойств временного множества, на котором отображен изучаемый временной ряд. В этой же работе дано объяснение, почему значения показателя Херста для природных процессов группируются вблизи значений 0,72–0,73.

В соответствии с методом Херста [5], рассчитывается размах R , как разность между максимальным и минимальным значением измерений в исследуемом временном ряду, и отношение R/S , где S - стандартное отклонение, т.е. квадратный корень из дисперсии. Используя это безразмерное отношение, можно сравнивать размах для разных явлений. Для многих временных рядов нормированный размах R/S очень хорошо описывается эмпирическим соотношением:

$$R/S = (\tau/2)^H,$$

где τ – длительность рассматриваемого промежутка времени, H – показатель Херста.

В общем случае, временные последовательности, для которых H больше 0,5, относятся к классу *персистентных* - сохраняющих имеющуюся тенденцию. Если приращения были положительными в течение некоторого времени в прошлом, то есть происходило увеличение, то и впредь в среднем будет происходить увеличение. Таким образом, для процесса с $H > 0,5$ тенденция к увеличению в прошлом означает тенденцию к увеличению в будущем. И наоборот, тенденция к уменьшению в прошлом означает, в среднем, продолжение уменьшения в будущем. Чем больше H , тем сильнее тенденция. При $H = 0,5$ никакой выраженной тенденции процесса не выявлено, и нет оснований считать, что она появится в будущем. Случай $H < 0,5$ характеризуется *антиперсистентностью* – рост в прошлом означает уменьшение в будущем, а тенденция к уменьшению в прошлом делает вероятным увеличение в будущем. И чем меньше H , тем больше эта вероятность. В таких процессах после возрастания переменной обычно происходит её уменьшение, а после уменьшения – возрастание.

Основные результаты проведенного исследования представлены в табл. 2.

Таким образом, исследованная зависимость загрязнения атмосферного воздуха г. Бреста формальдегидом, в соответ-

ствии с анализом полученных значений показателя Херста, относится к персистентному классу, т.е. сохраняющих имеющуюся тенденцию. Увеличение значения показателя H с 0,74 (в период 1986–1993 гг.) до 0,93 (в период 1999–2004 гг.) означает ухудшение экологической ситуации в регионе в последние годы и позволяет прогнозировать тенденцию к дальнейшему увеличению загрязнения атмосферного воздуха г. Бреста формальдегидом, в последующие годы.

В заключение отметим, что исследования в области динамики нелинейных систем привели к формированию новой области знаний называемой *детерминированным хаосом*. Полученные в этих исследованиях [6,7] результаты, наряду с работами в области фрактальной геометрии, внесли существенный вклад в новое понимание проблемы соотношения случайности и причины. Применение разработанных в рамках этих теорий методов анализа природных явлений, данных экологического мониторинга, оценки и прогнозирования загрязнения окружающей среды позволяет наглядней и эффективней решать комплекс различных задач по сравнению с традиционными методиками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справки о состоянии загрязнения атмосферного воздуха на территории деятельности Брестоблгидромета. – Брест: Брестоблгидромет, 1999–2004 гг.
2. Науменко В.Я., Грибко А.В., Подоровская И.И., Быстрова Е.В. Антропогенное загрязнение окружающей среды территории Беларуси и Брестской области. Часть 1. Загрязнение атмосферного воздуха. – Брест: БГПИ, 1995.
3. Скубневская Г.И., Дульцева Г.Г. Загрязнение атмосферы формальдегидом. Аналитический обзор Рос. АН, Сиб. отделение, ГПНТБ, Ин-т хим. кинетики и горения; Отв. ред. Н.М. Бажин. – Новосибирск, 1994.
4. Федер Е. Фракталы. - М.: Мир, 1991.
5. Калуж Ю. А., Логинов В. М. Показатель Херста и его скрытые свойства// Сибирский журнал индустриальной математики - 2002, том 5, № 4 (12)
6. Пригожин И.Б. От существующего к возникающему. - М.: Наука, 1985.
7. Пригожин И.Б., Кондепуди Д. Современная термодинамика: от тепловых двигателей до диссипативных структур. - М.: Мир. 2002.