

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Булгакова Л. М., Костылева Л. Н., Попова Л. В., Репин П. С.

ГОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж, Россия (394036, Воронеж, ул. Проспект Революции, 19), e-mail: bulgak2007@mail.ru

С целью изучения зависимости эффективности очистки сточных вод (СВ) от концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в СВ, поступающих на биологическую очистку, исследовалась многолетняя динамика изменения состава СВ по основным ингредиентам: азот аммонийный, АПАВ, сульфат-ионы, фосфат-ионы, ионы тяжелых металлов. Выполнена статистическая обработка данных по всем ЗВ с использованием статистического пакета STADIA 8. По всем выборкам установлено: распределение входных на очистку и выходных концентраций ЗВ соответствует нормальному. Для установления характера функциональной связи между концентрациями ЗВ в СВ на входе на очистку ($C_{вх}$) и на выходе ($C_{вых}$) построены корреляционные зависимости $C_{вых}=f(C_{вх})$ и эффективности очистки $\eta = f(C_{вх})$. Для всех ЗВ установленные зависимости в пределах исследованных концентраций $C_{вх}$ линейны. Установлено, что при допустимых режимах нагрузки на очистные сооружения корреляционные кривые имеют отрицательный наклон и при повышенных нагрузках – положительный. Выполнены расчеты по математическим моделям указанных зависимостей для конкретных очистных сооружений. Полученные результаты позволяют выявить общие закономерности процесса биологической очистки СВ от исходного состава стоков и прогнозировать эффективность очистки с учетом факторов взаимного влияния ингредиентов ЗВ в стоках.

Ключевые слова: биологическая очистка, сточные воды, эффективность очистки, корреляционные зависимости.

STATISTICAL ANALYSIS OF PROCESS BIOCHEMICAL TREATMENT OF WASTEWATER

Bulgakova L. M., Kostyleva L. N., Popova L. V., Repin P. S.

State Educational Institution "Voronezh State University of Engineering Technology", Voronezh, Russia (394036, Voronezh, ul. Prospect of Revolution, 19), e-mail: bulgak2007@mail.ru

To study the dependence of the efficiency of wastewater treatment and concentration of pollutants in the wastewater which arrive on biological treatment, was investigated perennial dynamics of the composition of wastewater of the main ingredients: ammonia nitrogen, anionic surfactants, sulfate ions, phosphate ions, the ions of heavy metals. Was performed statistical analysis of data for all pollutants with the use the Statistical Package STADIA 8. For all samples established that distribution of the concentrations of pollutants entering for the purification and concentration of pollutants after purification corresponds to normal. To determine the nature of the functional relationship between the concentrations of pollutants in wastewater at the entrance to clean (C_{in}) and output (C_{out}) were built correlation dependences $C_{out} = f(C_{in})$ and the cleaning efficiency $\eta = f(C_{in})$. For all pollutants specified depending linear. Found that when the permissible load conditions to the treatment plant correlation curves have a negative slope at elevated loads - positive. Calculations on mathematical models of the dependencies for the specific treatment facilities. The obtained results allow to identify common regularities of the biological treatment of waste water from the source of waste and predict the effectiveness of treatment with consideration of the mutual influence of the ingredients of pollutants in waste water.

Keywords: biological treatment, wastewater, the efficiency of wastewater treatment, correlation dependences.

Качество биологической очистки зависит от таких важных факторов, как температура, содержание растворенного кислорода в иловой смеси, присутствие токсинов, оптимальное соотношение между концентрацией загрязняющих веществ (ЗВ), присутствующих в сточных водах (СВ), и рабочей дозой активного ила по массе. Влияние на процесс биологической очистки этих факторов и целого ряда других, не менее важных, подробно рассмотрено в монографии Жмур Н. С. [2]. Однако, несмотря на то, что характер воздействия этих факторов на очистку сточных вод достаточно изучен [2,5], для разработки автоматизированной систе-

мы управления и принятия эффективных управленческих решений для конкретных очистных сооружений необходимо изучение зависимостей влияния указанных факторов на процесс [1,4].

Цель исследования – изучение зависимости эффективности очистки СВ от состава стока и выявление взаимного влияния ЗВ на качество очистки, а также оценка возможности прогноза эффективности очистки на основе выполненного анализа для конкретных очистных сооружений.

При выполнении исследования были собраны и статистически обработаны следующие данные: качественный и количественный состав стоков, поступающих на биологическую очистку и после очистки за период 5 лет, качественный и количественный состав стоков до и после очистки по теплым и холодным периодам за 5 лет. По результатам наблюдений за пять лет определены средние значения концентраций по приоритетным загрязняющим веществам, содержащимся в сточных водах, поступающих на биологическую очистку (табл. 1). Концентрации в таблице 1 представлены в относительных единицах в отношении концентраций ЗВ, допустимых на биологическую очистку СВ и ПДК ЗВ при сбросе в рыбохозяйственный водоем.

Таблица 1. Средние значения концентраций ЗВ в СВ до очистки (Свх) (дол. доп. конц.) и после очистки (Свых), (дол. ПДК) за пять лет наблюдений

ЗВ	Годы наблюдений и значения концентраций					
	С	1	2	3	4	5
Азот аммоний-ный	вх	1,12	1,08	1,32	1,43	1,39
	вых	1,54	1,10	1,13	1,00	1,03
АПАВ	вх	5,84	5,09	5,41	5,09	5,34
	вых	3,00	0,90	1,00	0,86	0,84
Железо (общ.)	вх	2,36	1,89	2,08	1,94	2,06
	вых	3,90	1,46	0,99	0,95	1,09
Медь (ион)	вх	5,07	4,00	4,00	3,90	3,80
	вых	25,30	15,00	15,10	11,60	9,30
Сульфат-ион	вх	1,17	1,02	1,09	1,15	1,26
	вых	1,44	1,23	0,97	0,90	0,98
фосфаты(по Р)	вх	2,51	2,36	2,52	2,34	2,65
	вых	13,2	9,95	7,55	3,75	6,45
Цинк (ион)	вх	5,20	4,00	3,90	3,80	3,80
	вых	3,03	2,00	1,77	1,21	1,11

Как видно из таблицы 1, по всем исследуемым ингредиентам наблюдается превышение допустимых концентраций ЗВ в СВ, поступающих на биологическую очистку (Свх). В 3–6 раз превышение по АПАВ, ионам меди и цинка. Повышенная нагрузка на очистные сооружения приводит к тому, что концентрации по большинству ЗВ в СВ после биологической очистки также превышают ПДК р.х. Более чем в 9 раз наблюдаются превышения по ионам меди. Анализ взаимного влияния ЗВ на эффективность очистки показал, что с увеличением

содержания ионов меди и цинка в стоке эффективность очистки снижается (табл. 1). Этот факт согласуется с литературными данными [2]. В связи этим нами изучались закономерности процесса очистки СВ в режимах допустимой и повышенной нагрузок на очистные сооружения. Для решения поставленных задач была использована методика прогнозирования эффективности очистки СВ, предложенная в работе [3]. Статистическая обработка данных по всем ЗВ выполнена с использованием статистического пакета STADIA 8.

На этапе оценки характера нестационарного переноса ЗВ, поступающих со СВ на биологическую очистку, исследовалась многомесячная динамика состава СВ по основным ингредиентам: азот аммонийный, АПАВ, сульфат-ионы, фосфат-ионы, ионы тяжелых металлов. Исследования кинетики переноса этих ЗВ в теплый и холодный периоды года в течение пяти лет показали, что во всех случаях наблюдаются колебания концентраций ЗВ как по концентрациям поступающих на очистку СВ (Свх), так и в очищенных стоках (Свых). Методами описательной статистики выполнена проверка соответствия выборки закону нормального распределения. Проведенные расчеты по трем критериям нормальности (табл. 2, 3) подтверждают: распределение концентраций в объединенной выборке не отличается от нормального. В таблицах 2, 3 и на рисунке 1 в качестве примера приводятся результаты расчетов по выборкам концентраций азота аммонийного в стоке.

Таблица 2. Статистические значения критериев нормального распределения
(переменные Свх хол. п. и Свх теп. п. азота аммонийного)

Статистика	Значение	Значимость	Степени свободы
Колмогоров	0,183	7,11E-5	60
Гипотеза 0: «Распределение не отличается от нормального»			
Омега-квадрат	0,563	5,25E-8	60
Гипотеза 0: «Распределение не отличается от нормального»			
Хи-квадрат	1,88E3	0	8
Гипотеза 0: «Распределение не отличается от нормального»			

Таблица 3. Статистические значения критериев нормального распределения
(переменные Свых.хол-й и Свых. тёпл азота аммонийного)

Статистика	Значение	Значимость	Степени свободы
Колмогоров	0,243	4,11E-5	60
Гипотеза 0: «Распределение не отличается от нормального»			
Омега-квадрат	0,663	5,65E-8	60
Гипотеза 0: «Распределение не отличается от нормального»			
Хи-квадрат	2,88E3	0	8
Гипотеза 0: «Распределение не отличается от нормального»			

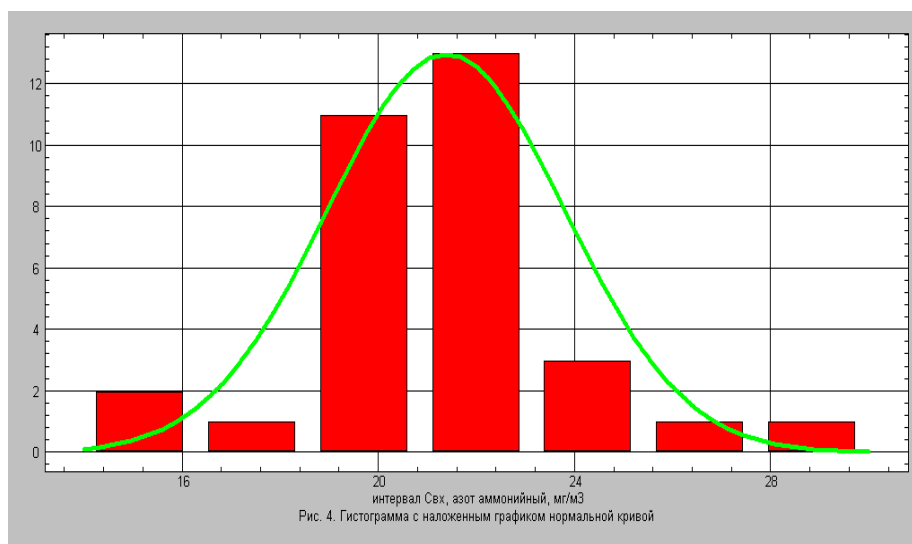


Рис. 1. Гистограмма с наложенным графиком нормальной кривой для выборки концентраций азота аммонийного в стоках до очистки, (Свх)

Таким же образом были протестированы выборки данных по остальным ЗВ. По всем выборкам установлено распределение входных на очистку Свх и выходных Свых концентраций ЗВ соответствует нормальному. Следовательно, концентрации ЗВ в стоках являются параметрическими характеристиками стоков конкретного населенного пункта. Для определения подобности двух выборок данных за теплый и холодный периоды выполнен дисперсионный анализ выборок входных и выходных концентраций ЗВ. В таблице 4 представлены данные дисперсионного анализа степени сходства двух выборок данных входных концентраций сульфат-ион за теплый и холодный периоды (Свход.хол. и Свход.тёп.).

Таблица 4. Статистические значения критериев Фишера и Стьюдента (переменные Свх хол. п. и Свх теп. п. сульфат-ион)

Статистика	Значение	Значимость	Степени свободы
Фишера	1,1	0,399	29
Гипотеза 0: «нет различий между выборочными дисперсиями»			
Стьюдента	1,35	0,178	58
Гипотеза 0: «нет различий между выборочными средними»			
Разность средних=10,5, доверит.интервал=1,38			
Стьюдент для парных данных	1,76	0,0862	29
Гипотеза 0: «нет различий между выборочными средними»			

По критериям Фишера и Стьюдента (таблица 4, сульфат-ион) существенных различий между средними значениями и дисперсиями анализируемых выборок не наблюдается, следовательно, данные выборки можно объединить в один объект исследования.

Для анализа характера функциональной взаимосвязи между концентрациями ЗВ на входе на очистку и после нее выполнены параметрическая корреляция значений концентраций ЗВ, простая регрессия и регрессионный анализ зависимостей концентраций загрязняющих веществ в СВ $S_{вых}=f(S_{вх})$. Для всех ЗВ установленные зависимости линейны, их мож-

но выразить уравнением $C_{\text{вых}} = a + b \cdot C_{\text{вх}}$. (рис.2 и 3). Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что полученные линейные модели адекватны экспериментальным данным, т.к. значимость нулевой гипотезы близка к нулю, экспериментальные точки не выходят за доверительный интервал, коэффициент парной корреляции отличен от нуля. Кроме того, распределение регрессионных остатков по оси Y по концентрациям ЗВ и относительно регрессионных значений по оси X достаточно однородно, что дополнительно подтверждает адекватность полученных моделей.

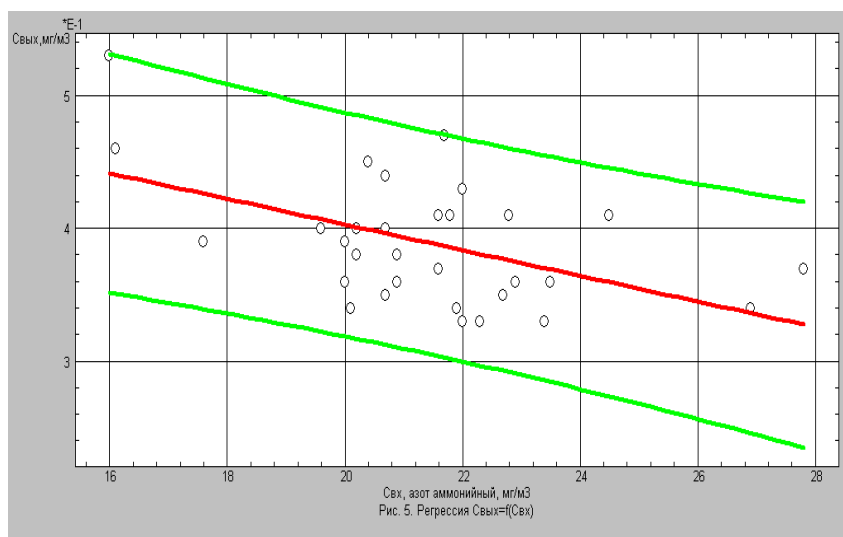


Рис. 2. График экспериментальных точек и регрессионной кривой $C_{\text{вых}} = f(C_{\text{вх}})$ с зоной доверительного интервала (ЗВ – азот аммонийный) при допустимых нагрузках

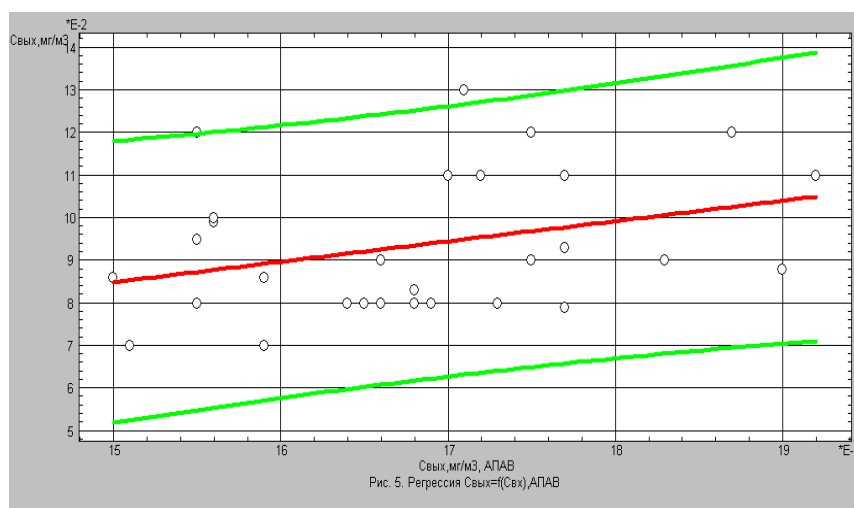


Рис. 3. График экспериментальных точек и регрессионной кривой $C_{\text{вых}} = f(C_{\text{вх}})$ с зоной доверительного интервала, АПАВ при повышенных нагрузках

Результаты расчета параметров полученных зависимостей процесса очистки от $C_{\text{вх}}$ по основным ЗВ в стоках представлены в таблице 5

Таблица 5. Параметры линейной зависимости $C_{\text{вых}} = f(C_{\text{вх}})$ и эффективности очистки $\eta = f(C_{\text{вх}})$ по основным ЗВ сточных вод

ЗВ	Параметры			
	$C_{\text{вых}} = a + b \cdot C_{\text{вх}}$		$\eta = a_{\eta} + b_{\eta} \cdot C_{\text{вх}}$	
	a	b	a_{η}	b_{η}
Азот аммонийный	0,5969	- 0,0096	96,1530	0,0919
Сульфат-ион	138,9600	- 0,3828	- 79,7460	0,8446
Фосфат-ион	0,3885	0,6094	75,7860	- 8,7860
АПАВ	0,0133	0,0479	97,3970	- 1,3292

Изучение закономерностей процесса очистки СВ в режимах допустимой и повышенной нагрузок на очистные сооружения показали существенные различия. В режимах допустимых или незначительных превышений $C_{\text{вх}}$ (в 1,5–2 раза, табл. 1) очистка стоков эффективна (наклон кривой отрицательный, рис. 2, табл.5). При превышении $C_{\text{вх}}$ допустимых концентраций ЗВ более чем в 2 раза (табл. 1) эффективность очистки снижается, и наклон регрессионной кривой меняется на положительный (рис. 3. табл.5). И соответственно линейная зависимость $\eta = f(C_{\text{вх}})$ меняет наклон кривой в зависимости от нагрузки: при незначительных нагрузках он положительный, при повышенных – отрицательный (табл. 1,5).

Таким образом, при описании зависимостей процесса очистки от $C_{\text{вх}}$ по каждому ЗВ в математических моделях необходимо учитывать как область допустимых, так и область повышенных нагрузок. Кроме того, есть еще переходная область концентраций $C_{\text{вх}}$, при которых зависимость $C_{\text{вых}}=f(C_{\text{вх}})$, вероятно, не будет иметь линейный характер.

Полученные результаты позволяют выявить общие закономерности процесса биологической очистки СВ от исходного состава стоков и прогнозировать эффективность очистки с учетом факторов взаимного влияния ингредиентов ЗВ в стоках. Так как состав стоков характерен для конкретного населенного пункта, на основании выполненных расчетов прогноз возможен только для очистных сооружений данной местности в изученных интервалах концентраций ЗВ в поступающих на очистку стоках.

Список литературы

1. Васильев А. Н. , Немтинов В. А. Система принятия решений при управлении водными ресурсами промышленного узла // Труды ТГТУ: сб. науч. ст. молодых ученых и студентов / Тамбовский гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2008. – Вып. 21. – С. 101-102.
2. Жмур Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
3. Журавлева Л. Л. Гидроэкология: исследование процессов очистки сточных вод./ Л.Л. Журавлева, С.Е. Артеминко, Т.П. Устинова, Е.И. Титоренко // Инженерная экология. – 2001. – № 4. – С. 25-33.

4. Мойжес О. В., Шорина К. В. Динамическое моделирование как перспективный подход к проектированию сооружений биологической очистки сточных вод. // Экология и промышленность России. – М., 2009. – № 2. – С. 17-23.
5. Степанов А. С. Интенсификация процессов биологической очистки на очистных сооружениях // Водоснабжение и санитарная техника. – М., 2006. – № 6. – С. 27-34.

Рецензенты:

Клепиков Олег Владимирович, доктор биологических наук, профессор, зав. отделением информационных технологий организационно-методического отдела ФГУЗ Центра гигиены и эпидемиологии в Воронежской области, г. Воронеж.

Куrolап Семен Александрович, доктор географ. наук, профессор, зав. кафедрой геоэкологии и мониторинга окружающей среды, ВГУ, г. Воронеж.