Научная статья
Original article
УДК 68

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

STATISTICAL ANALYSIS OF BIOCHEMICAL WASTEWATER TREATMENT

Волков Николай Владимирович, магистрант РГАУ-МСХА им К.А. Тимирязева, г. Москва.
Снежко Вера Леонидовна, Научный руководитель: д.т.н., профессор.

Volkov Nikolai Vladimirovich, master student of the RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev, Moscow.
Snezhko Vera Leonidovna, Supervisor: Doctor of Technical Sciences, Professor.

Аннотация. В статье представлены основные результаты анализа статистики биохимической очистки сточных вод в Российской Федерации. 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.

Abstract. The article presents the main results of the analysis of the statistics of biochemical wastewater treatment in the Russian Federation. The results obtained

make it possible to identify the general patterns of the process of biological wastewater treatment from the initial composition of wastewater and to predict the effectiveness of treatment, taking into account the factors of mutual influence of pollutant ingredients in wastewater. Since the composition of wastewater is typical for a particular settlement, on the basis of the calculations performed, the forecast is possible only for the treatment facilities of the given area in the studied ranges of pollutant concentrations in the wastewater entering the treatment.

Ключевые слова: сточные воды, биохимическая очистка, эффективность очистки, статистическая информация.

Keywords: wastewater, biochemical treatment, treatment efficiency, statistical information.

Введение. В настоящее время влияние экологии на качество жизни населения огромное и особенно это становится заметно на фоне ухудшения экологической обстановки в РФ. Возрастает плотность населения и, как следствие, уровень загрязнения окружающей среды продуктами жизнедеятельности человека.

Основными загрязнениями сточных вод являются физиологические выделения людей и животных, отходы и отбросы, получаемые в результате хозяйственной деятельности человека. В связи с резким увеличением на рынке всевозможных синтетических моющих и чистящих средств, шампуней и порошков, увеличились и объемы их использования на бытовом уровне, что, в свою очередь, приводит к изменению химического состава хозяйственно-бытовых сточных вод. Увеличивается содержания СПАВ, фосфатов, азотсодержащих, компонентов, хлоридов и др., что существенно ухудшает очистку на очистных сооружениях, уменьшая их эффективность. Кроме того, сброс неочищенных, или не качественно очищенных сточных вод на рельеф или в водоем чреват опасностью инфекционных заболеваний, может стать причиной снижения содержания в водах водоема растворенного кислорода и деградации водных экосистем.

С экологический точки зрения, хозяйственно- бытовые сточные воды - один из основных источников загрязнения водных экосистем. Они содержат органические вещества и массу биогенных элементов (азот и фосфор), при попадании которых в водные экосистемы происходит интенсивное эвтрофирование. В результате эвтрофирования, в водаемах происходит нарушение процессов саморегуляции в биоценозах, в них начинают доминировать виды, наиболее приспособленные к изменившимся условиям вызывая цветение воды. В период цветения в водоеме повышается pH, падает содержание растворенного кислорода, возникают заморные явления у рыб, ухудшается качество питьевой воды.

Замедление и даже обратимость процессов эвтрофикации водоемов принципиально возможны путем прекращения доступа в водоемы биогенных элементов фосфора P, азота N. При благоприятных условиях 1 мг азота продуцирует 20-25 мг водорослей. 1 мг фосфора - 40-250 мг.

Поэтому, если до 90-х годов XX века достаточно было очистить сточную воду от взвешенных веществ, органических примесей и провести обеззараживание сточной воды, то в настоящее время очистка сточных вод должна обеспечивать также удаление биогенных элементов.

Самым дешевым и эффективным способом очистки хозяйственно-бытовых сточных вод является биологический метод, основанный на использовании закономерностей биохимического и физиологического самоочищения рек и других водоемов. Сущность метода заключается в способности микроорганизмов использовать в качестве питательного субстрата органические и неорганические соединения, содержащиеся в сточных водах.

В основе биологической очистки лежат два свойства микроорганизмов: способность превращать примеси воды в биомассу клеток и внеклеточные продукты; способность синтезировать биофлокулянты и с их помощью образовывать многоклеточные агрегаты, легко отделяемые от воды.

Очистка сточных вод происходит в результате биологических процессов (биосинтез, биоокисление и биовосстановление примесей воды) и физико-

химических процессов (флокуляция, адсорбция). Газообразные продукты клеточного метаболизма (продукты биоокисления и биовосстановления) десорбируются из воды, а нерастворимые в воде продукты и клеточные агрегаты удаляются отстаиванием. В осадок переходят также взвешенные вещества сточной воды, которые с помощью биофлакулянтов включаются в клеточные агрегаты, а также некоторые сорбированные биомассой примеси.

Анализ данный биохимической очистки сточных вод. 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. Однако, несмотря на то, что характер воздействия этих факторов на очистку сточных вод достаточно изучен, для разработки автоматизированной системы управления и принятия эффективных управленческих решений для конкретных очистных сооружений необходимо изучение зависимостей влияния указанных факторов на процесс.

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 рыбо-хозяйственный водоем.

Т

аблица 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 аммонийный	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

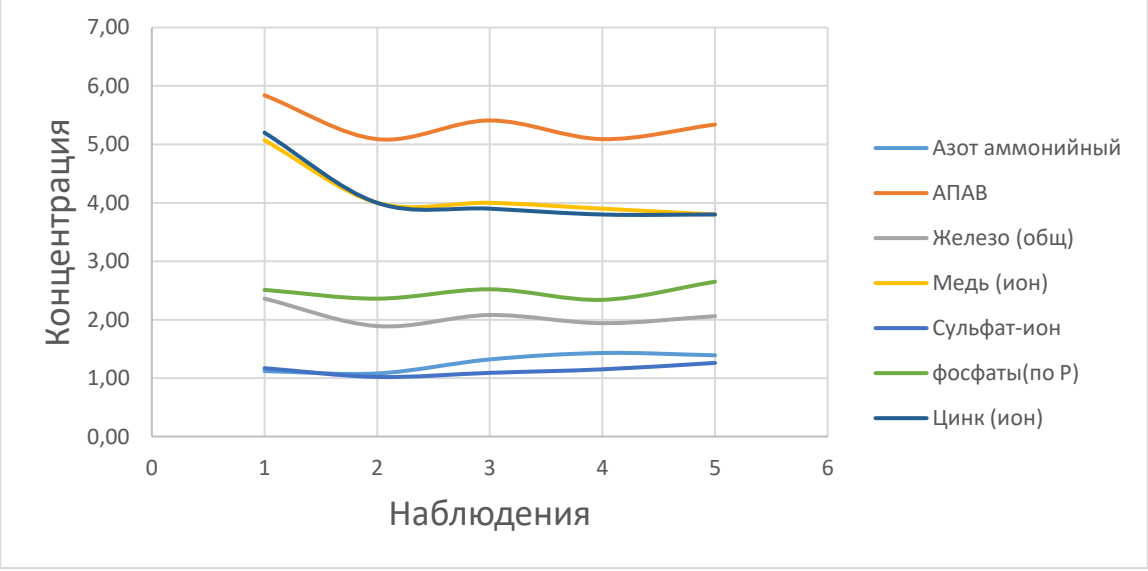


Рисунок 1 – Средние значения концентраций ЗВ в СВ до очистки (Свх) за пять лет наблюдений

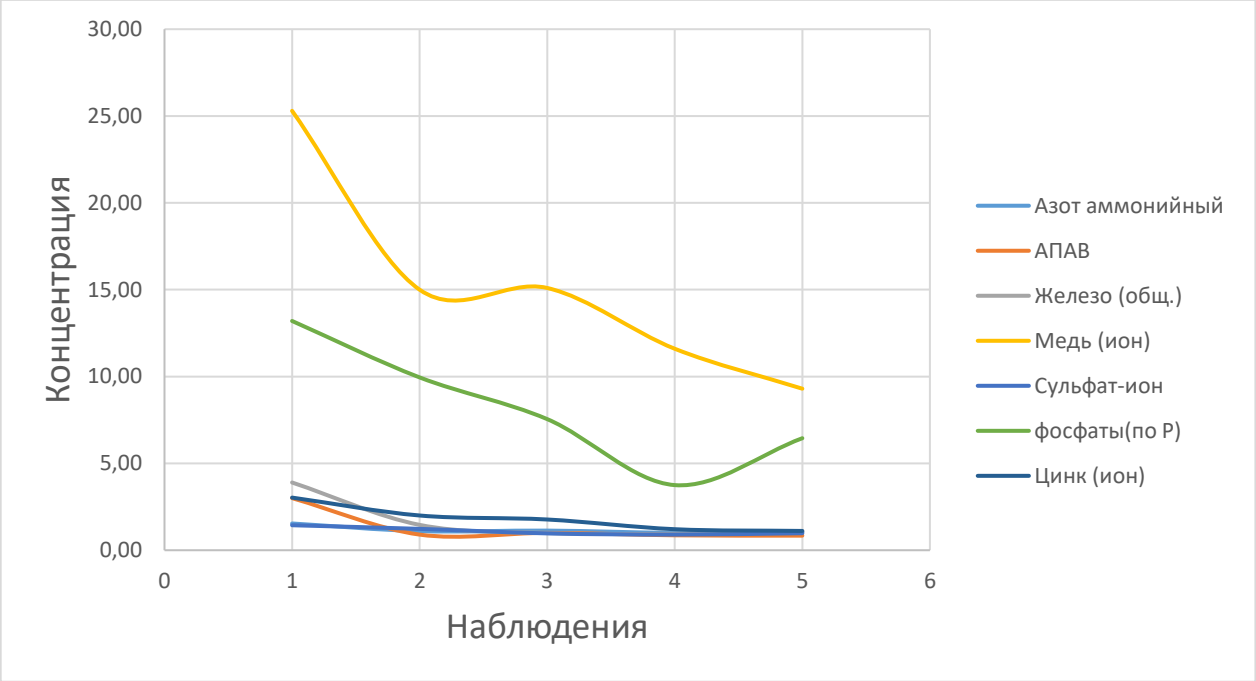


Рисунок 2 – Средние значения концентраций ЗВ в СВ после очистки (Свых) за пять лет наблюдений

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. 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.

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 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 С вых. 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»			

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 С вход.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	0,0892	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 Свых=f(Свх). Для всех ЗВ установленные зависимости линейны, их можно выразить уравнением Свых=a+b Свх. (рис.3 и 4). 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.

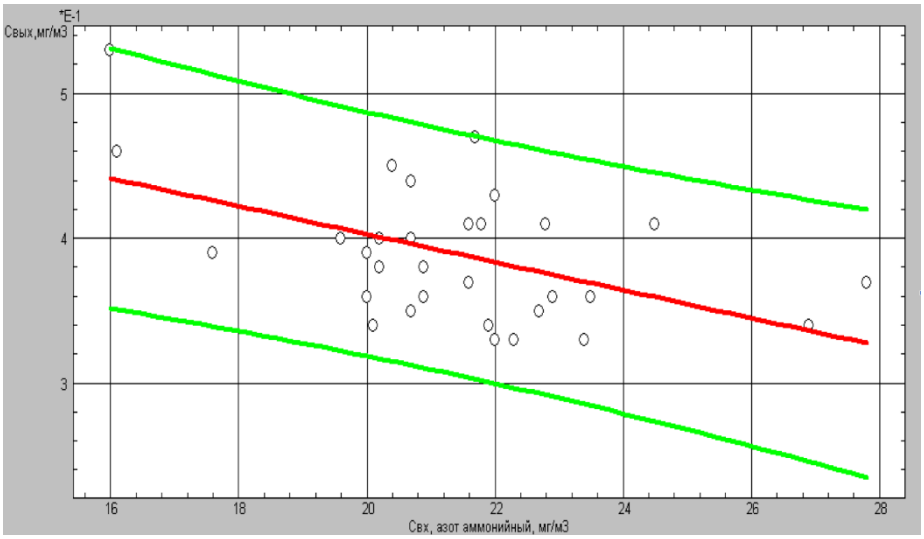


Рисунок 3 – График экспериментальных точек и регрессионной кривой Свых=f(Свх) с зоной доверительного интервала (ЗВ – азот аммонийный) при допустимых нагрузках

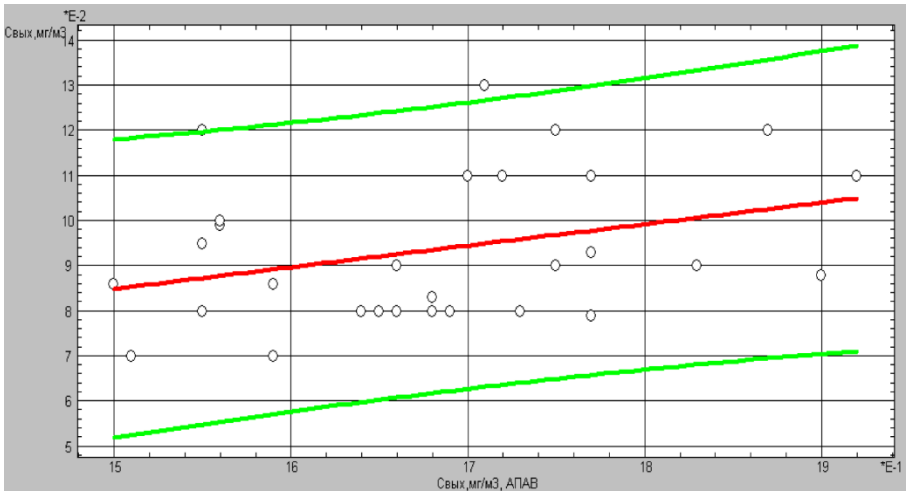


Рисунок 4 – График экспериментальных точек и регрессионной кривой Свых=f(Свх) с зоной доверительного интервала, АПАВ при повышенных нагрузках

Результаты расчета параметров полученных зависимостей процесса очистки от Свх по основным ЗВ в стоках представлены в таблице 5

Таблица 5. Параметры линейной зависимостей Свых = f(Свх) и эффективности очистки η = f(Свх) по основным ЗВ сточных вод

ЗВ	Параметры			
	Свых = a+b×Свх		η = aη + bη×Свх	
	a	b	aη	bη
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 Свх (в 1,5–2 раза, табл. 1) очистка стоков эффективна (наклон кривой отрицательный, рис. 2, табл.5). При превышении Свх допустимых концентраций ЗВ более чем в 2 раза (табл. 1) эффективность очистки снижается, и наклон регрессионной кривой меняется на положительный (рис. 4. табл.5). И соответственно линейная зависимость η = f(Свх) меняет наклон кривой в зависимости от нагрузки: при незначительных нагрузках он положительный, при повышенных – отрицательный (табл. 1,5).

Заключение. Таким образом, при описании зависимостей процесса очистки от Свх по каждому ЗВ в математических моделях необходимо учитывать как область допустимых, так и область повышенных нагрузок.

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.

Литература:

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.

Literature:

1. Vasiliev A. N., Nemtinov V. A. Decision-making system in the management of water resources of an industrial hub // Proceedings of TSTU: coll. scientific Art. young scientists and students / Tambov state. tech. un-t. - Tambov, 2008. - Issue. 21. - S. 101-102.
2. Zhmur N. S. Technological and biochemical processes of wastewater treatment at structures with aerotanks. - M.: AQUAROS, 2003. - 512 p.
3. Zhuravleva L.L. Hydroecology: study of wastewater treatment processes./ L.L. Zhuravleva, S.E. Arteminko, T.P. Ustinova, E.I. Titorenko // Engineering Ecology. - 2001. - No. 4. - S. 25-33.
4. Moyzhes O. V., Shorina K. V. Dynamic modeling as a promising approach to the

design of facilities for biological wastewater treatment. // Ecology and industry of Russia. - M., 2009. - No. 2. - S. 17-23.

5. Stepanov A.S. Intensification of biological treatment processes at treatment facilities // Water supply and sanitary engineering. - M., 2006. - No. 6. - S. 27-34.

© Волков Н.В., 2021 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022.

Для цитирования: Волков Н.В. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022.