

Р. К. Закиров, Е. С. Балымова, О. Е. Сидоров,  
Ф. Ю. Ахмадуллина

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ключевые слова: ультразвуковая обработка, активный ил.

Проведены исследования по ультразвуковой обработке в мембрано-кавитационных реакторах активного ила и показана возможность использования низкочастотного ультразвука для получения биогенных элементов из избыточной активной биомассы. На основе математической обработки результатов установлены оптимальные условия деструктурирования ила.

Keywords ultrasonic processing, activated sludge.

Research on ultrasonic processing of activated sludge in membrane-cavitation reactors were carried out and the ability to use low-frequency ultrasound to obtain nutrients from the surplus active biomass is shown. Based on the mathematical calculation, the optimal conditions for the destruction of sludge determined.

### Введение

Как известно, сбалансированное содержание субстрата и биогенных элементов – обязательное условие стабильной и эффективной работы биологических очистных сооружений [1, 2]. Согласно нормативной документации [3], требуемое соотношение С:N:P составляет 100:5:1. При недостатке биогенных элементов невозможно обеспечить рост новых активных клеток и, как следствие, наблюдается снижение окислительной мощности аэротенков. Поэтому, при необходимости предусматривается их ввод в виде солей (суперфосфат, соли аммония [4]) в загрязненные стоки перед узлом биологической очистки.

Учитывая, что избыточный активный ил, образующийся в процессе водоочистки, может являться источником биогенных элементов в форме, необходимой для ассимиляции, целью настоящей работы являлось изучение процесса деструкции активной биомассы в поле ультразвуковых волн.

### Экспериментальная часть

Объект исследования – избыточный активный ил очистных сооружений ОАО "Казаньоргсинтез", отобранный из узла III очереди действующей биостанции.

Ультразвуковую обработку (УЗО) иловой суспензии осуществляли в мембрано-кавитационных реакторах (МКР) стационарного типа при частотах 24, 40 и 70 кГц (рис. 1), представленных компанией «Дерманика», г. Москва.

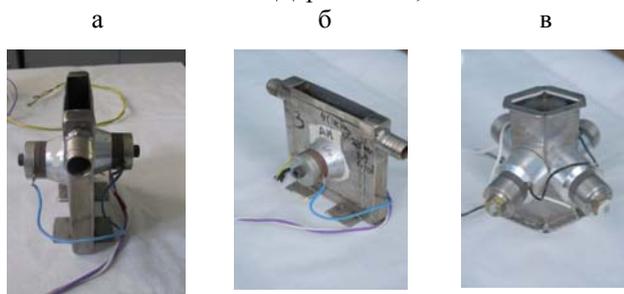


Рис. 1 - Экспериментальные МКР: а – 24кГц; б – 40 кГц; в – 70 кГц

Продолжительность ультразвукового воздействия составляла 1-5 минут. Обязательным условием проведения экспериментальных исследований являлось строгое фиксирование объема озвучиваемой пробы, начальной и конечной температур иловой суспензии для корректного анализа и сопоставления полученных результатов. В ходе эксперимента определяли содержание аммонийного и нитритного азота, а также фосфатов в исходной и озвученной пробах надиловой жидкости в соответствии со стандартными методами анализа [5-7].

### Результаты и их обсуждение

В настоящей работе обобщены и систематизированы результаты собственных исследований с последующей их математической обработкой с целью выявления влияния продолжительности ультразвуковой обработки на выход из клетки в среду биогенных элементов.

Получение биогенных элементов на основе активного ила, подвергшегося жесткому ультразвуковому воздействию, позволит:

- использовать избыточный ил в качестве вторичного сырья для получения биогенных элементов в легко усвояемой для клетки форме;
- уменьшить объемы биошлама, идущего на захоронение;
- снизить затраты на закупку соответствующих солей и выплаты за складирование избыточного активного ила, что обуславливает необходимость и целесообразность проводимых исследований.

Для получения достоверной информации была проведена серия экспериментов с обязательным дублированием аналитических определений для каждой пробы надиловой жидкости (табл. 1).

Для описания процесса деструкции активного ила было использовано уравнение регрессии в виде полиномиальной зависимости второго порядка функции двух переменных [8]:

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j + \sum_{j=1}^{k-1} \sum_{i=j+1}^k b_{ji} x_j x_i + \sum_{j=1}^k b_{jj} x_j^2$$

**Таблица 1 – Концентрация биогенных элементов в надилловой жидкости до и после УЗО (в качестве примера)**

Проба	Условия УЗО τ, мин	С, мг/дм <sup>3</sup>		
		NO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
24 кГц				
1	0	0,13±0,02	0,15±0,05	<0,05
	1	0,12±0,02	0,15±0,05	<0,05
1	2	3	4	5
	2	0,14±0,02	0,24±0,08	0,45±0,07
2	5	0,29±0,04	0,56±0,20	0,05±0,01
	0	0,12±0,02	<0,05	<0,05
2	1	0,07±0,01	0,11±0,04	<0,05
	2	0,47±0,07	0,33±0,12	0,06±0,01
2	5	0,30±0,04	0,58±0,21	<0,05
	0	0,30±0,04	0,11±0,04	<0,05
3	1	0,34±0,05	0,24±0,08	<0,05
	2	0,65±0,09	0,47±0,16	0,05±0,01
3	5	0,47±0,07	0,74±0,26	0,06±0,01
	40 кГц			
1	0	0,13±0,02	0,15±0,05	<0,05
	1	0,39±0,05	0,74±0,26	0,17±0,03
2	2	0,66±0,09	0,96±0,34	0,40±0,06
	5	0,52±0,07	1,28±0,27	0,60±0,08
2	0	0,12±0,02	<0,05	<0,05
	1	0,52±0,07	0,64±0,22	0,07±0,01
2	2	0,79±0,11	0,87±0,30	0,13±0,02
	5	0,47±0,07	1,10±0,23	0,66±0,09
3	0	0,30±0,04	0,11±0,04	<0,05
	1	0,66±0,09	0,74±0,26	0,18±0,03
3	2	0,97±0,14	1,01±0,21	0,19±0,03
	5	0,92±0,13	1,32±0,28	0,54±0,08
70 кГц				
1	0	0,13±0,02	0,15±0,05	<0,05
	1	0,03±0,01	0,29±0,10	<0,05
2	2	0,25±0,04	0,56±0,20	0,05±0,01
	5	0,29±0,04	0,96±0,34	0,11±0,02
2	0	0,12±0,02	<0,05	<0,05
	1	0,01±0,002	0,20±0,07	<0,05
2	2	0,34±0,05	0,47±0,16	<0,05
	5	0,25±0,04	0,78±0,27	0,07±0,01
3	0	0,30±0,04	0,11±0,04	<0,05
	1	0,16±0,02	0,33±0,12	<0,05
3	2	0,57±0,08	0,60±0,21	0,06±0,01
	5	0,74±0,10	1,01±0,24	0,11±0,02

В результате математической обработки экспериментальных данных получено регрессионное уравнение вида:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2$$

где y – концентрация биогенного элемента; x<sub>1</sub> – частота, кГц; x<sub>2</sub> – продолжительность УЗО, мин.

Коэффициенты полученного регрессионного уравнения приведены в таблице 2.

Полученные значения коэффициентов детерминации свидетельствуют о достаточно хорошей

сходимости расчетных и экспериментальных данных (рис. 2).

**Таблица 2 - Коэффициенты регрессионного уравнения**

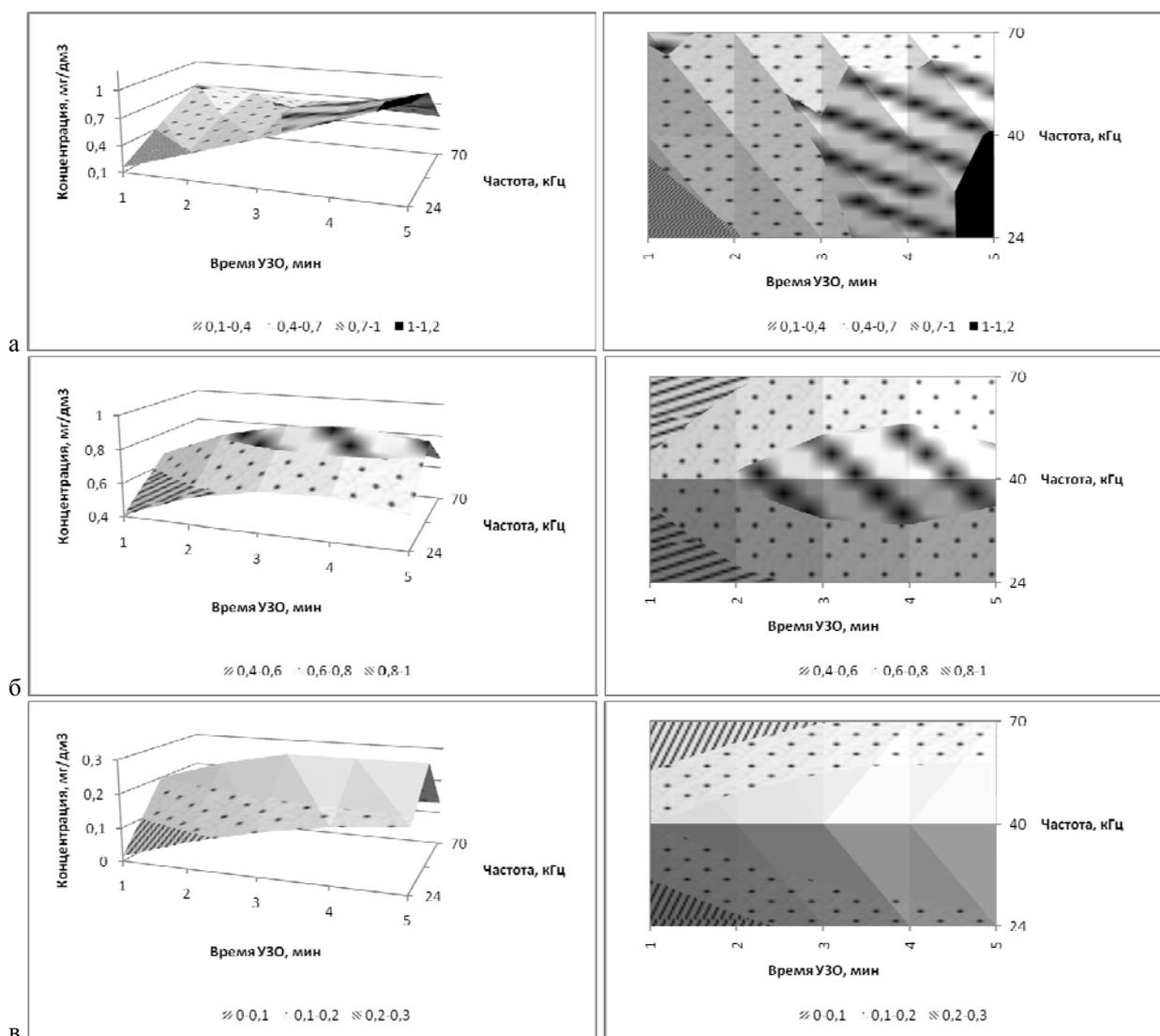
Коэффициенты регрессии	Значения
1	2
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	
b0	-5,74580
b1	2,22351
b2	0,12481
b11	-0,24375
b22	-0,00704
b12	-0,00705
R <sup>2</sup>	85,641332
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	
b0	11,51383
b1	-5,61783
b2	0,03451
b11	0,63498
b22	-0,03334
b12	0,04022
1	2
R <sup>2</sup>	79,277261
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
b0	18,39956
b1	-7,77964
b2	2,11219
b11	0,78565
b22	0,00526
b12	-0,35161
R <sup>2</sup>	83,290295

Из представленного материала следует:

- полученные зависимости имеют экстремальный характер, максимум которых однозначно соответствует частоте озвучивания 40 кГц для всех исследованных показателей. При этом максимальная концентрация биогенных элементов достигает 0,97 мг/дм<sup>3</sup> для нитритов, 0,57 мг/дм<sup>3</sup> для аммонийного азота, 0,45 мг/дм<sup>3</sup> для фосфатов, при продолжительности ультразвуковой обработки соответственно 2; 2,5 и 3 мин;

- сопоставление экспериментальных результатов, полученных при частотах 24 и 70 кГц, свидетельствует о неэффективности последних для деструкции активной биомассы с целью выделения в надилловую жидкость биогенных элементов;

- изученные режимы ультразвукового воздействия не позволяют полностью исключить затраты на приобретение солей аммония и суперфосфата, используемых в производственных условиях в качестве биогенных элементов, так как для достижения необходимого соотношения БПК:N:P = 100:5:1 (соотношение для сточных вод производств органического синтеза 168,2:1,34:0,17 = 100:0,8:0,1) требуются большие объемы избыточной биомассы.



**Рис. 1 – Изменение выхода биогенных элементов в динамике при разных режимах УЗО: а - аммоний; б - нитриты; в – фосфаты**

Таким образом, проведенные исследования подтвердили возможность использования низкочастотного ультразвука для получения биогенных элементов и показали необходимость изыскания оптимальных условий, обеспечивающих максимальное деструктурирование активного ила.

### Литература

1. Н. С. Жмур, *Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками*, АКВАРОС, Москва, 2003, 512 с.
2. Е.С. Балымова, Р.К. Закиров, Ф.Ю. Ахмадуллина *Вестник Казанского технологического университета*, 11, 339–347 (2012)
3. СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения»
4. В. Я. Гербер, В. И. Лукьянова, И. А. Попова, *Биохимическая очистка сточных вод нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов*, ЦНИИГЭ нефтехим., Москва, 1974, 115 с.
5. *Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера*, ПНД Ф 14.1:2.1-95 (издание 2004 г.)
6. *Методика измерений массовой концентрации нитрит-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса*, ПНД Ф 14.1:2.4.3-95 (издание 2011 г.)
7. *Методика измерений массовой концентрации фосфат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с молибдатом аммония*, ПНД Ф 14.1:2.4.112-97 (издание 2011 г.)
8. Е.С. Балымова, Р.К. Закиров, Р.Р. Гайнетдинова, Ф.Ю. Ахмадуллина *Вестник Казанского технологического университета*, 2, 50-52 (2012)

© Р. К. Закиров - к.т.н., доц. каф. промышленной биотехнологии КНИТУ; Е. С. Балымова - нач. Испытательного лабораторного центра – начальник лаборатории биологических очистных сооружений ОАО «Казанского завода синтетического каучука», elena-balymova@rambler.ru; О. Е. Сидоров - магистрант каф. промышленной биотехнологии КНИТУ; Ф. Ю. Ахмадуллина – ст. препод. той же кафедры.