

УДК 620.95:628.3

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД НА ВЫХОД БИОГАЗА

Т. В. ШКОДОВ, Н. С. РУЧАЙ, И. Н. КУЗНЕЦОВ⁺, А. И. ЛЕМБОВИЧ, Е. А. ФЛЮРИК

УО «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова, 13а, 220050 г. Минск, Беларусь.

Исследовано изменение фракционного состава взвешенных веществ сырого осадка и уплотненного избыточного активного ила под воздействием ультразвука (22 МГц). Установлено, что обработка ультразвуком смеси сырого осадка и активного ила (1:1 по объему) приводит к расщеплению взвешенных частиц и переходу части взвешенных веществ в растворенное состояние. Содержание растворенных веществ в надосадочной жидкости возрастает в 3,5 раза, что интенсифицирует процесс метангенерации. При обработке ультразвуком смеси сырого осадка и активного ила с вводом энергии порядка 50 000 кДж/кг СВ выход биогаза в сравнении с контролем, возрастает в 1,7 раза и составляет 460,5 м³ на 1 т трансформированного органического вещества.

Введение

Осадки, образующиеся при очистке сточных вод на городских очистных сооружениях канализации, являются обременительным не утилизируемым отходом.

В 2010 г. на городских очистных станциях Республики Беларусь образовалось осадков более 199 тыс. т по сухому веществу, в том числе 80,5 тыс. т сырых осадков из первичных отстойников и 66,3 тыс. т избыточного активного ила. К настоящему времени около 4 млн. т осадков (по сухому веществу) накоплено на иловых площадках и полигонах, что представляет серьезную угрозу окружающей среде. На городских очистных станциях осадки подвергаются механическому обезвоживанию с последующим депонированием концентрата (кека). На обезвоживание и обезвреживание осадков затрачивается большое количество энергии и реагентов.

Наиболее перспективным методом переработки осадков является анаэробное сбраживание с получением источника энергии – биогаза.

Химический состав сырых осадков из первичных отстойников и избыточного активного ила существенно различается (табл. 1), а содержание основных органических и минеральных компонентов изменяется в довольно широких пределах [1].

Сырые осадки содержат в больших количествах жиры и полисахариды (в том числе труднорасщепляемую целлюлозу), избыточный активный ил отличается высоким содержанием белков.

Таблица 1. Состав осадков городских сточных вод, % по сухому веществу

Компоненты	Сырой осадок	Активный ил
Органическое вещество	62,0–85,9	74,0–75,6
Зольность	38,0–55,1	24,5–26,2
Жиры (эфирорастворимые)	16,0–35,0	11,0–21,0
Белки	18,0–31,4	51–60
Углеводы, в том числе:	15,2–37,4	3,7–5,4
а-целлюлоза	6,2–12,4	0,5–1,3
г-целлюлоза	7,3–15,5	2,5–3,1
Общий азот	3,2–3,7	6,7–7,3
Общий фосфор	1,4–2,1	5,4

Сбраживание осадков в метантенках является длительным процессом, продолжительность которого в зависимости от температурного режима колеблется от 10 до 25 суток.

При анаэробной переработке осадков лимитирующей стадией процесса метангенерации является гидролиз взвешенных веществ, в связи с чем целесообразно исследование методов предварительной обработки осадков с целью интенсификации процесса метангенерации и увеличения выхода биогаза. Для увеличения скорости анаэробного расщепления взвешенных веществ осадков применяют тепловую обработку, кислотный или щелочной гидролиз и другие методы [1, 2].

Цель работы – исследование влияния ультразвуковой обработки осадков сточных вод на эффективность анаэробной трансформации органических веществ осадков.

⁺ Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: i.n.kuznetsov@gmail.com.

Методы исследований

В экспериментах использовали сырой осадок (содержание сухих веществ 3,0–3,5%) и уплотненный избыточный активный ил (содержание сухих веществ 1,6–1,8%), полученные на очистных сооружениях ОАО «Слонимский водоканал».

Ультразвуковой обработке (УЗ-обработке) подвергали отдельно сырой осадок и уплотненный активный ил, а также их смесь в соотношении 1:1 по объему с использованием ультразвукового генератора УЗДН-2Т мощностью 400 Вт при частоте колебаний 22 МГц. Продолжительность УЗ-обработки проб осадков определялась количеством энергии, вводимой в пробу в расчете на единицу массы сухого вещества (СВ) осадков. Величину вводимой энергии изменяли в пределах 10000–80000 кДж/кг СВ осадков.

Количество вводимой энергии при ультразвуковой обработке осадков (E , кДж/кг СВ) рассчитывали по формуле:

$$E = (NT \cdot 1000 \cdot 100) / (V \rho c),$$

где N – мощность ультразвукового генератора, Вт; T – продолжительность обработки, с; V – объем обрабатываемой пробы, л; ρ – плотность суспензии, кг/м³; c – концентрация сухих веществ в суспензии, %.

Эффективность ультразвуковой обработки оценивали по увеличению показателя ХПК (химическое потребление кислорода) надосадочной жидкости (фугата), полученной разделением обработанных осадков центрифугированием при 5000 мин⁻¹ в течение 20 мин.

Для определения показателя ХПК фугата осадков использовали прибор фирмы HANNA instruments (Германия), состоящий из термореактора HI839800 и спектрофотометра HI83214. Анализ проводили стандартным экспресс-методом [3].

Образцы исходных осадков и осадков после УЗ-обработки исследовали микроскопированием, а также анализом растровых изображений включений в компьютерной программе Autoscan Colonies (Bioscan) (производитель ЗАО «Спектро-

скопические системы», Республика Беларусь) для оценки изменений во фракционном составе взвешенных веществ осадков.

Микроскопирование препаратов производили с использованием микроскопа фирмы «KRUSS» (Германия) MBL-2000-T-30W-PH с фазово-контрастным набором MM 2030 при увеличении в 100 раз.

Анаэробное сбраживание осадков проводили в лабораторных биореакторах периодического действия объемом 0,5 л, инокулированных предварительно накопленным анаэробным активным илом в количестве 30–50 мл. Биореакторы функционировали в термофильном режиме. Температуру в биореакторах (50±0,2 °C) поддерживали термостатированием в жидкостном термостате ТЖ-ТС-01.

Эффективность сбраживания осадков контролировали по изменению содержания сухого вещества и количеству выделяемого биогаза. Количество выделившегося биогаза определяли используя счетчик газа фирмы «Ritter» (Германия) MGC-1V3.0PMMA, а также измерительные сосуды, работающие по принципу вытеснения газом жидкости при атмосферном давлении.

Сухие вещества в исследуемых пробах осадков определяли по стандартной методике [3] упариванием в тиглях из алюминиевого сплава с последующим высушиванием при 105 °C до постоянной массы.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Ультразвуковая обработка приводит к расщеплению коллоидных и взвешенных частиц и переходу их вещества в растворенное состояние, что контролировали по увеличению показателя ХПК фугата осадков (рис. 1). Как видно из рисунка показатель ХПК фугата в результате УЗ-обработки возрастает в 3,5 раза. Наибольший прирост показателя ХПК наблюдается при увеличении количества вводимой энергии до 30000 кДж/кг СВ, в дальнейшем прирост величины ХПК замедляется.

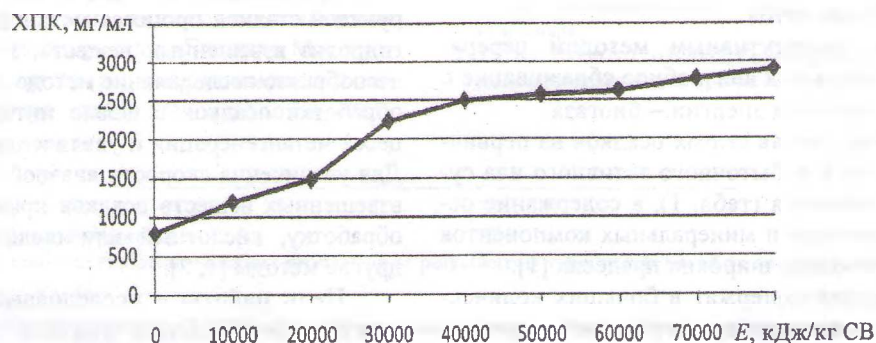


Рис. 1. Изменение показателя ХПК жидкой части осадков (сырой осадок + активный ил в соотношении 1:1 по объему) в результате ультразвуковой обработки

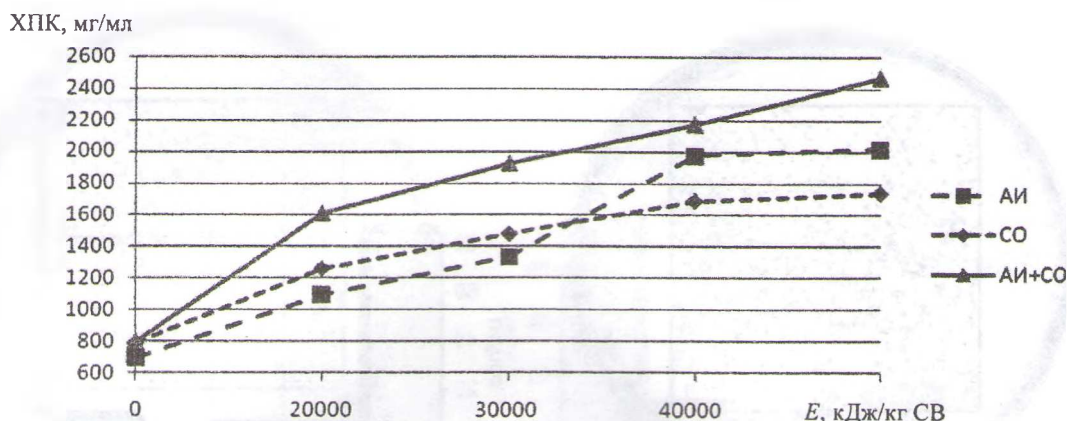


Рис. 2. Изменение показателя ХПК жидкой части осадков при раздельной обработке ультразвуком

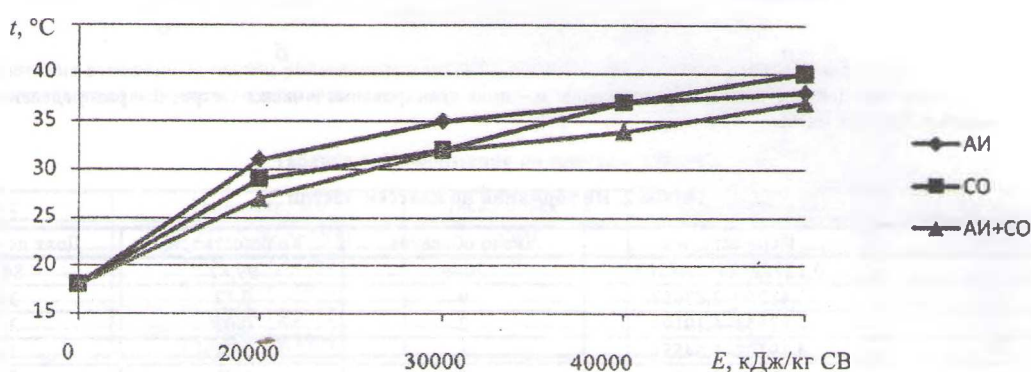


Рис. 3. Изменение температуры исследуемых образцов осадков при ультразвуковой обработке

Сырой осадок и избыточный активный ил значительно различаются по компонентному составу. В связи с этим представляет интерес исследовать эффективность раздельной УЗ-обработки сырого осадка и избыточного активного ила. Эксперименты показали (рис. 2), что при подводимой энергии до 30000 кДж/кг СВ в растворенное состояние переходит больше веществ из сырого осадка, чем из активного ила, но различие невелико. При дальнейшем увеличении количества вводимой энергии резко увеличивается количество вещества, перешедшего в растворенное состояние из биомассы активного ила. В наибольшей степени возрастает величина показателя ХПК жидкой части при ультразвуковой обработке смеси сырого осадка и активного ила.

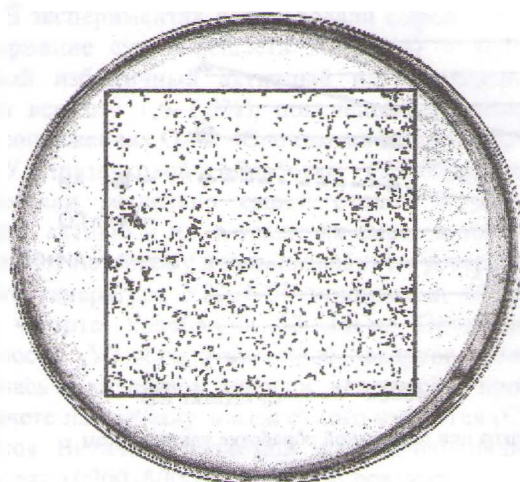
Увеличение продолжительности ультразвукового воздействия приводит к повышению температуры обрабатываемых проб осадков с 18 до 40 °C (рис. 3), что приемлемо технологически в связи с возможностью интенсификации процесса метангенерации созданием термофильных условий анаэробной переработки осадков.

Микроскопирование и анализ фракционного состава взвешенных веществ осадков до и после ультразвуковой обработки с помощью компьютерной программы «Bioscan» показали, что

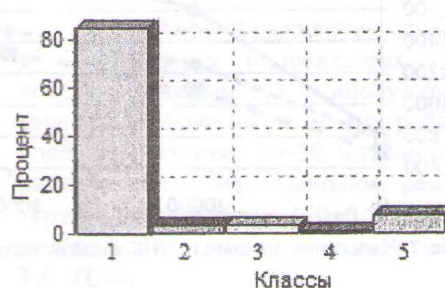
частицы взвешенных веществ расщепляются с образованием мелко-дисперсных взвесей. Сканированием тонкого слоя исследуемых суспензий установлено, что доля частиц с наименьшим радиусом возрастает в результате УЗ-обработки (30000 кДж/кг СВ) в сыром осадке с 84 до 98% (рис. 4, 5), в активном иле с 78 до 100% (рис. 6, 7). Информация по распределению частиц взвешенных веществ сырого осадка и активного ила по размерам представлена соответственно в табл. 2, 3 и 4, 5.

Сравнительный микроскопический анализ исследуемых образцов осадков также демонстрирует уменьшение размеров частиц взвешенных веществ после ультразвуковой обработки (рис. 8).

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о существенных изменениях в структуре взвешенных частиц под воздействием ультразвука и позволяют прогнозировать повышение степени био-трансформации сухих веществ осадков и увеличение выхода биогаза. В связи с этим исследовали динамику накопления биогаза в биореакторах периодического действия, функционирующих в идентичных условиях (50 °C, инокулят 30 мл) и загруженных смесью сырого осадка и уплотненного активного ила (1:1 по объему), обработанной ультразвуком с различным количеством подведенной энергии.



а

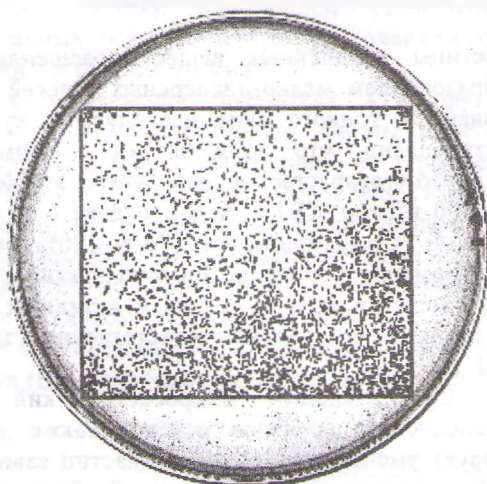


б

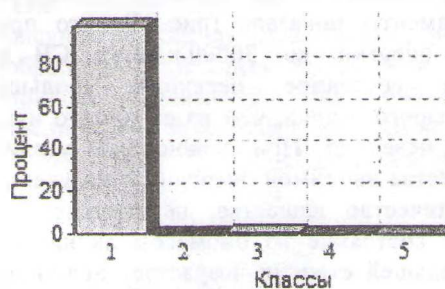
Рис. 4. Сканирование взвешенных частиц сырого осадка: а – поле сканирования в чашке Петри; б – распределение частиц по классам в зависимости от их массы

Таблица 2. Информация по классам частиц

Класс	Периметр, мм	Число объектов	Количество, %	Доля по массе, %
1	0,12752524–1,48202	7049	99,82	84,78
2	1,48200–2,83652	9	0,13	3,09
3	2,83653–4,19101	2	0,03	3,74
4	4,19102–5,54551	1	0,01	1,20
5	5,54552–6,9	1	0,01	7,20



а



б

Рис. 5. Сканирование взвешенных частиц сырого осадка после обработки ультразвуком (30 000 кДж/кг СВ): а – поле сканирования в чашке Петри; б – распределение частиц по классам в зависимости от их массы

Таблица 3. Информация по классам частиц

Класс	Периметр, мм	Число объектов	Количество, %	Доля по массе, %
1	0,12752524–1,48202	14104	99,92	98,00
2	1,4820–2,83652	8	0,06	0,36
3	2,83653–4,19101	3	0,02	1,43
4	4,19102–5,54551	1	0,01	0,21
5	5,54552–6,9	0	0,00	0,00

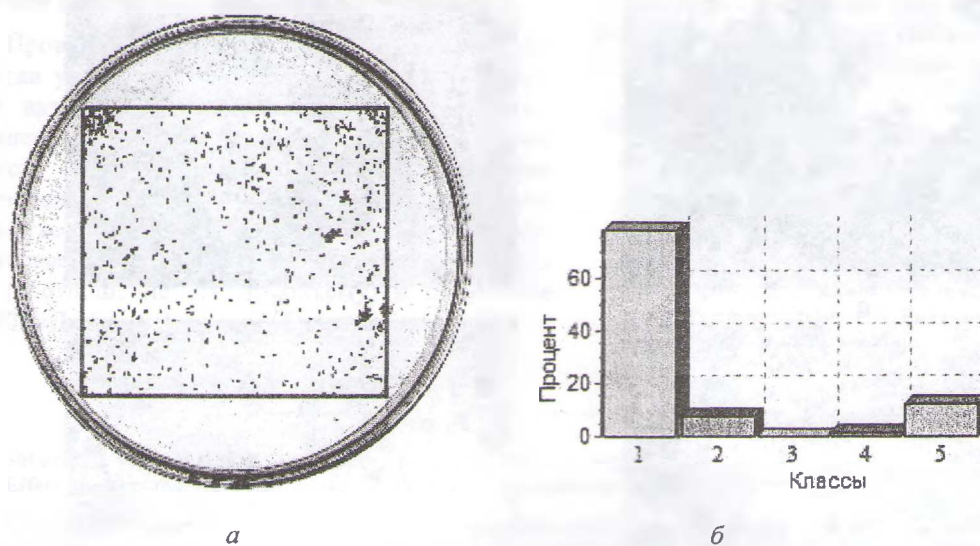


Рис. 6. Сканирование взвешенных частиц уплотненного активного ила: а – поле сканирования в чашке Петри; б – распределение частиц по классам в зависимости от их массы

Таблица 4. Информация по классам частиц

Класс	Периметр, мм	Число объектов	Количество, %	Доля по массе, %
1	0,12752524–3,98021	3509	99,66	78,28
2	3,98022–7,83289	9	0,26	7,72
3	7,83290–11,6856	0	0,00	0,00
4	11,6857–15,5382	1	0,03	1,72
5	15,5383–19,3909	2	0,06	12,28

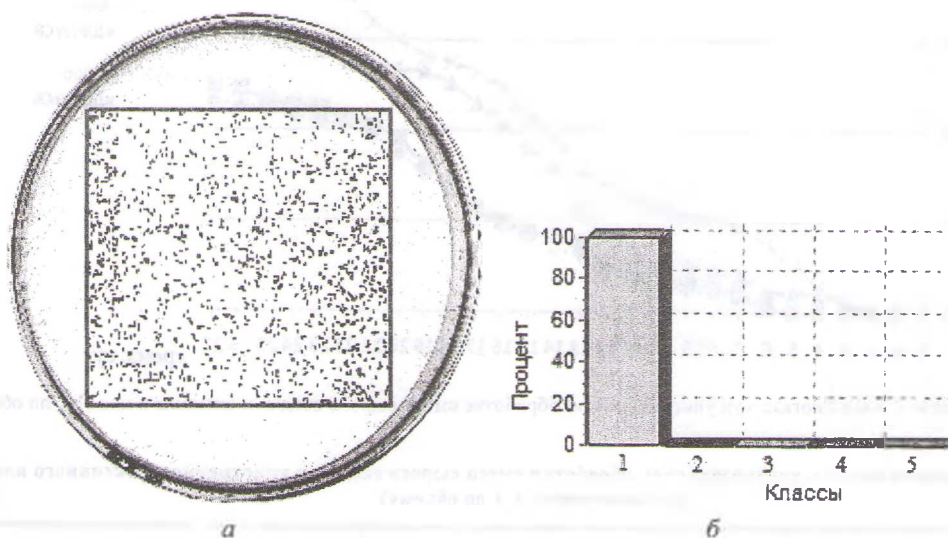


Рис. 7. Сканирование взвешенных частиц уплотненного активного ила после обработки ультразвуком (30 000 кДЖ/кг СВ): а – поле сканирования в чашке Петри; б – распределение частиц по классам в зависимости от их массы

Таблица 5. Информация по классам частиц

Класс	Периметр, мм	Число объектов	Количество, %	Доля по массе, %
1	0,12752524–3,98202	5902	100,00	100,00
2	3,98203–7,83652	0	0,00	0,00
3	7,83653–11,691	0	0,00	0,00
4	11,692–15,5455	0	0,00	0,00
5	15,5456–19,4	0	0,00	0,00

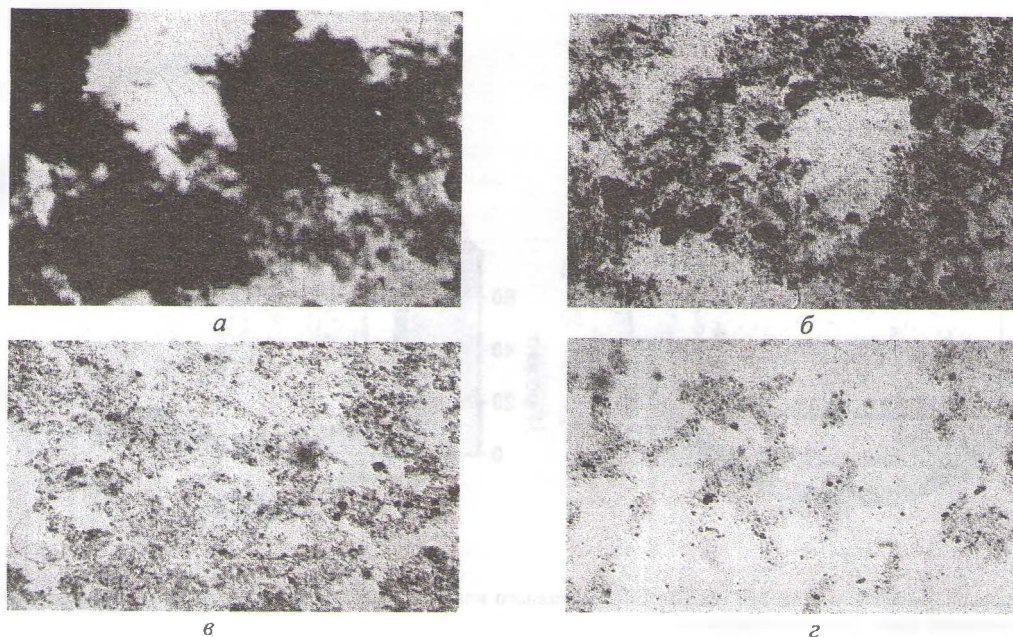


Рис. 8. Микроскопические препараты образцов сырого осадка (а, б) и активного ила (в, г) до и после ультразвуковой обработки соответственно

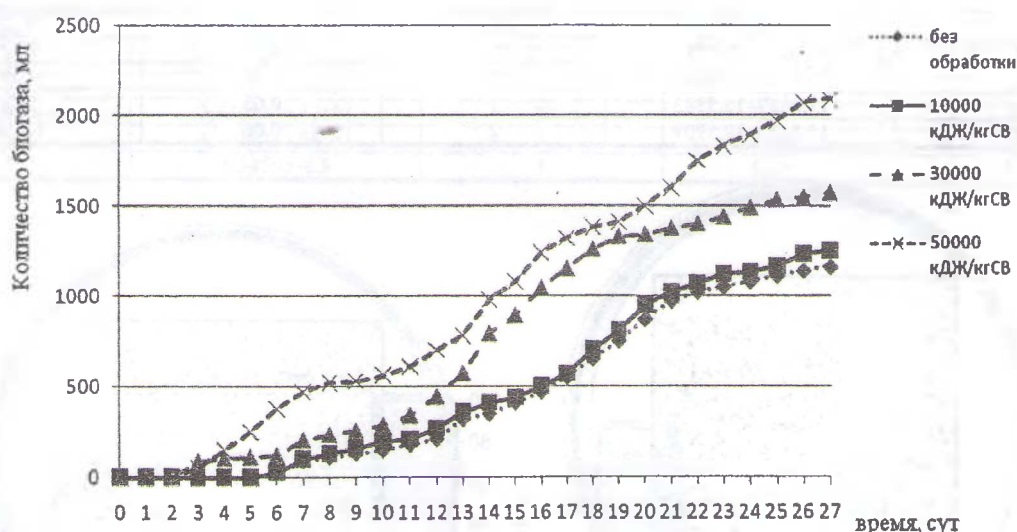


Рис. 9. Динамика накопления биогаза при ультразвуковой обработке смеси сырого осадка и активного ила (1:1 по объему)

Таблица 6. Эффективность ультразвуковой обработки смеси сырого осадка и уплотненного активного ила (в соотношении 1:1 по объему)

Количество введенной энергии, кДж/кг СВ	Содержание сухих веществ, %		Степень трансформации сухих веществ, %	Количество образовавшегося биогаза, мл	Выход биогаза, м ³		
	исходная смесь осадков	сброженная масса			из 1 т трансформированного вещества	на 1 т сухих веществ	на 1 т осадков
0	2,28	1,27	44,3	1200	297,0	131,6	3,0
10000	2,26	1,22	46,0	1250	300,5	138,3	3,1
30000	2,15	1,10	48,8	1570	373,8	182,6	3,9
50000	2,05	0,91	56,0	2100	460,5	256,1	5,2

Продолжительность процесса анаэробного сбраживания осадков составила 27 суток. Как следует из рис. 9 обработка осадков ультразвуком интенсифицирует процесс биотрансформации органических веществ: выход биогаза возрастает в 1,7

раза. Степень трансформации сухих веществ осадков возрастает с 44,3 до 56%, а выход биогаза из 1 т сухих веществ осадков увеличивается с 131,6 до 256,1 м³ (табл. 6).

Выводы

Проведенные исследования показали, что обработка ультразвуком сырого осадка и избыточного активного ила приводит к расщеплению взвешенных частиц и переходу части взвешенных веществ в растворенное состояние. Содержание растворенных веществ в надосадочной жидкости возрастает в 3,5 раза. При подводе энергии в обрабатываемую смесь сырого осадка и активного ила (соотношение 1:1 по объему) в количестве 50000 кДж/кг СВ выход биогаза возрастает, в

сравнении с контролем (без ультразвуковой обработки), в 1,7 раза и составляет 460,5 м³ из одной тонны трансформированного сухого вещества.

Литература

1. Гюнтер, Л.И. Метантенки / Л.И. Гюнтер, Гольдфарб Л.Л. – М.: Стройиздат, 1991. – 128 с.
2. Chu, C.P., Chang, B., Liao, G. S., Jean, D. S., Lee, D. J., (2001). Observations on changes in ultrasonically treated waste-activated sludge. *Water Res.* 35, 1038–1046.
3. Емельянова, И.З. Химико-технический контроль гидролизных производств / И.З. Емельянова. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 328 с.

Shkodov T. V., Ruchai N. S., Kuznetsov I. N., Lembovich A. I., and Flyurik E. A.

Effect of ultrasonic treatment of municipal sewage sediment on biogas output.

Changes in fractional composition of suspended substances wet deposit and thickened excess active sludge under the influence of ultrasonic treatment (22 MHz) was investigated. Ultrasonic treatment of the wet deposit and activated sludge mix (1:1 by volume) leads to splitting of suspended particles and their partial transition into a dissolved condition. The content of dissolved substances in the liquid over the deposit increases 3.5 times, which intensifies the process of methane production. The ultrasonic treatment of the wet deposit and active sludge mix by 50000 kJ/kg energy results in the output of biogas 1.7 times surpassing the control one, and making up 460.5 m³/m of the transformed organic substance.

Поступила в редакцию 04.10.2011.

© Т. В. Шкодов, Н. С. Ручай, И. Н. Кузнецов, А. И. Лембович, Е. А. Флюрик, 2012.