УДК 628.355

М. В. Рымовская, канд. техн. наук, доц.,
Р. М. Маркевич, доц., канд. техн. наук, доц.,
А. А. Масехнович, ассист., О. В. Нестер, ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ АЭРАЦИИ И НАГРУЗКИ ПО ОРГАНИЧЕСКИМ ВЕЩЕСТВАМ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНУЛ АЭРОБНОГО АКТИВНОГО ИЛА

Аэробная биологическая очистка в системах с флокулированным илом используется практически повсеместно. При воздействии ряда факторов одновременно с рыхлыми хлопками ила формируются гранулы, представляющие собой компактные стабильные округлые структуры, в которых клетки микроорганизмов плотно упакованы в матрикс экзополимеров, поэтому скорость деструкции органических веществ и эффективность отделения от биологически очищенной воды в системах с гранулированным илом больше, чем в системах с флокулированным илом. Несмотря на то, что биологические аспекты различаются, влияние физико-химических факторов на образование гранул аэробного, анаэробного и аннамокс-ила являются общими для всех видов илов. Наиболее значимыми условиями формирования таких гранул на настоящем этапе считают чередование периодов голодания и изобилия питания, гидродинамические условия, присутствие в среде двухвалентных катионов, образование клетками микроорганизмов экзополисахаридов и экзопротеинов, межвидовые взаимодействия микроорганизмов [1]. Для аэробного активного ила среди важных факторов отмечают использование продленной аэрации и потому – наличие периодов эндогенного дыхания [2]. Интересным подходом является использование гидроциклонов для отбора «тяжелой» (более плотной и компактной) фракции флокулированного ила [3].

Объектом исследования являлся процесс аэробной очистки городских сточных вод в лабораторных биореакторах с флокулированным активным илом.

Предмет исследования – эффективность образования и морфология скоплений микроорганизмов активного ила (хлопков и гранул). В ходе эксперимента варьировались два основных условия функционирования ила: нагрузка по органическим веществам (загрязнителям) в составе сточной воды и уровень аэрации.

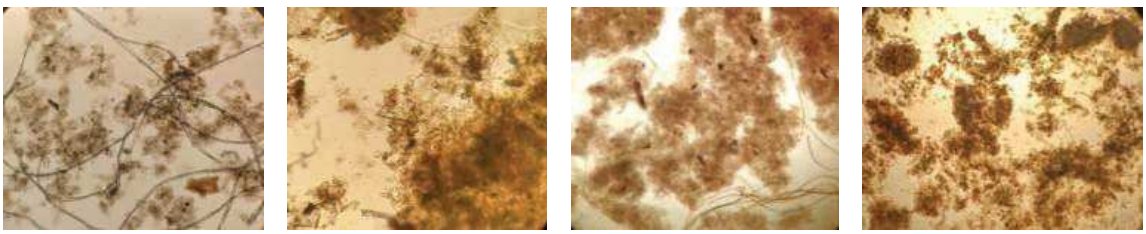
Цель работы – оценить влияние уровня аэрации и нагрузки по органическим веществам на образование гранул аэробного активного ила.

При оценке качества ила учитывали развитие нитчатых форм бактерий в хлопке активного ила, определяли размер хлопков и гранул ила с использованием объект-микрометра. При микроскопировании оценивали плотность хлопков ила с делением их на «легкую» и «тяжелую» фракции, опираясь на сравнительный анализ интенсивности луча света, проходящего через микроскопируемый препарат, и на характер поверхности (края) хлопков.

Для моделирования биотехнологических систем использовали уплотненный активный ил из аэротенка Минской очистной станции и модельную сточную воду. В качестве рабочих нами были выбраны режимы подпитки, обеспечивающие нагрузку по органическим веществам по ХПК 530 и 1060 мгО/(дм^3·сут), что интерпретировали как условия моделирования двух вариантов средненагружаемых систем по нижней и близкой к верхней границам. В период пуска системы выдерживали при нагрузке 210 мгО/(дм^3·сут). Подпитку проводили 1 раз в сут, режим эксплуатации – полуненепрерывный.

Для моделирования различающихся условий аэрации биореакторы помещали в шейкеры-инкубаторы с круговым движением платформ и различающейся интенсивностью встряхивания. Концентрации растворенного кислорода для аноксидных условий, умеренной и средней аэрации в условиях эксплуатации составили соответственно 0,8±0,4, 1,5±0,3, 2,6±0,3 мгO_2/дм^3. Особенностью этой работы стало накопление исходного инокулята для моделирования каждой из систем в двух вариантах условий: аноксидных и при средней аэрации.

Уровень аэрации и нагрузка по органическим веществам в условиях эксперимента не оказывали существенного влияния на развитие нитчатых форм бактерий в хлопке активного ила (рис. 1), они встречались в небольшом количестве и не оказывали влияния на структуру хлопка.



а *б* *в* *г*

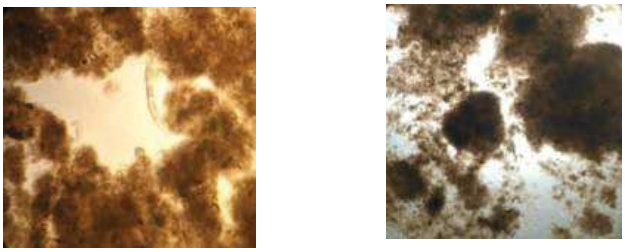
Рисунок 1 – Микрофотографии аэробного активного ила из модельных систем 100×, полученные в аноксидных (*а*, *б*) и аэробных (*в*, *г*) условиях

В табл. 1 приведены результаты оценки влияния уровня аэрации и низкой нагрузки по органическим веществам на этапе накопления инокулятов на размер хлопков и гранул активного ила.

Таблица 1 – Размер хлопков и гранул при выдерживании модельных биореакторов в режиме подпитки 1 раз в 5 сут

Длительность выдерживания в режиме подпитки 210 мгО/(дм^3·сут) в период пуска, сут	Концентрация растворенного кислорода мг O_2/дм^3			
	0,8±0,4	2,6±0,3	0,8±0,4	2,6±0,3
	Средний размер, мкм:			
	хлопков ила		гранул ила	
3	1. 10-40	2. 10-40	3. нет	4. нет
7	5. 50-150	6. 50-100	7. нет	8. нет
14	9. 100-300	0. 200-600	1. 500-1000	2. 900-14000
28	13. 400-700	4. 100-400	5. 400-700	16. 500-800

Хлопки ила в выбранном режиме культивирования в течение первых двух недель увеличились в размерах, в течение следующих двух недель уплотнились в 1,5-2 раза. К концу второй недели эксперимента сформировались крупные гранулы до 1,4 мм, по прошествии еще двух недель они уплотнились и уменьшились в размерах в 1,2-1,8 раза. При уровне аэрации 0,8±0,4 мгO_2/дм^3 сформировались хлопки ила, по плотности и размеру сравнимые с гранулами, однако с неровным краем (рис. 2, а в сопоставлении с рис. 2, б).



а *б*

Рисунок 2 – Микрофотографии аэробного активного ила из модельных систем 100×, полученные в аноксидных (*а*) и аэробных (*б*) условиях

В табл. 2 приведены результаты оценки влияния уровня аэрации и нагрузки по органическим веществам на размер хлопков и гранул активного ила. Размер хлопков ила «легкой» фракции для всех вариантов эксперимента составил в среднем 100-300 мкм. Использование инокулята, накопленного в аноксидных условиях, при условиях средней аэрации привело к формированию относительно мелких хлопков (менее 100 мкм). Плотные хлопки ила («тяжелая» фракция) при средних нагрузках по органическим веществам

формировались преимущественно в условиях умеренной и средней аэрации при накоплении инокулята активного ила в условиях средней аэрации, размер хлопков 100-300 мкм.

Для формирования гранул важным фактором являлась повышенная нагрузка на ил, при этом размер гранул составил от 0,4 до 1,8 мм. В аноксидных условиях при нагрузке по нижней границе средненагружаемых систем на размер гранул повлияли условия накопления инокулята: 0,2-0,6 мм при аноксидных условиях и 0,9- 2,0 мм при средней аэрации.

Таблица 2 – Размер хлопков и гранул при выдерживании модельных биореакторов в режиме подпитки 1 раз в 1 сут при средних нагрузках

Концентрация растворенного кислорода, мгО2/дм³	Условия накопления инокулята			
	аноксидные		средняя аэрация	
	Нагрузка по органическим веществам на единицу объема, мг О/дм^3			
	530	1060	530	1060
Размер «легкой» фракции хлопков, мкм				
0,8±0,4	100–300	80–450	150–300	100–300
1,5±0,3	100–200	100–400	50–250	100–300
2,6±0,3	60–250	50–400	100–300	120–300
Размер «тяжелой» фракции хлопков, мкм				
0,8±0,4	отс.	отс.	отс.	отс.
1,5±0,3	200–350	отс.	100–200	100–300
2,6±0,3	отс.	отс.	200–300	100–300
Размер гранул, мкм				
0,8±0,4	150–500	400–1600	900-2000	450–1800
1,5±0,3	отс.	400–1200	отс.	400–700
2,6±0,3	200–600	200–2000	отс.	300–1800

Таким образом, при эксплуатации систем аэробной биологической очистки в полунепрерывном режиме подпитки с соблюдением кругового движения жидкости гранулы аэробного активного ила формировались к 14 сут эксперимента и затем уплотнялись. Формированию гранул способствовали эксплуатация модельных систем при повышенных нагрузках по органическим веществам независимо от уровня аэрации, а также поддержание аноксидных условий либо условий средней аэрации при любом варианте нагрузок на ил.

ЛИТЕРАТУРА

1 Mills, S. Unifying concepts in methanogenic, aerobic, and anammox sludge granulation / S. Mills [et al.]. – Environmental Science and

Ecotechnology. – 2024. – Vol. 17. – 2024. https://doi.org/10.1016/j.ese.2023.100310.

2 Wilén, B.-M. The mechanisms of granulation of activated sludge in wastewater treatment, its optimization, and impact on effluent quality / B.-M. Wilén [et al.]. – Applied Microbiology and Biotechnology. – 2018. – Vol. 102. – P. 5005–5020. https://doi.org/10.1007/s00253-018-8990-9.

3 Fumasoli, A. Indense - Verfahren für Granulierten Schlamm. Erfahrungen und Erkenntnisse aus einem ein jährigen Pilotenversuch auf der ARA Gossau-Grüningen / A. Fumasoli [et al.] // Aqua & Gas. – 2024. – Vol. 104, No. 1. – P. 32–39.

УДК 665.333.4:665.328

А. Н. Никитенко, канд. техн. наук, доц.,
С. А. Ламоткин, канд. хим. наук, зав. кафедрой
(БГТУ, г. Минск);
А. Е. Отуншиева, магистрант, ст. препод.
(ЮКУ имени М. Ауэзова, г. Шымкент)

ИННОВАЦИОННЫЕ КУПАЖИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ НА ОСНОВЕ СЫРЬЯ, ВЫРАБАТЫВАЕМОГО НА ТЕРРИТОРИИ СТРАН ЕАЭС

Анализ международных тенденций в области создания инновационных масел показал перспективу разработки купажей, объединяющих в себе множество полезных органических масел из различных видов растительного сырья. В Республике Беларусь, Казахстане и Российской Федерации широко возделываются следующие виды масел: льняное, хлопковое, подсолнечное, рыжиковое, обладающие богатым составом полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) омега-3, омега-6 и омега-9. Данные кислоты необходимы для здоровья человека и, известно, отдельные из них оказывают полезное влияние для предупреждения и лечения сердечно-сосудистых, воспалительных и ряда других заболеваний.

Ожидается, что спрос на натуральные и органические продукты продолжит расти, что приведет к дальнейшему росту спроса на льняное, хлопковое масло как на другие виды ценных масел. Растущее предпочтение потребителями натуральных и органических продуктов является существенным фактором роста спроса на масло.

Льняное масло богато жирными кислотами омега-3, которые известны своими многочисленными преимуществами для здоровья, включая уменьшение воспаления и улучшение здоровья сердца. По-