

## ОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕФОСФАТАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД

А.Р. Хабибуллина, А.А. Хасанова, Р.Ш. Бикүлов, Т.В. Вдовина, А.С. Сироткин

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Загрязнение водоприемников биогенными элементами в настоящее время представляет чрезвычайно острую экологическую проблему. Поступление соединений азота и фосфора в природные экосистемы приводит к эвтрофикации водоемов, загрязнению подземных водоносных горизонтов. В системах оборотного водопотребления они являются причиной обрастания поверхности трубопроводов и аппаратов водорослями [1].

Настоящая работа посвящена интенсификации процессов биологической дефосфатации сточных вод на основе использования фосфатаккумулирующих организмов (ФАО), выделенных из микробиоценоза активного ила очистных сооружений. Цель работы состояла в оценке фосфатаккумулирующей способности изолята ФАО и активного ила.

Экспериментальные исследования включали несколько этапов:

- расчет параметров процесса фосфатаккумуляции и составление баланса по фосфору (теоретическая оценка процесса);
- выделение изолята ФАО из сообщества активного ила;
- моделирование процесса фосфатаккумуляции в процессе периодического культивирования ФАО (экспериментальная оценка процесса);
- сравнительный анализ результатов теоретической и экспериментальной оценки фосфатаккумулирующей способности ФАО;
- моделирование процесса фосфатаккумуляции в процессе периодического культивирования сообщества активного ила;
- моделирование процесса фосфатаккумуляции в процессе периодического культивирования сообщества активного ила с интродукцией изолята А.

Объектом исследования выступал изолят ФАО (изолят А), выделенный из сообщества активного ила очистных сооружений г. Чистополь, по фенотипическим признакам отнесенный к бактериям рода *Acinetobacter*.

Экспериментальное моделирование процесса фосфатаккумуляции выполняли с реализацией 3-х последовательных стадий процесса [2]. Каждая стадия характеризовалась определенным кислородным режимом, связанным с:

- включением принудительной аэрации;
- выключением принудительной аэрации;
- возобновлением принудительной аэрации.

Эффективность фосфатаккумуляции контролировали на основании оценки содержания фосфатов в среде в процессе культивирования. Определение фосфат-ионов проводили по стандартной методике [3]. Концентрация растворенного кислорода определялась на приборе ULABUP-70410.

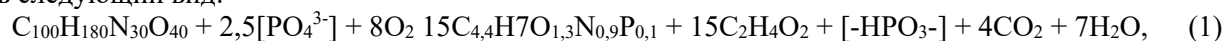
Для обработки экспериментальных данных использовался пакет прикладных программ MS Excel.

Ниже приведены результаты теоретического анализа процесса фосфатаккумуляции и его экспериментального исследования.

### 1 стадия – включение принудительной аэрации

Основным источником углерода для исследуемых изолятов является пептон, источником фосфора – дигидрофосфат калия. Поскольку выход энергии в процессе аэробного дыхания является значительным, в ходе первой стадии может наблюдаться прирост биомассы.

В соответствии с вышесказанным уравнение протекающего на первой стадии процесса может иметь следующий вид:

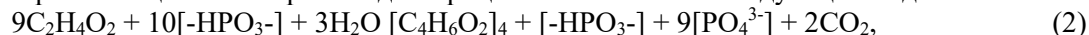


где  $C_{100}H_{180}N_{30}O_{40}$  – усредненная химическая формула пептона,  $[PO_4^{3-}]$  – фосфат-ионы, вносимые в питательную среду,  $C_{4,4}H_{7,1}N_{0,9}P_{0,1}$  – усредненная химическая формула биомассы,  $C_2H_4O_2$  – уксусная кислота,  $[-HPO_3^-]$  – звено внутриклеточной полифосфатной гранулы [4].

Из уравнения 1 следует, что из 0,8 моль фосфора фосфатов (Р-Р<sub>О</sub>) лишь 0,4 моль фосфора войдет в состав полифосфатов (Р-полиР), что составляет порядка 50 %.

## 2 стадия – выключение принудительной аэрации

Уравнение протекающего на второй стадии процесса может иметь следующий вид:

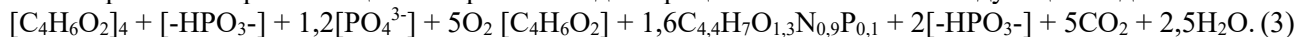


где  $[C_4H_6O_2]_4$  – полимерные насыщенные оксикислоты (ПНО).

Из уравнения 2 следует, что из 3,9 моль фосфора полифосфатов (Р-полиР) в питательную среду высвобождается 2,9 моль фосфора фосфатов (Р- $PO_4$ ), что составляет порядка 76 %.

## 3 стадия – возобновление принудительной аэрации

Уравнение протекающего на третьей стадии процесса может иметь следующий вид:



Из уравнения 3 следует, что из 0,4 моль фосфора фосфатов (Р- $PO_4$ ) 0,39 моль фосфора войдет в состав полифосфатов (Р-полиР), что составляет порядка 97 %.

Теоретически в ходе процесса фосфатаккумуляции, реализованного по трехстадийной схеме, из среды может быть удалено около 85 % фосфора-фосфатов.

Результаты, полученные в ходе экспериментального моделирования процесса фосфатаккумуляции с использованием изолята А, представлены на рисунке 1.

Полученные в процессе экспериментальных исследований результаты соответствуют литературным данным о зависимости концентрации фосфат-ионов от концентрации растворенного кислорода в процессе биологической очистки сточных вод [5].

В условиях постоянной аэрации наблюдается снижение концентрации фосфатов на 26 % от начального количества фосфатов (2-й час культивирования). Уменьшение количества растворенного кислорода в среде на 2,9 мг/дм<sup>3</sup> привело к высвобождению фосфора фосфатов в количестве 5 % от концентрации фосфора фосфатов на втором часу культивирования. Дальнейшее возобновление аэрации способствовало интенсивному потреблению фосфора фосфатов ФАО и снижению концентрации фосфора на 10 % по сравнению с показателями четвертого часа культивирования. Общая эффективность удаления фосфора фосфатов в процессе периодического культивирования бактерий изолята А в условиях изменения концентрации растворенного кислорода в пределах 4,2 -7,0 мг/дм<sup>3</sup> составила 30 %.

Полученные результаты биологической дефосфатации в процессе моделирования процесса фосфатаккумуляции с участием микроорганизмов изолята А (рис. 1) и результаты теоретических расчетов сведены в таблицу 1.

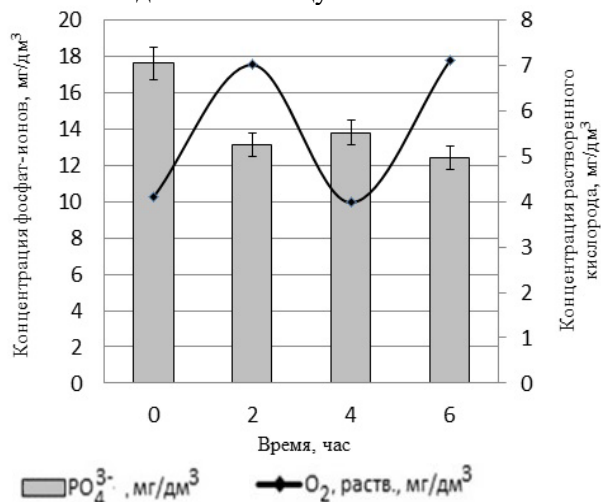


Рисунок 1 – Изменение концентраций фосфора фосфатов и растворенного кислорода в процессе периодического культивирования бактерий изолята А

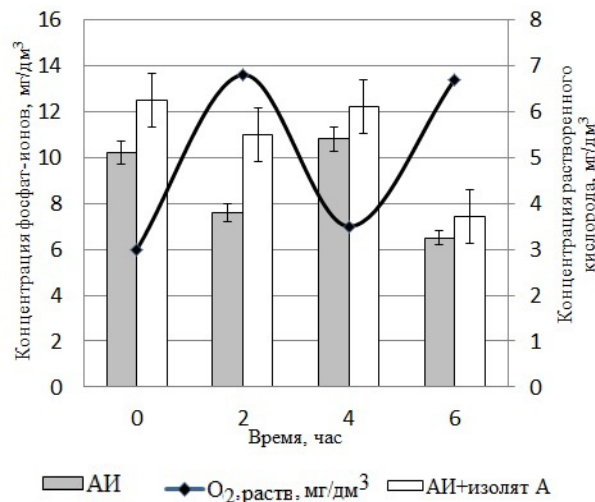


Рисунок 2 – Изменение концентраций фосфатов и растворенного кислорода в процессе периодического культивирования активного ила до и после биоаугментации изолята А

Из данных, представленных в таблице 1, очевидно, что процесс биологической дефосфатации в процессе экспериментального моделирования характеризуется довольно низкой эффективностью в сравнении с теоретически возможной: экспериментальная эффективность дефосфатации меньше расчетной в среднем на 55 %.

Таблица 1 – Теоретическое и экспериментальное количество удаленного (высвобожденного) фосфора фосфатов, мг/дм<sup>3</sup>

| Стадия моделирования<br>фосфатаккумуляции | Количество удаленного (высвобожденного) P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup> |         |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|                                           | расчетное                                                                                    | опытное |
| 1                                         | -3,2                                                                                         | -1,6    |
| 2                                         | +1,2                                                                                         | +0,1    |
| 3                                         | -3,9                                                                                         | -0,5    |
| весь период<br>моделирования              | -5,8                                                                                         | -1,9    |

Причинами выявленного дисбаланса могут быть:

Малое время моделирования процесса фосфатаккумуляции, недостаточное для прироста бактерий в составе изолята и достижения установившихся аэробных и анаэробных условий;

Использование чистой культуры, чувствительность которой к внешним факторам обычно выше, чем у смешанных биоценозов.

Выявление и устранение обозначенных причин требовало проведения дополнительных исследований с увеличением длительности каждой стадии моделирования и оценкой возможности биоаугментации бактерий изолята А в состав активного ила.

Результаты, полученные при моделировании биологической дефосфатации с использованием активного ила до и после биоаугментации изолята А, приведены на рисунке 2. Доза активного ила в системе культивирования составляла 4 г АСВ/дм<sup>3</sup>.

В условиях постоянной аэрации фосфат-ионы биологически потребляются, что приводит к снижению концентрации фосфатов на 2-й час культивирования на 24,5 и 8,8 % от начального количества фосфатов для активного ила и активного ила с интродуцированным изолятом А, соответственно. Уменьшение количества растворенного кислорода в среде на 3,6 мг/дм<sup>3</sup> привело к высвобождению фосфатов в количестве, равном 27,4 % от концентрации фосфатов на второй час культивирования для активного ила и 8,2 % для активного ила с изолятом А. Дальнейшее возобновление аэрации способствовало интенсивному потреблению фосфатов ФАО и снижению концентрации фосфора по сравнению с показателями четвертого часа культивирования на 37,3 % и 39,2 % для активного ила и активного ила с изолятом А, соответственно. Общая эффективность удаления фосфатов в процессе периодического культивирования составила 34,8 % для активного ила и 40 % для активного с изолятом А.

Согласно полученным результатам, отмечено незначительное повышение общей эффективности удаления фосфат-ионов в системе совместного культивирования активного ила и изолята А в сравнении с системой культивирования активного ила.

Достичь эффективности, близкой к теоретической, после биоаугментации не удастся, что может быть связано с малым количеством внесенных ФАО, сложностью их адаптации, а также с доступностью субстрата и кислорода.

Таким образом, отмечено, что максимальная расчетная эффективность биологической дефосфатации составила около 85 %. Показано, что экспериментально выявленная максимальная эффективность биологической дефосфатации с использованием ФАО в составе изолята А составила около 30 %, а активного ила с изолятом А – 40 %. Отмечено также, что эффективность биоаугментации изолята А в микробиоценоз активного ила для повышения его дефосфатирующей способности определяется рядом факторов, среди которых важнейшими является количество (биомасса) внесенных ФАО, обеспечение их адаптации в сообществе, а также с доступность субстрата и кислорода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьева Т.Г. Минимизация техногенного воздействия на гидросферу в промышленных центрах / Т.Г. Воробьева, И.Ю. Шлёкова // Студент. Аспирант. Исследователь. – 2016. – № 4 (10). – С. 158–162.
2. Günther S. et al.. Dynamics of polyphosphate accumulating bacteria in wastewater communities detected via DAPI and tetracycline labelling // Appl. Environm. Microbiol. – 2009. – 75/7. – Р. 2111–2121.
3. ПНД Ф 14.1:2.112–97 Методика измерений массовой концентрации фосфат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с молибдатом аммония. – Москва, 1997.
4. Мешенгиссер Ю.М. Ретехнологизация сооружений очистки сточных вод / Ю.М. Мешенгиссер. – М.: ООО Издательский Дом «Вокруг цвета», 2012, – 211 с.: ил.
5. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.