

В. Г. Чайковский, М. В. Шулаев

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАКУЛЬТАТИВНЫХ СООБЩЕСТВ БАКТЕРИЙ ДЛЯ БИОХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШЕСТИВАЛЕНТНОГО ХРОМА В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Ключевые слова: активный ил, пилотная установка, биосорбция.

Биоценоз активного ила, используемого для биологической обработки хромсодержащих стоков, представляет собой многокомпонентную структуру одного трофического (бактериального) уровня.

Keywords: active silt, pilot installation, biosorbtsiya.

The biocenosis of the active silt used for biological processing of hromsoderzhashchy drains, represents multicomponent structure of one trophic (bacterial) level.

### Введение

Точное экспериментальное определение конкретной функции скорости роста каждого вида в зависимости от механизма взаимодействия между ними достаточно трудная задача, возможно, практически невыполнимая в общем случае [1].

Для биологической очистки сточных вод от указанных ионов используются различные микроорганизмы, способные в анаэробных условиях восстанавливать их, используя органические загрязнения, как питание. К ним относятся как чистые культуры, например, *Aeromonas dechromatica* и бактерии р. *Pseudomonas*, так и микробные сообщества [2]. В данной работе использовалась смешанная популяция адаптированных микроорганизмов, подготовленная на основе микробного сообщества аэробного активного ила одного из машиностроительных предприятий. Он оказался наиболее пригодным для дальнейшей подготовки и адаптации к таким загрязнениям как хром, так как в стоках этого предприятия присутствуют ионы различных тяжелых металлов, а также различные органические загрязнения. На данных очистных сооружениях обработка сточных вод идет аэробным методом в аэротенках. Восстановление ионов шестивалентного хрома биологическим методом идет в анаэробных условиях. В связи с этим, для использования активного ила данного предприятия, необходимо осуществить его дополнительную подготовку к работе.

### Экспериментальная часть

Активный ил для экспериментов отбирался из аэротенка, а именно в точке возврата в аэротенк после регенерации. Подготовка биомассы для ее использования в анаэробных условиях заключалась в сбраживании аэробного активного ила при температуре 32- 37 °С с добавлением питательных элементов в течение нескольких суток. В процессе сбраживания отмечено бурное выделение биогаза, в состав которого входил сероводород. Биомасса вместо коричневого цвета приобрела черную окраску.

Для экспериментов использовалась сточная вода гальванических цехов одного из крупных машиностроительных предприятий. Кроме хрома, в

ней присутствовали ионы других металлов, а так же сульфаты, хлориды и нитраты. В качестве органического питания использовалась отработанная СОЖ. Для разбавления использовалась вода после промывки гальванических ванн. ХПК поступающей воды составляло 240 мг/л, концентрация шестивалентного хрома составляла до 70 мг/л, нефтепродуктов 29 мг/л, рН=6.5-7.5

Экспериментальные результаты получены на пилотной установке для изучения процессов биологической очистки и биосорбции. Схема пилотной установки приведена на рис. 1 [3].

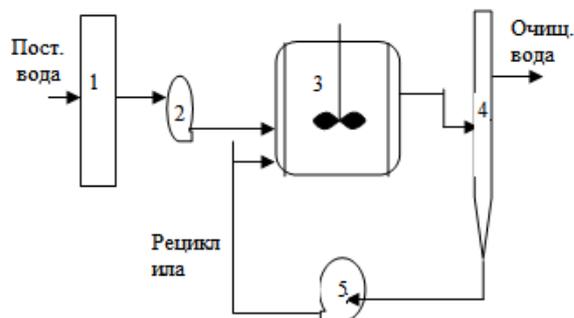


Рис. 1 - Принципиальная схема пилотной установки: 1 - первичный отстойник; 2 - насос для подачи сточной воды; 3 - биосорбер; 4 - вторичный отстойник; 5 - насос для рецикла активного ила

Сточная вода освобождалась от первичных взвешенных веществ в отстойнике 1 и подавалась насосом 2 на основную стадию обработки - биосорбцию, протекающую в аппарате 3, а затем поступала во вторичный отстойник 4, где происходило отделение ила от очищенной воды. Активный ил из вторичного отстойника с помощью насоса 5 перекачивался обратно в биосорбер 3.

В качестве биосорбера использовался горизонтальный биореактор с перемешивающим устройством рамного типа. В биореактор емкостью 4,5 л заливалась подготовленная иловая суспензия. Затем в аппарат засыпался адсорбент в концентрации 2,5 г/л, и организовывалось перемешивание полученной в аппарате суспензии. Во вторичный отстойник емкостью 3 л заливалась условно-чистая вода и с помощью насоса 5

организовывался рецикл активного ила. Затем с помощью насоса 2 организовывалась подача СВ из первичного отстойника 1. Время пребывания в аппарате с учетом рецикла ила составляло 1 сутки.

Результаты эксперимента представлены на рис. 2.

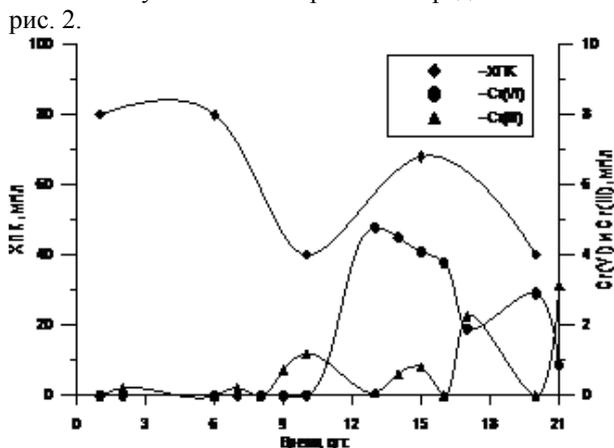


Рис. 2 - Показатели очищенной воды

### Обсуждение результатов

Результаты эксперимента показали удовлетворительную степень очистки по ХПК. На 12 сутки эксперимента наблюдалось незначительное увеличение концентрации шестивалентного хрома, но затем, постепенно ситуация улучшилась и система стабилизировалась. Нужно отметить, что концентрация трехвалентного и шестивалентного хрома изменяется противоположно друг другу. То есть при увеличении концентрации Cr(VI) в очищенной воде содержание Cr(III) уменьшается и наоборот. По этим данным можно судить о присутствии в биоценозе активного ила хромутилизирующих бактерий. При этом в периоды увеличения концентрации Cr(VI) происходит увеличение ХПК, но оно не превышает нормативные значения.

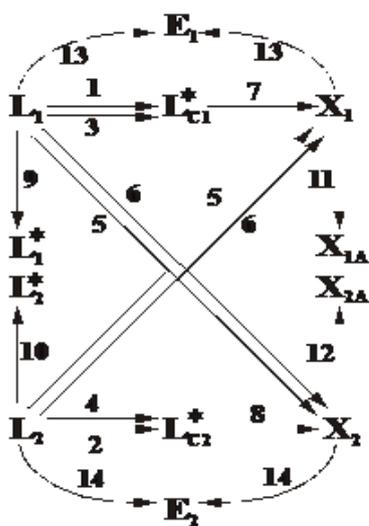


Рис. 3 - Схема бисубстратной модели процесса биосорбции хромсодержащего стока

В состав сточной воды кроме хроматов и бихроматов входят значительное количество

углеводородов (нефтепродуктов), которые являлись источником углеродного питания. Предполагается присутствие в культуральной среде двух групп бактерий: хромовосстанавливающие (биомасса  $X_1$ ) и углеродутилизующие (биомасса  $X_2$ ) и соответственно им двух основных субстратов: бихроматы ( $L_1$ ) и углеводороды ( $L_2$ ) потребляющимися по путям 1 и 2 соответственно. То есть речь идет о бисубстратной математической модели процесса биосорбционной очистки хромосодержащих стоков. Схема представлена на рис. 3.

Постулируется наличие лимитирования по субстратам, а также прямое (3, 4) и перекрестное (5, 6) ингибирование по субстратам. Биохимическая кинетика может быть представлена комбинированной моделью Моно-Герберта-Халдейна [4,5].

На основе общепринятых критериев структура потока в аппарате принята соответствующей идеальному перемешиванию, температурный режим – изотермический [6].

Схема модели отражает:

- адсорбцию субстратов на поверхность активного ила (7, 8), где  $L_{C1}^*$  и  $L_{C2}^*$  равновесные концентрации соответствующих субстратов на поверхности активного ила;
- адсорбцию субстратов на поверхность адсорбента (9, 10), где  $L_1^*$  и  $L_2^*$  равновесные концентрации соответствующих субстратов на поверхности адсорбента;
- образование биопленки  $X_{1A}$  и  $X_{2A}$  на поверхности адсорбента (11, 12);
- пути расщепления субстратов (13, 14) соответствующими экзоферментами  $E_1$  и  $E_2$ .

Таким образом математическое описание периодического процесса будет включать следующие уравнения:

$$\frac{dL_1}{dt} = K_{X1}(L_{C1} - L_{C1}^*) K_{A1}(L_1 - L_1^*) \quad (1)$$

$$\frac{dL_{C1}}{dt} = K_{X1}(L_{C1} - L_{C1}^*) \frac{1}{Y_1} \frac{\mu_{m11} X_1 L_{C1}}{K_{L11} + L_{C1} + \frac{L_{C1}^2}{K_{I11}}} \quad (2)$$

$$\frac{1}{Y_2} \frac{\mu_{m21} X_2 L_{C1}}{K_{L21} + L_{C1} + \frac{L_{C1}^2}{K_{I21}}}$$

$$\frac{dX_1}{dt} = \frac{\mu_{m11} X_1 L_{C1}}{K_{L11} + L_{C1} + \frac{L_{C1}^2}{K_{I11}}} + \frac{\mu_{m21} X_2 L_{C1}}{K_{L21} + L_{C1} + \frac{L_{C1}^2}{K_{I21}}} - b_1 X_1 \quad (3)$$

$$\frac{dA_1}{dt} = K_{A1}(L_1 - L_1^*) \quad (4)$$

$$\frac{dL_2}{dt} = K_{X2}(L_{C2} - L_{C2}^*) K_{A2}(L_2 - L_2^*) \quad (5)$$

$$\frac{dL_{C2}}{dt} = K_{X2}(L_{C2} - L_{C2}^*) \frac{1}{Y_3} \frac{\mu_{m22} X_2 L_{C2}}{K_{L22} + L_{C2} + \frac{L_{C2}^2}{K_{I22}}} \quad (6)$$

$$\frac{1}{Y_4} \frac{\mu_{m12} X_1 L_{C2}}{K_{L12} + L_{C2} + \frac{L_{C2}^2}{K_{I12}}}$$

$$\frac{dX_1}{dt} = \frac{\mu_{m22} X_2 L_{C2}}{K_{L22} + L_{C2} + \frac{L_{C2}^2}{K_{I22}}} + \frac{\mu_{m12} X_1 L_{C2}}{K_{L12} + L_{C2} + \frac{L_{C2}^2}{K_{I12}}} - b_2 X_2 \quad (7)$$

где  $K_{A1}$  и  $K_{A2}$  – коэффициенты массопередачи субстратов на поверхность адсорбента;  $K_{X1}$  и  $K_{X2}$  – коэффициенты массопередачи субстратов к хлопьям активного ила;  $\mu_{m11}$ ,  $\mu_{m12}$ ,  $\mu_{m21}$  и  $\mu_{m22}$  – соответствующие максимальные удельные скорости роста;  $K_{L11}$ ,  $K_{L12}$ ,  $K_{L21}$  и  $K_{L22}$  – соответствующие константы полунасыщения Моно;  $K_{I11}$ ,  $K_{I12}$ ,  $K_{I21}$  и  $K_{I22}$  – соответствующие константы ингибирования

### Заключение

Таким образом, предложен механизм процессов биоремедиации для биосорбционного восстановления шестивалентного хрома в процессе очистки сточных вод гальванических производств. Построена бисубстратная математическая модель, описывающая эти процессы.

В настоящее время проводятся компьютерные эксперименты по реализации данной модели и кинетические эксперименты для получения констант, входящих в нее.

### Литература

1. Дегерменджи А.Г. Проблема сосуществования взаимодействующих проточных популяций// Смешанные проточные культуры микроорганизмов. – Новосибирск: Наука, 1981. – с. 26-106.
2. Биологическая очистка хромсодержащих промышленных сточных вод/ Е.И.Квасникова, Н.С.Серпокрылов, Т.М.Клюшников и др.; АН УССР. Ин-т микробиологии и вирусологии им. Д.К.Заболотного. - Киев: Наук. думка, 1990. – 112 с.
3. Морозов Д.Ю. Емельянов В.М. Нуруллина Е.Н. Исследование адсорбционной очистки сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов/ Вестник Казанского технол. ун-та. – Казань: «Отечество», 2005 г. – с. 95 – 98.
4. Васильев Н.Н., Амбросов В.А., Складнев А.А. Моделирование процессов микробиологического синтеза – М.: Лесная промышленность, 1975. – 342 с.
5. Кафаров В.В., Винаров А.Ю., Гордеев Л.С. Моделирование биохимических реакторов – М.: Лесная промышленность, 1979. – 342 с.
6. Вавилин В.А., Васильев В.Б. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом. – М.: Наука, 1979. – 119 с.
7. Нуруллина Е.Н., Сироткин А.С., Понкратова С.А., Шагинурова Г.И., Емельянов В.М. Интенсификация процессов биологического окисления загрязнений в системах биосорбционной очистки сточных вод / Вестник Казанского технол. ун-та. – Казань: «Отечество» - 2002 г.- с. 61 – 69.