

Введение Точное экспериментальное определение конкретной функции скорости роста каждого вида в зависимости от механизма взаимодействия между ними достаточно трудная задача, возможно, практически не выполняемая 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 оС 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 судки 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 углеводов (нефтепродуктов), которые являлись источником углеродного питания. Предполагается присутствие в культуральной среде двух групп бактерий: хромвосстанавливающие (биомасса X1) и углеродутилизирующие (биомасса X2) и соответственно им двух основных субстратов: бихроматы (L1) и углеводороды (L2) потребляющимися по путям 1 и 2 соответственно. То есть речь идет о бисубстратной математической модели процесса биосорбционной очистки хромсодержащих 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^*C_1 и L^*C_2 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 X1A и X2A на поверхности адсорбента (11, 12); - пути расщепления субстратов (13, 14) соответствующими экзоферментами E1 и E2.

Таким образом математическое описание периодического процесса будет включать следующие уравнения: (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) где KA_1 и KA_2 – коэффициенты массопередачи субстратов на поверхность адсорбента; KX_1 и KX_2 – коэффициенты массопередачи субстратов к хлопьям активного ила; μ_{m11} , μ_{m12} , μ_{m21} и μ_{m22} – соответствующие максимальные удельные скорости роста; KL_{11} , KL_{12} , KL_{21} и KL_{22} – соответствующие константы полунасыщения Моно; KI_{11} , KI_{12} , KI_{21} и KI_{22} 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.