

С.М. ЭПОЯН, доктор технических наук

Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры,

Н.В. СОРОКИНА, кандидат технических наук

Л.А. ФЕСИК, кандидат технических наук

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

## МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЛОВЫХ СМЕСЕЙ ВО ВТОРИЧНЫХ ОТСТОЙНИКАХ

*Розглянуто мікробіологічні, фізико-хімічні та біофізичні гіпотези механізму утворення хлопків активного мулу.*

**Ключові слова:** активний мул, біофлокуляція, мілкодисперсна суспензія, хімічна коагуляція, муловий індекс.

*Рассмотрены микробиологические, физико-химические и биофизические гипотезы механизма образования хлопьев активного ила.*

**Ключевые слова:** активный ил, биофлокуляция, мелкодисперсная взвесь, химическая коагуляция, иловый индекс.

*Microbiological, physical-chemical and biophysical hypotheses on the mechanism of formation of active silt flakes are considered.*

**Key words:** activated sludge, bio flocculation, fine suspension, chemical coagulation, sludge index.

Во взвеси, содержащейся в иловой смеси, которая выходит из аэротенков во вторичные отстойники, помимо активного ила имеются в наличии мелкодисперсные включения, представленные свободноплавающими бактериями, органической и минеральной примесью нерастворимых частиц различной природы [2,21].

Поскольку мелкодисперсная взвесь имеет диаметр частиц 0,2-2 мкм, что на один-два порядка меньше эквивалентного диаметра хлопьев активного ила, скорости их осаждения отличаются в сотни раз и удаление мелкодисперсной взвеси происходит вследствие адгезии хлопком активного ила, а не путем свободного осаждения. Таким образом, эффективность осветления определяется структурой хлопка, его реологическими и адгезионными свойствами и, в меньшей степени, количеством мелкодисперсной взвеси.

По микробиологическому направлению образование хлопьев активного ила и их дезинтеграцию рассматривают как результат видовых изменений в

ценозе, приписывая флокулирующие свойства отдельным видам бактерий (например, *Zooglea Ramigera*), простейшим, обуславливающим утилизацию дезинтегрированных частиц хлопка и клеток, нитчатым бактериям, создающим пространственную решетку, и т.п.

Однако в последние годы получено значительное число данных, показывающих, что способностью к биофлокуляции при определенных условиях культивирования обладает большинство групп микроорганизмов.

Последователи физико-химической концепции биофлокуляции рассматривают механизм формирования хлопка активного ила как аналог химической коагуляции. Многочисленными исследованиями показана способность большинства бактерий к коагуляции аналогично гидрофобным коллоидам при величине поверхностного заряда ниже 15 МВ.

Это дает основание рассматривать бактерии как биокolloиды. Наряду с этим установлено также, что выделяемый клетками биополимер обладает свойствами полиэлектролита. На этой основе сделано предположение, что биофлокуляция является результатом взаимодействия высокомолекулярного полиэлектролита с биокolloидными частицами, в качестве которых выступают бактерии. Взаимосвязь между физико-химическими и микробиологическими факторами, определяющими эффективность флокуляции, может быть выявлена на основе более общего биофизического анализа явления.

Связь эффективности флокуляции со степенью обеспеченности (величиной нагрузки на активный ил) отмечалась многими исследователями. Показано, например, что добавление свежего субстрата к флокулированным бактериям вызывает диспергирование хлопьев, к тому же результату приводит отсутствие питания. Это обычное явление с активным илом городских сточных вод (ночью мало стоков, мало питания; днем много стоков, много питания).

Таким образом, можно выделить три состояния биологических систем с точки зрения их склонности к флокуляции. В первом случае при избыточном количестве углеродного питания, что соответствует большому количеству свободной энергии и высокой подвижности клеток, интенсивность образования биополимерного полиэлектролита не достаточна для обеспечения флокуляции. Во втором противоположно предельном случае при остром лимитировании по субстрату равновесие в биоценозе сдвигается в сторону культур, способных метаболизировать биополимер, что приводит к редиспергации хлопьев. Устойчивое стационарное существование хлопьев активного ила реализуются в определенном диапазоне обеспеченности питанием, состоянии хорошо флокулирующего активного ила.

Механизм перехода от свободноплавающих клеток к системе с активным илом может быть представлен следующим образом. В условиях ограниченного углеродного питания клетки снижают количество продуцируемой свободной энергии, при этом двигательная активность

цитоплазмы снижается, что приводит к уменьшению электрокинетического потенциала и, как следствие, к слипанию клеток при их столкновениях в результате броуновского движения и перемешивания. В итоге по данным Поликара, наблюдается явление контактного торможения приостанавливающее не только броуновское движение, но и движение цитоплазмы. Это, в свою очередь, приводит к дальнейшему снижению поверхностного заряда. В результате этих явлений поток субстрата к адгезированным клеткам уменьшается, поскольку увеличивается диффузионное сопротивление и снижается скорость обновления поверхности. Изменение условий внешней среды вызывает падение скорости метаболических реакций и увеличение возраста культуры, приводящее к интенсификации выделения биополимера. В итоге несколько адгезированных клеток покрывается единым биополимерным слоем, формирующим клон [2,53].

Дальнейшей фазой развития процесса флокуляции является образование хлопка активного ила, сформированного из нескольких клонов.

Таким образом, стационарное распределение хлопьев активного ила по размерам устанавливается как результат двух одновременно протекающих и взаимно уравнивающих процессов – диспергирования хлопков под действием турбулентности и их слияние в результате действия сил, обуславливающих флокуляцию.

Рассмотренный характер зависимости условий хлопьеобразования от степени обеспеченности микрофлоры субстратом при отсутствии лимитирования кислородом позволяет объяснить также причины развития нитчатых бактерий в активном иле. Нитчатые бактерии могут появляться в активном иле как при наличии достаточно большого количества кислорода, так и при его нехватке. Это кажущееся противоречие легко устраняется, если учесть, что особенностью бактерий этого вида является повышенная, по сравнению с другими видами, удельная поверхность, обеспечивающая их преимущественное развитие в условиях недостатка в первом случае кислорода. А во втором случае – субстрата.

Способность ила к разделению обычно оценивают с помощью илового индекса  $J_i$ , см<sup>3</sup>/г [1,103; 3,291]. Многочисленными исследованиями показано, что иловый индекс не может служить полноценным показателем процесса осаждения и уплотнения ила. Значение илового индекса существенно зависит от размеров сосуда, в котором производится осаждение ила, и множества других факторов – высоты сосуда, концентрации ила, условий осаждения (консолидирование либо автономное осаждение), интенсивности перемешивания.

Седиментационные свойства иловых смесей оцениваются по кривой Кинша (кривая кинетики снижения границы раздела фаз) [3,381].

На величину илового индекса активного ила влияет суточная нагрузка по величине БПКполн на грамм сухого беззольного вещества ила [3,360]. С

ростом нагрузки от минимальной, характерной для ила продленной аэрации, 100 мг БПК/(г×сут), иловый индекс вначале уменьшается до нагрузки 300 мг БПК/(г×сут), а затем увеличивается при нагрузке 600 мг БПК/(г×сут). К сожалению, в таблицу 10.14 [3,360] не попали значения илового индекса при больших значениях нагрузок. А между тем, при нагрузке 1000 мг БПК/(г×сут) для ила городских сточных вод [3,292] имеется еще один экстремум с величиной илового индекса 80...85 см<sup>3</sup>/г, т.е. аналогичный нагрузкам 300...400 мг БПК/(г×сут). Такой высоконагруженный ил совершенно лишен простейших и мелких животных и имеет высокие седиментационные свойства исключительно вследствие специфики свойств бактериальных микроорганизмов, определяющих и электрические свойства частиц активного ила, и добавляющих к гравитационным характеристикам взвешенных веществ сточных вод новые граничные свойства.

### **Выводы**

Для обеспечения хороших седиментационных свойств активного ила прежде всего необходимо:

- создание оптимальной нагрузки, составляющей для аэротенков на полную очистку 250...350 мг БПК/(г×сут);
- обеспечение кислородом на уровне, исключающем протекание анаэробных процессов;
- поддержание стационарного состояния условий перемешивания иловой смеси при аэрации с исключением условий нарушающих адаптацию.

### **Список литературы**

1. *ДБН. В.2.5-75:2013* Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. К., 2013.
2. *Евилевич М.А., Брагинский Л.Н.* Оптимизация биохимической очистки сточных вод. Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение. 1979. 160 с.
3. *Ковальчук В.А.* Очистка стічних вод: Навчальний посібник. Рівне: Рівненська друкарня, 2003. 622 с.

*Стаття надійшла до редакції 13.11.17*