

## О СТРОЕНИИ ФЛОКУЛ АКТИВНОГО ИЛА

А.С. Хайко

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*На основе анализа литературных данных предложена общая модель строения флокул активного ила, систематизированы различные типы химических связей, влияющих на образование флокулы.*

### ФЛОКУЛЯЦИЯ, АКТИВНЫЙ, ИЛ, АДСОРБЦИЯ, БИОПОЛИМЕРЫ

Активный ил, задерживаемый вторичными отстойниками после аэротенков, представляет собой биоценоз микроорганизмов и простейших с адсорбированными и частично окисленными загрязнениями, извлеченными из сточных вод в процессе биологической очистки. Это сложная гетеротрофная система биологических сообществ микроорганизмов, способных к биохимическому окислению загрязнений, состоящая из различных систематических групп: бактерий, актиномицетов, простейших, грибов, водорослей, вирусов, членистоногих. Состав микроорганизмов активных илов формируется в зависимости от экологических условий, основными из которых являются состав обрабатываемых сточных вод, концентрация растворенного кислорода, температура, рН, соотношение количества питания и числа микроорганизмов [1,2].

Основная роль в процессах очистки сточных вод принадлежит бактериям, число которых в расчете на 1 г сухого вещества ила колеблется от  $10^8$  до  $10^{14}$  клеток [1]. По современным представлениям, клеточная поверхность большинства микроорганизмов сформирована мозаикой из катионных и анионных групп. На одну клетку приходится  $10^6 \dots 10^7$  положительных и  $10^7 \dots 10^8$  отрицательных зарядов, т.е. большинство микроорганизмов имеют избыточный отрицательный заряд [2]. Поэтому частицы активного ила несут отрицательный заряд при  $\text{pH}=4 \dots 9$  [1]. Этот заряд зависит от видовой принадлежности, строения и физиологического состояния клеток и может варьироваться в широких пределах. В отличие от частиц небиологической природы, имеющих четкую границу раздела фаз, клеточная поверхность формируется на основе поверхностных структур, включающих клеточную стенку, капсулы, пили, жгутики, каждая из которых может оказывать влияние на электрические поверхностные характеристики биосуспензий и определять их устойчивость [2].

Биосуспensionия активного ила обладает способностью образовывать в дисперсных системах агрегаты из нескольких частиц (флокулы, хлопья) [3,4]. Благодаря этому, проявляется ее важнейшее, с точки зрения технологии обработки осадков сточных вод, свойство - способность к хлопьеобразованию и седиментации. Способность микроорганизмов к агрегированию и оседанию в данной среде зависит от многих факторов, которые можно разделить, согласно [2], на три основные группы:

а) генетические, связанные с морфологией, физиологией и метаболизмом микроорганизмов, такие, как размер, форма, зарядные характеристики клеток, наличие в среде внеклеточных полимерных материалов;

б) факторы окружающей среды - температура, вязкость, рН, концентрация ионов металлов, содержание биомассы, освещенность;

в) факторы целенаправленного химического или физико - химического воздействия с целью регулирования коллоидно-химических свойств дисперсий микроорганизмов (обработка коагулянтами, флокулянтами, флоатация и др.).

В гипотезах, касающихся флокуляции микроорганизмов активного ила, это явление рассматривается либо как основанное на свойствах одного вида микроорганизмов, либо - как физико-химический процесс [4]. Из гипотез последнего направления все большее признание получает гипотеза о главенствующей роли внеклеточных биополимеров. Согласно ей, бактериальная флокуляция - физиологическое состояние микроорганизмов, и она не наблюдается до тех пор, пока не заканчивается фаза роста и не наступает фаза эндогенной респирации. Флокуляция не определяется каким-либо одним микроорганизмом, она свойственна многим бактериальным культурам. Имеется прямая корреляция между аккумуляцией микроорганизмами внеклеточных биополимеров, увеличением отношения их содержания к массе бактерий и хлопьеобразованию. Внеклеточные органические полимеры, обуславливающие биофлокуляцию, представлены четырьмя категориями: полисахаридами, белками, РНК и ДНК [1].

Полисахариды, синтезируемые микроорганизмами, делятся на внеклеточные и внутриклеточные. Механизм высвобождения данных биополимеров, до сих пор, подробно не изучен. Высказано предположение [5], о роли лигазной реакции, в ходе которой полимер освобождается и связывается с клеточной поверхностью. Местом присоединения может служить какой-либо наружный мембранный белок. Очевидно, существует определенное число мест связывания, после насыщения которых избыток полисахарида выделяется уже в виде слизи. Внеклеточные полисахариды находятся в

форме внеклеточных капсул или слизей, не связанных с клеточной стенкой. По данным [5], в их состав входит небольшой набор моносахаридов (нейтральные гексозы, метилпентозы, кетосахара, аминсахара, уроновые кислоты), однако разное их сочетание дает биополимеры с разнообразными физическими свойствами.

В настоящее время, наибольшее признание получили две модели флокуляции суспензий микроорганизмов [2]. Согласно Ла Меру, для флокуляции необходимы адсорбция одной макромолекулы или ассоциации макромолекул биополимеров на нескольких бактериальных клетках и образование хлопьев, состоящих из частиц, связанных полимерными мостиками. Вследствие этого, образуется трехмерная структура. Усиление флокулирующей способности внеклеточных биополимеров в присутствии низкомолекулярных электролитов с многозарядными ионами объясняется образованием сложных мостиков типа "частица-макроион биополимера - многозарядный ион- макроион биополимера - частица", вследствие связывания многозарядных ионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  и др.) с функциональными группами (-ОН, -СООН,  $-\text{HPO}_4$  и др.) адсорбированного биополимера [2].

Другой механизм флокуляции бактериальных суспензий предложен Грегори [2]. Согласно его представлениям, флокуляция коллоидных частиц, в том числе и бактерий, наступает в результате нейтрализации заряда поверхности при адсорбции на ней полиэлектролита (в нашем случае - биополимера). При этом, предполагается, что биополимер связывается с поверхностью большим числом контактов, разворачиваясь на ней с формированием "мозаичной структуры" из примерно равного числа зарядов разного знака. Электростатическое отталкивание значительных участков поверхности бактериальных клеток, при этом, исчезает.

Предложена структура хлопка активного ила [6], включающая бактериальные клетки, адсорбирующие ионы металлов на своей электроотрицательной поверхности, и внеклеточные биополимеры, также обладающие поверхностным зарядом (причем разные участки биополимеров несут различный заряд и тоже сорбируют ионы металлов).

На основе анализа литературных данных, автор предлагает общую модель флокулы активного ила, которая приведена на рисунке 1. Гидратные слои и адсорбированные загрязнения условно не показаны.

В соответствии с предложенной моделью, флокуляция микроорганизмов может происходить с использованием четырех видов связей:

1) связь, возникающая благодаря адсорбции участков молекулы биополимера на нескольких бактериальных клетках;

II) связь, возникающая в результате действия сил притяжения между бактериальными клетками (сил Ван-дер-Ваальса), благодаря тому, что биополимер, разворачиваясь на их поверхности, нейтрализует заряд на значительных участках и снижает их электростатическое отталкивание;

III) связь, возникающая благодаря образованию мостиков типа "частица – макроион биополимера – многозарядный ион – макроион биополимера – частица", вследствие связывания многозарядных ионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  др.) с функциональными группами (-ОН, -СООН,  $-\text{HPO}_4$  и др.) адсорбированного биополимера;

IV) связь, возникающая, благодаря адсорбции на поверхности клетки многозарядных ионов металлов, которые, в свою очередь, могут быть связаны с функциональной группой биополимера.

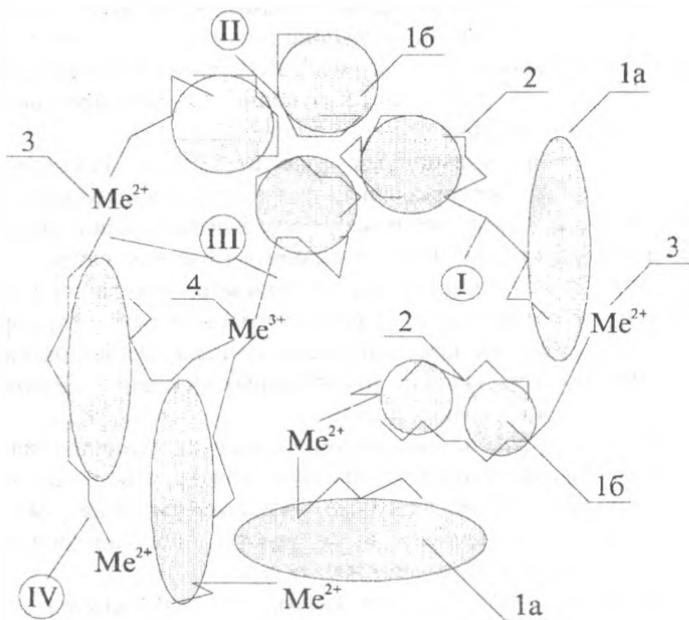


Рисунок 1 Строение флоккулы активного ила: I, II, III, IV - различные типы связи; 1 - бактериальные клетки: 1а - палочки, 1б - кокки; 2 - молекулы биополимеров, 3 - ионы двухвалентного металла, 4 - ионы трехвалентного металла.

Механизм образования последней может быть различным. Либо вначале на поверхности бактериальной клетки адсорбируется многозарядный ион металла, а затем с ним связывается функциональная группа биополимера, либо вначале ион металла связывается с молекулой биополимера, а затем адсорбируется на поверхности бактериальной клетки. Можно также предположить, что одна макромолекула биополимера может участвовать в образовании связей различных типов.

Интенсифицировать процесс флокуляции можно, извлекая внутриклеточные полимеры, в частности полисахариды, из клеточных стенок нагреванием, ферментативным, слабо кислотным или щелочным гидролизом. Изменение pH жидкой фазы является основным фактором влияющим на флокуляцию. Такая предварительная обработка позволяет заметно интенсифицировать процесс сгущения суспензии активного ила [1,4].

#### Литература

- 1 Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод.- М.: Стройиздат, 1980.- 200 с.
- 2 Баран А.А., Тесленко Л.Я. Флокулянты в биотехнологии.- Л.: Химия, 1990.- 144 с.
- 3 Евилевич А.З., Евилевич М.А. Утилизация осадков сточных вод. Л.: Стройиздат, 1988. - 248 с.
- 4 Ксенофонтов Б.С. Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков.- М.: Химия, 1992.- 144с.
- 5 Биотехнология. Принципы и применение: Пер. с англ./ Под ред. И. Хиггинса, Д. Беста, Дж. Джонса.- М.: Мир, 1988.- 480 с.
- 6 Morgan J.W., Forster C.F. A comparative study of the sonication of anaerobic and activated sludges //J. Chem. Technol. and Biotechnol.- 1992.-55, N1- С.53-58.

## ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

Е.И. Дмухайло, А.С. Хайко

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Предлагается новая технология обработки осадков сточных вод, основанная на применении аэробной термофильной стабилизации, флотацион-*

*ного сгущения и обеззараживания с помощью установки пульсирующего горения.*

ОСАДКИ, ГОРОДСКИЕ, СТОЧНЫЕ, ВОДЫ, ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ, АЭРОБАНАЯ, ТЕРМОФИЛЬНАЯ, СТАБИЛИЗАЦИЯ, ФЛОТАЦИОННОЕ, СГУЩЕНИЕ, УСТАНОВКА, ПУЛЬСИРУЮЩЕЕ, ГОРЕНИЕ

При очистке сточных вод, наиболее значительное место, как по стоимостным, так и по объемным показателям занимает обработка осадков. Проблема обработки и утилизации осадков сточных вод - одна из злободневных и нерешенных экологических проблем, в особенности для государств с экономикой переходного типа. Цель обработки - обеспечить определенную степень сгущения, стабилизации в процессах анаэробного и аэробного сбраживания, окончательного уплотнения и обеззараживания, а также уменьшить содержание ионов тяжелых металлов и других токсических элементов. После этого, осадки могут быть дополнительно обезвожены и депонированы. Однако, с экономической и экологической точек зрения, использование осадков городских сточных вод в качестве удобрения остается наиболее приемлемым способом их утилизации, при условии исключения токсических и других санитарно-гигиенических рисков.

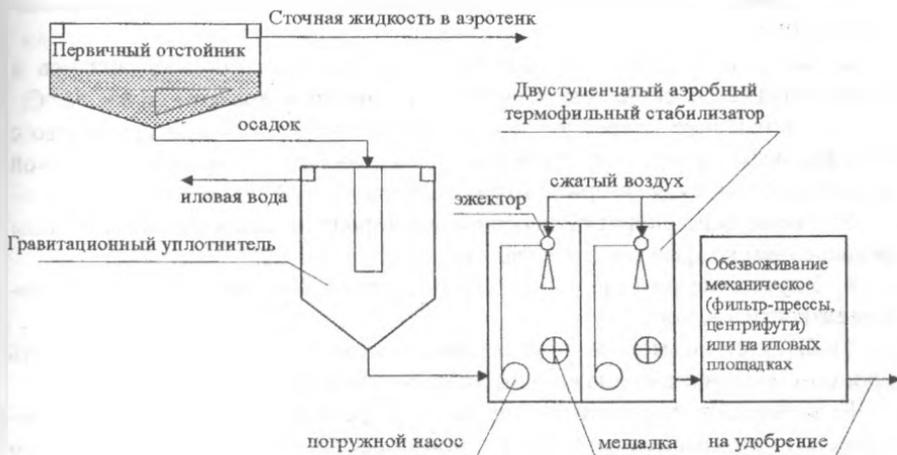
Предлагается разработка технологии аэробной термофильной стабилизации, флотационного сгущения и обеззараживания осадков городских сточных вод, схема которой приведена на рисунке 1.

Анализируя технологические и экономические аспекты различных способов обработки осадков сточных вод, можно сделать вывод, что технология экзотермической, аэробно-термофильной стабилизации (АТС) является наиболее эффективной. АТС сравнительно недавно применяется на Западе (ФРГ, Великобритания и др.), как альтернативное решение, по отношению к традиционным технологиям обработки осадков городских сточных вод. АТС, называемое также "жидкое компостирование", позволяет достичь высокой степени минерализации и обезвоживания осадка.

В процессе АТС происходит значительный подъем температуры, благодаря саморазогреванию осадка за счет освобождения свободной энергии при превращении органических веществ в новые клеточные структуры. Это требует применения теплоизолированных биореакторов и высокопроизводительных систем струйной (эжекторной) аэрации. Технология АТС может применяться при наличии в осадках более 2,5% твердого вещества, что достигается посредством гравитационного уплотнения сырого осадка в пер-

вичных отстойниках и флотационного сгущения избыточного активного ила.

### ОБРАБОТКА ОСАДКА ПЕРВИЧНЫХ ОТСТОЙНИКОВ



### ОБРАБОТКА ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА

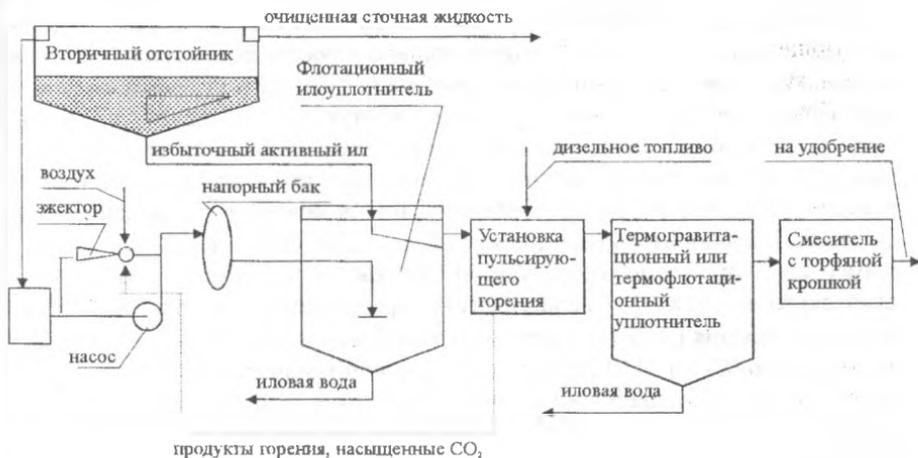


Рисунок 1 Технологическая схема обработки осадка первичных отстойников и избыточного активного ила.

Основные преимущества систем АТС:

- 1) Сокращение требуемых объемов сооружений, за счет высокой скорости распада органического вещества (1..3 суток);
- 2) Высокая надежность и быстрая адаптация, в случае поступления токсичных веществ;
- 3) Высокая степень обезвреживания патогенных микроорганизмов и разрушения семян сорняков, за счет повышения температуры до 45...55° С;
- 4) Уменьшение потребности в кислороде на 30..40%, по сравнению с мезофильным процессом аэробной стабилизации, поскольку, при такой температуре гибнут бактерии нитрификаторы;
- 5) Увеличение скорости переноса кислорода, в связи со значительным повышением коэффициента диффузии этого газа;
- 6) Улучшение разделения жидкой и твердой фаз, вследствие уменьшения вязкости жидкости;
- 7) Отсутствие метана обуславливает взрыво- и пожаробезопасность процесса, в отличие от анаэробного сбраживания [1];
- 8) Конкурентоспособность для систем средней и большой производительности, по сравнению с анаэробной обработкой. Стоимость обработки составляет 70 \$ на одну тонну сухого вещества [1]. Сгущение осадков предполагается осуществлять способом напорной флотации, с использованием в качестве флотационного агента парогазовой смеси от установки пульсирующего горения, которая, одновременно, служит для обеззараживания осадка. Растворимость этой смеси, содержащей 10...15% углекислого газа, в рабочей жидкости в 5...7 раз выше, чем у воздуха. Это позволяет резко снизить энергозатраты на флотационное сгущение. Окончательное обеззараживание осадка осуществляется термообработкой в установках пульсирующего горения, путем контактного нагрева осадка в распыленном состоянии. Теплоноситель (продукты горения) движется в колебательном режиме, при этом, возникают эффекты “шокового” нагрева и мощного акустического озвучивания. Теплоноситель продуцируется аппаратом пульсирующего горения (АПГ) и имеет температуру в факеле 1300...2000°К , частоту пульсаций - 30...150 Гц, уровень звуковой мощности 80...120 дБ. АПГ, в данном случае, является компактным “газовым насосом”, в котором тепловая энергия непосредственно переходит в кинетическую энергию высокоскоростного потока газов.

Основными преимуществами такого обеззараживания являются:

1) Возможность сжигания жидкого или газообразного топлива без применения дорогостоящих топочных устройств с малыми избытками воздуха при его самонаддуве, отсутствие недожогов;

2) Экономия топлива, электроэнергии, за счет интенсификации тепло-массообмена и повышения к.п.д. сжигания;

3) Компактность, простота конструкции и обслуживания, большие допуски при изготовлении, гибкость компоновочных решений, самоочищение поверхностей нагрева, безопасность в работе;

4) Улучшение свойств осадка перед обезвоживанием, за счет термоакустической интенсификации отдачи воды, связанной частицами осадка, что позволяет отказаться от применения дорогостоящих флокулянтов.

В лаборатории "Пульсар" Брестского политехнического института, исследованы возможности применения АПГ для контактного нагрева воды. Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Северянин В.С. является автором многочисленных разработок по прикладному использованию пульсирующего (вибрационного) горения. Изучены процессы распыла, нагрева, испарения и движения капель воды в вихревом газовом пульсирующем дисперсном потоке, а также создан и испытан высококоэффициентный контактный водонагреватель.

Эти работы свидетельствуют о перспективности применения способа пульсирующего горения, с целью создания высокоэффективных, экологически чистых, установок для обеззараживания и кондиционирования осадков городских сточных вод, с целью удовлетворения требований к их перевозке, хранению и использованию в качестве удобрения.

Технологические характеристики отдельных установок известны из литературных источников, однако, необходимы дополнительные опытно-конструкторские разработки и исследования, для создания основ расчета и конструирования подобных установок, их общего масштабирования и оптимизации. Значимость предлагаемой, экологически чистой физико-биохимической технологии обработки органических осадков сточных вод, очевидна, и она может и должна найти достойное применение в недалеком будущем.

#### Литература

1 Edikgton R., Clay S. Evaluation and development of a thermophilic aerobic digester at Castle Donington sewage-treatment works / J. Inst. Water and Environ. Manag. (G. Brit.), 1993.- v.7, N2.- с. 149-154.