

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ АКТИВНОГО ИЛА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF ACTIVATED SLUDGE MICROORGANISMS FOR INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT

**E. Goncharenko
B. Ksenofontov
S. Berezina**

Summary. In this work we consider the possibilities of using microorganisms of excess activated sludge for of the process of biochemical treatment for industrial wastewater production are investigated. Data on the efficiency of removal of metal particles in the dispersed state, are given. A model of flotation cleaning is proposed, which allows calculating the optimal dimensions of the flotation chamber

Keywords: flotation, biofloculant, active silt.

Гончаренко Евгения Евгеньевна

Канд. химич. наук, Московский Государственный
Технический Университет им. Н.Э. Баумана
eeg84@mail.ru

Ксенофонтов Борис Семенович

Доктор техн. наук, Московский Государственный
Технический Университет им. Н.Э. Баумана

Березина Светлана Львовна

Канд. химич. наук, Московский Государственный
Технический Университет им. Н.Э. Баумана

Аннотация. В работе рассмотрено использование микроорганизмов избыточного активного ила для процесса биохимической очистки производственных сточных вод. Приведены данные по эффективности, удаления частиц металлов, находящихся в дисперсном состоянии. Предложена модель флотационной очистки, которая позволяет рассчитать оптимальные размеры флотационной камеры.

Ключевые слова: флотация, биофлокулянты, активный ил.

Биологическая очистка с использованием активного ила является одним из самых распространенных способов очистки сточных вод. Активный ил включает в себя скопление бактерий, дрожжи, простейшие, плесневелые грибы, актиномицеты, рачки, водоросли и др., то есть несколько видов микроорганизмов и простейших [1]. Активный ил можно рассматривать как коллоидную систему, частицы которой при pH = 4...9 имеют отрицательный заряд [2]. Субстрат активного ила представляет собой отмершую часть водорослей и различных твердых остатков, к которым прикрепляются микроорганизмы. Под действием микроорганизмов активного ила происходит биохимическое окисление органических примесей, содержащихся в воде, с превращением находящихся в ней ароматических и алифатических углеводов в безвредный диоксид углерода, воду, нитрат и сульфат ионы и др. Главным недостатком биохимической очистки является образование большого количества избыточного активного ила в результате трансформации части загрязнений в активную биомассу. Ежегодно на очистных сооружениях накапливаются миллионы тонн биомассы избыточного активного ила, переработка и утилизация которой является более трудоемкой,

чем процесс очистки. Поэтому любые практические решения этой проблемы, позволяющие хотя бы частично утилизировать избыточный активный ил, являются экономически оправданными [3]. Перспективным на наш взгляд является использование микроорганизмов избыточного активного ила в качестве биофлокулянта [1-4]. Нами показано [3-5], что использование активного ила в качестве биофлокулянта решает задачу его частичной утилизации, а также способствует интенсификации процесса очистки сточных вод. Кроме того, появляются новые возможности в направлении расширения применения отходов производства в качестве дополнительных способов повышения эффективности очистки.

В данной работе проведены исследования влияния микроорганизмов избыточного активного ила на эффективность процесса очистки поверхностных сточных вод, включая очистку от металлов, содержащихся в дисперсионной среде, в частности алюминия. Организация такой работы актуальна и особенно важна для условий подтопления и затопления территорий, на которых расположены жилые дома, а также площадки предприятий. В этих случаях необходимо в интен-

Таблица 1. Влияние концентрации микроорганизмов активного ила на скорость осаждения твердой фазы осветляемых сточных вод

Расход микроорганизмов активного ила, г/л стоков	Скорость осаждения твердой фазы, м/ч	Содержание взвешенных веществ в осветленной жидкости, мг/л
0	2,2	33,7
0,25	3,1	12,3
0,50	3,9	10,5
0,75	4,1	8,2
1,00	4,1	8,1

Таблица 2. Влияние концентрации микроорганизмов активного ила на содержание алюминия в осветленной жидкости

Расход микроорганизмов активного ила, г/л стоков	Содержание взвешенных веществ в осветленной жидкости, мг/л	Содержание алюминия в осветленной жидкости, мг/л
0	32,1	2,70
0,25	13,5	0,98
0,50	10,2	0,45
0,75	8,8	0,35
1,00	8,1	0,33
1,50	7,9	0,31

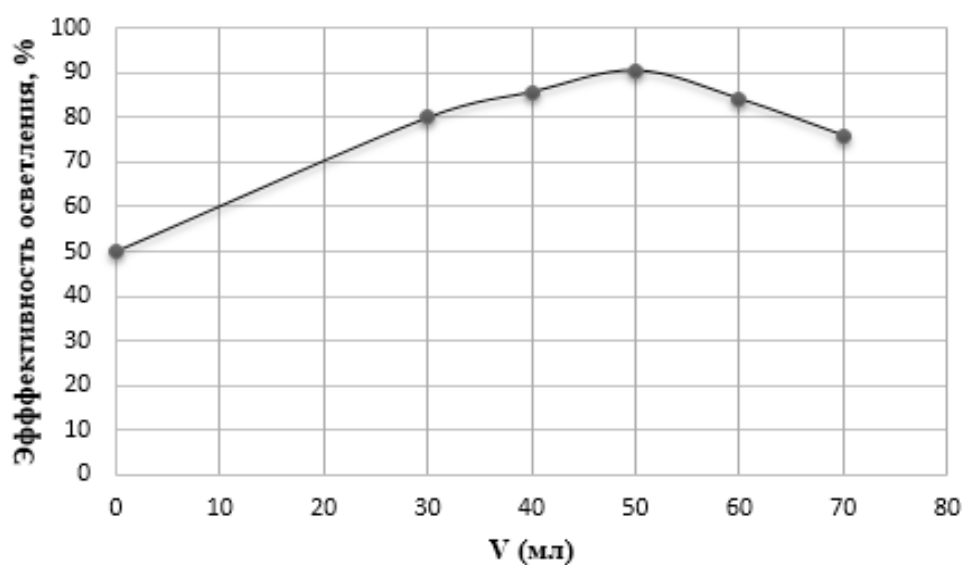


Рис. 1. Эффективности осветления сточных вод после мойки автомобилей от объема добавленного активного ила (мл)

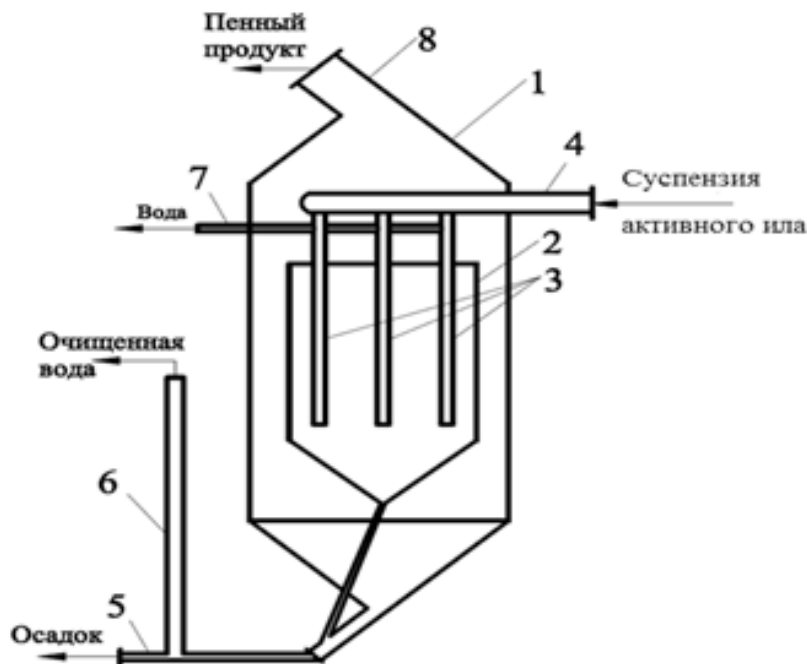


Рис. 2. Флотационная колонна для сгущения активного ила напорной флотацией: 1 — корпус флотационной колонны; 2 — устройство для аэрации; 3 — аэраторы; 4,5,6,7,8 — патрубки.

сивном режиме проводить процесс отвода воды и ее очистку [1,2,7].

Методика исследований состояла в наблюдении за скоростью осаждения твердой фазы осветляемых сточных вод в цилиндрах емкостью 0,5 л и определения мутности слива после осаждения твердой фазы, а также определении концентрации взвешенных веществ и алюминия по стандартным методикам [6].

Микроорганизмы активного ила вводились в сгущаемую суспензию с концентрацией 8,5 г/л. Результаты экспериментальных исследований представлены в таблицах 1 и 2.

Полученные данные (табл. 1) показывают, что скорость осаждения твердой фазы увеличивается по мере увеличения количества микроорганизмов в суспензии. При этом повышается степень осветления очищаемой воды.

Данные таблицы 1 показывают, что с увеличением концентрации микроорганизмов активного ила скорость осаждения частиц загрязнений увеличивается в 2 раза, содержание взвешенных частиц уменьшается в 3 раза. Из таблицы 2 следует, что одновременно происходит извлечение отдельных металлов, в частности

алюминия. Полученные результаты показывают, что в перспективе можно использовать избыточный активный ил для удаления металлов, например, из подземных вод, в которых металлы (натрий, марганец, магний, серебро, литий, золото, уран, радий и др.) находятся в виде дисперсных систем.

В работе также исследовано применение избыточного активного ила в виде суспензии с концентрацией 42,7 г/л для очистки производственных сточных вод после мытья автомобилей (рис.1)

Из приведенных результатов (рис. 1) следует, что с увеличением объема добавленной суспензии с активным илом эффективность очистки возрастает и достигает максимального эффекта 90% при объеме добавленной суспензии 40 мл. Представленные на рис.1 данные свидетельствуют о высокой степени очистки при использовании активного ила. Эффективность осветления оценивалась по величине оптической плотности, которая измерялась по разработанной в наших работах компьютерной методике [4].

Однако для практического использования избыточного активного ила нужна его транспортировка. Для этих целей необходимо его предварительное уплотнение. Одним из наиболее простых и эффективных спо-

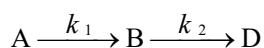
Таблица 3. Влияние pH среды на флотационное уплотнение активного ила и его эффективность в процессе осветления сточных вод.

C_0 мг/л	pH	C_1 г/л	C_2 г/л	C_3 мг/л
43,3	7,2	0	0	24,3
43,3	4,5	39,7	1,5	12,6
43,3	3,1	48,2	1,5	9,2
43,3	2,3	51,5	1,5	7,5
43,3	1,0	50,2	1,5	5,1

собов уплотнения активного ила является напорная флотация [5,7,8]. В связи с этим был разработан аппарат колонного типа, выполненный в виде цилиндрического корпуса 1, на внешней поверхности которого расположены входные и выходные патрубки 4–8, а внутри — устройство аэрации 2 с трубчатыми аэраторами 3.

При напорной флотации происходит не только сгущение биомассы активного ила, но и повышение эффективности процесса за счет удаления ПАВ, нефтепродуктов, жиров, смол и т.д. Нами был предложен механизм процесса, по которому содержащиеся в воде примеси адсорбируются поверхностью пузырьков воздуха, нагнетаемого в очищаемую жидкость. Прилипание частицы загрязнений к поверхности газового пузырька происходит тогда, когда поверхность частицы не смачивается или плохо смачивается жидкостью. Это связано с тем, что при увеличении краевого угла смачивания увеличивается вероятность прилипания и прочность удержания частицы на поверхности воздушных пузырьков. Таким образом процесс очистки сточных вод заключается в образовании флотокомплексов «частицы загрязнений — пузырьки воздуха», их всплывании и удалении образовавшегося пенного слоя с поверхности обрабатываемой жидкости.

По нашему мнению, флотационный процесс в колонне можно рассматривать в виде последовательной мономолекулярной реакции:



где B — промежуточное соединение *флотокомплекс: частица — пузырек*.

Согласно принципу независимости в сложных реакциях, скорость реакции по компоненту B равна:

$$r_B = r_A = r_D$$

C_{A0} — начальная концентрация вещества A;

Если k_1 и k_2 — константы скоростей первой и второй стадий процесса, а

C_A, C_B, C_D — текущие концентрации реагентов A, B и D,

система дифференциальных уравнений, описывающих изменение концентраций веществ во времени, имеет вид (1):

$$\frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A; \quad \frac{dC_B}{dt} = k_1 C_A - k_2 C_B; \quad \frac{dC_D}{dt} = k_2 C_B. \quad (1)$$

На практике измеряются концентрации частиц загрязнений вещества A в жидкости и в пенном слое D. Измеряемые на практике концентрации частиц загрязнений в жидкости и в пенном слое D можно найти при решении системы уравнений (1)

$$C_A = C_{A0} e^{-k_1 t}; \quad C_B = \frac{k_1 C_{A0}}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t});$$

$$C_D = C_{A0} - C_A - C_B,$$

где C_{A0} — начальная концентрация вещества A;

В случае напорной флотации активного ила лимитирующей стадией является последняя стадия процесса с константой скорости k_2 , которая равна отношению скорости подъема флотокомплексов к рабочей высоте флотационной камеры. Поэтому, как показали расчеты, высота камеры для данных условий должна быть минимальной и не превышать одного метра.

Исследование механизма напорной флотации с предварительным подкислением активного ила показало, что при снижении pH до 1,5–2-х, не только резко улучшается флотационное сгущение, но и сорбционные характеристики микроорганизмов активного ила. Это приводит к снижению концентрации взвешенных частиц загрязнений в осветленной жидкости (таблица 3), где C_0 — концентрация взвешенных частиц в исходной суспензии, C_1 — концентрация активного ила

Таблица 4. Влияние предварительной термообработки суспензии активного ила с концентрацией 0,5% на эффективность осветления

N, п/п	Параметры обработки			Концентрация полисахаридов, мг/л	Эффективность осветления (%)
	t, °C	pH	Время выдержки, мин		
1 (контроль)	20	7,2 (исх.)	-	11	54,3
2	40	7,2	5	35	62,8
3	80	7,2	5	52	73,1
4	85	7,2	5	54	75,8
5	90	7,2	5	53	74,6
6	20	8,0	5	9	52,3
7	20	8,5	5	9	51,7
8	85	8,5	5	8	50,9
9	85	8,5	10	35	61,6
10	85	8,5	30	31	60,7
11	85	8,5	45	31	61,1
12	85	8,5	60	9	50,8

в пенном слое, образующемся в результате напорной флотации в тече 1 часа, C_2 – концентрация активного ила в иловой смеси, C_3 — концентрация взвешенных частиц в жидкой фазе после осветления и отстаивания в течении 30 минут.

Было показано, что при снижении pH уменьшается растворимость углекислого газа и наблюдается его выделение из жидкой фазы и из хлопьев активного ила. Поэтому последующая напорная флотация приводит к образованию плотного пенного слоя с концентрацией активного ила, в 1,5–2 раза превышающую его концентрацию без предварительного подкисления. Опыты проводились при комнатной температуре. Микроорганизмы активного ила вводились в сгущаемую суспензию с концентрацией 8,5 г/л.

В работе исследовалось влияние температуры на процесс очистки сточных вод. Для этого суспензия с концентрацией активного ила 0,5% нагревалась до 85⁰C. Эффективность осветления суспензии рассчитывалась по величине оптической плотности. Показано, что при нагревании возрастает концентрация полисахаридов в жидкой фазе и эффективность осветления возрастает в 3–3,5 раза.

Эти данные указывают на целесообразность такой обработки, как одного из методов повышения эффективности очистки с использованием активного ила.

Выводы

1. В работе проведены исследования по влиянию микроорганизмов избыточного активного ила на эф-

фективность процесса очистки производственных сточных вод. При увеличении концентрации микроорганизмов в суспензии активного ила возрастает скорость осаждения твердых частиц, а также возрастает степень осветления сточных вод.

2. Эксперименты по удалению частиц алюминия, содержащиеся в производственных сточных водах, показали эффективность использования микроорганизмов избыточного активного ила для удаления частиц металлов, содержащихся в сточных водах в дисперсном состоянии.
3. Рассмотрено применение избыточного активного ила при очистке производственных сточных вод после мытья автомобилей. Установлено, что при добавлении суспензии с концентрацией избыточного активного ила 42,7 г/л эффективность осветления возрастает с увеличением объема добавленного ила и достигает максимума при его объеме 40 мл.
4. Разработан аппарат колонного типа для уплотнения активного ила напорной флотацией.
5. Предложен механизм флотационного процесса в колонне в виде последовательной мономолекулярной реакции.
6. Исследовано влияние кислотности среды. Показано, что предварительное подкисление до pH = 1,5–2,0 не только резко улучшает флотационное сгущение активного ила, но и заметно снижает концентрацию загрязнений.
7. Проведены исследования по влиянию температуры на процесс очистки сточных вод. Показано, что при нагревании до температуры 85⁰C возрастает концентрация полисахаридов в жидкой фазе и эффективность осветления возрастает в 3–3,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен, И., Арван Э. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы: - М.: Мир. 2006. 480 с. (перевод с англ.)
2. Никитина О.Г. Современная концепция биологической очистки сточных вод. // Вода: химия и экология. 2009. № 11, 9–20.: URL: <http://watchemec.ru/article/12892>
3. Ксенофонтов Б.С. Интенсификация очистки сточных вод химических производств с использованием биофлокулянтов. Безопасность жизнедеятельности 2009. № 10. 24 с.
4. Гончаренко Е.Е., Ксенофонтов Б.С., Березина С.Л., Борисов Ю.А. Исследование коагуляции в процессах очистки сточных вод с применением компьютерной технологии. //Журнал «Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики». Серия «Естественные и технические науки». 2020. № 1, с.11–15. DOI 10.37882.2223–2966.2020.08.09
5. Ксенофонтов Б.С., Гончаренко Е.Е., Предварительная обработка активного ила перед использованием его в качестве биофлокулянта. Журнал «Естественные и технические науки». 2017. № 5 (107), с. 24–30. Изд. — во Спутник
6. Сборник Рекомендаций Хельсинской комиссии: Справ. — метод. пособие. СПб.: Диалог. 2008. 512 с.
7. Ксенофонтов Б.С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии. 2010. 272 с.
8. Запольский А.Г. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды. Свойства. Получение. Применение / А.Г. Запольский, А.А. Баран. — Л. Химия, 1987. — 208 с.//

© Гончаренко Евгения Евгеньевна (eeg84@mail.ru),

Ксенофонтов Борис Семенович, Березина Светлана Львовна.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана