

Из таблицы видно, что эффективность очистки с использованием экспериментального коагулянта, полученного из отходов литейного производства, сопоставима, а в некоторых случаях даже выше, чем при использовании коагулянта FeCl<sub>3</sub>, выпускаемого промышленностью. Это может быть связано с образованием кремниевых кислот при обработке соляной кислотой магнитной фракции железосодержащей пыли литейного производства, так как в ее состав входит SiO<sub>2</sub>. При этом возможен процесс поликонденсации кремниевых кислот, сопровождающийся образованием поликремниевых кислот, которые являются хорошими флокулянтами, вследствие чего полученный коагулянт также будет проявлять флокулирующие свойства. Это, в свою очередь, способствует образованию крупных хлопьев, что интенсифицирует процесс очистки сточных вод от мелкодисперсных и коллоидных примесей.

Таблица 2 – Результаты очистки сточной воды с использованием коагулянтов

Доза коагулянта мг Fe <sup>3+</sup> на 1 л сточной воды	Эффективность очистки, %					
	рН 5		рН 6		рН 7	
	ПК	ЭК	ПК	ЭК	ПК	ЭК
1	54,87	55,61	66,22	68,93	81,55	82,93
2,5	57,11	57,88	69,87	71,18	90,43	92,42
5	58,99	60,13	70,54	72,23	91,17	94,96
7,5	61,34	62,67	73,88	74,26	94,48	96,20
10	63,25	63,14	74,35	75,69	95,99	98,27
12,5	64,77	61,78	75,66	74,99	96,73	98,71
15	61,55	59,98	74,23	74,32	95,81	96,58
20	60,29	60,02	73,42	74,57	95,44	97,11

Таким образом, железосодержащая пыль литейного производства может использоваться для получения коагулянта для очистки сточных вод от мелкодисперсных и коллоидных примесей.

#### Список литературных источников

1. Витязь, П. А. Анализ состояния литейных производств Республики Беларусь / П. А. Витязь, А. В. Толстой, М. А. Садоха // *Литье и металлургия*. – 2019. – № 3. – С. 35–40.
2. Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии / К. А. Черепанов [и др.]. – М. : Металлургия, 1994. – 222 с.
3. Общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 021-2019 «Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь»: утвержден постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 9 сентября 2019 г. № 3-Т // *Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь*. – 2019. – № 8/34631.

#### Седиментационный анализ состояния активного ила

Игнатенко А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Белорусский государственный технологический университет, кафедра биотехнологии, г. Минск, Республика Беларусь, ignatenko\_av@tut.by*

**Резюме.** Вспухание ила является одной из основных проблем городских очистных сооружений, обрабатывающих смешанные коммунально-бытовые и промышленные сточные воды. Обычно вспухание ила характеризуется по значению илового индекса, определение которого недостаточно эффективно. В работе проведен седиментационный анализ нормального и вспухшего активного ила городских очистных сооружений с целью проверки возможности использования скорости осаждения частиц для быстрой оценки состояния активного ила. Показано, что кинетика седиментации частиц нормального и вспухшего ила существенно различается и связана с различием их удельной плотности. Для

обнаружения вспухания ила предложено использовать индекс полидисперсности частиц. Наличие сильной обратной корреляционной связи между иловым индексом и индексом полидисперсности частиц позволяет в течение 10 мин. обнаруживать вспухание активного ила.

### **Sedimentation analysis of activated sludge condition**

Ignatenko A.

**Summary.** Sludge swelling is one of the main problems of urban wastewater treatment plants that process mixed municipal and industrial wastewater. Usually, the swelling of sludge is characterized by the value of the sludge volume index, the definition of which is not effective enough. The sedimentation analysis of normal and swollen activated sludge of urban sewage treatment plants was carried out in order to test the possibility of using the particle deposition rate for a quick assessment of the state of activated sludge. It is shown that the kinetics of sedimentation of normal and swollen sludge particles differ significantly and is associated with the difference in their specific density. To detect the swelling of sludge, it is proposed to use the polydispersity index of particles. The presence of a strong inverse correlation between the sludge volume index and the polydispersity index of particles makes it possible to detect the swelling of activated sludge within 10 minutes.

Биологическая очистка сточных вод с использованием микроорганизмов активного ила является основным процессом защиты окружающей среды в условиях сильного антропогенного воздействия. Данная технология уже более столетия широко используется в мировой практике очистки городских сточных вод [1].

Биочистка изначально предназначалась для удаления легко окисляемых органических веществ коммунально-бытовых сточных вод с постоянным составом, поэтому хорошо справлялась со своей задачей. При распространении ее на промышленные сточные воды, обладающие переменным составом, большим спектром тяжелых металлов, трудно разрушаемых ксенобиотиков на активный ил стала возлагаться задача очистки сточных вод, как от биогенных элементов, так и от трудно разлагаемых и токсичных веществ.

Способность ила накапливать различные вещества на своей поверхности приводит к его перегрузке, снижению биологической активности или гибели в зависимости от вида и концентрации загрязнителей.

Состояние активного ила характеризуется целым рядом физико-химических и биологических свойств. В технологической практике биочистки сточных вод широкое использование получил показатель илового индекса (I) [2]:

$$I = V / m \text{ (см}^3\text{/г)}, \quad (1)$$

который определяется отношением объема активного ила после отстаивания (V), отнесенным к  $m = 1$  г сухого вещества. Длительность процедуры осаждения ила при отстаивании на очистных сооружениях составляет 2 ч, при лабораторном анализе – 30 мин. После отстаивания биомасса ила отделяется фильтрованием, высушивается, взвешивается и рассчитывается иловый индекс. Данный показатель характеризует способность ила осаждаться, что важно для его отделения от очищенных сточных вод простым и дешевым методом отстаивания.

В соответствии с [3] значения илового индекса могут изменяться в пределах от 10 до 980 см<sup>3</sup>/г. Пределами значений I для нормального ила считаются 60–150 см<sup>3</sup>/г [2].

При иловом индексе выше 150 см<sup>3</sup>/г имеет место вспухание активного ила, которое является его естественной реакцией на неблагоприятные экологические условия: перегрузку токсичными и трудно окисляемыми веществами, недостаток кислорода и др. Это изменяет биологического состав ила и увеличивает содержание нитчатых форм бактерий, которые проявляют повышенную устойчивость к токсичным и балластным

веществам. При вспухании формируется рыхлый, плохо осаждаемый ил, что приводит к его выносу из вторичного отстойника вместе со сточными водами и загрязнению окружающей среды.

Из седиментационного анализа полидисперсных систем, к которым относится и активный ил, известно, что они способны к фазовому расслоению [4]. Для систем с концентрациями до 10 г/л, куда относится и активный ил, седиментация частиц с диаметром 10–1000 мкм и более, хорошо описывается уравнением Стокса. Это позволяет для контроля вспухания ила наряду с иловым индексом использовать скорость осаждения частиц.

Цель работы – анализ возможности использования скорости седиментации частиц ила для оценки его состояния.

В работе использовали образцы нормального активного ила Минской очистной станции МОС-1 с влажностью 99,0%, отобранные из илоуплотнителя, и образцы вспухшего активного ила г. Смолевичи с влажностью 99,2%.

Иловый индекс определяли в соответствии с [3]. Взвешивание образцов проводили с помощью цифровых весов Scout Pro (США) в диапазоне 0–200 г с погрешностью 10 мг.

За седиментацией частиц наблюдали методом светорассеивания. Для этого готовили водные суспензии ила с концентрацией 2 г/л. Образцы вносили в 1 см кюветы спектрофотометра Specord UV-VIS (Германия) и регистрировали изменение их оптической плотности при 600 нм от  $t$ . Скорость осаждения частиц ( $U_{\text{сед}}$ ) определяли, как:

$$U_{\text{сед}} = d(D/D_0)/dt \quad (2)$$

с помощью программы Microsoft Excel.

В соответствии с уравнением Стокса скорость оседания частиц  $U_{\text{сед}}$  связана с их радиусом уравнением:

$$r = \sqrt{\frac{U_{\text{сед}} \cdot 9\eta}{2(\rho - \rho_0)g}} \quad (3)$$

где  $\rho$ ,  $\rho_0$ ,  $\eta$ ,  $g$ , – плотность дисперсной фазы, воды, ее вязкость, сила гравитационного притяжения, которые определяются константой Стокса –  $K$ . Размеры частиц могут быть выражены как:

$$r = K\sqrt{U_{\text{сед}}} \quad (4)$$

На рис. 1, 2 приведен типичный вид изменения кинетики светорассеивания среды  $(D/D_0)_{600}$  при седиментации нормального ила с  $I = 120 \text{ см}^3/\text{г}$  и вспухшего ила с  $I = 347 \text{ см}^3/\text{г}$ .

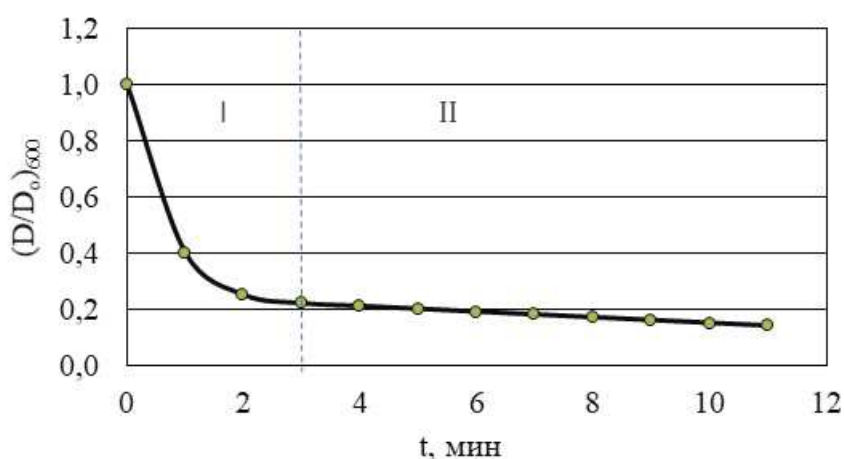


Рисунок 1 – Изменение светорассеивания среды при седиментации нормального активного ила

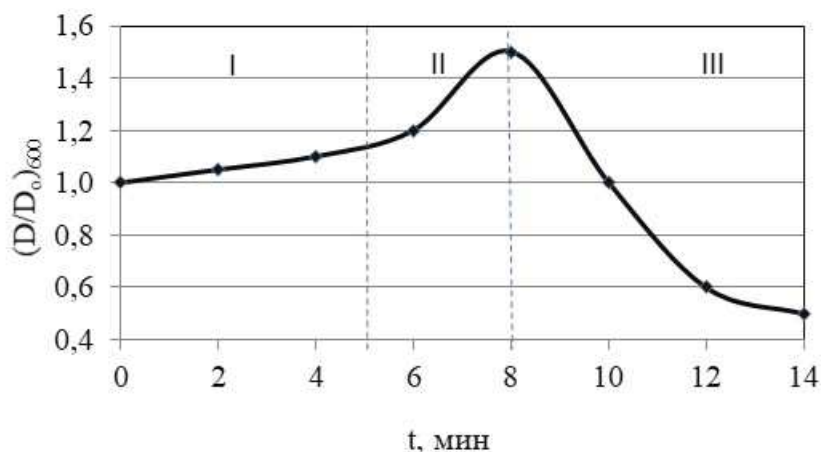


Рисунок 2 – Изменение светорассеивания среды при седиментации вспухшего активного ила

Как видно из рис. 1, 2, характер седиментации частиц нормального и вспухшего ила существенно различается. В случае нормального активного ила наблюдается 2-стадийный процесс: I (быстрое) и II (медленное) снижение  $(D/D_0)_{600}$ . Это указывает на осаждение в начале крупных частиц ила, затем мелких.

Для вспухшего ила отмечается наличие 3-х стадий (рис. 2): I (медленного), II (быстрого) роста, III – быстрого снижения  $(D/D_0)_{600}$  с выходом на стационарное значение в течение 15 мин, при этом сохраняется повышенное светорассеивание надосадочной жидкости по сравнению с нормальным илом (рис. 1).

Такое поведение нормального и вспухшего ила связано с различием их удельных плотностей, которые, соответственно, выше и меньше  $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$  воды. Это приводит не к оседанию, а всплыванию и уплотнению вспухшего ила, что наблюдается, как медленный и быстрый рост светорассеивания среды. Далее уплотненный ил частично осаждается, что снижает  $(D/D_0)_{600}$  среды (рис. 2).

Для характеристики состояния активного ила наряду с иловым индексом можно применять показатель индекса полидисперсности частиц, найденный как:

$$IP = r_0 / r_t = \frac{\sqrt{U_0}}{\sqrt{U_t}} \quad (5)$$

где  $r_0, r_t$  – размеры движущихся частиц в начальный и текущий момент времени,  $U_0, U_t$  – начальная и текущая скорости осаждения частиц при  $t = 10$  мин отстаивания.

Для нормального ила с  $I = 120 \text{ см}^3/\text{г}$  величина  $IP = 9,31$ , а для вспухшего активного ила с  $I = 347 \text{ см}^3/\text{г}$  она составила  $IP = 0,35$  для  $t = 10$  мин. Данная величина не зависит от значения коэффициента  $K$  для одного типа ила, но существенно различается для нормального и вспухшего ила, что связано с различием их плотности и разным характером движения частиц.

Наличие сильной обратной корреляционной связи между значениями илового индекса  $I$  и индексом полидисперсности  $IP$  частиц ила ( $R = -0,93$ ) позволяет использовать значение  $IP$  для быстрой оценки состояния ила и обнаружения его вспухания. Длительность анализа при этом сокращается до 10 мин и снижается его трудоемкость.

#### Список литературных источников

1. Игнатенко, А. В. Анализ биологической очистки сточных вод и детоксикации активного ила очистных сооружений / А. В. Игнатенко // Химическая безопасность. – 2022. – Т. 6, № 1. – С. 21–46.
2. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – М. : АКВАРОС, 2003. – 512 с.
3. Комплект методик по гидрохимическому контролю активного ила: определение массовой концентрации активного ила, илового индекса, зольности сырого осадка, активного ила, прозрачности надильовой воды. – М. : АКВАРОС, 2008. – 33 с.
4. Романовский, С. И. Физическая седиментология / С. И. Романовский. – Л. : Недра, 1988. – 240 с.