УДК 669.5.53,669.1.112

М.Ш.БАРКАН, В.С.КУЗНЕЦОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)
И.В.ФЕДОСЕЕВ
Московский государственный технологический университет им. Н.Э.Баумана

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

Работа посвящена исследованию физико-химических параметров осадков городских сточных вод и установлению технических принципов утилизации промышленных объемов осадков городских сточных вод.

The given work is devoted to research of physical and chemical parameters of deposits of city sewage, and an establishment of technical principles of recycling of industrial volumes of deposits of city sewage.

Актуальность утилизации осадков городских сточных вод (ОГСВ) – источников активного антропогенного воздействия на компоненты природной среды в зоне влияния развитых промышленных агломераций постоянно растет. Динамика образования ОГСВ свидетельствует, что ситуация в мегаполисах и крупных промышленных районах может выйти из-под контроля [2, 4, 6].

Проблема обращения с отходами, в частности с ОГСВ, обостряется в связи с необходимостью отчуждения значительных территорий, что осложняет экологическую ситуацию в густонаселенных регионах [2, 6].

В настоящее время основными направлениями утилизации осадков городских сточных вод являются следующие [3]: получение удобрений и мелиорантов для выращивания сельскохозяйственных и древесно-кустарниковых культур; получение кормовых добавок для животных; получение вторичного сырья (соли тяжелых и редких металлов, использование нефтесодержащих примесей и др.) и товарных продуктов (активированного угля, технических жиров и др.); получение материалов для строительной промышленности; использование в энергетике (утилизация газов в процессе метанирования). Наибольшее применение вследствие своей простоты получило первое из перечисленных направлений утилизации осадков.

Отмечается, что наиболее радикальным методом устранения осадков является их сжигание, однако при этом концентрация сухого вещества должна быть не ниже 40 %, что требует обязательного механического обезвоживания и двухступенчатой сушки осадков.

Сельскохозяйственная и рекультивационная утилизация осадков столкнулась и с исключительно серьезными проблемами. Так, широкому использованию осадков в сельскохозяйственных целях препятствуют высокие концентрации в них тяжелых металлов (ТМ). Например, предельно допустимая концентрация ($ПДК_п$) для свинца в почвах Германии составляет 100 мг/кг, а его содержание в осадках обычно достигает нескольких тысяч милиграмм на килограмм [3]. Аналогичная концентрация $ПДК_п$ для свинца в России составляет 20 мг/кг. Высокие концентрации в осадках других ТМ (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg). В этой связи отмечено [1], что проблемы удаления осадков исключительно обострятся в ближайшем будущем, что уже сегодня требует интенсивного поиска путей более рационального их использования.

На основании анализа промышленной практики можно выделить основные методы

переработки ОГСВ: пиролиз, термообработка, замораживание, обезвоживание, сушка, сгущение, реагентная обработка, биологические методы с использованием окислителей.

Возможность варьирования технологических подходов определяется спецификой физико-химических параметров осадков [5]: химического, фазового и гранулометрического состава; наличия и концентрации неорганических и органических токсичных примесей, в том числе тяжелых цветных металлов и нефтепродуктов; фильтруемости; теплофизических свойств и т.д.

Изучение основных физико-химических параметров ОГСВ (плотность, удельная поверхность) проводилось с использованием стандартных методик с учетом экспериментальных методов, применяемых при разработке и моделировании пиро- и гидрометаллургических процессов.

Средняя плотность ОГСВ определялась пикнометрическим методом из шести параллельных проб. Исследовались пробы свежих ОГСВ и лежалых продуктов, хранящихся на иловых картах. Каждому определению предшествовали вакуумирование и термостатирование пикнометра с навеской материала и рабочей жидкости. Пикнометры градуировали дистиллированной водой, истинный объем определяли по формуле

$$V_{\text{ï}} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma \text{H}_2\text{O}}, \qquad (1)$$

где P_1 – масса сухого пикнометра, г; P_2 – масса пикнометра с дистиллированной водой, г; γH_2O – плотность воды при 25 °С, $\gamma H_2O = 0{,}99707$ г/см^3.

В качестве пикнометрической жидкости использовали толуол. Плотность ОГСВ определяли из соотношения

$$\rho_{\text{îÃÑÂ}} = \frac{P_2 - P_1}{V_{\text{ï}} - \frac{Ð_3 - Ð_2'}{\gamma_{\text{ò}}}}, \qquad (2)$$

где $Ð_2'$ – масса пикнометра с пробой ОГСВ, г; P_3 – масса пикнометра с пробой и толуолом, г; $\gamma_т$ – плотность воды, г/см^3.

Для каждой из шести параллельных проб выполнялись четыре измерения (см. таблицу).

Значения плотностей ОГСВ для осадков городских сточных вод Калуги и Санкт-Петербурга, г/см^3

Продукт	Номера проб					
	1	2	3	4	5	6
ОГСВ Калуги						
Свежий	1,02	1,06	1,05	1,03	1,04	1,04
Лежалый	1,12	1,08	1,06	1,14	1,08	1,12
ОГСВ Санкт-Петербурга						
Свежий	1,01	1,03	1,04	1,01	1,01	1,04
Лежалый	1,12	1,18	1,17	1,13	1,16	1,14

Среднее значение плотности осадка (ОГСВ) для рассмотренных продуктов – 1,02-1,04 г/см^3 для свежих, 1,1-1,15 г/см^3 – для депонированных осадков.

Зола, образующаяся в процессе сжигания осадка (без прокаливания) имеет насыпную плотность порядка 1250-1600 кг/м^3. Частицы имеют размеры 0,3-0,8 мм (80 % общего количества). Анализ крупности проводился с помощью оптических микроскопов и стандартных сит.

Реакционная способность высокодисперсных материалов определяется, наряду с химическим и фазовым составом, величиной удельной поверхности. Изучение этой характеристики осуществлялось газохроматографическим методом тепловой десорбции аргона, позволяющим с высокой точностью экспериментально оценивать удельную поверхность материалов различного генезиса.

Удельная поверхность шарообразных частиц может быть определена из соотношения [3]

$$S = \frac{\sigma}{d\gamma}, \qquad (3)$$

где S – удельная поверхность, м^2/г (определяется экспериментально); d – средний диаметр частиц, мкм; γ – плотность материала, г/см^3; σ – коэффициент формы.

Выражение (3) позволяет определить кажущиеся размеры частиц и оценить аналитически крупность частиц ОГСВ.

С учетом полидисперсности материала, возможности попадания в пробы частиц размером в десятки микрон и отличия форм частиц от идеальных сфер, что отчетливо видно под микроскопом, можно сделать вывод о преобладании частиц размером ~1 мкм, что и определяет высокие значения удельных поверхностей ОГСВ*.

Экспериментальные значения удельной поверхности и измеренной плотности ОГСВ для осадков городских сточных вод Калуги и Санкт-Петербурга показаны ниже:

	S, м^2/г	γ, г/см^3
ОГСВ Санкт-Петербурга	1,17	1,15
ОГСВ Калуги	1,08	1,1

Влажность осадков определяли путем вакуумной сушки до постоянного веса. Для обоих видов осадка она составила: 96,5-98,5 % для свежего продукта; 89,1-96,2 % – для лежалого продукта.

Зольность осадков колебалась в пределах 47-62 % для обоих видов осадков; определялась зольность путем прокаливания в муфельной печи при 650-670 °С в течение 1,5 ч, насыпная масса золы – 1200-1700 кг/м^3.

В соответствии с методикой, приведенной в работе [3], для лежалых продуктов определяли их фильтруемость, являющуюся одной из лимитирующих по продолжительности операций при переработке ОГСВ, поскольку для последующей переработки необходимо обеспечивать обезвоживание большого объема осадка в единицу времени.

Удельное сопротивление слоя осадка определялось из соотношения [3]

$$r = \frac{2PF^2}{\mu C}\frac{t}{V^2}, \qquad (4)$$

где P – разрежение, Па; F – площадь фильтруемой поверхности, см^2; μ – динамическая вязкость фильтрата, Па·с, принимается равной динамической вязкости воды; C – масса твердой фазы осадка, образующегося на единице поверхности фильтра при пропускании единицы объема фильтрата, $C = 100W/100\rho$; ρ – плотность осадка, г/см^3; W – влажность осадка, %; t – продолжительность фильтрации, с; V – объем фильтрата, см^3.

Определенное по данной методике сопротивление фильтрации* составляет $700\cdot10^{10} – 2500\cdot10^{10}$ см/г. Начальная скорость фильтрации исходного осадка составляла 4,7-5,1 л/(м^2·мин).

Теплота сгорания органической фракции сухого осадка для продуктов Санкт-Петербурга и Калуги колеблется в диапазонах 11,8-17,2 у свежего и 8,75-14,6 МДж/кг у депонированного продукта.

Лабораторное исследование возможности сжигания осадка показало, что экономичное сжигание осадка наступает при снижении влажности до 60-70 % в зависимости от теплоты сгорания сухого вещества, зольности ОГСВ, а также коэффициента тепловых потерь.

Полученные экспериментальные данные были использованы в процессе прикладных исследований, направленных на формирование технологических принципов утилизации промышленных объемов ОГСВ с регенерацией ценных компонентов на условиях самоокупаемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аграмоник Р.Я.* Физико-химические методы очистки воды и обработки осадков / Р.Я.Аграмоник, М.Г.Зубов, А.М.Семенов. М.: Химия, 1985.

2. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды в РФ / МПР РФ. М., 2005.

3. *Евилевич А.З.* Утилизация осадков сточных вод / А.З.Евилевич, М.А.Евилевич. Л.: Стройиздат, 1988.

4. Единая политика обращения с отходами в Санкт-Петербурге и Ленинградской области / Под ред. С.Г.Инге-Вытомова, Ю.И.Скорика, Т.М.Флоринской. СПб: Изд-во СПбГУ, 2000.

5. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Ред. В.Н.Самохина. М.: Стройиздат, 1981.

6. *Юсфин Ю.С.* Промышленность и окружающая среда / Ю.С.Юсфин, Л.И.Леонтьев, Т.И.Черноусов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2002.

* Анализ седиментометрических характеристик смеси активного ила и первичного осадка свидетельствует о наличии следующих основных фракций: 1000-250 мкм – 5-10 %; 250-100 мкм – 2-3 %; <100 мкм – 87-92 %.

* За величину удельного сопротивления осадка принимается «…уровень сопротивления единицы массы твердой фазы на единице площади фильтра…» [3].