

Ян И (Китай), Годымчук Анна Юрьевна (Россия)

Томский политехнический университет, г.Томск

Научный руководитель: Годымчук Анна Юрьевна,  
канд. техн. наук, доцент

## **ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА НАНОЧАСТИЦ $\text{SiO}_2$ НА ОСАЖДЕНИЕ В ВОДЕ**

### **Введение**

Наночастицы оксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) имеют перспективы в лакокрасочной индустрии для повышения износостойкости деревянных стеновых панелей [1], в сельском хозяйстве для борьбы с вредными насекомыми [2], в строительстве трубопроводов и оборудования морских нефтедобывающих платформ для создания теплоизоляционных композиционных покрытий [3]. Большой спрос на наночастицы приводит к увеличению объемов их производства, а, следовательно, к созданию источников для их выделения в окружающую среду. Исследования показали, что при выделении в гидросферу наночастицы  $\text{SiO}_2$  могут оказывать негативное действие на гидробионты [4]. Поэтому для рационального применения наночастиц и прогнозирования их опасности необходимы знания об их биологических и физико-химических свойствах в поверхностных водах.

Целью работы являлось определение влияния размера наночастиц на их коллоидные свойства в воде.

### **Экспериментальная часть**

Объектами исследования являлись наночастицы  $\text{SiO}_2$ , приобретенные в ООО «Плазмотерм» (<https://plasmotherm.ru/>, г.Москва, Россия). Согласно данным производителя наночастицы имели средний размер 5 и 7,5 нм, и были обозначены в работе, как  $\text{SiO}_2$ -5 и  $\text{SiO}_2$ -7,5, соответственно.

В работе готовили суспензии наночастиц путем добавления 25 мл дистиллированной воды ( $\text{pH}=6,5\pm 0,2$ , дистиллятор АЭ-25 МО (ОАО ТЗМОИ, Тюмень, Россия) к 25 мг сухих наночастиц (весы ALC-110d4 Acculab, Россия, точность  $\pm 0,0001$ ). После этого суспензию обрабатывали в ультразвуковой ванне Марка (Одасервик, объем 5 л, мощность 60 кВт) в течение 10 мин. Свежеприготовленную суспензию встряхивали вручную и переливали в стеклянную кювету спектрофотометра.

Для изучения коллоидных свойств в суспензии определяли коэффициент светопропускания (Т, %) при 430 нм на спектрофотометре PD-303

(Arel, Япония). За эталон брали дистиллированную воду ( $T=100\%$ ). Измерения проводили в стеклянных цилиндрических кюветах в течение 60 мин. Из измеренного значения  $T$ , % рассчитывали оптическое поглощение  $A$  по формуле (1) и остаточную концентрацию частиц в системе  $C/C_0$  по формуле (2):

$$A = -\lg \frac{T}{100} \quad (1)$$

$$\frac{A}{A_0} = \frac{C}{C_0} \quad (2)$$

где  $A$  – оптическое поглощение в момент времени  $t$ ,  $A_0$  – начальное оптическое поглощение,  $C$  – концентрация в момент времени  $t$ , уд.ед.,  $C_0$  – начальная концентрация ( $C_0=1$  уд.ед).

Для определения скорости и степени осаждения использовали полуэмпирическую модель первого порядка [5], описываемую уравнением (3):

$$\frac{C}{C_0} = \left(1 - \frac{C_{res}}{C_0}\right) e^{-k_{sed} \cdot t} + \frac{C_{res}}{C_0} \quad (3)$$

где  $t$  – время седиментации, мин;  $k_{sed}$  – константа скорости седиментации,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $C_{res}/C_0$  – удельная концентрация неосевших частиц за бесконечное время;  $(1 - C_{res}/C_0)$  – степень осаждения частиц.

#### Результаты и обсуждение

Из данных видно, что все исследуемые частицы склонны к осаждению в воде, потому что удельная концентрация частиц в воде постоянно уменьшается. Например, в суспензии  $\text{SiO}_2$ -5 через 5...30...60 мин величина  $C/C_0$  в суспензии составила 82...77...74 %, соответственно (рис.1а). При этом равновесие в системе достигалось уже через 30-40 мин.

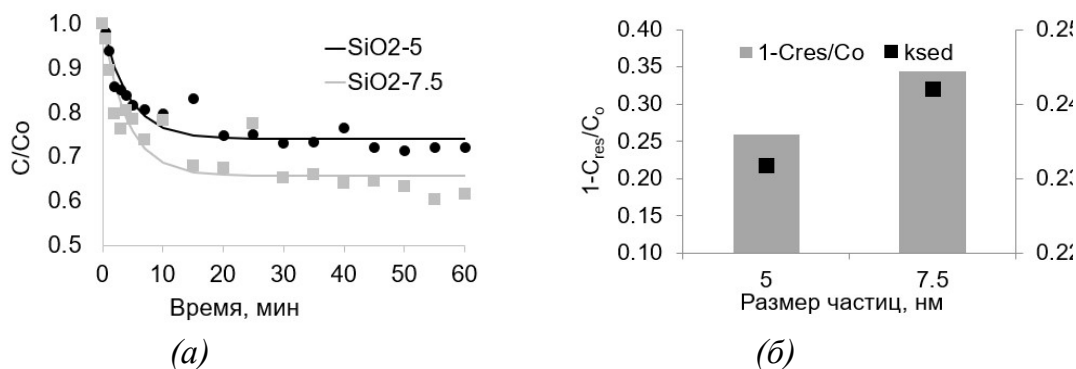


Рис. 1. Седиментационные свойства наночастиц  $SiO_2$  в воде: (а) изменение концентрации частиц ( $C/C_0$ ) и (б) влияние размера наночастиц на скорость осаждения ( $k_{sed}$ ,  $мин^{-1}$ ) и степень осаждения ( $1-C_{res}/C_0$ , уд.ед.).

Результаты статистической обработки показали (рис.1а), что процесс седиментации хорошо описывается уравнением первого порядка: коэффициент детерминации Пирсона составил 0,9068 и 0,8338, соответственно, для  $SiO_2$ -5 и  $SiO_2$ -7.5.

Анализ кривой позволил увидеть, что с увеличением размера частиц степень и скорость осаждения суспензий несколько увеличиваются. Полученные данные согласуются с исследованиями для наночастиц  $TiO_2$ , для которых с увеличением размера от 5 до 10 нм седиментация в дистиллированной воде при  $pH=7$  значительно ускоряется [6], хотя в 5 мМ NaCl ситуация противоположная. В нашем случае, при уменьшении размера частиц на 2,5 нм степень седиментации возросла в 1,33 раза, а скорость – в 1,04 раз (рис.1б). Согласно закону Стокса, скорость осаждения условно сферических частиц прямо пропорциональна квадрату их диаметра [7], т.е. в данном случае при прочих равных условиях скорость седиментации могла увеличиться в 2,25 раз вместо 1,04 в нашем эксперименте. Вероятно, есть другие причины торможения процесса осаждения частиц, что требует дальнейших исследований.

### Заключение

Таким образом, на примере двух промышленных частиц  $SiO_2$  со средним размером 5 и 7.5 нм показано влияние размера наночастиц на скорость и степень седиментации. Установлено, что в водной суспензии с уменьшением размера частиц на 2,5 нм скорость осаждения увеличивается незначительно, но степень осаждения увеличивается на 32%.

Результаты получены с применением оборудования ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wu L., Chen M., Xu J., Fang F., Li S., Zhu W. Nano-SiO<sub>2</sub>-modified waterborne acrylic acid resin coating for wood wallboard // *Coatings*. – 2022. – Vol.12 (10) – P. 1453.
2. Faliagka S., Germani R., Agrafioti P., Xidas P., Athanassiou C.G., Katsoulas N. SiO<sub>2</sub> applications as an alternative to insect control in greenhouses // *Biology and Life Sciences Forum*. – 2021. – Vol.3(1). – P. 32.
3. Di Z., Ma S., Wang H., Guan Z., Lian B., Qiu Y., Jiang Y. Modulation of thermal insulation and mechanical property of silica aerogel thermal insulation coatings // *Coatings*. – 2022. – Vol.12(10). – P.703.
4. Крысанов Е.Ю., Павлов Д.С., Демидова Т.Б., Дгебуадзе Ю.Ю. Наночастицы в окружающей среде и их влияние на гидробионтов // *Известия РАН. Серия биологическая*, 2010. – № 4. – С. 478-485.
5. Quik J.T.K., Stuart M.C., Wouterse M., Peijnenburg W., Hendriks A.J., Meent D. Natural colloids are the dominant factor in the sedimentation of nanoparticles // *Environmental Toxicology and Chemistry*. – 2012. – Vol.31. – P. 1019-1022.
6. Liu X., Chen G., Su C. Effects of material properties on sedimentation and aggregation of titanium dioxide nanoparticles of anatase and rutile in the aqueous phase // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2011. – Vol.363. – P.84-91
7. Коньгин С.Б., Иваняков С.В. Процессы седиментации в дисперсных системах. Методические указания к самостоятельной работе. – Самара: СГТУ, 2009. – 21 с.