

ДИСПЕРСИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА В МОДЕЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЯХ

А.В. ИЛЬЯШЕНКО, А.Ю. ГОДЫМЧУК

Томский политехнический университет, Томск, Россия

E-mail: avilyashchenko@mail.ru

Железосодержащие наночастицы имеют большие перспективы для диагностики и терапии раковых заболеваний, магнитных сенсоров и топливных элементов. Спрос на наночастицы оксида железа привел к резкому увеличению объемов их производства, что способствовало увеличению числа источников выделения наноразмерных частиц в воздух рабочей зоны, а, следовательно, и попаданию их в организм человека. Несмотря на то, что токсичность наночастиц оксида железа невысока по сравнению с металлическими наночастицами, попадая в специфические среды, они могут растворяться и являться источниками высокотоксичных соединений тяжелых металлов или могут создавать устойчивые дисперсные системы в биологических средах [1]. В настоящее время среди всех физико-химических характеристик наночастиц, влияющих на механизмы цитотоксичности наноматериалов, агрегативная устойчивость в биологической среде является одним из самых важных параметров для прогнозирования поведения наноматериалов в биологических средах.

Целью работы являлось определение влияния дисперсионной среды на дисперсионные и электрокинетические свойства наночастиц оксида железа в простейших биологических жидкостях. В работе исследовали нанопорошки оксида железа (α - Fe_2O_3) со средним размером согласно данных электронной микроскопии 18,40 (NANOGRAPHI Co. Ltd., Турция) и 100 нм (ООО «Передовые порошковые технологии», Россия). Готовили суспензии с концентрацией наночастиц 100 мг/мл на основе растворов, моделирующих пот (0,9 %-ного водного раствора NaCl) и легочную жидкость (ЛЖ, 20%-ного водного раствора лимонной кислоты [2]). Суспензии выдерживали в течение 72 ч при $25 \pm 2^\circ\text{C}$ с периодической обработкой ультразвуком в течении 5 мин погружным в УЗ ванну мощностью 240 Вт. Через определенные промежутки времени из суспензии после УЗ обработки отбирали 1 мл суспензии для анализа. Эксперимент повторяли 3 раза.

Определение дисперсионных (распределение частиц по размерам) и электрокинетических свойств (ζ -потенциал) частиц в дисперсиях проводили с помощью метода динамического рассеяния света на кафедре функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ МИСиС, г.Москва. Измерения проводили с помощью лазерного анализатора частиц Zetasizer Nano ZS (Malvern, США) при 25°C в U-образной кювете из полистирола (гелий-неоновый лазер, 4 мВт, 633 нм). Полученное количественное распределение частиц по размерам использовали для расчета среднего размера частиц d_{cp} .

Результаты эксперимента показали, что на свойства наночастиц большое влияние оказывает время выдерживания частиц в суспензии и природа дисперсионной среды. В легочной жидкости наночастицы подвергаются агрегации, на которую исходный размер частиц оказывает неоднозначное влияние. Очевидно, что в течение первых трех часов независимо от размера частиц и природы среды увеличивается размер агрегатов: например, в течение 3 ч для Fe_2O_3 -40 величина d_{cp} увеличивается от 223 ± 17 до 290 ± 56 нм в легочной жидкости (рис.1а) и от 471 ± 51 до 850 ± 212 нм в поте (рис.1б). Выдерживание более 3 ч практически не способствует агрегации частиц: например, размер Fe_2O_3 -40 остается 290 ± 75 нм. Также очевидно, что в растворе NaCl образуются системы с более крупным размером дисперсной фазы. Например, после часового выдерживания суспензий средний размер агрегатов наночастиц Fe_2O_3 -40 составляет 256 ± 36 и 628 ± 120 нм, соответственно, в ЛЖ и поте (рис.1).

Согласно экспериментальным данным исследуемые наночастицы в растворе, моделирующем пот, образуют дисперсии с низкой электрокинетической стабильностью менее ± 10 мВ (рис.2а), и в зависимости от размера могут образовывать суспензии с умеренно высокой

стабильностью (10...25 мВ, рис.2б). Для всех сред после выдерживания в течение 3 ч заряд частиц не меняется во времени. Так, в поте для частиц с размером < 100 нм ξ -потенциал не превышает ± 4 мВ, а для крупных частиц составляет -10 мВ (рис.2б), что демонстрирует их низкую коллоидную устойчивость. В легочной жидкости с увеличением размера частиц увеличивается заряд поверхности: например, в ряду частиц с размером 20...40...100 нм ξ -потенциал составляет $2,55 \pm 0,4 \dots 9 \pm 1 \dots 19,5 \pm 1,5$ мВ, соответственно (рис.2а).

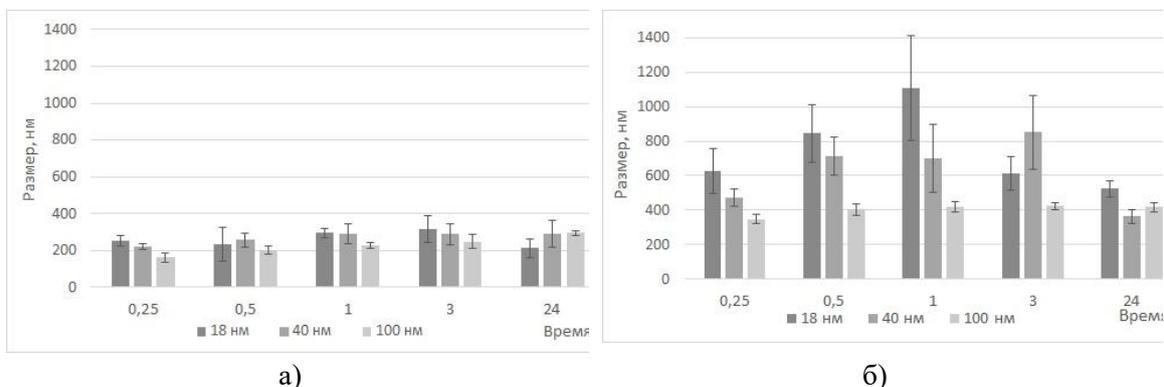


Рис.1. Изменение размера частиц (d_{cp} , нм) наночастиц во времени в легочной жидкости (а) и поте (б).

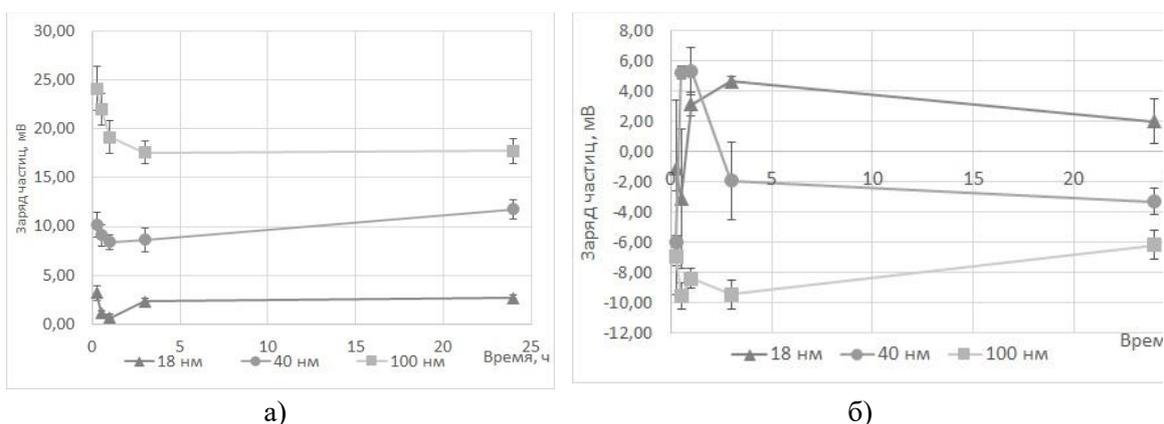


Рис.2. Изменение заряда частиц (ξ -потенциал, мВ) наночастиц во времени в легочной жидкости (а) и поте (б).

В целом установлено, что благодаря большой концентрации цитратов в простейшей легочной жидкости средний размер частиц с исходным размером 18...100 нм размер агрегатов в 2,1 раз меньше, а заряд в 5 раз выше по сравнению с модельным потом.

Список литературы

1. Baalousha M. Aggregation and disaggregation of iron oxide nanoparticles: Influence of particle concentration, pH and natural organic matter // The Science of the Total Environment. – 2009. – V.407(6). – P.2093–2101.
2. Abzhanova D., Godymchuk A., Gusev A., Kuznetsov D. Exposure of nano- and ultrafine Ni particles to synthetic biological solutions: predicting fate-related dissolution and accumulation // European Journal of Nanomedicine. – 2016. – V.8 (4) – P.203–212.