

- theoretical study // Journal of Molecular Structure. – 2021. – V. 1227. – P. 129 – 140.
2. Simona Varvara, Roxana Bostan, Otilia Bobis, Luiza Gaină, Florin Popa, Vicente Mena, Ricardo M. Souto. Propolis as a green corrosion inhibitor for bronze in weakly acidic solution // Applied Surface Science. – 2017. – V. 20. – P. 100 – 112.
 3. Roxana Bostan, Simona Varvara, Luiza Găina, Liana Maria Mures. Evaluation of some phenothiazine derivatives as corrosion inhibitors for bronze in weakly acidic solution // Corrosion Science. – 2012. – V. 63. – P. 275 – 286.
 4. Simona Varvara, Giada Canigliab, Javier Izquierdob, Roxana Bostana, Luiza Găină, Otilia Bobise, Ricardo M. Souto. Multiscale electrochemical analysis of the corrosion control of bronze in simulated acid rain by horse-chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) extract as green inhibitor // Corrosion Science. – 2020. – V. 165. – P. 108 – 127.

Сюй Фаньцзе (Китай),
Юдникова Арина (Россия)

Томский политехнический университет, г.Томск

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

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА НАНОЧАСТИЦ НИКЕЛЯ НА ИХ АГРЕГАЦИЮ В ПОЧВЕННОМ БУФЕРЕ

Введение

Наночастицы никеля применяются в биомедицине, металлургии, сельском хозяйстве и электронике [1], поэтому их производство будет расти. Чем больше производство, тем больше шансов наночастицам попасть в окружающую среду. Согласно литературе, при накоплении в почве наночастицы никеля могут быть токсичными для бактерий [2] и растений [3]. При этом на токсичность большое влияние оказывает размер частиц [4]. Например, что при уменьшении размера от 62 до 100 нм усиливается фитотоксичность наночастиц Ni/NiO [4]. Можно предположить, что на информацию о размере частиц при их попадании в почвенную среду может быть полезна с точки зрения прогнозирования их биологических свойств. Поэтому изучение агрегации наночастиц в жидких средах, включая поверхностные воды и почвенные среды является важной задачей в нанотоксикологии.

Целью настоящей работы было оценить влияние размера наночастиц никеля на степень их агрегации в почвенном буфере.

Экспериментальная часть

В работе исследовали наночастицы Ni, синтезированные в виде водной суспензии с концентрацией 250 мг/л методом импульсной лазерной абляции мишени металлического Ni (чистота 99,5%, параллелепипед размером 40×10×5 мм) в дистиллированной воде в течение 1,5 ч [5].

НЧ Ni-9 синтезированы в виде водной суспензии с концентрацией по никелю 250 мг/л в лаборатории перспективных исследований Томского государственного университета методом импульсной лазерной абляции никелевой мишени (Ni 99,5%, параллелепипед 40×10×5 мм) в дистиллированной воде в течение 1,5 ч с помощью Nd:YAG лазера LS-2131M-20, LOTIS ТП (Iген=1064 нм, тимп=7 нс, Еимп=150 мДж, t=20 Гц, импульсная плотность мощности излучения на поверхности мишени достигала 500 МВт/см²) [5].

Основной для приготовления суспензий НЧ являлся питательный раствор Хьюитта с суммарной концентрацией макроэлементов 18 мг-экв/л, который является универсальным и общепризнанным питательным раствором для гидропонных систем и проведения физиологических экспериментов на растениях в условиях водной культуры (табл.1, [6]). Данный раствор использовался как контрольный вариант среды прорастания семян. Раствор готовился на основе дистиллированной воды (рН=6,11±0,2, проводимость 0,2 мкС, Аквадистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ, Тюмень Медико, Россия)

Таблица 1

Состав питательного раствора Хьюитта

Макрокомпоненты раствора	Концентрация, мг-экв/л	Микрокомпоненты раствора	Концентрация, моль/л
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	8	CuSO ₄ ·5H ₂ O	~ 10 ⁻⁶
KH ₂ PO ₄	2	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	~ 10 ⁻⁶
K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	2	(NH ₄) ₂ MoO ₄	~ 10 ⁻⁶
KNO ₃	2	MnSO ₄	~ 10 ⁻⁵
MgSO ₄ ·7H ₂ O	3	H ₃ BO ₃	5·10 ⁻⁵
NH ₄ NO ₃	1	Хелат Fe	5·10 ⁻⁵

Распределение частиц по размерам определяли с помощью анализатора частиц Zetasizer Nano (Malvern, США) при 25°C. Прибор оснащен He-Ne-лазером мощностью 4 мВт с длиной волны 633 нм. Измерения проводили в углу обнаружения 173°, позиции в кювете автоматически

определялись программным обеспечением. Для измерений 1 мл суспензии помещали в U-образную капиллярную кювету. Измерения проводили не менее трех раз.

Численное распределение частиц использовали для расчета среднего размера частиц ($d_{ср}$) по формуле (1):

$$d_{ср} = \sum d \frac{q(\%)}{100(\%)}, \quad (1)$$

где, d – размер частиц в дисперсии, q – процентное содержание частиц с размером d .

Результаты анализа

В работе показано, что при попадании в буфер частицы подвергаются агрегации. Видим, что диапазон распределений через 30 мин составляет 190 - 6439 нм (рис. 1а). Второе, что видим из рисунков – это то, что время выдерживания влияет на число пиков: чем дольше взаимодействуют частицы с буфером, тем более монодисперсной становится система: видно, что через 4 ч в системе два пика (рис. 1б), а через 7 дней – 1 пик (рис. 1в) по сравнению с 30 мин, где наблюдается 3 пика (рис. 1а).

Также видно, что фракция с минимальной модой полностью исчезает со временем.

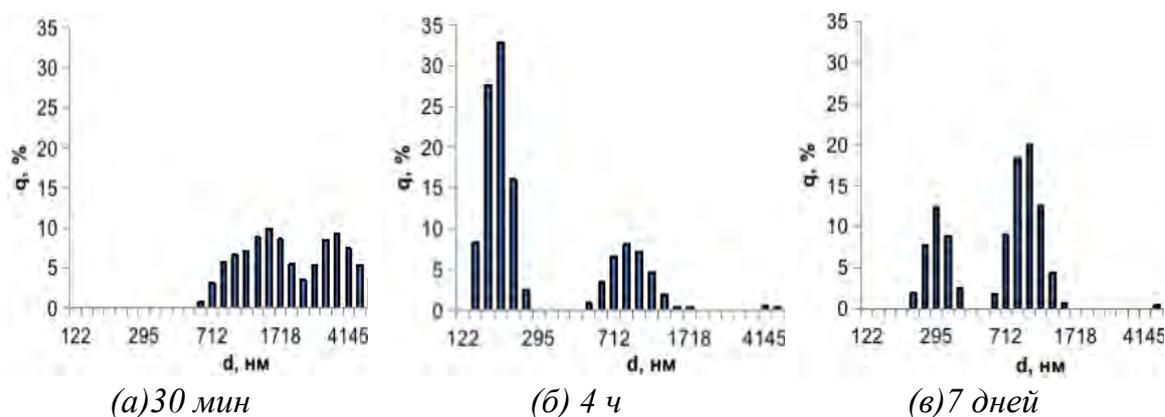


Рис. 1. Распределение наночастиц в буфере при выдерживании в течение 30 мин (а), 4 ч (б) и 7 дней (в)

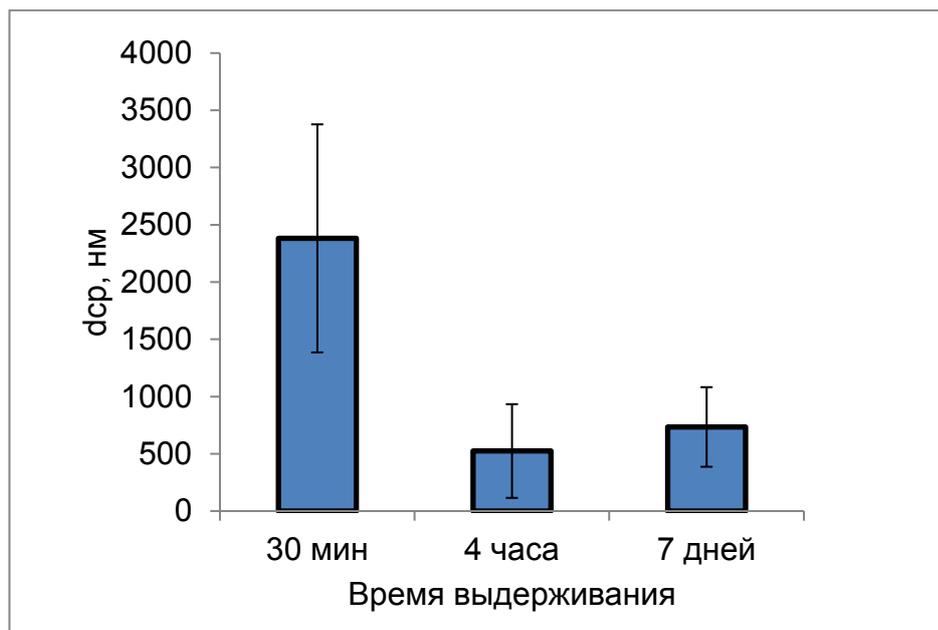


Рис. 2. Изменение среднего размера агрегатов ($d_{ср}$, нм) наночастиц Ni в буфере во времени

Усредненные результаты показали, что со временем степень агрегации суспензий снижается. Важно отметить, что перед измерением размеров все суспензии обрабатывались ультразвуком, чтобы избежать игнорирования осевших агрегатов. Так, видно, что при выдерживании наночастиц в буфере размер агрегатов уменьшается в первые несколько часов. Например, через 30 мин размер был 2381 ± 996 нм, а через 4 ч стал – 524 ± 409 нм (рис.2). Однако, более длительное выдерживание не влияло существенно на размер агрегатов, он менялся в рамках ошибки – на 20 %.

Заключение

На примере наночастиц Ni с исходным размером 9 нм, полученным с помощью лазерной абляции, показано, что выдерживание наночастиц в питательном растворе Хьюитта с суммарной концентрацией макроэлементов 18 мг-экв/л в течение первых 4 ч протекает интенсивная дезагрегация, сопровождаемая двукратным уменьшением среднего размера частиц. Более длительное выдерживание наночастиц никеля в выбранной среде оказывает слабое воздействие на изменение размера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rana G., Dhiman P. Recent advances on nickel nano-ferrite: A review on processing techniques, properties and diverse applications // Chemical Engineering Research and Design. – 2021. – Vol.175. – P.182-208.

2. Lu K., Yongya W., Wangcheng H., Lin L. Mechanisms underlying reproductive toxicity induced by nickel nanoparticles identified by comprehensive gene expression analysis in GC-1 SPG cells // *Environmental Pollution*. – 2021. – Vol.275. – P.116-556.
3. Ning G., Kuishang S., Cheng C., Yequn S. Stability of nickel oxide nanoparticles and its influence on toxicity to marine algae *Chlorella vulgaris* // *Marine Pollution Bulletin*. – 2019. – Vol.149. – P.110-532.
4. Cátia A., Helena M. Toxic effects of nickel oxide (NiO) nanoparticles on the freshwater alga *Pseudokirchneriella subcapitata* // *Aquatic Toxicology*. – 2018. – Vol.204. – P.80-90.
5. Svetlichnyi V.A., Shabalina A.V., Lapin I.N., Goncharova D.A., Kharlamova T.S., Stadnichenko A.I. Comparative Study of Magnetite Nanoparticles Obtained by Pulsed Laser Ablation in Water and Air // *Applied Surface Science*. – 2019. – V. 467–468. – P. 402–410.
6. Hewitt E.J. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition // *Experimental Agricultural*. – 1966. Vol. 3 (2). – P.547.

Форутан Саба Казвини (Иран)

Томский политехнический университет, г.Томск

Научный руководитель: Ивашкина Елена Николаевна,
д-р техн. наук, профессор

**ВЛИЯНИЕ СТРОЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ С РАЗЛИЧНЫМИ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ГРУППАМИ
НА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕАКЦИЙ
ФСС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ
ПРОПИЛЕНА И ПРОПАНА**

Химическая и нефтехимическая отрасли промышленности являются крупнейшим потребителем энергии. Это связано с 30% промышленного использования энергии и 10% конечного спроса на энергию. К 2050 году производство химикатов вырастет в четыре раза, при этом особое внимание будет уделяться производству ценных химикатов¹⁰, таких как этилен, пропилен, бутилен, ароматические соединения. В глобальных аналитических исследованиях пропилен показал одну из самых высоких тенденций роста за период с 2017 г. до 2025 г. В таблице 1 показаны темпы роста и перспективы мирового спроса на пропилен [1–3].

¹⁰ High-Valued Chemicals (HVCs)