

**РАСТВОРЕНИЕ НАНО- И УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА НИКЕЛЯ  
В ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРАХ**

Д.Б. Абжанова<sup>1</sup>, А.Ю. Годымчук<sup>1,2</sup>

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.Ю. Годымчук

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>НИТУ «МИСиС», Россия, г.Москва, Ленинский пр., 4, 119049

E-mail: adb\_a@mail.ru

**DISSOLUTION OF NANO- AND ULTRAFINE NICKEL POWDER  
IN PHYSIOLOGICAL SOLUTIONS**

D.B. Abzhanova<sup>1</sup>, A.Yu. Godymchuk<sup>1,2</sup>

Scientific Supervisor: Ph.D. A.Yu. Godymchuk

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

<sup>2</sup>National University of Science and Technology "MISIS", Russia, Moscow, Leninsky pr., 4, 119049

E-mail: adb\_a@mail.ru

*The work is dedicated to studying the solubility of nano- and ultradispersed powders of nickel in synthetic physiological fluids. By the example of electroexplosive Ni powders with different size it was shown that dissolution degree of nickel particles increases from 2,1 – 60 wt.% (275 nm) to 62,2 – 84 wt.% (100 nm) in distilled water and synthetic saliva, respectively. It was experimentally demonstrated that the reactivity of investigated nickel particles increases in the physiological solutions: Water - synthetic saliva - lung fluid. It is shown that nano- and ultradispersed particles dissolve completely within a day in suspensions with a concentration of 50 mg/l.*

**Введение** Никелевые порошки используются в медицине, каталитической промышленности, в производстве батарей и др. С разработкой методов получения наноразмерных частиц, спектр применения никеля значительно расширился. Наночастицы NiO перспективны для создания антиоксидантов [1] и противомикробных составов [2], а наноникелевые катализаторы используются для уменьшения вязкости нефти [3]. Поэтому спрос и объемы производства никелевых порошков постоянно растут.

С другой стороны, в литературе накапливаются данные о генотоксичности и канцерогенности никельсодержащих материалов [4, 5], а Международное агентство по изучению рака классифицировало никелевые соединения как канцерогенные (1 группа), а металлический никель как вероятно канцерогенные (группа 2B) вещества для человека [4]. Накопление никелевых соединений в живых организмах может приводить к возникновению таких заболеваний, как фиброз и рак легких [6]. Поэтому все никель-содержащие товары рассматриваются как высокотоксичные соединения для окружающей среды и человека.

В процессе производства наночастицы никеля могут выделяться в воздух рабочей зоны и благодаря своему размеру могут проникать в организм преимущественно респираторным путем. Однако, в настоящее время отсутствуют данные об изменении реакционной способности порошков никеля су

уменьшением их размеров при их взаимодействии с физиологическими жидкостями. В результате, становится невозможной оценка степени накопления никелевых продуктов в респираторном тракте, а, следовательно, оценка рисков для персонала, задействованного в производстве никелевых порошков.

Поэтому в настоящей работе оценивали влияние размера порошка никеля на параметры их растворения в разных физиологических растворах.

**Экспериментальная часть** Объектами исследования были выбраны электровзрывные нанопорошки (НП Ni) и ультрадисперсные порошки никеля (УДП Ni), полученные методом спрей пиролиза. Согласно данным метода БЭТ средний размер частиц нанопорошка Ni и УДП Ni составлял 100 и 275 нм, соответственно.

Для приготовления суспензий были выбраны растворы, моделирующие биологические жидкости при потенциальном попадании частиц с дыханием и со слюной [7]:

1. Искусственная легочная жидкость ALF ( $MgCl_2$ , NaCl,  $Na_2HPO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ ,  $Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$ , NaOH,  $C_6H_8O_7$ ,  $C_2H_5NO_2$ ,  $(NaC_2H_2O_3)_2 \cdot 2H_2O$ ,  $NaC_3H_5O_3$ ,  $NaC_3H_3O_3$ ), pH=4,5;
2. Синтетическая слюна SS (NaCl,  $KH_2PO_4$ ,  $Na_2HPO_4$ ), pH=6,8;
3. Дистиллированная вода DW, pH=5,3.

Суспензии нанопорошков готовили на основе готовых физиологических растворов с концентрацией нанопорошка 50 мг/л в стеклянных емкостях. Емкости с суспензиями выдерживали в течение 28 часов при  $37 \pm 0,5$  °C при периодичном перемешивании на магнитной мешалке.

Для анализа дисперсионной среды аликвоту суспензии помещали в пробирки, снабженные целлюлозной мембраной, марки Amicon Ultra-4 (Millipore, США) и разделяли центрифугированием со скоростью 4400 об/мин в течение 40 минут (центрифуга Centrifuge 5702, Eppendorfe, Германия). Концентрацию ионов  $Ni^{2+}$  в растворе определяли фотоколориметрическим методом через перевод никелевых соединений в окрашенный комплекс диметилглиоксимата никеля. Калибровочный график строили в интервале концентрации  $Ni^{2+}$  0...50 мг/л. Полученное значение концентрации использовали для расчета степени и скорости растворения по формулам [8].

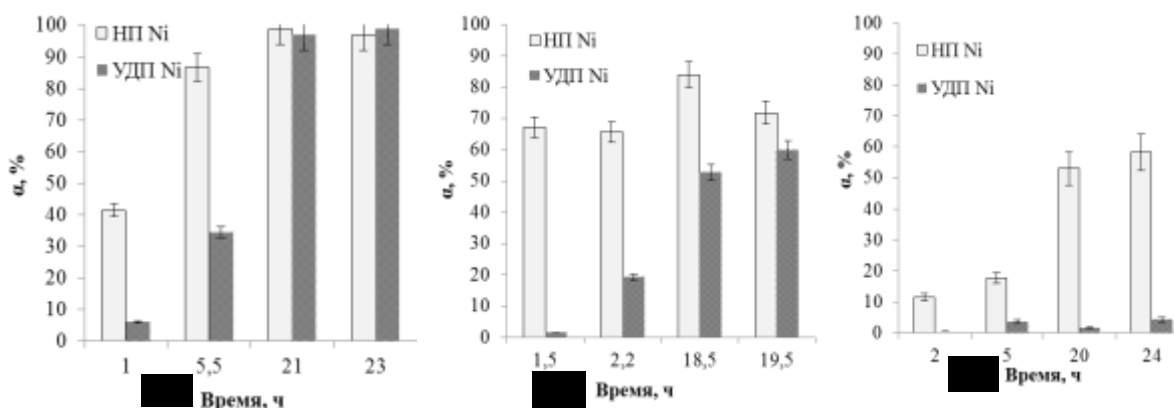


Рисунок 1. Изменение степени растворения ( $\alpha$ , мас.%) нано- и ультрадисперсного порошка никеля в растворах ALF (а), SS (б) и DW (в)

**Результаты** В предыдущих исследованиях уже было определено, что растворимость нанопорошка никеля зависит от состава физиологического раствора, а, следовательно, зависит от пути проникновения в организм [9]. На рис.1а-1в показано изменение рассчитанной степени растворения ( $\alpha$ , мас.%) исследуемых порошков в выбранных физиологических растворах. Экспериментально показано, что в

водной суспензии частицы УДП Ni практически не растворяются ( $\alpha$  не превышает 2,1 мас.%), но при уменьшении размеров частиц до 100 нм  $\alpha$  увеличивается до 62,2 мас.%. В суспензии синтетической слюны  $\alpha$  УДП Ni не превышала 60 мас.%, в то время как для НП Ni  $\alpha$  составляла 84 мас.%. В растворе искусственной легочной жидкости оба порошка растворяются менее чем за сутки.

Экспериментальные результаты позволили увидеть, что степень растворения никелевых частиц в физиологических растворах зависит не только от размера, но и от состава растворителя: степень растворения увеличивается в ряду жидкостей «DW-SS-ALF». Полученная зависимость может быть использована для прогнозирования степени растворения и степени аккумуляции никелевых соединений в организме в зависимости от способа проникновения наночастиц. Очевидно, что степень аккумуляции соединений никеля выше при попадании в организм с дыханием.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Saikia J.P., Paul S., Konwar B.K., Samdarshi S.K. Nickel oxide nanoparticles: A novel antioxidant // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2010. – 78 – P.146–148.
2. Hrenovic J., Milenkovic J., Daneu N., Kepcija R.M., Rajic N. Antimicrobial activity of metal oxide nanoparticles supported onto natural clinoptilolite // *Chemosphere*. – 2012. – 88 – P.1103–1107.
3. Li W., Zhu J., Qi J. Application of nano-nickel catalyst in the viscosity reduction of Liaohe extra-heavy oil by aqua-thermolysis // *Journal of Fuel Chemistry and Technology* – 2007. – 35(2) – P.176–180.
4. Magaye R., Zhao J. Recent progress in studies of metallic nickel and nickel-based nanoparticles' genotoxicity and carcinogenicity // *Environmental toxicology and pharmacology*. – 2012. – 34 – P.644–650.
5. Oller, A.R. Respiratory carcinogenicity assessment of soluble nickel compounds // *Environmental Health Perspectives*. – 2002. – 110 (5) – P.444–841.
6. Zhao J., Shi X., Castranova V., Ding M. Occupational toxicology of nickel and nickel compounds // *Environmental pathology toxicology oncology*. – 2009. – 28 – P.177–208.
7. Marques M.R.C., Loebenberg R., Almukainz M. Simulated Biological Fluids with Possible Application in Dissolution Testing // *Dissolution Technologies* – 2011 – P. 15–28.
8. Годымчук А.Ю., Савельев Г.Г., Горбатенко Д.В. Растворение нанопорошков меди в неорганических биологических средах // *Журнал общей химии*. – 2010. – Т.80(5). – С.711–718.
9. Abzhanova D., Godymchuk A., Gusev A., Kuznetsov D. Solubility of nickel nanoparticles in simulated body fluids // *Adanced Materials Research*. – 2014. – V.880 – P. 248–252.