

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ПЛАЗМЕННО-ДУГОВЫМ  
МЕТОДОМ**

М.А. Семеновых<sup>1</sup>, П.В. Космачев<sup>1</sup>

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.А. Власов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет,

Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634003

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: [pvkosm@gmail.com](mailto:pvkosm@gmail.com)

**INVESTIGATION OF STRUCTURAL AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SiO<sub>2</sub>  
NANOPARTICLES OBTAINED BY PLASMA-ARC METHOD**

M.A. Semenovych<sup>1</sup>, P.V. Kosmachev<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.A. Vlasov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Tomsk State University of Architecture and Building, Russia, Tomsk, Solyanaya sq., 2, 634003

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [pvkosm@gmail.com](mailto:pvkosm@gmail.com)

***Abstract.** The paper shows results of structure and morphology research of silica nanopowder obtained from high silica raw materials from Russian fields, such as diatomite of Kamyshlovsk deposit (Sverdlovsk region), the quartzite of Chupinsk deposit ( Republic of Karelia), quartz sand of Tugansk deposit (Tomsk region). The method of transmission electron microscopy (TEM) was used to study the morphology. BET analysis was used to study the surface. Synthesized agglomerated nanoparticles have a spherical shape and size distribution in the range of 10-300 nm.*

**Введение.** Получение наноматериалов функционального назначения является актуальной задачей современной науки [1-6]. Нанопорошок диоксида кремния востребован в различных областях промышленности и целесообразно разрабатывать новые методики его получения. В работе исследуются структурно-морфологические свойства наночастиц диоксида кремния, полученных плазменно-дуговым методом [7, 8], позволяющим использовать в качестве сырья доступные и экологичные природные высококремнеземистые материалы, который основан на физических процессах плавления и испарения под действием энергии низкотемпературной плазмы электродугового разряда с последующей конденсацией частиц.

Целью работы являлось исследование структурно-морфологических особенностей наноразмерного порошка диоксида кремния, полученного плазменно-дуговым методом из высококремнеземистого природного сырья.

**Материалы и методы.** В качестве сырья для получения нанопорошков диоксида кремния были использованы материалы природного происхождения из российских месторождений: кварцит

Чупинского месторождения в республике Карелия, обогащенный кварцевый песок Туганского месторождения в Томской области, диатомит Камышловского месторождения в Свердловской области.

Образцы полученных нанопорошков исследовали на просвечивающем электронном микроскопе CM 12 (Philips, Нидерланды), 120 кВ. Образец порошка предварительно диспергировался в спирте с использованием ультразвуковой ванны. Полученная дисперсия наносилась на медную сетку для микроскопии с аморфной пленкой углерода на поверхности и затем высушивалась. На основании полученных микрофотографий проводилось построение диаграммы распределения наночастиц по размерам по данным не менее чем для 1000 частиц с использованием программного обеспечения iTEM (Olympus, Japan). Анализ удельной поверхности проводился согласно методу БЭТ на установке NOVA 2000 (Quantachrome instruments, США).

**Обсуждение результатов.** ПЭМ-изображения наночастиц и соответствующие диаграммы распределения по размерам представлены на рисунке 1.

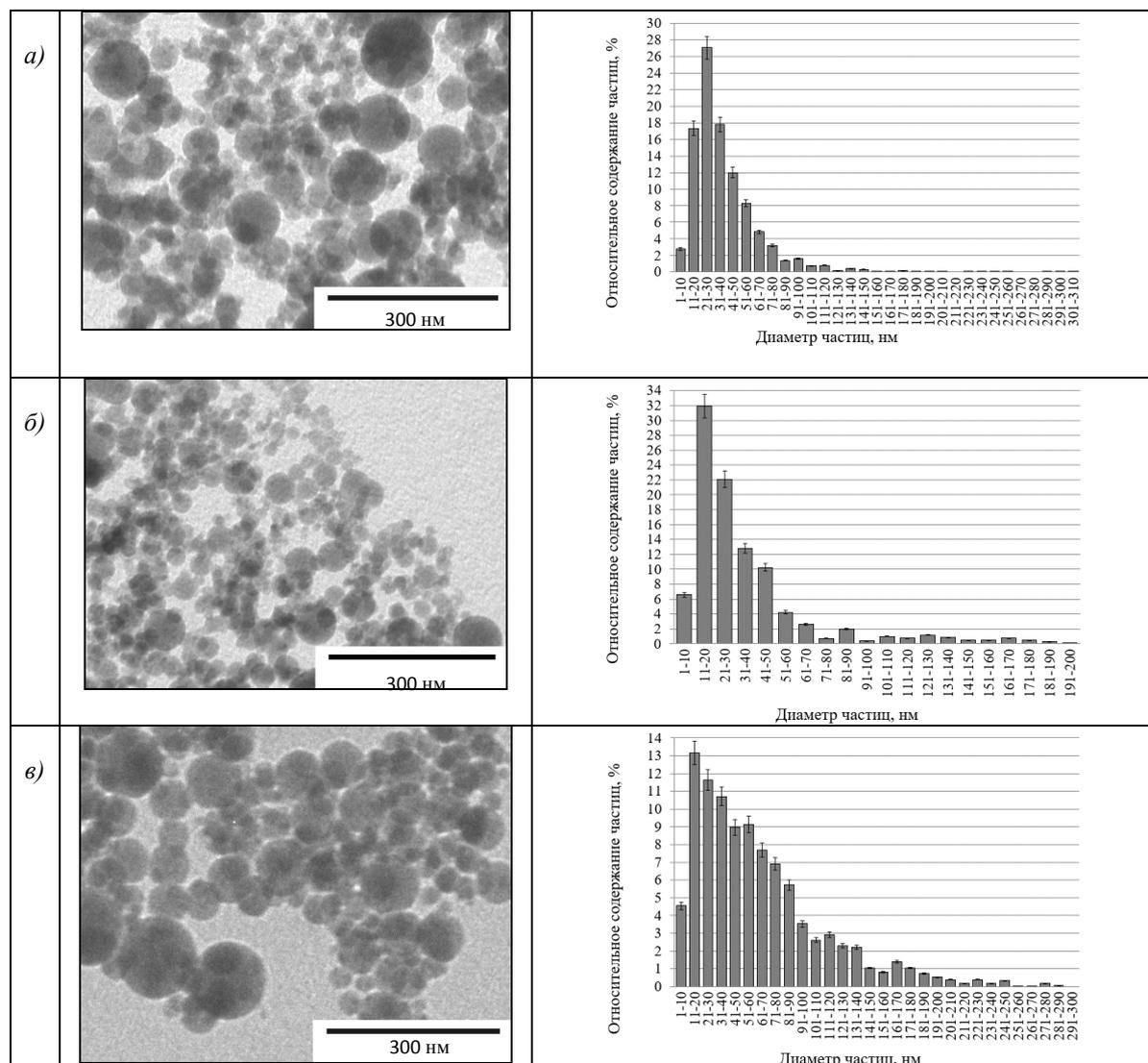


Рис. 1. ПЭМ-изображения и диаграммы распределения наночастиц диоксида кремния, полученных плазменно-дуговым методом из различных видов природного кремнеземистого сырья:  
а) кварцита, б) обогащенного кварцевого песка, в) диатомита

По результатам микроскопии установлено, что полученные частицы имеют сферическую форму, полидисперсны, а их диаметр лежит в диапазоне 10-300 нм. Также наблюдалась сильная агломерированность частиц.

Проведенный анализ удельной поверхности полученных наночастиц показал значения 37–71 м<sup>2</sup>/г, что весьма характерно для приведенных выше распределений частиц по размеру.

**Выводы.** Таким образом, проведенными исследованиями установлено, что полученные плазменно-дуговым методом наночастицы подвержены сильной агломерации, имеют сферическую форму, с диаметрами в диапазоне от 10 до 300 нм. Полидисперсность получаемого нанопорошка является конкурентным преимуществом, например, в случае его применения в качестве упрочняющей модифицирующей добавки для изготовления строительных материалов [9].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hong, Franklin Chau-Nan; Yan, Cyun-Jhe Synthesis and characterization of silicon oxide nanoparticles using an atmospheric DC plasma torch // *Advanced powder technology*. – 2018. – Vol. 29 – N.2. – P. 220–229.
2. Gaijre, Bipin; Lecka-Czernik, Beata; Jayasuriya, Ambalangodage C. Injectable nanosilica-chitosan microparticles for bone regeneration applications // *Journal of biomaterials applications*. – 2018. – Vol. 32. – N. 6. – P.813–825.
3. Alvarez-Toral, Aitor; Fernandez, Beatriz; Malherbe, Julien et al Synthesis of amino-functionalized silica nanoparticles for preparation of new laboratory standards // *Spectrochimica acta part B-atomic spectroscopy*. – 2017. – Vol. 138. – P 1–7.
4. Ab Rahman, Ismail; Ghazali, Nor Ainon Maziah; Bakar, Wan Zaripah Wan et al Modification of glass ionomer cement by incorporating nanozirconia-hydroxyapatite-silica nano-powder composite by the one-pot technique for hardness and aesthetics improvement // *Ceramics international*. – 2017. – Vol. 43. – N. 16. – P. 13247–13253.
5. Cho, Y. -S.; Moon, J. -W. Collection of industrial oil using nanoparticles and porous powders of silica // *Archives of metallurgy and materials*. – 2017. – Vol. 62. – N. 2. – P. 1371-1375.
6. Колмыков В.И., Родионова И.Н., Воробьева О.В., Фомичёва Л.М. Исследование железных электрохимических композиционных покрытий с наполнителем из нанодисперсного диоксида кремния // В сборнике: Физика и технология наноматериалов и структур Сборник научных статей 3-й Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 127–132.
7. Kosmachev P., Vlasov V., Skripnikova N., Technological aspects of obtaining SiO<sub>2</sub> nanoparticles // *AIP Conf. Proc.* – 2017.– V. 1800.– P.020016-1–020016-5
8. Космачев П.В., Власов В.А., Скрипникова Н.К. Исследование структуры и свойств нанопорошка SiO<sub>2</sub>, полученного плазменным методом из природных высококремнеземистых сырьевых материалов // *Изв. вузов. Физика*. – 2017. – Т. 60. № 2. – С. 46-50.
9. Космачев П.В., Демьяненко О.В., Власов В.А. и др. Композиционные материалы на основе цемента с нанодисперсным диоксидом кремния // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2017. - № 4 (63). – С. 139-146.