**Влияние железосодержащих наночастиц на жизнедеятельность диатомовых водорослей**

***Ивлева А.П., Цветинович Ю., Горин Д.А***

*Студент, Старший научный сотрудник, Профессор*

*Сколковский Институт Науки и Технологий, Центр фотоники и фотонных технологий, Москва, Россия*

*E-mail: Anastasiia.*[*Ivleva@skoltech.ru*](mailto:Ivleva@skoltech.ru)

Диатомовые водоросли – это одноклеточные микроскопические организмы, которые производят до 20% кислорода на нашей планете [1], составляют четверть биомассы Земли [2], служат ключевым источником пищи в водной среде [3] и жизненно важны для переработки кремния и глобальной ассимиляции углерода [4]. Для жизни диатомовых водорослей необходим набор питательных веществ, в частности, железо. Железо в водоемах в основном присутствует в виде оксидов и гидроксидов, влияя на жизнедеятельность фотосинтезирующих организмов [5]. Однако избыток железа может привести к эвтрофикации воды, повлиять на разнообразие и продуктивность фитопланктона [6]. Одним из способов модификации диатомовых водорослей является добавление железосодержащих наночастиц (НЧ) в питательную среду, где растут диатомовые водоросли. Таким образом, изучение влияния наночастиц оксидов железа на рост, общее состояние и фотосинтез диатомовых водорослей важно для поддержания оптимальных концентраций железа в их питательной среде.

В проведенной научно-исследовательской работе пресноводный вид *Asterionella formosa* и морской вид *Coscinodiscus* sp. диатомовых водорослей модифицировали смесью НЧ маггемита и магнетита с концентрациями 1, 5, 10, 20 и 50 мг/л в течение 12 суток. Влияние различных концентраций НЧ на жизнедеятельность диатомей контролировалось путем отслеживания роста клеток с помощью инвертированного флуоресцентного микроскопа НИБ-ФЛ («ЛОМО-Микросистемы», Санкт-Петербург, Россия) и спектроскопии экстинкции и флуоресценции (двухрежимный планшетный ридер Infinite M Nano+, Tecan Trading AG, Switzerland). Модифицированные водоросли были окрашены красителем BODIPY 505/515 [7] с целью изучения размеров и количества липидных капель с помощью системы флуоресцентной визуализации (High content confocal imaging system Operetta, PerkinElmer, USA). Фотосинтетическая активность водорослей после модификации НЧ была оценена с помощью флуориметрии с амплитудно-импульсной модуляцией (PAM Water-PAM fluorimeter, Walz, Germany).

В ходе эксперимента численность *A. formosa* за первые 10 дней экспоненциального роста увеличилась примерно в 4 раза, тогда как *Coscinodiscus* sp. рос медленнее. Также, соленая среда увеличивает агрегацию наночастиц [8], что уменьшает доступность ионов железа из НЧ для диатомей. Для образцов *Coscinodiscus* sp. с концентрацией НЧ 20 и 50 мг/л квантовый выход составил 60,6% и 62,5%, соответственно, что близко к оптимальным значениям [9], тогда как для остальных образцов он находился в диапазоне 52–59%. Кроме того, на кривых роста *Coscinodiscus* sp. при этих концентрациях НЧ наблюдалось положительное влияние наночастиц на жизнедеятельность водорослей. Изменение средних диаметров липидных капель оказалось наименьшим (~1.5-2.25 µm) для образцов *A. formosa* и *Coscinodiscus* sp. с концентрацией НЧ 5 мг/л, что может говорить о наименьшем стрессе клеток при такой концентрации. Таким образом, исследование демонстрирует зависимость развития и фотосинтетической активности диатомей от концентрации наночастиц, подчеркивая их влияние на адаптационные механизмы водорослей в пресноводной и морской средах.

**Литература**

[1] S. Maher, T. Kumeria, M.S. Aw, D. Losic, “Diatom Silica for Biomedical Applications: Recent Progress and Advances”, Adv. Healthcare Mater. 7, 1800552, (2018)

[2] Yichao Wang, Shuya Liu et. al., “Diatom Biodiversity and Speciation Revealed by Comparative Analysis of Mitochondrial Genomes”, Front. Plant Sci., Sec. Aquatic Photosynthetic Organisms, Vol. 13, (2022)

[3] J. Cvjetinovic, A. I. Salimon et. al., “Photoacoustic and fluorescence lifetime imaging of diatoms”, Photoacoustics 18, 100171, (2020)

[4] D. L. Rabosky, U. Sorhannus, “Diversity dynamics of marine planktonic diatoms across the Cenozoic”, Nature 457, (2009)

[5] [W. Xing](https://www.researchgate.net/profile/Wei-Xing-11?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19), [G. Liu](https://www.researchgate.net/profile/Guihua-Liu-7), “Iron biogeochemistry and its environmental impacts in freshwater lakes”, [Fresenius environmental bulletin](https://www.researchgate.net/journal/Fresenius-environmental-bulletin-1610-2304?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19) 20(6), (2011)

[6] Book “Clean Costal waters. Understanding and Reducing the Effects of Nutrient Pollution”, National Research Council, p. 84, (2000)

[7] L. Brennan et. al., “Enhancement of BODIPY 505/515 lipid fluorescence method for applications in biofuel-directed microalgae production”, Journal of Microbiological methods, Vol. 90, issue 2, (2012)

[8] [Jiayi Wu](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Wu+J&cauthor_id=30502713), [Ruifen Jiang](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Jiang+R&cauthor_id=30502713) et.al., “Effect of salinity and humic acid on the aggregation and toxicity of polystyrene nanoplastics with different functional groups and charges”, Environ Pollut., (2019)

[9] J.-P. Parkhill, G. Maillet, J. J. Cullen, “Fluorescence-Based Maximal Quantum Yield for PSII as a Diagnostic of Nutrient Stress” J. Phycol. 37, (2001)