

БИОМИНЕРАЛИЗАЦИЯ CaCO_3 : ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ ОСАДКОВ И ЗАВИСИМОСТЬ ИХ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТ СОСТАВА БАКТЕРИАЛЬНОГО МАТРИКСА

**Л. А. Иванова^{1,2}, Г. П. Копица¹, А. Д. Япрынцев³, А. Е. Баранчиков³,
Д. В. Лебедев¹, А. А. Кульминская^{1,2}**

¹ПИЯФ им. Б.П. Константинова НИЦ “Курчатовский институт”, Гатчина, Россия

²Курчатовский геномный центр – ПИЯФ, Гатчина, Россия

³Институт общей и неорганической химии им. Курнакова РАН, Москва, Россия

Биоминерализация (БМ) – явление образования минералов живыми организмами – широко распространено в природе. Так во время метаболических реакций с окружающей средой бактерии с уреаолитической активностью могут вызывать осаждение CaCO_3 в почве и горных породах, в то время как другие подобные микроорганизмы могут осаждают CaCO_3 с образованием инкрустированных биопленок, которые закупоривают мочевые катетеры, создавая серьезные проблемы в клинической практике [1]. Исследования механизмов БМ важны как для поиска путей ее торможения при решении клинических задач, так и для ее стимулирования при создании новых экологических инженерных технологий [2]. Известно, что кристаллизация CaCO_3 протекает в несколько стадий, в ходе которых аморфная (АКК) фаза последовательно модифицируется в ватерит, затем в кальцит/аргонит, как показано методом FTIR в экспериментах *in situ* без участия бактерий [3]. Однако, можно предположить, что кристаллическая и надмолекулярная структура CaCO_3 , осажденного в системе, состоящей не только из бактериальных клеток, но и синтезируемого ими внеклеточного матрикса (ВКМ), может существенно отличаться от системы абиогенной. В нашей работе методами SANS, SAXS, FTIR, XRD, SEM и конфокальной микроскопии изучена эволюция структуры осадков CaCO_3 , образующихся при биоминерализации, индуцированной планктонной культурой *Bacillus cereus*. Биоминералы, содержащие аморфный CaCO_3 в виде фрактальных агрегатов, обнаруживались уже через 24 ч роста бактерий на среде, богатой Ca^{2+} и мочевиной. В осадке были обнаружены фрактальные кластеры размером в сотни ангстрем и фрактальной размерностью около 2,7. Трансформация полиморфов CaCO_3 проходила по пути АКК-ватерит-кальцит в течение 14 суток и сопровождалась значительным увеличением характерных размеров фрактальных кластеров, а также уплотнением их структуры. Совместная локализация преципитатов CaCO_3 с компонентами ВКМ (вДНК) была показана с помощью конфокальной микроскопии. Было показано влияние ДНК-компоненты ВКМ на структуру осажденных биоминералов в системе с бактериальными клетками на надмолекулярном уровне (SAXS) и в полиморфном составе осадка (FTIR), такое влияние отсутствовало в бесклеточной системе.

Библиографические ссылки

1. Pathogenesis of *Proteus mirabilis* in catheter-associated urinary tract infections / F. Yuan [et al.] // *Urologia internationalis*. 2021. Vol. 105, iss. 5–6. P. 354–361.
2. Dhami N. K., Reddy M. S., Mukherjee A. Application of calcifying bacteria for remediation of stones and cultural heritages // *Front Microbiol*. 2014. Vol. 5. P. 93118.
3. Cheng M., Sun S., Wu P. Microdynamic changes of moisture-induced crystallization of amorphous calcium carbonate revealed via *in situ* FTIR spectroscopy // *Phys. Chem*. 2019. Vol. 21, iss. 39. P. 21882–21889.