

DOI: 10.25205/978-5-4437-1691-6-135

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СИНТЕЗА ЛЕГИРОВАННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТРИКСА  
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО АДАПТОГЕННОГО ПРЕПАРАТА\*****DEVELOPMENT OF A METHOD FOR THE SYNTHESIS OF A DOPED POLYMER MATRIX  
FOR THE CREATION AN INNOVATIVE ADAPTOGENIC MEDICINE**

О. Я. Березина, П. И. Ерохова, А. А. Широкая, П. О. Ляшков

*Петрозаводский государственный университет*

O. Ya. Berezina, P. I. Erokhova, A. A. Shirokaya, P. O. Lyashkov

*Petrozavodsk State University*

✉ berezina@petsu.ru

**Аннотация**

Рассматриваются методики синтеза матрикса, состоящего из нанонитей растворимого в воде и этиловом спирте биосовместимого полимера поливинилпирролодона, легированного ионами железа с различными концентрациями. Описываются параметры синтеза методом электроспиннинга. Полимерный матрикс изготавливается для получения нового адаптогенного препарата методом мягкой иммобилизации лактобактерий.

**Abstract**

Methods of synthesizing a matrix consisting of nanofilaments of water- and ethyl alcohol-soluble biocompatible polymer polyvinylpyrrolodone doped with iron ions of different concentrations are considered. The synthesis parameters by electrospinning method are described. The polymeric matrix is fabricated to produce a new adaptogenic medicine by soft immobilization of lactobacilli.

В настоящее время существуют различные методы иммобилизации бактерий, реализуемые в процессе создания адаптогенных препаратов: связывание на твердом носителе, включение в пространственную структуру носителя, иммобилизация с использованием мембранной технологии [1]. К примеру, иммобилизация на твердом носителе — активированном угле — применяется для повышения ферментативной активности бактерий. Однако препараты, полученные данным методом, нельзя считать полностью безопасными, ведь твердый носитель содержит в себе неорганические примеси в природных или ископаемых продуктах, очистка от которых является высоко затратным процессом и потому практически не производится [2].

С 2017 г. нашей группой ведутся разработки нового метода иммобилизации бактерий на полимерном матриксе из нанонитей поливинилпирролидона (PVP,  $(C_6H_{12}NO)_n$ ) [3], названного методом «мягкой» иммобилизации. PVP был выбран в связи с его высокой биосовместимостью, способностью к растворению в воде и этиловом спирте [4], а также из-за многочисленных примеров его применения в различных биомедицинских целях [5].

Нити PVP синтезируются методом электроспиннинга — образование нанонитей из капель раствора-прекурсора в высоковольтном электростатическом поле [6]. Нити собираются на коллекторе из алюминиевой фольги, образуя полимерный матрикс. Параметры раствора и процесса электроспиннинга подбираются таким образом, чтобы размеры ячеек между нитями PVP были соотносимы с размерами иммобилизуемых бактерий. Например, для используемых в данном исследовании лактобактерий *Lactobacillus brevis* (*L. brevis*), *Lactobacillus acidophilus* подходят размеры ячеек 1–4  $\mu m$  [7].

Используемый золь-гель метод позволяет легировать нити PVP солями металлов, придавая получаемым препаратам дополнительные свойства. Например, адаптогенная пищевая добавка, содержащая ионы железа, кроме профилактики инфекционных заболеваний обеспечит профилактику и лечение анемии.

Целью наших исследований является разработка методики синтеза нанонитей PVP с размерами пор между ними заданных размеров (1–4  $\mu m$ ), легированных солями железа с концентрациями от 0.5 до 6 ат. %, для дальнейшего исследования влияния этих добавок на свойства адаптогенного препарата.

\* Исследования проведены в рамках реализации Программы поддержки НИОКР студентов, аспирантов и лиц, имеющих ученую степень, финансируемой Правительством Республики Карелия.

© О. Я. Березина, П. И. Ерохова, А. А. Широкая, П. О. Ляшков, 2024

Для легирования нитей PVP ионами железа использовался нонагидрат нитрата железа (III)  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . Во-первых, данное вещество растворимо и в воде, и в этаноле. Во-вторых, при смешении девятиводного нитрата железа (III) и воды / водного раствора этанола не выпадает осадок, значит, возможен стабильный синтез. И в-третьих, нитрат железа (III) не токсичен и может быть применен в качестве биологической добавки.

В результате получены образцы нанонитей с требуемым содержанием ионов железа (0.5; 2.4; 3 и 6 at.%) и необходимыми для иммобилизации лактобактерий размерами пор между нитями (2–4  $\mu\text{m}$ ). На данный момент производится разработка методик синтеза нанонитей поливинилпирролидона, легированных ионами кобальта и марганца. Предполагается, что проводимые исследования приведут к получению нового высокоэффективного адаптогенного препарата.

### Литература

1. Корочинский А. В., Верниковский В. В., Степанова Э. Ф. Исследование возможности создания иммобилизованных структур на базе пробиотиков // Успехи современного естествознания. 2010. № 5. С. 34–38.
2. Римарчук Г. В., Урсова Н. И., Щеплягина Л. А. и др. Энтеросорбция в терапевтических программах различных заболеваний у детей // Альманах клинической медицины. 1999. Т. 2. С. 283–292.
3. Sidorova N., Berezina O., Markova N. et al. The effect of polyvinylpyrrolidone nanowires on the metabolic activity of *Lactobacillus acidophilus* // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 525. P. 125–131.
4. Бюлер Ф. Поливинилпирролидон для фармацевтической промышленности // Янтарный Сказ. 2003. С. 310.
5. Коломоец А. С. Нанокompозиты хитозана, поливинилпирролидона с наночастицами серебра // World of science: Материалы III Международной научно-практической конференции. Пенза: Наука и Просвещение, 2023. С. 15.
6. Березина О. Я., Маркова Н. П., Семенов А. В., Сидорова Н. А. Возможности использования нанонитей на основе поливинилпирролидона для иммобилизации клеток *Lactobacillus acidophilus* // Известия вузов: прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, № 5. С. 69–76.
7. Красникова Л. В., Гунькова П. И., Савкина О. А. Общая и пищевая микробиология. СПб., 2016.