

В. В. Татаринова

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕЛЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ

Проведён синтез наночастиц селена с использованием экстрактов хвойных растений. Для контроля процесса «зеленого» синтеза применялся метод УФ-спектроскопии. С помощью электронной микроскопии был определен размер и форма полученных наночастиц. Процесс синтеза контролировался методом УФ-спектроскопии по росту полос поглощения 284 нм (синтез с экстрактом хвои сосны) и 273 нм (синтез с экстрактом хвои ели). В случае использования экстракта сосны образовывались частицы диаметром до 20 нм, при использовании экстракта ели диаметр частиц не превышал 10 нм.

Наночастицы (НЧ) (англ. nanoparticles) представляют собой обособленные твёрдые объекты, обладающие чётко определённой границей раздела фаз с окружающей средой и имеющие размер в пределах от 1 до 100 нм во всех трёх измерениях. Особый интерес к наноструктурам обусловлен наличием уникальных физических и химических характеристик, значительно отличающихся от аналогичных свойств макроскопических частиц.

Среди различных типов НЧ особое внимание привлекают частицы селена. Такие частицы обладают широким спектром приложений в области биотехнологий и медицины (рисунок 1). Их использование обусловлено уникальными биологическими свойствами, включая мощные антиоксидантные, антибактериальные и противораковые эффекты. Антибактериальная активность делает НЧ селена перспективными для борьбы с патогенными микроорганизмами, в то время как антиоксидантные свойства находят своё применение в технологиях стабилизации полимерных материалов.

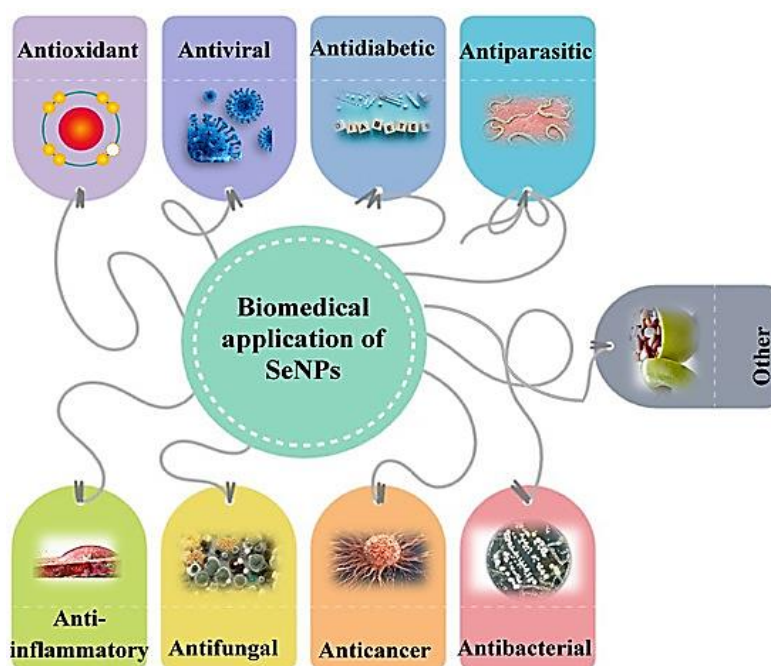


Рисунок 1 – Применение наночастиц селена в биомедицине [1]

Существует ряд методов физического, химического и биологического синтеза наночастиц [2]. В таблице 1 представлены наиболее распространенные подходы к синтезу наночастиц.

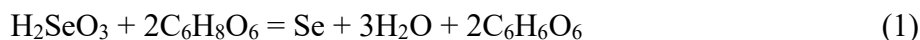
Таблица 1 – Методы синтеза наночастиц

Методы получения наночастиц	
Подход «сверху вниз»	Подход «снизу вверх»
Характеризуется ростом наночастиц или сборкой наночастиц из отдельных атомов	Основаны на «дроблении» частиц до наноразмеров
Относятся испарение в электрической дуге, лазерное испарение, CVD, магнетронное распыление, синтез в нанореакторах, золь-гель метод другие	Относятся механический помол, сонохимия, удаление компонента гетерогенной системы

Современная наука активно исследует процессы синтеза металлических наночастиц с применением экологически чистых реагентов [3]. Для реализации «зелёных» технологий восстановления применяются растительные экстракты, грибные биоматериалы и морские водоросли. В качестве исходных соединений (прекурсоров) для синтеза наночастиц селена (SeNP) часто используются соли селена, такие как селенит / селенат натрия или селенистая кислота.

Целью настоящей работы являлся синтез наночастиц селена с применением растительных экстрактов в качестве экологически безопасного восстанавливающего агента.

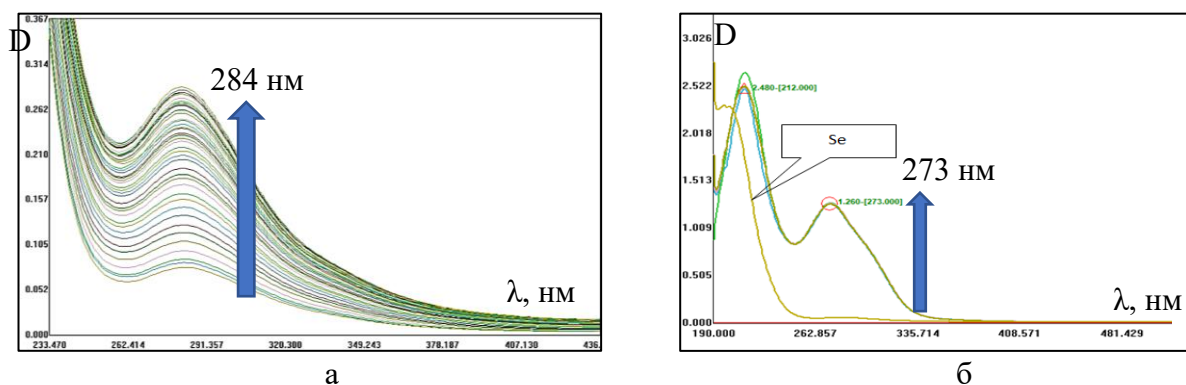
Наночастицы селена получали «сверху-вниз» путем химического восстановления селенит-ионов экстрактами хвойных растений. В качестве примера образования селена приведена реакция взаимодействия селенит ионов с аскорбиновой кислотой (реакция 1):



Растительные экстракты содержат широкий спектр соединений, обладающих восстановительным и антиоксидантным действием. Именно эти свойства делают их пригодными для восстановления селенит-ионов SeO_3^{2-} дальнейшего образования стабильных наночастиц селена. Природные полисахариды, присутствующие в растительном сырье, выполняют двойственную функцию: выступают в роли эффективных восстановителей и одновременно служат стабилизаторами, предотвращающими агрегацию вновь образованных наночастиц.

В ходе работы готовили 0,05 М раствор селенистой кислоты. Водный экстракт растений был приготовлен на водяной бане (70 °С, 15 мин) при соотношении сухой биоматериал / дистиллированная вода 1:200 (г/мл). В ходе эксперимента кислоту и экстракт разбавляли в 10 раз, затем смешивали в соотношении 1:1.

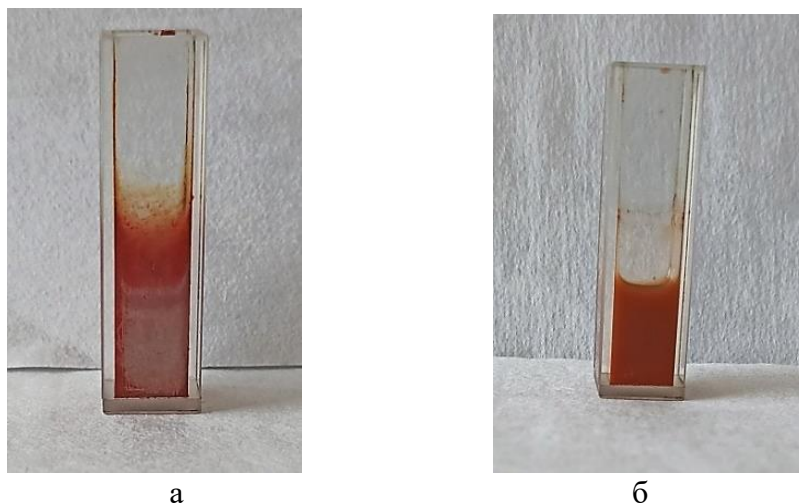
Контроль за ходом синтеза наночастиц осуществлялся методом УФ-спектроскопии (спектрофотометр SOLAR PB 2201). Известно, что наночастицы селена характеризуются специфичным максимумом поглощения в диапазоне длин волн около 270–285 нм [4]. Интенсивность полосы поглощения постепенно увеличивается в течение синтеза, что позволяет отслеживать динамику процесса формирования наночастиц (рисунок 2).



а – сосна; б – ель

Рисунок 2 – УФ-спектры растворов селенистой кислоты и водных экстрактов сосны и ели в соотношении 1:1 с течением времени

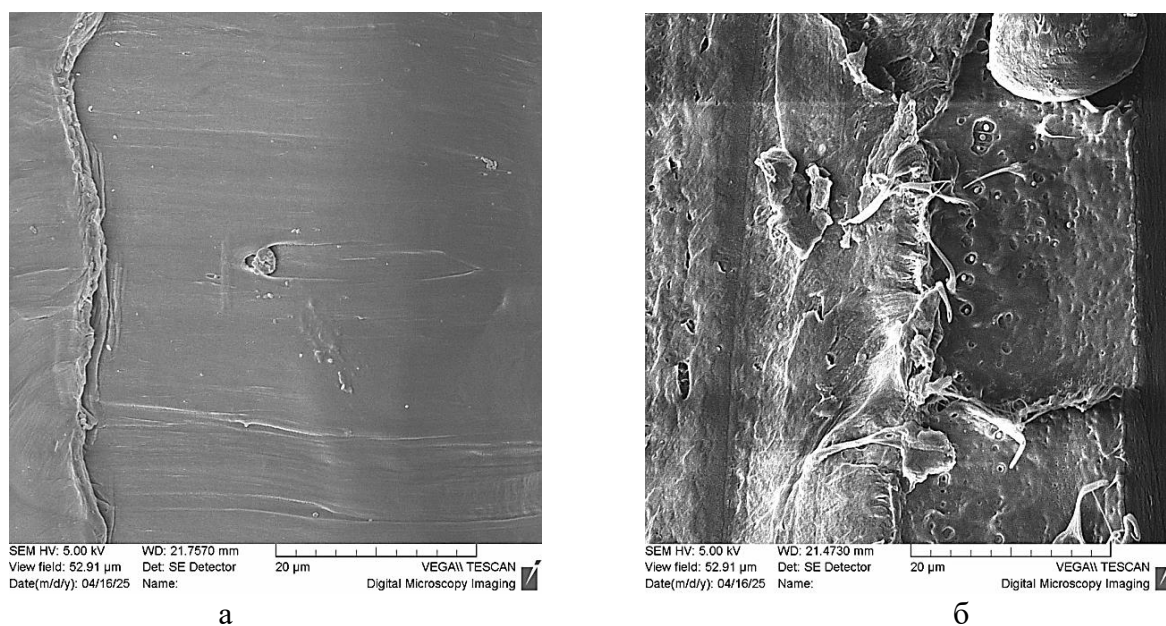
Образование SeNP визуально наблюдалось по характерному окрашиванию раствора (рисунок 3). При внесении прекурсоров в биоэкстракты происходило быстрое появление окраски, варьирующейся от ярко-красной до оранжево-красной, что свидетельствовало о протекающем процессе восстановления соединений селена и формировании коллоидных наночастиц (SeNP). Последующее развитие окраски связано с происходящими параллельно процессами стабилизации и капсуляции (кэппинга) наночастиц.



а – в синтезе использовался экстракт хвои сосны;
б – в синтезе использовался экстракт хвои ели

Рисунок 3 – Кюветы с синтезированными наночастицами селена

Размер и форма синтезированных наночастиц были определены методами электронной микроскопии с использованием растровых электронных микроскопов модели VEGA II LSH (Чехия) (рисунок 4).



а – в синтезе использовался экстракт сосны;
б – в синтезе использовался экстракт ели)

Рисунок 4 – Синтезированные наночастицы с помощью «зеленого» метода

Анализ представленных микрофотографий показывает, что синтезируемые наночастицы селена имеют округлую, приближённую к сферической, форму. Размеры частиц различаются в зависимости от варианта эксперимента. Экстракт хвои сосны обеспечивал формирование частиц размером порядка 20 нм; экстракт хвои ели позволял получать более мелкие частицы, средний диаметр которых составлял менее 10 нм. Полученные различия в размерах частиц свидетельствуют о влиянии состава растительного сырья на ход синтеза и конечные характеристики продукта.

Проведенные исследования позволили успешно реализовать «зелёный» синтез наночастиц селена с использованием растительных экстрактов сосны и ели в качестве восстановителей и стабилизаторов. Предложенный подход доказал свою эффективность и экологичность.

Синтезированные наночастицы имели округлую форму, близкую к сферической. Средний размер частиц зависел от используемого растительного экстракта: при применении экстракта сосны получены частицы диаметром около 20 нм, а экстракт ели позволил сформировать более мелкодисперсные частицы размером до 10 нм.

Результаты показывают потенциальную возможность широкого внедрения полученного метода в медицинских, фармацевтических и технических приложениях, где требуются высокоэффективные и безопасные наночастицы селена.

Литература

1 Mikhailova, E. O. Selenium Nanoparticles: Green Synthesis and Biomedical Application // *Molecules*. – Kazan, 2023. – № 28 (24). – P. 1–40.

2 Михайлов, М. Д. Химические методы получения наночастиц и наноматериалов : учеб. пособие / М. Д. Михайлов. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 257 с.

3 Панов, Д. А. Синтез и свойства наночастиц селена в матрице природных полисахаридов / Д. А. Панов, А. М. Кацев, А. В. Омельченко // *Химия растительного сырья*. – Барнаул, 2022. – № 1. – С. 81–91.

4 Alagesan, V. Green synthesis of selenium nanoparticle using leaves extract of *Withania somnifera* and its biological applications and photocatalytic activities / V. Alagesan, S. Venugopal // *Bionanoscience*. – 2019. – Т. 9. – P. 105–116.

УДК 546.48:631.416:581.5

В. А. Ткач

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАДМИЯ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА–РАСТЕНИЕ» В УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В статье представлены результаты лабораторного эксперимента по изучению влияния различных концентраций кадмия на физико-химические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы, а также на морфометрические параметры проростков кукурузы. Показано, что увеличение содержания кадмия приводит к изменению кислотности, снижению окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) почвы, уменьшению содержания нитратов и проявлению признаков фитотоксичности у растений.

На территориях с повышенной антропогенной нагрузкой часто накапливаются тяжелые металлы, включая кадмий. Кадмий – это токсичный металл, который присутствует в качестве естественного компонента земной коры наряду с медью, свинцом, никелем и цинком. Однако в условиях интенсивной застройки и промышленной