

УДК 620.3

В.А. ЗЫКОВ, магистрант Фармацевтическая химия (БФУ)
Е.Ю. ВАН, к.т.н., доцент (БФУ), г. Калининград

НАНОЧАСТИЦЫ — «ЗЕЛЕНЫЙ» СИНТЕЗ

Актуальность использования неорганических и органических наночастиц (НЧ) в современном мире трудно переоценить. Имея небольшие размеры (от 1 до 100 нм), НЧ обладают уникальным набором свойств и качеств. Наночастицы могут быть синтезированы различными способами, однако их производство обычными физическими и химическими методами чаще всего сопровождается образованием побочных продуктов, представляющих опасность для окружающей среды и человека. Поэтому использование частиц, полученных вышенназванными способами, в медицине не представляется возможным из-за вероятных последующих проблем со здоровьем пациентов. Традиционные методы получения наночастиц сложны, неэффективны и дорогостоящи.

Одним из перспективных направлений получения наночастиц является «зелёный» синтез, относящийся к фундаментальному синтезу «снизу вверх», при котором процесс проходит с помощью восстановителей и стабилизаторов (см. рисунок 1).

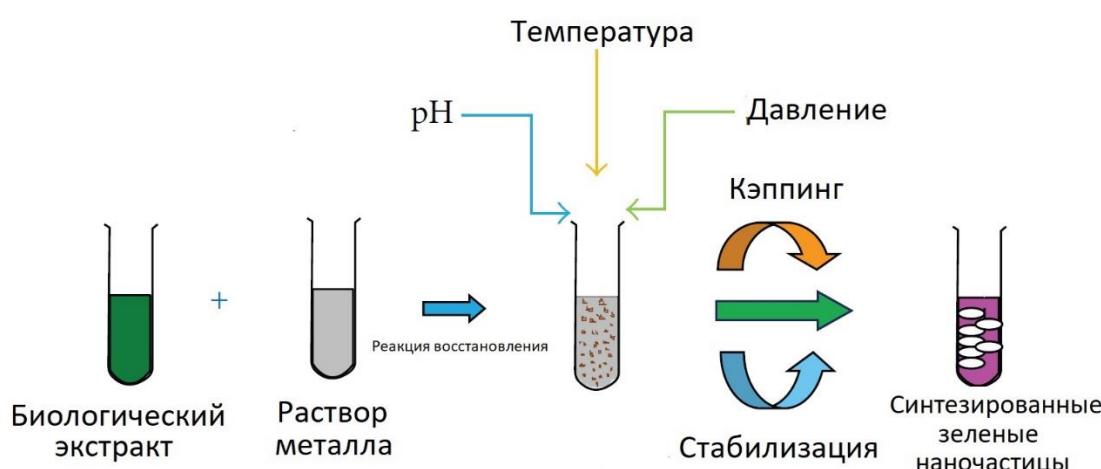


Рисунок 1. Биологический синтез наночастиц с использованием «зеленых» технологий [1]

К преимуществам «зеленого» синтеза можно отнести:

- экологичный подход, так как в ходе этого процесса не используются токсические вещества;

- специфику действия биологического компонента, который самостоятельно выполняет функции восстановителя и кэптирующего агента, что в результате снижает общую стоимость процесса синтеза;
- отсутствие требований к внешним экспериментальным условиям (высокая температура, высокое давление), что приводит к энергосберегающему процессу;
- возможность использования при крупномасштабном производстве наночастиц;
- возможность предотвращения или минимизации отходов.

Успешный синтез НЧ складывается из подбора трех основных компонентов: раствора металла, экологически чистого восстановителя и относительно безвредного кэптирующего агента для стабилизации полученных наночастиц. [2] В зеленом методе в качестве растворителя может выступать водный экстракт растений, одновременно являющийся восстановителем. Также в качестве восстановителей наночастиц металлов и их оксидов могут выступать бактерии, грибы, водоросли и др. Преимуществом синтеза НЧ бактериями является простота манипуляций с ними. [3] В свою очередь, восстановительные свойства грибов обусловлены существованием у них внутриклеточных ферментов [4], а также наличием на поверхности их клеток ферментов, белков и восстанавливающих компонентов.

Для синтеза НЧ экстрактами растений важным фактором является состав и концентрация БАВ и фитохимических веществ в их составе. [5] Основными веществами, необходимыми для восстановления наночастиц, являются флавоноиды, терпеноиды, сахара, кетоны, альдегиды, карбоновые кислоты и амиды (см. рисунок 2).

Процесс образования наночастиц с помощью растительного экстракта можно представить тремя основными фазами, в числе которых — активация (восстановление ионов металлов), рост (конгломерация частиц, Оствальдовское созревание) и конечная фаза (принятие наночастицами окончательной формы) [6] (см. рисунок 2).



Рисунок 2. Механизм образования наночастиц экстрактом растений [7]

Размеры и форму частиц можно варьировать изменением значений pH, температуры, концентрации исходных веществ и времени реакции.

Известно, что наночастицы металлов и их оксидов обладают выраженными биоактивными особенностями. [8] В частности, описаны их бактерицидные, вирицидные, фунгицидные, противоопухолевые свойства. Известны также синтезы наночастиц с помощью растений, традиционно использующихся в медицине: в частности, это касается экстракта алоэ вера и туи восточной. [9] Авторами статьи [9] были выбраны именно эти растения из-за их бактерицидных, обволакивающих и противовоспалительных свойств, а также серебро из-за его выраженных бактерицидных свойств широкого спектра действия. В изученной статье были проанализированы примеры использования наночастиц серебра в различных сферах жизни.

Интересен также опыт получения наночастиц оксида цинка с использованием водных экстрактов лекарственного растения *Microcosma mercurialis*. [10] Это растение было выбрано исследователями из-за его антилихорадочных и других свойств, а оксид цинка — из-за его низкой токсичности и выраженной бактерицидной и ранозаживляющей активности. Авторы изученной статьи изготавливали экстракты из разных частей растения (листьев, стеблей и корней), после чего проверяли их реакционную способность в восстановлении наночастиц оксида цинка.

Из отрицательных аспектов изучаемого способа следует отметить следующее: невзирая на явное преимущество «зеленого» метода синтеза, в плане его экологичности остаются общие малоизученные вопросы по отношению к наночастицам металлов и их оксидов. Среди тем и аспектов этих вопросов выделяются:

- кумуляция наночастиц в макроорганизмах и отдаленные последствия для последних;
- кумуляция наночастиц в почве и воздухе, а также воздействие НЧ на растительный мир;
- попадание наночастиц в водную среду со сточными водами и, как следствие, кумуляция их в морских обитателях и растениях, а также отдаленные последствия для последних. [11]

Список литературы:

1. Patra J. K., Baek K. H. Green nanobiotechnology: factors affecting synthesis and characterization techniques //Journal of Nanomaterials. – 2014. – Т. 2014.
2. Singh M., Manikandan S., Kumaraguru A. K. Nanoparticles: a new technology with wide applications //Research Journal of Nanoscience and Nanotechnology. – 2011. – Т. 1. – №. 1. – С. 1-11.

3. Thakkar K. N., Mhatre S. S., Parikh R. Y. Biological synthesis of metallic nanoparticles //Nanomedicine: nanotechnology, biology and medicine. – 2010. – Т. 6. – №. 2. – С. 257-262.
4. Chen Y. L. et al. Augmented biosynthesis of cadmium sulfide nanoparticles by genetically engineered Escherichia coli //Biotechnology progress. – 2009. – Т. 25. – №. 5. – С. 1260-1266.
5. Mukunthan K. S., Balaji S. Cashew apple juice (*Anacardium occidentale* L.) speeds up the synthesis of silver nanoparticles //International Journal of Green Nanotechnology. – 2012. – Т. 4. – №. 2. – С. 71-79.
6. Si S., Mandal T. K. Tryptophan-based peptides to synthesize gold and silver nanoparticles: a mechanistic and kinetic study //Chemistry—A European Journal. – 2007. – Т. 13. – №. 11. – С. 3160-3168.
7. Makarov V. V. et al. “Green” nanotechnologies: synthesis of metal nanoparticles using plants //Acta Naturae (англоязычная версия). – 2014. – Т. 6. – №. 1 (20). – С. 35-44.
8. Мацакова Е. Г., Симакова Д. И. Наночастицы, проявляющие антибактериальные эффекты: свойства, получение, механизм действия, применение //Российские нанотехнологии. – 2020. – Т. 15. – №. 2. – С. 238-243.
9. Burange P. J. et al. Synthesis of silver nanoparticles by using Aloe vera and Thuja orientalis leaves extract and their biological activity: a comprehensive review //Bulletin of the National Research Centre. – 2021. – Т. 45. – №. 1. – С. 1-13.
10. Manokari M., Ravindran C. P., Shekhawat M. S. Production of zinc oxide nanoparticles using aqueous extracts of a medicinal plant *Micrococca mercurialis* (L.) Benth //World Scientific News. – 2016. – Т. 30. – С. 117-128.
11. Цициашвили В. С. и др. Воздействие наночастиц меди на растения и почвенные микроорганизмы (обзор литературы) //Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – Т. 3. – №. 39. – С. 93-100.