



## Конкурс для школьников «Гениальные мысли» Автореферат проекта победителя конкурса

**Название работы – Наномагнетит, полученный из песка Черного моря, и его применение для транспорта живых клеток.**

**Автор – Осминкина Вероника Олеговна (6 класс, ГБОУ Школа № 627, г. Москва).**

**Руководитель – Осминкина Любовь Андреевна, к.ф.-м.н., МГУ имени М.В.Ломоносова.**

### Основная идея работы, цели, задачи

*Идея работы* была понять причину обнаруженных магнитных свойств песка на пляже Черного моря. *Цель работы* – придумать полезное применение обнаруженным магнитным свойствам песка. Для этого были поставлены *задачи*:

- выделить магнитный материал из песка;
- определить, что это за материал;
- изучить наночастицы в микроскопе;
- изучить взаимодействие наночастиц с живыми клетками.

Интерес к работе связан с использованием необычных свойств по сути обычного песка (магнитной его фракции в наноразмере). Новизна работы заключается в обнаруженных свойствах песка и предложенными его применениями в медицинских целях.

В работе используются магнитные свойства наномагнетита, полученного из песка, для транспорта лейкоцитов, что является актуальным при разработке методов доставки/фильтрации живых клеток в целях терапии различных заболеваний.

### Основные результаты

Я уже несколько лет с семьей езжу на Черное море летом. Однажды, взяв на пляж игрушку, и копаясь ей в песке, я обнаружила, что игрушка покрылась темными частицами. При этом частицы странно выстраивались в линии, создавая цепочки. Мне стало интересно, что же это за частицы. Вместе с родителями у нас возникли подозрения, что эти черные частицы обладают магнитными свойствами. Мы купили магнит, и стали с помощью магнита собирать частицы из песка. Частицы достаточно активно собирались на магнит (см. рис. 1а и б).



а



б

Рисунок 1. Фотографии магнита (блестящий шар), покрытого частицами, собранными с его помощью из песка (процесс сбора частиц из песка с помощью магнита можно увидеть по ссылке <http://nanobiolab.ru/v/4.mp4>)

Когда я вернулась в Москву, то решила исследовать, что это за частицы. Первым делом я посмотрела, как выглядят собранные мною частицы в микроскопе. Известно, что мелкие частицы и нанобъекты лучше всего смотреть в сканирующем электронном микроскопе, поскольку он дает более четкое изображение, чем оптический микроскоп [1]. На рисунке 2 а и б представлены фотографии частиц, сделанные с помощью сканирующего электронного микроскопа Zeiss.

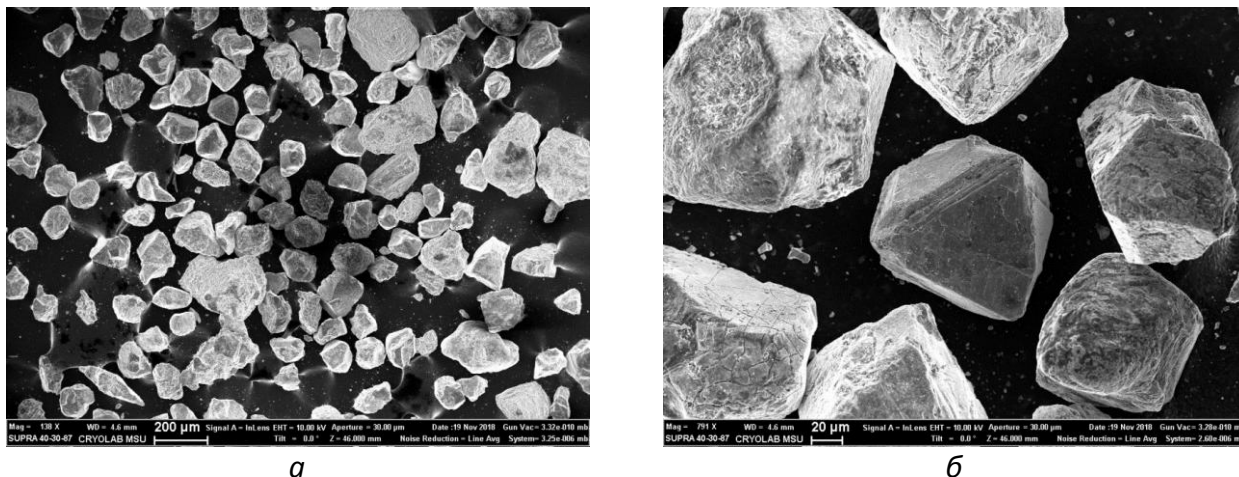


Рисунок 2. Фотографии частиц, полученных из песка, сделанные с помощью сканирующего электронного микроскопа (а и б снимки имеют разное увеличение).

Из полученных фотографий (рис.2) видно, что частицы представляют собой кристаллы с размерами около 100 микрометров.

Для определения материала, из которого состоят исследуемые частицы, был использован метод рентгеновской дифракции (X-ray diffraction, XRD). Этот метод заключается в отклонении рентгеновских лучей при прохождении через образец. При этом по углам отклонений рентгеновских лучей можно определить состав самого вещества, так как различные кристаллы и соединения по-разному отклоняют эти лучи [2]. На рисунке 3 представлен спектр XRD исследуемых частиц. По сопоставлению пиков XRD с энциклопедией данных (встроенная в измерительный прибор функция), было определено, что полученные из песка частицы представляют собой магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

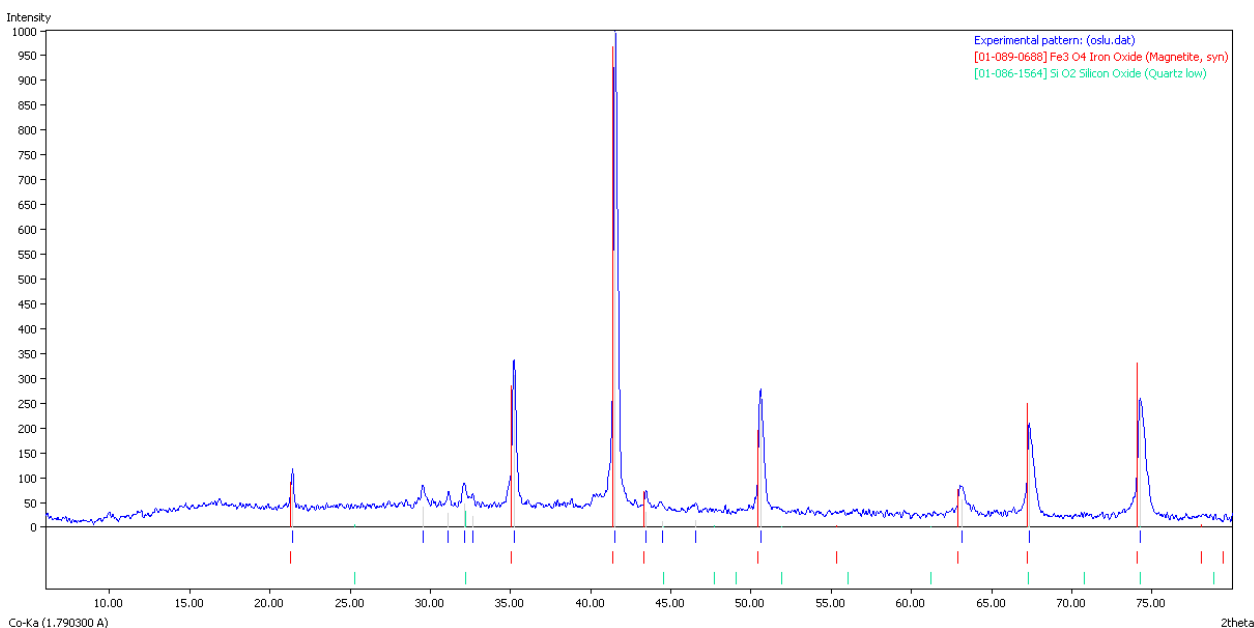


Рисунок 3. Спектр XRD исследуемых частиц ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

Согласно Википедии, магнетит - широко распространённый минерал чёрного цвета, природный оксид железа(II,III) [3]. Кристаллы обычно октаэдрические, реже додекаэдрические и очень редко кубического облика (что также видно на фотографиях электронной микроскопии на рис.2).

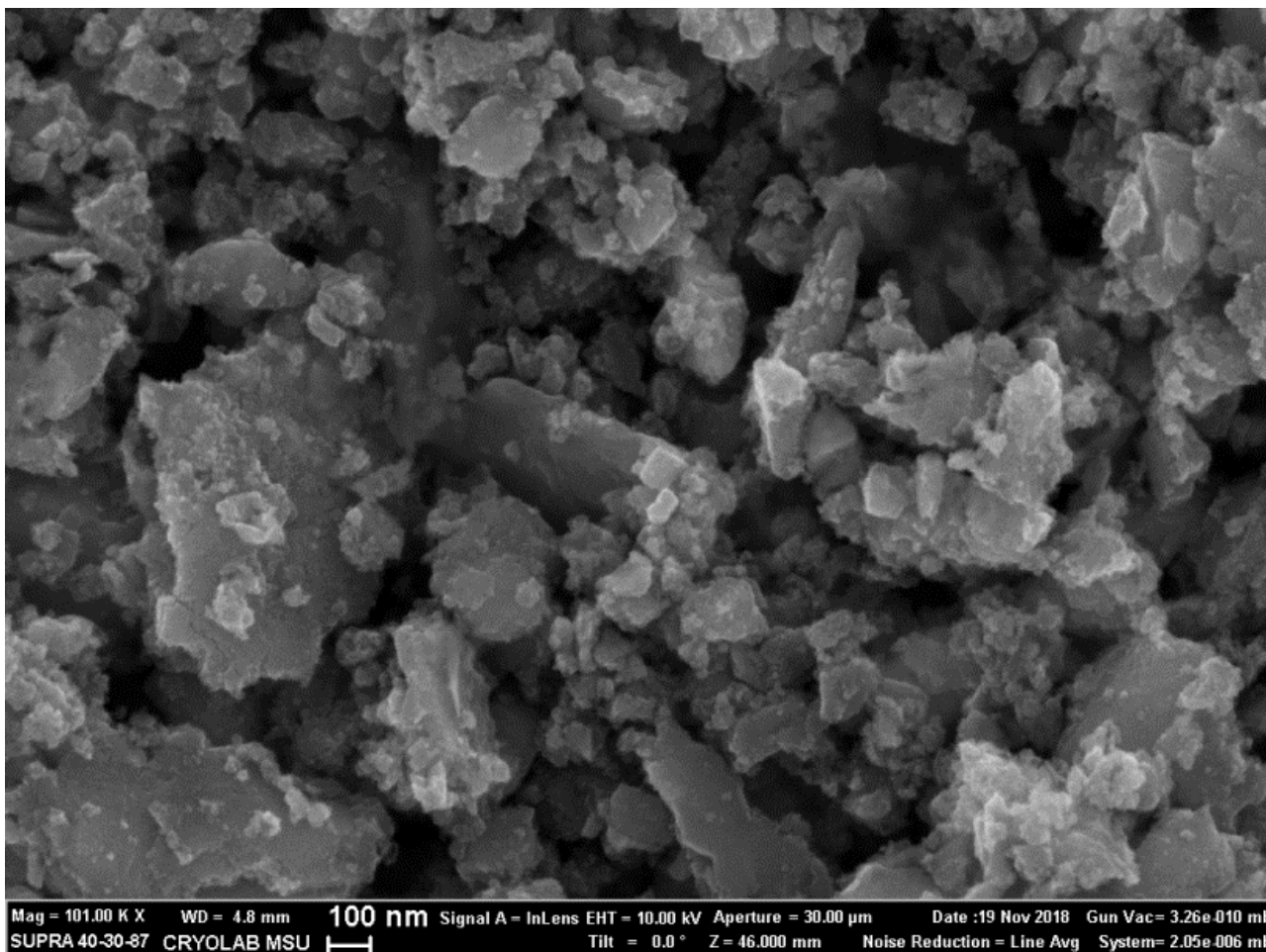
В настоящее время особый интерес имеет использование магнитных материалов в медицине [4]. С помощью магнитных наночастиц проводится лечение раковых заболеваний, так как эти частицы легко доставить к нужному месту организма – достаточно просто приложить к этому месту магнит. Такие наночастицы могут доставлять лекарства в раковые клетки, и также могут нагреваться при облучении светом, и уничтожать раковые клетки.

В своей работе я также хотела использовать частицы магнетита в медицинских целях. Для этого сначала я отмыла частицы от загрязнений, которые попали в образцы при их сборе из песка. Процесс отмывки частиц представлен на рисунке 4: частицы заливали спиртом, и ставили суспензию на магнитную мешалку. Было замечено, что частицы хорошо липнут к магниту, используемому для перемешивания жидкостей, при этом песок и прочие загрязнения выпадают на дно (см. также видео процесса очистки частиц по ссылке <http://nanobiolab.ru/v/3.mp4>).



Рисунок 4. Фотография процесса очистки частиц магнетита с помощью магнитной мешалки (видео по ссылке <http://nanobiolab.ru/v/3.mp4>).

Однако, согласно представленным выше данным микроскопии, исходные частицы имели большие микронные размеры. Для получения наночастиц магнетита исходные частицы измельчались в спирту с помощью механической шаровой мельницы. На рисунке 5 представлены фотографии сканирующей электронной микроскопии измельченных частиц магнетита.



*Рисунок 5. Фотографии сканирующей электронной микроскопии частиц магнетита, измельченных в механической шаровой мельнице.*

Из фотографий на рис.5 видно, что после измельчения частицы магнетита имели размер 100-500 нм. Но для получения фотографии сканирующей электронной микроскопии, частицы надо поместить на плоскую поверхность (в нашем случае углеродный скотч), на которой частицы слеплялись друг с другом (агломерировали). Для предотвращения агломерации и получения более четких изображений, были также получены фотографии просвечивающей электронной микроскопии. В данном методе образцы помещаются на сеточку с ячейками микроразмеров, и почти не слепляются при достаточно аккуратной подготовке образцов к этому эксперименту [5].

На рисунке 6 а и б представлены фотографии просвечивающей электронной микроскопии полученных наночастиц магнетита, а также дифракция электронов от наночастиц (аналогично рентгеновской дифракции, дифракция электронов на образце позволяет определить его кристалличность) (использовался электронный микроскоп Zeiss).

Согласно представленным на рисунке 6 фотографиям, наночастицы магнетита имели средний размер около 200 нм. Наличие ярких точек, укладывающихся в кольца на картине дифракции, указывает на кристаллическую структуру наночастиц магнетита.

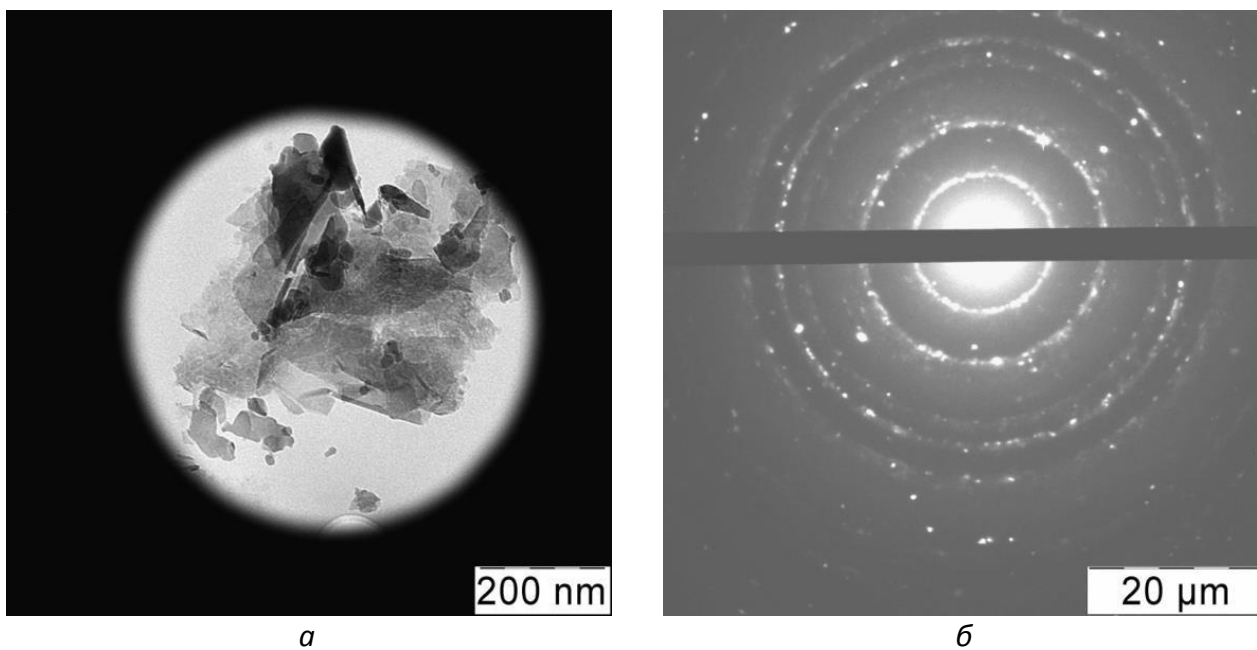


Рисунок 6. Фотографии просвечивающей электронной микроскопии х частиц магнетита (а), и картина дифракции электронов от частиц (б).

Затем получались водные суспензии наночастиц магнетита (перед экспериментами с клетками было необходимо проверить, как ведут себя частицы в водных растворах). На рисунке 7 представлены фотографии водных суспензии наночастиц магнетита. При этом было показано, что наночастицы было легко собирать из суспензии, прикладывая к ней магнит (см. рис. 7 а и б) (видео процесса можно посмотреть по ссылке <http://nanobiolab.ru/v/1.mp4>).



Рисунок 7. Типичный вид суспензии наночастиц магнетита до (а), и после (б) приложения к ней магнитного поля (видео по ссылке <http://nanobiolab.ru/v/1.mp4>).

Полученные в работе наночастицы магнетита были изучены как агенты для транспорта живых клеток под воздействием магнитного поля. Известно, что мобильность клеток требуется для ряд важных процессов внутри тела организма. Белые клетки крови, такие как нейтрофилы и макрофаги, должны быстро мигрировать в места заражения или травм для борьбы с бактериями и другими патогенными организмами. Мобильность клеток является фундаментальным аспектом обеспечения формы (морфогенез) при построении тканей, органов и определении структуры клеток [6].

В работе для экспериментов были выбраны клетки лейкоцитов человека (клетки рака крови (лейкоз)), поскольку они представляют собой суспензионную культуру клеток (в отличие от многих поверхностно-зависимых клеток – которые в лабораторных условиях делятся только при прикреплении ко дну чашки-Петри). Лейкоз – это злокачественное заболевание, при котором в костном мозге нарушается процесс кроветворения. В результате в кровь попадает большое количество незрелых лейкоцитов, которые не справляются со своей основной функцией – защитой организма от инфекций. Постепенно они вытесняют здоровые клетки крови, а также проникают в различные органы, нарушая их работу [7].

Перед экспериментом лейкоциты инкубировались с наночастицами магнетита 24 часа (была выбрана заранее проверенная нетоксичная концентрация наночастиц 0.2 мг/мл). Такая инкубация обеспечивала взаимодействие наночастиц и клеток, при котором наночастицы облепляли мембрану клеток. Затем к суспензии наночастиц и клеток прикладывали магнитное поле. Было замечено активное движение клеток с частицами магнетита (см. рис. 8 а, б, в и видео по ссылке <http://nanobiolab.ru/v/5.mp4>). Наблюдение за движением клеток осуществлялось на оптическом микроскопе Zeiss.

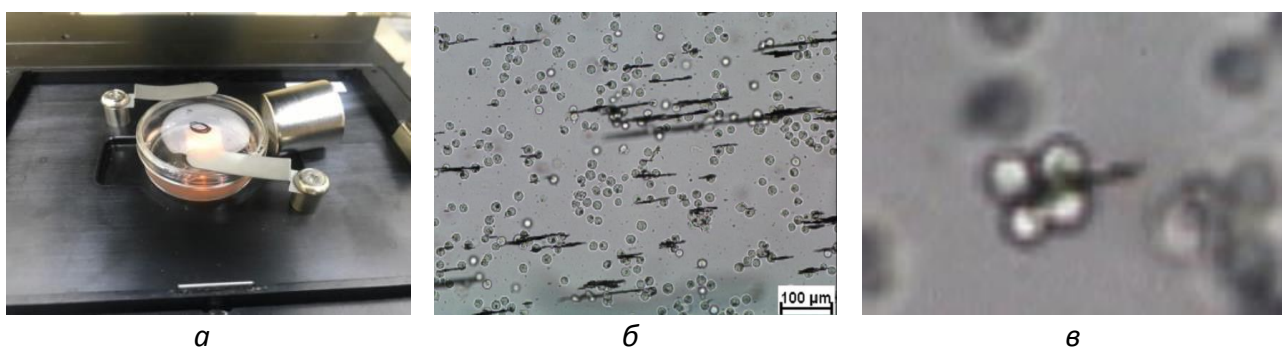


Рисунок 8. Фотография чашки Петри с образцами и магнитом (магнит – блестящий цилиндр слева) (а). Ориентация частиц магнетита и клеток по линиям магнитного поля (б). Вид клеток лейкоцитов человека с наночастицами магнетита, при их движении в магнитном поле (в). Видео процесса движения клеток с частицами магнетита при приложении магнитного поля по ссылке <http://nanobiolab.ru/v/5.mp4>.

## Выводы, заключение, перспективы

Таким образом, в работе было впервые предложено получить наночастицы магнетита из магнитного песка, и использовать их для транспорта живых клеток. Для этого были изучены свойства наночастиц с применением методов электронной микроскопии и рентгеновской дифракции, а также проделаны эксперименты с клетками. Результаты работы могут найти применение в наномедицине, в частности, для лечения лейкоза.

## Список цитированных источников

1. [https://studopedia.ru/5\\_54247\\_sravnenie-elektronnogo-i-svetovogo-mikroskopov.html](https://studopedia.ru/5_54247_sravnenie-elektronnogo-i-svetovogo-mikroskopov.html)
2. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7)
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%82>
4. <https://istina.msu.ru/media/publications/articles/ef9/d17/1955426/nik2011.pdf>
5. <https://mipt.ru/upload/medialibrary/76e/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F%20%>

[D0%B8%20%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%20-%20%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%204%20TEM.pdf](#)

6. <https://natworld.info/raznoe-o-prirode/kletochnoe-peremeshhenie-kak-proishodit-i-funkcii>
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B5%D0%B9%D0%BA%D0%BE%D0%B7>