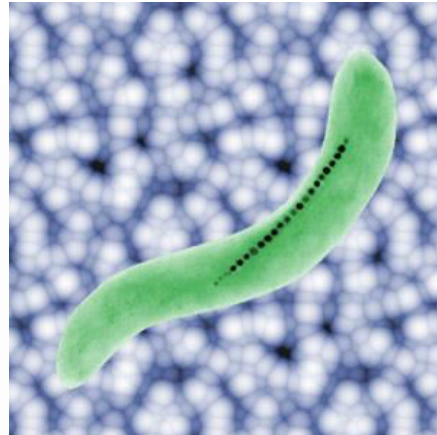
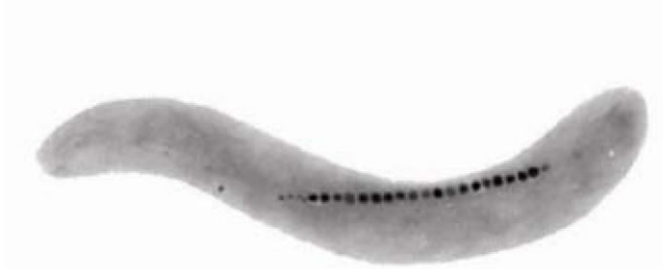


### Задача 1. Магнетобактерии (Никельшпарг Э.И.) (10 баллов)



На рисунке показан очень необычный микроорганизм. Это магнетобактерия рода *Magnetospirillum*.

Внутри бактерии находятся округлые нанокристаллы, покрытые липидной оболочкой.

1. Как вы думаете, из чего состоят эти кристаллы (**1 балл**)? Может ли это соединение существовать в природе (**1 балл**)? Какое свойство определило название бактерий (**1 балл**)? Из чего теоретически могут состоять подобные нанокристаллы (**1 балл**)? Встречаются ли они у представителей царства животных (**1 балл**)?
2. Где живут эти бактерии и зачем им это свойство (**3 балла**)?
3. Пофантазируйте, как можно использовать эти кристаллы в промышленности, технике, в научных исследованиях (**2 балла**).

#### Ответ

- a) Внутри бактерии находятся *кристаллы магнетита*  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  диаметром 30-120 нм, покрытые липидной оболочкой.
- b) Магнетит – широко распространённый в природе минерал чёрного цвета, который образует рудные залежи.
- c) Магнетит обладает сильными ферромагнитными свойствами. Благодаря кристаллам магнетита, бактерии обладают *магнитотаксисом*, т.е. могут ориентироваться в магнитном поле. Именно это свойство определило название бактерий. Следует заметить, что использовать понятие *таксиса* в данном случае нужно с оговоркой, так как бактерии ориентируются по магнитному полю пассивно, причем как живые, так и мертвые.
- d) Если магнитотаксис – это основное свойство бактерий, то, теоретически, нанокристаллы могут состоять из любого соединения с магнитными свойствами. Например, из грейгита ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ), феррита кобальта ( $\text{CoO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) и многих других.
- e) Биогенный магнетит встречается у представителей царства животных. Первый организм, в котором были обнаружены кристаллы магнетита, — это хитон (морской моллюск класса *Polyplacophora*). Моллюски семейства *Chitonidae* откладывают в зубцах радулы лепидокрокит ( $\text{Fe}^{3+}\text{OOH}$ ) и франколит ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3\text{F}$ ). Существуют данные, что кристаллы магнетита найдены у насекомых, птиц и некоторых млекопитающих, однако роль магнетита как сенсора магнитного поля у животных требует дальнейших исследований.

Литература:

1. Трусов Л.А. Бактерии знают толк в магнитных наночастицах ([http://www.nanometer.ru/2007/12/21/magnetizm\\_5467.html](http://www.nanometer.ru/2007/12/21/magnetizm_5467.html))
2. Киршвник Дж. Биогенный магнетит и магниторецепция. Новое о биомагнетизме. Т.2 – М.: Мир, 1989. – 525 с.  
(<http://booksshare.net/index.php?id1=4&category=biol&author=kirshvnik-dj&book=1989&page=31>)
3. Никельшпарг Э. Нобель vs. Шнобель, или механизмы магниторецепции/ Биомолекула.ру, 2014 (<http://biomolecula.ru/content/1484>)
4. Белов К.П. Загадки магнетита/ Соросовский образовательный журнал, Т. 6, №4, 2000 (<http://www.valtar.ru/Magnets3/magnets1.htm> или <http://www.valtar.ru/Magnets3/magnets1.pdf>)

2. Это водные донные бактерии, обитающие как в пресных водоемах, так и в морях. Они предпочитают жить в условиях низкого содержания кислорода, т.е. являются микроаэрофилами. С помощью кристаллов магнетита они располагаются по силовым линиям магнитного поля. Так как силовые линии магнитного поля Земли расположены под углом, бактерии все время идут ко дну, где меньше кислорода и больше пищи. Причем, в северном полушарии они плывут на север, а в южном – на юг.

*Литература:*

Громов Б.В. Поведение бактерий/ Соросовский образовательный журнал №6, 1997  
([http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9706\\_028.pdf](http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9706_028.pdf))

3. Магнетосомы обладают рядом полезных свойств: малый размер (30-120 нм), одномерная структура, высокая коэрцитивная сила (2600 А/м), покрыты липидной оболочкой, их производство экологично и не имеет побочных токсичных продуктов. Благодаря наличию липидной оболочки, магнетосомы можно функционализировать, т.е. пришивать к ним определенные соединения (антитела, лиганды к определенным рецепторам, ферменты, ДНК и т.д.). Всё это определяет их потенциальные возможности при использовании в различных областях.

Несколько примеров использования магнетосом из литературы:

- Очистка сточных вод от тяжелых металлов;
- Использование в электронике в качестве одномерных магнитных наноструктур и нанопроводов;
- Использование в качестве одномерных темплатов – матриц для формирования более сложных наноструктур. Они могут являться темплатами сами по себе, а могут присоединять другие молекулы, например, ДНК;
- Создание новых магнитных материалов;
- Транспортировка микрообъектов. Уже сейчас магнетобактерии научились использовать для перемещения бусин диаметром 3 мкм на небольшие расстояния со скоростью 7 мкм/с;
- Адресная доставка лекарственных препаратов;
- Магнитное разделение клеток крови (например, макрофагов, которые фагоцитируют магнитные наночастицы);
- Создание контрастных соединений для получения изображений МРТ;
- Лечение опухоли путем гипертермии;
- Трансформация микроорганизмов, т.е. способ введения чужеродной ДНК путем обстрела клеток комплексом [Магнетосома+ДНК].

*Литература:*

1. Трусов Л.А. Золотые нанопроводочки из ДНК-оригами/ Нанометр.ру, 2011 ([http://www.nanometer.ru/2011/03/01/dnk\\_256517.html](http://www.nanometer.ru/2011/03/01/dnk_256517.html))
2. Словарь нанотехнологических терминов (<http://thesaurus.rusnano.com/wiki/article23635>)

3. Jiayin Yuan et al. One-dimensional magnetic inorganic–organic hybrid nanomaterials/ *Polymer*, V. 51, 18, P. 4015–4036, 2010

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003238611000604X>)

4. Lei Yan et al. Magnetotactic bacteria, magnetosomes and their application/ *Microbiological Research*, V. 167, 9, P. 512–523, 2012

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S094450131200047X>)

- f) Внутри бактерии находятся *кристаллы магнетита*  $Fe_3O_4$  диаметром 30-120 нм, покрытые липидной оболочкой.
- g) Магнетит – широко распространённый в природе минерал чёрного цвета, который образует рудные залежи.
- h) Магнетит обладает сильными ферромагнитными свойствами. Благодаря кристаллам магнетита, бактерии обладают *магнитотаксисом*, т.е. могут ориентироваться в магнитном поле. Именно это свойство определило название бактерий. Следует заметить, что использовать понятие *таксиса* в данном случае нужно с оговоркой, так как бактерии ориентируются по магнитному полю пассивно, причем как живые, так и мертвые.
- i) Если магнитотаксис – это основное свойство бактерий, то, теоретически, нанокристаллы могут состоять из любого соединения с магнитными свойствами. Например, из греггита ( $Fe_3S_4$ ), феррита кобальта ( $CoO \cdot Fe_2O_3$ ) и многих других.
- j) Биогенный магнетит встречается у представителей царства животных. Первый организм, в котором были обнаружены кристаллы магнетита, — это хитон (морской моллюск класса *Polyplacophora*). Моллюски семейства *Chitonidae* откладывают в зубах радулы лепидокрокит ( $Fe^{3+}OOH$ ) и франколит ( $Ca_5(PO_4,CO_3)_3F$ ). Существуют данные, что кристаллы магнетита найдены у насекомых, птиц и некоторых млекопитающих, однако роль магнетита как сенсора магнитного поля у животных требует дальнейших исследований.

#### Литература:

- 5. Трусов Л.А. Бактерии знают толк в магнитных наночастицах ([http://www.nanometer.ru/2007/12/21/magnetizm\\_5467.html](http://www.nanometer.ru/2007/12/21/magnetizm_5467.html))
- 6. Киршвник Дж. Биогенный магнетит и магниторецепция. Новое о биомagnetизме. Т.2 – М.: Мир, 1989. – 525 с.  
(<http://booksshare.net/index.php?id1=4&category=biol&author=kirshvnik-dj&book=1989&page=31>)
- 7. Никельшпарг Э. Нобель vs. Шнобель, или механизмы магниторецепции/ Биомолекула.ру, 2014 (<http://biomolecula.ru/content/1484>)
- 8. Белов К.П. Загадки магнетита/ Соросовский образовательный журнал, Т. 6, №4, 2000 (<http://www.valtar.ru/Magnets3/magnets1.htm> или <http://www.valtar.ru/Magnets3/magnets1.pdf>)

2. Это водные донные бактерии, обитающие как в пресных водоемах, так и в морях. Они предпочитают жить в условиях низкого содержания кислорода, т.е. являются микроаэрофилами. С помощью кристаллов магнетита они располагаются по силовым линиям магнитного поля. Так как силовые линии магнитного поля Земли расположены под углом, бактерии все время идут ко дну, где меньше кислорода и больше пищи. Причем, в северном полушарии они плывут на север, а в южном – на юг.

#### Литература:

Громов Б.В. Поведение бактерий/ Соросовский образовательный журнал №6, 1997  
([http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9706\\_028.pdf](http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9706_028.pdf))

3. Магнетосомы обладают рядом полезных свойств: малый размер (30-120 нм), одномерная структура, высокая коэрцитивная сила (2600 А/м), покрыты липидной оболочкой, их производство экологично и не имеет побочных токсичных продуктов. Благодаря наличию липидной оболочки, магнетосомы можно функционализировать, т.е. пришивать к ним

определенные соединения (антитела, лиганды к определенным рецепторам, ферменты, ДНК и т.д.). Всё это определяет их потенциальные возможности при использовании в различных областях.

Несколько примеров использования магнетосом из литературы:

- Очистка сточных вод от тяжелых металлов;
- Использование в электронике в качестве одномерных магнитных наноструктур и нанопроводов;
- Использование в качестве одномерных темплатов – матриц для формирования более сложных наноструктур. Они могут являться темплатами сами по себе, а могут присоединять другие молекулы, например, ДНК;
- Создание новых магнитных материалов;
- Транспортировка микрообъектов. Уже сейчас магнетобактерии научились использовать для перемещения бусин диаметром 3 мкм на небольшие расстояния со скоростью 7 мкм/с;
- Адресная доставка лекарственных препаратов;
- Магнитное разделение клеток крови (например, макрофагов, которые фагоцитируют магнитные наночастицы);
- Создание контрастных соединений для получения изображений МРТ;
- Лечение опухоли путем гипертермии;
- Трансформация микроорганизмов, т.е. способ введения чужеродной ДНК путем обстрела клеток комплексом [Магнетосома+ДНК].

*Литература:*

1. Трусов Л.А. Золотые нанопроводочки из ДНК-оригами/ Нанометр.ру, 2011 ([http://www.nanometer.ru/2011/03/01/dnk\\_256517.html](http://www.nanometer.ru/2011/03/01/dnk_256517.html))
2. Словарь нанотехнологических терминов (<http://thesaurus.rusnano.com/wiki/article23635>)
3. Jiayin Yuan et al. One-dimensional magnetic inorganic–organic hybrid nanomaterials/ Polymer, V. 51, 18, P. 4015–4036, 2010 (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003238611000604X>)
4. Lei Yan et al. Magnetotactic bacteria, magnetosomes and their application/ Microbiological Research, V. 167, 9, P. 512-523, 2012 (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S094450131200047X>)