

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**  
**Институт машиноведения им. А.А. Благонравова**

**ТРУДЫ  
НАУЧНОГО СЕМИНАРА  
ПОД РУКОВОДСТВОМ АКАДЕМИКА  
К.В.ФРОЛОВА  
(1994-1998)**

**МОСКВА  
1998**

**БИОМЕХАНИКА**  
**БИОМЕХАНИКА ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**  
**МИКРООРГАНИЗМОВ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ**  
**МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, ИНДУЦИРУЕМЫХ**  
**ДОМЕНО-УПОРЯДОЧЕННЫМИ СТРУКТУРАМИ**

К.т.н. Д.Л.Федорова, д.ф.-м.н. С.В.Петухов,

А.С.Васильчиков, к.б.н. Е.Е.Брагина

Институт машиноведения РАН, ЦНИКВИ МЗ РФ, НИИМЭТ

Жизнедеятельность биосфера и отдельных ее микро- и макропредставителей, как известно, существенно зависит от экологических условий, заметно изменяющихся в ходе технического прогресса. Одним из таких характерных изменений является быстрое насыщение техногенной среды носителями микроструктурированных низкоинтенсивных физических полей, прежде всего, магнитных и электрических.

Речь идет о многочисленных домено-упорядоченных магнитных носителях, применяемых в электронно-информационной технике, многообразных элементах изображений на телевизионных экранах, электретных материалах, широко производимых и используемых человечеством, и пр. Так, электретные материалы (например, обычное стекло или многие современные полимерные изделия), то есть диэлектрические материалы с более или менее неоднородно распределенными в них объемными электрическими зарядами, индуцируют в окружающую среду слабые электростатические поля. Специально отметим, что при вибрации изделий из электретных материалов "вмороженные" в них объемные электрические заряды генерируют низкоинтенсивные переменные магнитные и электрические поля, соответственным образом структурированные, а потому многие вопросы биологического влияния вибраций [1] должны решаться с учетом этого сопровождающего вибрации фактора.

Живые организмы также состоят из множества более или менее упорядоченных доменов (образующих подчас иерархические множества полидоменных структур разного уровня): ансамбль клеток, клеточных мембранных из множества типовых структурных единиц, а также других многократно повторяющихся макромолекулярных или надмолекулярных биоструктурах. Эти полидоменные биообъекты являются носителями соответствующих

206

телефонов вызывают увеличение заболеваемости, например, раком мозга. Так, агентство "Рейтер" (см. [2]) опубликовало современные данные австралийского медика Эндрю Дэвидсона о том, что число случаев опухоли мозга за десять лет массового применения мобильных телефонов возросло лишь в одной провинции Австралии на 50%. Попытки этого автора, утверждающего опасность использования мобильного телефона из-за риска называемого заболевания, предложить ведущей телефонной компании страны совместное изучение этого вопроса, было отклонено представителем этой компании ссылкой на закон, гарантирующий тайну телефонных переговоров. Отметим, что функционирование мобильных телефонов связано с эксплуатацией низкоинтенсивных структурированных электромагнитных полей.

Для дополнительной аргументации актуальности подобных исследований напомним также, что "электромагнитное загрязнение атмосферы" выросло за последние годы в десятки раз, а суммарная интенсивность электромагнитного поля среды обитания в миллионы раз превосходит уровень естественного магнитного поля [3]. Результаты большого числа современных экспериментов [2], выполненных на различных микроорганизмах, показывают, что первичные изменения при воздействии электромагнитных и магнитных полей следует искать на мембранных клетках, которые, как правило, представляют собой домено-упорядоченные структуры. В частности, рядом авторов [4,5] экспериментально показано, что скорость движения бактерий линейно зависит от мембранныго потенциала и может являться хорошим индикатором процессов, происходящих на бактериальной мембране.

Магнитные поля могут служить удобным инструментом для изучения многих вопросов биомеханики движений как на клеточном, так и на организменном уровнях.

В настоящей публикации излагается та часть полученных в Отделе биомеханики Института машиноведения РАН и смежных организациях результатов, которая относится к влиянию низкоинтенсивных домено-упорядоченных магнитных полей на биологические движения микроорганизмов, удобных для экспериментального изучения целого ряда вопросов экологической безопасности, разработки методов и средств экспресс-диагностики заболеваний и т.п.

208

низкоинтенсивных и домено-структурированных физических полей, прежде всего электрических и магнитных, которые, как давно известно, активно и пассивно генерируются на них (например, на границах между средами разнофазного состояния - жидкими, твердыми и пр.). Эти низкоинтенсивные в целом поля могут быть весьма высокоградиентными, т.е. заметно изменяющими свою величину и знак на малых расстояниях, например, в единицы и доли микрон. Можно полагать, что эти поля играют важную роль в самоорганизации и кооперативном поведении множества составных элементов биоорганизмов.

Поскольку живая материя врожденно знакома с так структурированными слабыми полями, которые сопровождают множество биопроцессов, то закономерен вопрос: могут ли такие низкоинтенсивные домено-структурированные физические поля (магнитные, электрические и пр.), искусственно воспроизведенные на каком-либо носителе вне организма, оказывать существенное влияние на биообъекты при расположении вблизи них? Проведенные нами экспериментальные исследования со всей несомненностью дали положительный ответ на данный вопрос, свидетельствуя при этом в пользу информационной (по типу "включить-выключить") природы такого влияния, когданичтое по величине воздействие - сравнимое по уровню с геомагнитным полем Земли - имеет значительные последствия за счет включения им каких-то мощных механизмов памяти у биообъектов.

Сразу подчеркнем отличие нашего вполне ориентального исследования от множества работ по биологическому действию физических полей, в которых принято изучать действие относительно однородных - сильных или слабых - физических полей и на основе которых составляются все государственные и международные санитарно-гигиенические нормативы на биологическую значимость тех или иных полей для использования конструкторами современной техники и систем человек-машина-среда. Наша работа выявляет важное значение повторяющейся микронародности в пространственной структуре слабых физических полей для решения вопроса об их биотронности.

Это имеет прямое отношение и к конструкторам систем человека-машина-среда. Например, для подобных современных систем весьма характерно быстрое и широкое распространение мобильных телефонов. Немало ученых полагает, что эти виды

207

## 1. О технических носителях исследуемых полей и способе их использования.

В качестве искусственных носителей вышеуказанных слабых домено-структурированных полей (далее будем кратко называть их СДП) нами из многих возможных использовались магнито-доменные пленки, прототипы которых хорошо известны в промышленных средствах функциональной электроники. Напомним, что в функциональной электронике 80-х годов нашего века в качестве носителей электронной информации широко применялись специальные носители на динамических неоднородностях - доменах, в частности, магнитных. В то время использование подобной динамически неоднородной среды, обладающей существенно иными свойствами по сравнению с однородной (континуальной) средой, позволило реализовать новые принципы хранения информации. Достаточно качественным материалом для генерирования названных магнитных доменов являются прозрачные магнитные пленки ферритранзисторов (кратко, МПФГ) толщиной от 1 до 20 мкм [6], модификация которых и была выбрана нами в качестве первого экспериментально использованного носителя СДП.

Известно, что такие тонкие пленки одноосного ферромагнетика естественным образом разбиваются на множество областей малых размеров ("доменов"), векторы намагниченности которых направлены противоположно друг другу, а суммарные объемы областей, отличающихся противоположной ориентацией этих векторов, равны (рис. 1). Этим самым обеспечивается замыкание потока от каждого малого участка поверхности пленки и характерная упорядоченная структура полей рассеяния (рис. 2). В зависимости от физических условий производства МПФГ на них по классическим принципам минимизации потенциальной энергии самоорганизуются домены трех основных типов - лабиринтного, полосового и цилиндрического. Эти типы доменов, как нами выявлено, играют важную биологическую роль и широко наблюдаются также в самоорганизующихся биоструктурах.

При выборе МПФГ для наших экспериментов учитывались следующие аспекты:

- соизмеримость размеров доменов МПФГ с размерами биообъектов типа микроорганизмов, клеток крови, макромолекулярных биоансамблей;

209

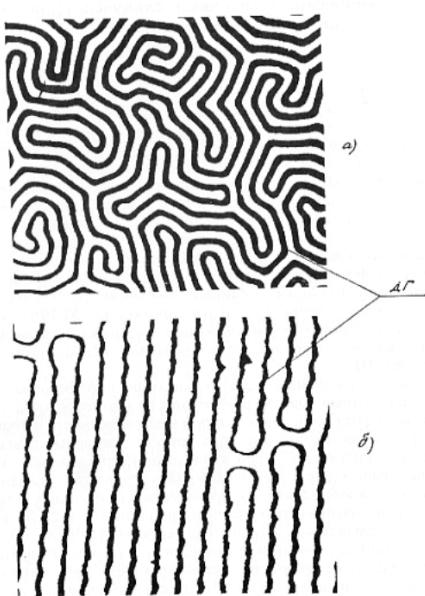


Рис. 1. Типы доменной структуры магнитных пленок ферритранатов (МПФГ) с указанием доменных границ (ДГ) в виде темных линий:  
а) лабиринтная структура (ЛС),  
б) полосовая структура (ПС).

210

- обеспеченность за счет существующих высоких технологий широчайшего спектра состава и намагниченности МПФГ (от 5-10 до 600-800 Гс);
- оптическая прозрачность МПФГ, позволяющая непосредственно наблюдать за поведением микроорганизмов, помещаемых на них;
- стабильность свойств МПФГ, обусловленная технологией их изготовления и способствующая хорошей воспроизводимости результатов экспериментов.

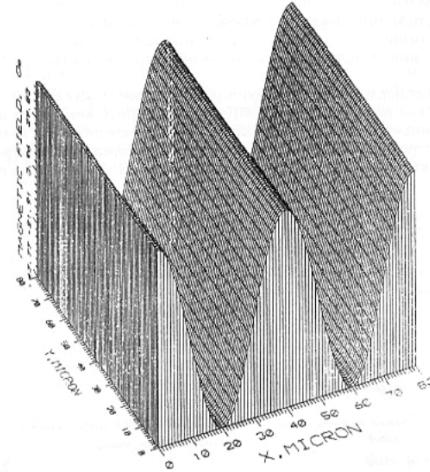


Рис. 2. Поля рассеяния магнитных пленок ферритранатов ЛС и ПС.

211

В ходе наших биологических экспериментов мы дополнитель- но несколько модифицировали эти стандартные для российской и зарубежной электронной промышленности носители СДП в целях усиления их биологической эффективности. При этом нами использовались носители СДП, в которых ширина отдельного домена на носителе составляла, по желанию экспериментаторов, от 1 до 300 мкм (ширина доменов зависела от их типа - цилиндрического, лабиринтного, полосового и пр.) - и составляла на разных носителях от единиц до тысяч микрон).

В ходе наших экспериментов капля препарата - жидкой бактериальной суспензии - наносилась непосредственно на поверхность МПФГ, накрывалась покровным стеклом и исследовалась с помощью оптического микроскопа марки "Биолам" в режиме темного поля или фазового контраста при увеличении 400.

Для исключения капиллярных токов зазор между абсолютно плоской поверхностью МПФГ и покровным кварцевым покровным стеклом фиксировался с помощью специальных моно-дисперсных распорных микрорунул ("mikropearl") диаметром 12 мкм фирмы Sekisui Fine Chemical Co.Ltd (Япония). Схема ис-

пользуемого пленочного магнитотестового устройства (ПМТУ) приведена на рис. 3. Круглое окошко из МПФГ диаметром 16 мм было вмонтировано в предметное стекло, поверхность которого была матирована всюду за исключением контрольного окошка того же диаметра, на которое помещалась аналогичная - контрольная - капля препарата для сравнения. На поверхность ПМТУ методом напыления дополнительно была нанесена пленка оксида кремния толщиной 500 ангстрем. При длительных экспозициях препарата (свыше одного часа) ПМТУ помещали во влажную камеру с температурой 37 °С.

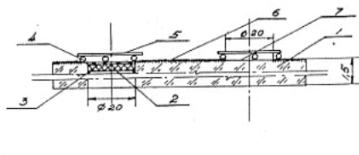
## 2. Биологические объекты и результаты их исследования.

В наших экспериментах, проводимых последние годы с использованием лабораторной базы ряда ведущих российских научно-исследовательских центров (Института микробиологии и эпидемиологии им. Г.Н.Габричевского, Центрального кожно-шернорогического института, Института вакцин и сыворотки им. И.И.Мечникова и др.), в качестве тестовых использовались патогенные и непатогенные штаммы следующих подвижных микробов:

- спирально извитых хемоорганогетеротроф: *Treponema pallidum* и *Treponema Rayter* семейства Spirochaetaceae, обладающих фибрillлярным двигательным аппаратом, и *Campylobacter* семейства Spirillaceae, имеющих полярно расположенные жгутики;
- *Salmonella typhimurium* и *Escherichia Coli* семейства Enterobacteriaceae, обладающих жгутиковым двигательным аппаратом и фимбринами.

Образцы бактериальных суспензий готовились в изотоническом растворе в концентрации 200-250 млн. м.т./мл. Капли этих препаратов помещались на вышеуказанные окошко из МПФГ и контрольное окошко в ПМТУ.

Феноменологические исследования подвижности этих микробов, приведенные в контакт с МПФГ, показали, что патогенные и непатогенные микроборганизмы резко отличаются друг от друга по своим поведенческим реакциям. Так, в ходе эксперимента непатогенный *Salmonella* турні и *E.Coli* адгезировали к поверхности МПФГ в течение 2-3 минут и полностью теряли



Условные обозначения:  
1. Стекло предметное  
2. МПФГ  
3. Органелл  
4. Микрорунула  
5. Покровное стекло  
6. Матированная поверхность  
7. Контрольное окошко

Рис. 3. Схема пленочного магнитотестового устройства ПМТУ

212

213

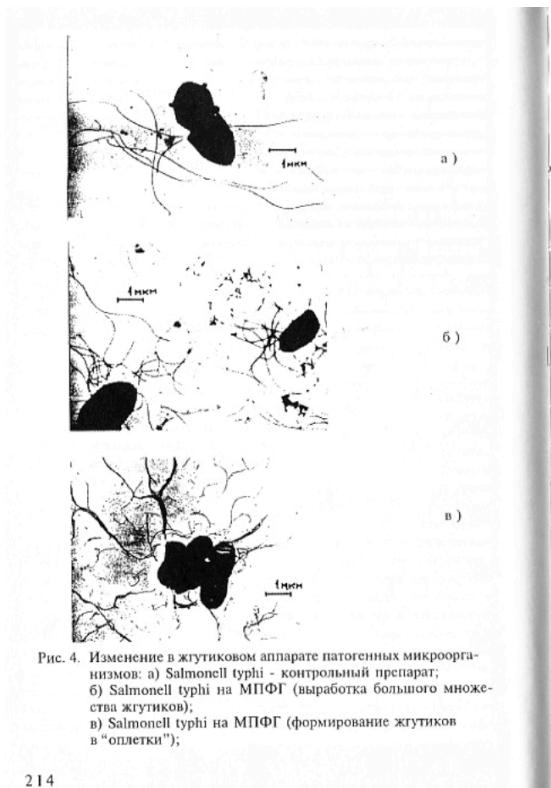


Рис. 4. Изменение в жгутиковом аппарате патогенных микроорганизмов: а) *Salmonelltyphi* - контрольный препарат; б) *Salmonelltyphi* на МПФГ (выработка большого количества жгутиков); в) *Salmonelltyphi* на МПФГ (формирование жгутиков в "оплетке");

214

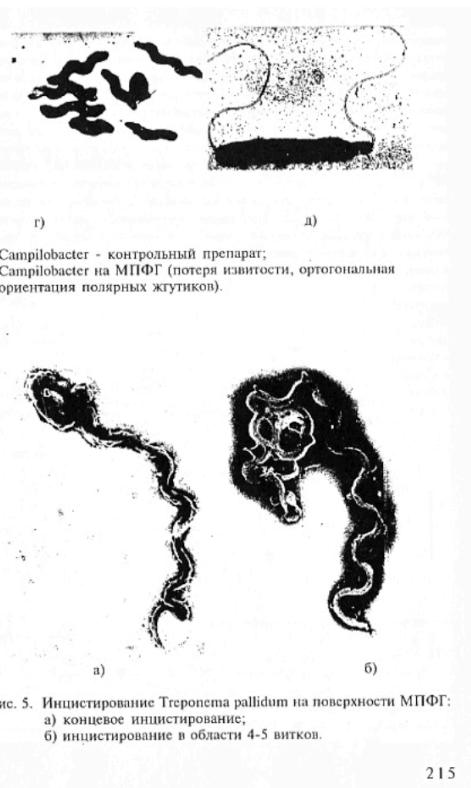
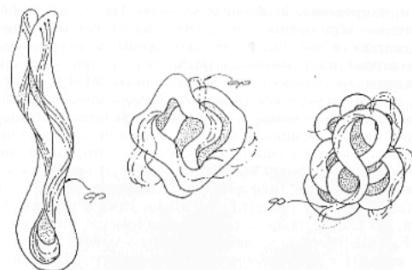


Рис. 5. Инцистрирование *Treponema pallidum* на поверхности МПФГ:  
а) концевое инцистрирование;  
б) инцистрирование в области 4-5 витков.

215



*Treponema pallidum*-К а) Симметрическая укладка в цисту  
б) Хаотичная укладка в цисту

Рис. 6. Схемы укладки *Treponema pallidum* на цисту в зависимости от скорости инцистрирования на модели:  
а) медленное симметрическое инцистрирование;  
б) быстрое хаотичное (неупорядоченное) инцистрирование.

При напесении взвеси этих бактерий на поверхность узкодоменных магнитных пленок (ширина доменов - от 3 до 6 мкм) с высокими значениями магнитного насыщения в диапазоне 30-35 Гц бактерии реже склеивались и образовывали "клубки". На рис.6 показаны микрофотографии бледных трепонем, выдержаных в течение 120 минут на МПФГ с узкими доменами. "Клубкование" микроорганизма происходило либо непосредственно с концевой органеллы (рис.6,б) при ширине доменов от 3,0 до 3,3 мкм, либо в области 4-6 витков (рис.6,в) при ширине доменов 5,0-5,7 мкм. В последнем случае наблюдалось локальное отслаивание клеточной стенки от протоплазматического цилиндра или ее всучивание.

Сравнение клубкоподобных образований со срезами цист *Treponema pallidum*, штамм Казань 2 (см. /10/, стр.30, рис.16) позволяет сделать вывод, что магнитные поля с высокими значениями магнитного насыщения, индуцируемые узкодоменными пленками, также создают неблагоприятные условия для возбудителя, у которого активно проявляются защитные функции в

свою подвижность. В то же время на поверхности контрольного окошка их поведение не отличалось от обычного, подвижного. Прилипание непатогенных энтеробактерий к поверхности магнитодоменного элемента, как правило, происходит из-за отсутствия гидрофильных цепей антигена в составе липополисахаридов во внешней мембране и резкого повышения гидрофобности конформировавших ансамблей фосфолипидов клеточной стенки под влиянием магнитных полей МПФГ.

Липополисахариды внешней мембранны патогенных *Salmonella* и *E.Coli*, напротив, снабжены цепями антигенов и ориентированы таким образом, что их жироокислотные цепи направлены внутрь мембранны, а гидрофильные О-антителы, несущие отрицательный заряд, во внешнюю среду [7]. Благодаря этому патогенные энтеробактерии отталкивались от поверхности магнитодоменного элемента и свободно двигались в зазоре между элементом и покровным стеклом.

Однако, вид и интенсивность их движений отличались от движений в контрольной капле. Помимо повышенной частоты колебательных движений и возросшей скорости поступательного движения более 50% бактерий под воздействием специфического магнитного поля МПФГ совершали вращательные движения типа "пропеллер" в горизонтальной плоскости. Через 15-20 минут подвижность бактерий заметно снижалась и далее образовывались агглютинаты. Движение *Campylobacter* сопровождалось достаточно заметной вибрацией.

Исследование морфологии микроорганизмов показало наличие значительных изменений в жгутиковом аппарате (рис.4). Жгутики *Salmonelltyphi* в отличие от обычно существующих форм данного вида бактерий распределены по всему оvoidному тельцу и соединены в "оплетку", благодаря чему, по-видимому, и происходило вращение микроорганизма. Полярные жгутики *Campylobacter*, помещенные на МПФГ, одинаково изогнуты и направлены перпендикулярно цилиндрическому тельцу. Наблюдающийся необычный колебательный характер движений этого микроорганизма объясняется вибрацией жгутиков.

В отличие от энтеробактерий, отталкивающихся от поверхности магнитодоменного элемента, *Treponema pallidum* (возбудитель сифилиса) прикреплялась к МПФГ дистальным концом. При этом помимо частичного фиксирования бактерий менялся характер их движений на преобладание судорожных и маятниковых.

216

217

виде аннулирования. В обычных условиях *Treponema pallidum* свойственно образование цист в ответ на различные внешние раздражители (истощение питательной среды, химические агенты, некоторые лекарственные вещества и т.д.). При воздействии на бактерию магнитным полем узкодоменных МПФГ, по-видимому, происходило резкое увеличение мембранныго потенциала и проницаемости мембран. Таким образом включался бактериальный "мотор", мощность которого в данном случае намного превышала таковую в обычном режиме [1]. Это, как правило, приводит к импульсному выбросу ионов  $H^+$  и вращению концентрических дисков, блефаропласта, играющего роль подшипника (см. [10], стр.17, рис.7а,б), рывкам и перекручиванию фибрил и, как следствие, появление клубка (цисты). Отметим, что сила  $F_F$ , действующая на фибрillу при наличии магнитного поля, возрастает при увеличении интенсивности  $H$  магнитного поля согласно выражению:

$$F_F = kH \left( \frac{dH}{dx} \right).$$

Поскольку биологические объекты диамагнитны ( $k$  - отрицательная величина), то  $F_F$  будет сжимать фибрillу по направлению градиента  $dH/dx$ , что согласуется с образованием клубка. Не исключена также гиперполяризация мембраны от воздействия магнитного поля МПФГ, способствующая закрыванию кальциевых каналов и удержанию фибрill в состоянии напряжения.

При сравнении инициирования бледной трепонемы под действием магнитного поля МПФГ и при истощении питательной среды (голодании) выявляется значительная аналогия в поведении. При деполяризации мембранны, вызванной истощением питательной среды, через кальциевые каналы мембранны все время поступают  $Ca^{2+}$ , что также сопровождается необратимым сокращением фибрill.

Фибрillы не являются пассивными проводниками сигналов и относятся к группе возбудимых органелл. Их свойства про странственная периодичность, характерная для структур со спиральной симметрией. Благодаря переменным биотокам, создаваемым мигрирующими в системах макромолекул ионами и электронами (при реакции перекисного окисления линолов, окислительного фосфорилирования и пр.), живой организм индуцирует собственные магнитные поля, соответствующим образом структурированные, которые активно взаимодействуют с внешними сходно структурированными магнитными полями.

С помощью изготовленных из гибкой вакуумной резины биомеханических моделей *Treponema pallidum* было установлено, что вид цист зависит от скорости сокращения фибрill. При медленной укладке такой "модели микроорганизма" в цисту формируются симметричные чистоподобные образования (см. 10, рис.7а и рис.15), поскольку при этом работают тонкие пучки глубоких фибрill. При быстрой укладке, когда глубокие фибрillы

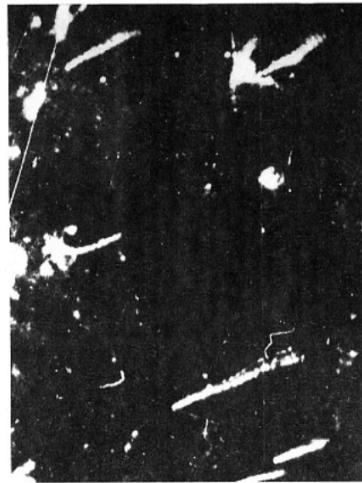


Рис. 7. Колебательный "веер" *Treponema pallidum* на поверхности при полевых воздействиях:  
а) "веер" *Treponema pallidum* на поляризованной поверхности предметного стекла;

риллы не успевают сократиться, образуются неупорядоченные цисты, подобные образованиям на рис.7б и рис.16 в работе [10].

Первый вид цист образуется как защитная функция *Treponema pallidum* на действия лекарственных препаратов, голодание или на поздних стадиях сифилиса. Второй тип цист, по-видимому, является реакцией возбудителя на полевые воздействия. Можно с уверенностью полагать, что скрытая форма сифилиса с послед-



Рис. 7. Колебательный "веер" *Treponema pallidum* на поверхности при полевых воздействиях:  
б) "веер" *Treponema pallidum* на поверхности МПФГ.

ющим переходом в нейросифилис будет превалировать в связи с усилением электромагнитного загрязнения биосферы. Эта тенденция заметна в настоящее время.

При нанесении взвеси *Treponema pallidum* на поверхность МПФГ с широкими доменами конвульсивных движений у бактерий не наблюдалось.

Прикрепившиеся дистальным концом к МПФГ микроорганизмы ориентировались перпендикулярно доменным границам и совершили только колебательные движения в отличие от плавных контрактильных, стигматильных или винговых движений, свойственных им в обычных условиях. О существовании только колебательного характера движений этих микроорганизмов свидетельствует характерный "веер" на микрофотографиях (рис. 8а). *Treponema Rayter* слабо реагировали на магнитные плёнки и совершили в основном контрактильные и стигматильные движения.

Адгезия *Treponema pallidum*, относимого микробиологами к "диким" перевиваемым формам, вероятнее всего, происходит из-за наличия на ее концевой оргanelле кристаллических хаотично ориентированных S-слоев (петель), выполняющих роль алгезии и способствующих локализации бактерий как на клеточных субстратах, так и на поверхности неорганической ферритранзитовой магнитной плёнки [7]. В ряде случаев морфологии могли принимать эти слои (петли) за жгутики, наличие которых в настоящее время отрицается.

Следует заметить, что аналогичный "веер" образуют микроорганизмы на сильно поляризованной поверхности предметного стекла, предварительно отполированной алмазным порошком дисперсностью 0,5 мкм (рис.8б). Однако, при детальном рассмотрении такие "веера" бактерий в электрическом и магнитном полях отличаются друг от друга. В "магнитном веере" извилистость *Treponema pallidum* уменьшается благодаря увеличению шага спирали. В связи с этим степень "раскачивания" трепонем (внутренний угол веера) на поляризованной поверхности стекла больше.

Мы полагаем, что магнитное поле МПФГ действует на мезофазу фибрillлярного белка флагелина, составляющего фибрillлярный аппарат *Treponema pallidum* (как и жгутиковые аппараты кишечных бактерий). Жиллокристаллический флагелин имеет нематико (НЖК) - холестерический (ХНЖ) тип упаков-

ки, которая характеризуется ориентационном порядком длинных осей фибрill и винтовой симметрией в их взаимном расположении [9].

Магнитное поле МПФГ, действующее на фибрillлярный аппарат *Teropetra pallidum*, которые располагаются поперек вытянутого домена (страйна) градиентного поля, стремится длиные молекулы флагелина расположить вдоль силовых линий этого поля, что провоцирует вынужденный фазовый переход (ХЖК  $\rightarrow$  НЖК) и приводит к деформации двигательных органелл и раскручиванию спирали бактерий.

Значение магнитного поля, раскручивающего жилкоцристаллический флагелин, можно рассчитать, исходя из выражения:

$$H = (\pi^2 / \rho_0) \sqrt{4\kappa_{22} / \delta_m}$$

где  $H$  - намагниченность,

$\rho_0$  - шаг спирали в отсутствии поля,

$\delta_m$  - анизотропия магнитной проницаемости,

$\kappa_{22}$  - модуль кручения.

У микроорганизма, фиксированного на определенном домене, со временем происходит перекручивание и разрыв фибрill, что наглядно иллюстрируется электронограммой (рис.8.). Такие электронограммы подтверждают изложенное выше тем, что на них отсутствуют известные формы, характерные для бактерий семейств Spirochaetaceae и Spirillaceae. Данное явление особенно характерно в случае использования магнитодоменных пленок с шириной домена от 20 мкм и более при намагниченности от 4 до 8 мТл не только для *Teropetra pallidum*, но и для энтеробактерий, *Campylobacter*. Однако, демонтаж фибрillлярного аппарата, как и потеря жгутиков, не вызывала гибели микроорганизмов. Напротив, адаптационная способность энтеробактерий и *Campylobacter*, приводимых в контакт с пленочными широкодоменными структурами, выражалась в интенсивном создании мощного двигательного аппарата, снабженного множеством флагелиновых жгутиков, что наглядно иллюстрировано на электронограммах рис.8.

На этом явлении основаны биотехнологические способы получения флагелиновых препаратов, осуществляемые путем подбора пленочных структур с определенными магнитными параметрами и обогащением питательных сред [12].

222

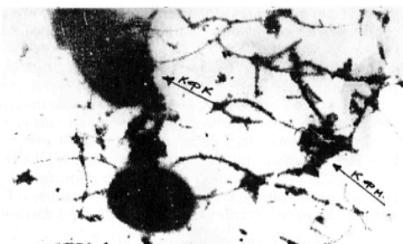


Рис. 8. Демонтаж фибрillлярного и жгутикового аппарата у микроорганизмов:  
б) *Campylobacter*.

Обработка микрофотографий микроорганизмов, полученных в темном поле оптического микроскопа, показала, что в отличие от правой спиральности, которая присуща примерно 80% бактерий в контроле, при контакте *Teropetra pallidum* с поверхностью магнитодоменного элемента происходит реверсия, сопровождающаяся увеличением количества трепонем с левой спиральностью.

Если на узкомениных пленках (ширина доменов 3,0-6,0 мкм) их содержание увеличивается до 40%, то при одинаковой часовой выдержке препарата на широкодоменных МПФГ (ширина доменов более 20 мкм) правоспиральные возбудители отсутствуют. Это сопровождается повышением вирулентности штамма, определяемой по содержанию адгезировавших микроорганизмов на МПФГ [10]. Данное явление, обнаруженное нами впервые, является весьма значимым и с новой точки зрения объясняет наблюдаемое в современном обществе и стадах животных (подверженных специфическим формам сифилиса) повышение уровня заболеваемости сифилисом, связанного с электромагнитным загрязнением биосферы.

224



Рис. 8. Демонтаж фибрillлярного и жгутикового аппарата у микроорганизмов:  
а) *Teropetra pallidum*;

В этом отношении весьма интересна реакция *Teropetra pallidum*, выражающаяся в демонтаже фибрillлярного аппарата, происходящего под влиянием низкоинтенсивных магнитных полей МПФГ, с последующим его восстановлением в форме с измененной симметрией: с противоположной контролью спиральной закрученностью (хиральностью).

223

Изложенное выявляет значительное влияние низкоинтенсивных домено-упорядоченных магнитных полей МПФГ на двигательный аппарат и двигательное поведение микроорганизмов, имеющее важное теоретическое и практическое значение. В частности, эти исследования имеют прямое отношение к проблемам техногенной безопасности и надежности функционирования различных машин в мире, насыщенном биологическими микроорганизмами. Например, описанными выше способами можно изменять мощное влияние микроорганизмов на коррозионные процессы (по некоторым данным 60% потерь от коррозии в мире обусловлено именно участием в них микроорганизмов с их электрохимической и иной спецификой) или регулировать способность микроорганизмов адгезировать и колонизировать на различных поверхностях (известная проблема обрастания биоорганизмами – в том числе микроорганизмами – водных судов, портовых сооружений и пр.).

В последующих публикациях авторы надеются продолжить изложение результатов этого нового содержательного направления исследований о биотронности микроструктурированных домено-упорядоченных носителей физических полей воздействий (ширина доменов – в диапазоне от долей микрона до сотен микрон), включая микроструктурированные вибрационные и акустические воздействия упорядоченно-иглочатого и сетчатого типов.

Работа выполнена частично в рамках программы государственной поддержки научных школ Российской Федерации (научная школа академика К. В. Фролова, грант 96-15-96150).

#### Литература

1. "Влияние вибраций на организм человека и проблемы виброзащиты" (под ред. К.В.Фролова). М.: Наука, 1974.
2. "Мобильный телефон опасен для мозга" (Информация агентства "Рейтер"). Известия, 9 января 1998г.
3. Григорьев Ю.Г. Проблема электромагнитной безопасности населения. В сб. "Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исследования", М.: Изд-во РАН, 1996, стр.15-19.
4. Гранстрем К.О. Метод использования тест-систем подвижных микроорганизмов для выявления биотропных парамет-

225

ров переменных магнитных полей. В сб. "Санитарно-микробиологическое состояние окружающей среды и методы его изучения". Л.: Наука, 1985, стр.76.

5. Тяжелов В.В., Алексеев С.И. Проблема формирования представлений о первичных механизмах биологического действия высокочастотных магнитных полей. В сб. "Проблемы экспериментальной и практической электромагнито-биологии". Пущино: ИБФ АН СССР, 1983, стр.35-56.
6. Эшенфельдер А. Физика и техника цилиндрических магнитных доменов. М.: Мир, 1983.
7. Кислухина О.В., Калунянц К.А., Амнова Д.Ж. Ферментативный лизис микроорганизмов. Алма-Ата: "Рауан", 1990, стр.23-24.
8. Индикаторные устройства на жидкых кристаллах (под ред. З.Ю.Гайры). М.: "Советское радио", 1980, стр.35.
9. Вазина А.А. Жидкие кристаллы сократительных белков и проблема биологической подвижности. "Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И.Менделеева, том XXVIII, вып.2. 1983, стр.84 (204).
10. Овчинников Н.М., Деленторский В.В. Ультраструктура возбудителей венерических заболеваний и ее клиническое значение. М.: "Медицина", 1986, стр.30.
11. Бранков Г. Основы биомеханики. М.: "Мир", 1981.
12. Патент РФ № 2089242, Федорова Д.Л. "Способ воздействия на микрообъект магнитным полем", 10.09.97г., RVCI 6A 61 № 2/04.