

УДК 616-095

В.Д. Закиев,
студент ФГБОУ ВО Первый МГМУ имени
И.М. Сеченова Минздрава России, лаборант-исследователь
лаборатории микробиологии условно-патогенных
бактерий ФГБНУ НИИВС имени И.И. Мечникова

А.В. Поддубиков,
канд. мед. наук, заведующий лабораторией
микробиологии условно-патогенных бактерий
ФГБНУ НИИВС имени И.И. Мечникова

Э.Е. Романенко,
канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник
лаборатории микробиологии условно-патогенных
бактерий ФГБНУ НИИВС имени И.И. Мечникова

А.П. Батуро,
д-р мед. наук, профессор

V.D. Zakiev,
Student, I.M. Sechenov First MSMU, Research Assistant,
the Laboratory of Opportunistic Bacterial Microbiology,
Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera

A.V. Poddubikov,
Candidate of Medical Sciences, Head of the Laboratory
of Opportunistic Bacterial Microbiology,
Mechnikov Institute of Vaccines and Sera

E.E. Romanenko,
Candidate of Biological Sciences, leading researcher
of the Laboratory of Opportunistic Bacterial Microbiology,
Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera

A.P. Baturо,
Doctor of Medical Sciences, Professor

ВЛИЯНИЕ ГЕЛИОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ НА ФИЗИОЛОГИЮ МИКРООРГАНИЗМОВ И РАЗВИТИЕ ЭПИДЕМИЙ

INFLUENCE OF GELIOPHYSICAL FACTORS AND GEOMAGNETIC STORMS ON THE PHYSIOLOGY OF MICROORGANISMS AND EPIDEMICS

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

Закиев Вадим Дмитриевич, студент ФГБОУ ВО
Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздра-
ва России, лаборант-исследователь лаборатории
микробиологии условно-патогенных бактерий
ФГБНУ НИИВС имени И.И. Мечникова
Адрес: 105064, г. Москва, Малый Казенный пер.,
д. 5а
Тел.: +7 (495) 916-22-17
e-mail: zakiev739@gmail.com
Статья поступила в редакцию: 13.04.2016
Статья принята к печати: 30.12.2016

CONTACT INFORMATION:

Vadim Zakiev, Student, I.M. Sechenov First MSMU, Research
Assistant, the Laboratory of Opportunistic Bacterial Microbiology,
Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera
Address: 5A, Maly Kazenny per., Moscow, 105064, Russia
Tel.: +7 (495) 916-22-17
e-mail: zakiev739@gmail.com
The article received: April 13, 2016
The article approved for publication: December 30, 2016

Аннотация. В статье представлен анализ литературных данных о способности магнитных бурь вызывать диссоциацию исходных популяций микробов и изменять активность их ферментов, факторов патогенности и резистентности. Рассмотрены некоторые возможные механизмы такого влияния.

Abstract. The article discusses the possible underlying mechanisms of magnetic storms ability to cause dissociation in the initial microbial populations and to alter the enzymes activity as well pathogenicity and resistance factors.

Ключевые слова. Магнитные бури, физиология микроорганизмов, эпидемии.

Keywords. Magnetic storms, physiology of microorganisms, epidemics.

В окружающей среде постоянно присутствуют электромагнитные поля как естественного, так и искусственного происхождения. К естественным магнитным полям относится геомагнитное поле (ГМП). Из-за повсеместного использования искус-

ственных магнитных полей, источником которых являются различные электрические устройства, промышленность, транспортные системы, ЛЭП и др., в последние несколько десятилетий уровень интенсивности электромагнитных полей окружающей

среды значительно вырос. Это явление часто называют электромагнитным загрязнением или смогом. Было накоплено большое количество сведений о влиянии искусственных магнитных полей на биологические объекты, как на микроорганизмы, так и на макроорганизмы [1–4]. Имеются данные о влиянии магнитных бурь на различные органы и системы, на здоровье и развитие заболеваний у человека и животных на различных уровнях организации [5; 6]. Изучение влияния геомагнитных бурь на микроорганизмы представляет большой интерес для микробиологии и биофизики. Однако работ, в которых рассматривается подобное влияние на микроорганизмы, почти нет.

Геомагнитное поле Земли состоит из главного (постоянного) магнитного поля, создаваемого вихревыми электрическими токами в ядре, локального (аномального), связанного с намагниченностью горных пород, и внешнего (переменного), возникающего при взаимодействии межпланетной среды с постоянным полем Земли, в результате чего возникают токи в ионосфере и магнитосфере. Основным источником переменного поля является энергия солнца, которая переносится в атмосферу Земли в виде электромагнитных волн (ультрафиолетовое, рентгеновское излучение), а также в виде корпускулярного излучения, так называемого солнечного ветра [5; 7; 8]. Таким образом, ГМП является суммой нескольких полей:

- 1) главного поля, создаваемого однородной намагниченностью земного шара;
- 2) материкового поля, создаваемого неоднородностью глубоких слоев земного шара;
- 3) аномального поля, обусловленного различной намагниченностью верхних частей земной коры;
- 4) внешнего поля, источник которого находится вне Земли;
- 5) поля вариаций, причины генерации которого также расположены вне Земли.

Основным параметром ГМП является его интенсивность, выраженная в единицах напряженности магнитного поля или в единицах магнитной индукции, а также частота с определенной амплитудой. ГМП неоднородное по земной поверхности, и его показатели меняются от 35 мкТл на экваторе до 65 мкТл вблизи полюса. Солнечная активность и связанные с ней возмущения межпланетной среды генерируют изменяющиеся во времени магнитные поля. В связи с этим наблюдается колебание ГМП с частотами 0,001–10 Гц и амплитудами 0,1–100 нТл, причем такие пульсации могут быть регулярными и нерегулярными. Другими словами, ГМП не имеет постоянную величину, а меняется на протяжении времени. Разность между наблюдаемой величиной напряженности магнитного поля и средним ее значением за какой-либо длительный промежуток времени называется геомагнитной вариацией.

В результате хромосферных вспышек на Солнце возникают возмущенные потоки солнечного ветра, представляющие собой потоки плазмы, состоящие из высокоэнергетических протонов, электронов, ядер гелия и других ионов, имеющих огромную скорость. В результате их прихода на Землю и взаимодействия с магнитосферой происходит усиление токов в магнитосфере и ионосфере. Это приводит к геомагнитным возмущениям. Возмущения магнитного поля, фиксируемые на всей поверхности Земли и достигающие экстремальных величин по сравнению с регулярными вариациями, называются магнитными бурями, при этом амплитуда флуктуаций может составлять 100–500 нТл и выше, тогда как нормальные суточные вариации ГМП составляют 50–70 нТл. Одним из признаков бури является внезапное ее начало, которое проявляется на магнитограмме резким увеличением магнитного поля. Развитие магнитных бурь происходит за 2–3 дня. Таким образом, магнитные бури – это непериодические вариации ГМП. Развитие магнитных бурь зависит от солнечной активности. Частота магнитных бурь тем больше, чем выше солнечная активность в данном году [5; 8; 9].

Одним из первых идею о космофизических воздействиях на живые организмы высказал А.Л. Чижевский. В своих работах [10; 11] он установил связь между циклическими процессами на Солнце и событиями, происходящими на Земле. Автором было показано, что в период повышенной солнечной активности на Земле происходят войны, революции, стихийные бедствия, катастрофы, увеличивается число эпидемий, активно размножаются вредители сельского хозяйства. Эти события повторяются с периодичностью в 11 лет, что совпадает с продолжительностью солнечного цикла.

Изучая развитие холерных эпидемий в истории и сопоставляя даты последовательного развития холеры с датами в периодической деятельности Солнца, А.Л. Чижевский заметил, что распространение холерных эпидемий коррелирует с увеличением числа солнечных пятен, которые являются основным проявлением солнечной активности. Эпохи снижения заболеваемости холерой совпадают со снижением солнечной активности, а прекращение эпидемий обычно происходит в начальные месяцы минимума солнечной активности. Например, во время пандемии 1816–1823 г. пятнообразовательный процесс на Солнце достиг своего наивысшего напряжения в 1816 г., и в этом же году в Индии одновременно во многих местах вспыхнула холера. В 1817 г. и до 1822 г. она распространилась на очень большой территории и унесла жизни сотен тысяч людей. Начиная с 1822 г., было повсеместно отмечено снижение заболеваемости, и в 1823 г. эпидемиологи отмечают окончание пандемии. Именно в 1823 г. наблюдался минимум солнечной активности. Таким образом,

начало и конец пандемии точно совпадают с годами максимума и минимума солнечной активности.

Аналогичная связь прослеживалась А.Л. Чижевским и в развитии и затухании других холерных пандемий. Такая же закономерность наблюдается и при рассмотрении местных холерных, при этом не только средние кривые заболеваемости холерой коррелируют с числом пятен на Солнце, но и резкие эпизодические усиления или уменьшения заболеваемости. Все годы максимумов солнечной активности, анализируемые А.Л. Чижевским, также ознаменовались эпидемиями цереброспинального менингита, а в эпоху минимумов солнечной активности происходили лишь окончания эпидемий. Им также было установлено, что определенную закономерность с солнечной активностью имеют развитие эпидемий гриппа, чумы, возвратного тифа и других заболеваний, причем часто скачки возникали и в период минимума солнечной активности [10; 11].

Следует отметить, что А.Л. Чижевский опирался в своих исследованиях только на данные солнечного пятнообразования, однако существуют и другие проявления солнечной активности, о которых ученый не знал. Однако, несмотря на это, используя описанные выше результаты, А.Л. Чижевский предсказал возможность эпидемической вспышки холеры в 1960–1962 гг., которая произошла в 1961 г., а из 9 пандемий гриппа, предсказанных им, 8 действительно произошли [9].

В 30-х гг. XX столетия А.Л. Чижевский совместно с С.Т. Вельховером обнаружили, что изменение метахромазии волютиновых зерен коринебактерий проявляются на несколько часов ранее регистрации вспышек на Солнце или одновременно с ними. Обычно эти зерна имели синюю окраску, а во время вспышек и за несколько часов до них меняли свою окраску на ярко-красную [12]. Это явление получило название эффекта Чижевского – Вельховера. Сам А.Л. Чижевский объяснял этот факт чувствительностью живых организмов к неизвестному Z-излучению Солнца. Однако в настоящее время наличие Z-излучения подвергается сомнению, и биологические эффекты магнитных бурь обусловлены изменением ГМП, к которому чувствительны биологические объекты [13].

Н.А. Поликарповым были проведены два годичных эксперимента, в которых он изучал влияние солнечной активности на биологическую активность 6 штаммов *Staphylococcus aureus*. Тест культуры сохраняли в пробирках в течение года в одних и тех же условиях с контролируемым микроклиматом, в качестве субстрата использовали влажную почву. Раз в месяц при помощи стерильной бактериологической петли из пробирок высевали материал на плотные питательные среды, после этого для изучения дальнейших свойств отбирали 10 типичных и 10 атипичных колоний. Затем анализировали биологи-

ческие свойства *S. aureus* по наличию достоверных изменений наиболее стабильно образуемых этими бактериями ферментов, в том числе ферментов патогенности – ДНКазы, РНКазы, желатиназы. Полученные результаты сопоставляли с показателями солнечной активности: со среднемесячным числом солнечных пятен (числом Вольфа), плотностью потока радиоизлучения на частоте 3000 мГц и величинной вертикальной составляющей магнитного поля Земли. Изменение ферментативной активности микроорганизмов наблюдалось в периоды высокой или низкой солнечной активности и имело прямую зависимость от нее. По мнению автора, особое внимание заслуживает факт расщепления исходного штамма на диссоцианты, произошедшее через 3 месяца после начала эксперимента. Штамм *S. aureus* 209 расщепился на два варианта – беспигментный и палевый. При этом у палевого варианта наблюдалась прямая зависимость изменения активности ДНКазы и других ферментов от числа Вольфа, а беспигментного – обратная. Один раз за двухгодичный период наблюдалось изменение таксономически важного биохимического показателя – приобретенные способности гидролизировать мочевины. В то же время у диссоциантов изменения биохимических признаков отмечались чаще, но касались второстепенных признаков (реакция Фогеса – Проскауэра, способности окислять лактозу, ксилит и др.) [14; 15]. Эти данные могут иметь большое значение в идентификации микроорганизмов.

В другом эксперименте во время магнитных бурь также наблюдалась диссоциация исходной популяции вплоть до появления атипичных форм [16]. К.А. Чернощеклов определил способность энтеробактерий изменять репродуктивность под воздействием возмущенного ГМП в стерильном физиологическом растворе без внесения органического субстрата. Им была показана зависимость выживаемости этих микроорганизмов от возмущения ГМП: если микроорганизмы отвечают на возмущение ГМП стимуляцией репродуктивности, то сроки выживаемости значительно увеличиваются, в то время как в условиях спокойного ГМП наблюдалось линейное отмирание микробных клеток и сокращение сроков жизни популяций [17; 18]. Интересен тот факт, что популяция микробов, выделенная в области Курской магнитной аномалии (КМА), ГМП имеет аномальные характеристики, обладает повышенной антибиотикорезистентностью и активностью факторов патогенности по сравнению со штаммами, выделенными в области нормального ГМП [19]. Таким образом, влияние солнечной активности можно представить следующей схемой: повышение солнечной активности, проявляющееся увеличением числа вспышек на Солнце, приводит к появлению диссоциантов первичной популяции микроорганизмов с повышенной и измененной

активностью ферментов и факторов патогенности, что в свою очередь способствует росту числа заболеваний и эпидемий.

Существование вариации ГМП, периодичность которых равна суткам, 27 дням, сезонных вариаций, т.е. практически совпадающие с периодичностью биоритмов живых организмов, наводит на мысль, что именно ГМП является синхронизатором ритмов. В пользу существования таких ритмов у бактерий говорят данные об изменении пролиферативной и гемолитической активности золотистого стафилококка [20] и изменение чувствительности к антибиотикам [21] в течение суток. Можно предположить, что изменение ГМП, происходящее в том числе и во время магнитных бурь, улавливается не каждой клеткой популяции, а только частью клеток, имеющих специализированные рецепторы к магнитным полям. Такими рецепторами могут быть металлосодержащие включения, похожие на включения магнитотактных бактерий. Эти микробы существуют на границе раздела аэробной и анаэробной зон пресных и морских водоемов и обладают способностью перемещаться по силовым линиям магнитного поля Земли – магнитотаксису. Они содержат магнитосомы – железосодержащие включения из магнетита и грейгита, окруженных мембраной и синтезированных внутри клетки. Магнитосомы играют роль своеобразной магнитной стрелки. Магнитотаксис совместно с аэротаксисом позволяет этим бактериям мигрировать в микроаэрофильные условия, которые являются оптимальными для их существования [22–24]. Аналогичные включения были обнаружены у бактерий при культивировании на средах, содержащих соединения железа, хрома и кобальта [25]. Эти данные коррелируют с гипотезой Kirschvink J.L. с соавт. [26], который предположил, что основой магниторецепции всех живых организмов может быть биогенный магнетит, который по своим свойствам является органическим ферромагнетиком, напоминающим ферритин. С помощью гистохимии на глубине 5 мкм от поверхности костей, образующих клиновидно-решетчатый синус, был обнаружен слой, содержащий большое количество железа, а по остаточной намагниченности был выявлен ферромагнитный потенциал в надпочечниках. Возможно, при действии магнитного поля происходит перемещение этих включений, которые в свою очередь вызывают конформационные изменения белка, ассоциированного с ними, в результате чего активируется каскад реакций, приводящих к изменению экспрессии генов. Это подтверждают многочисленные данные, свидетельствующие об изменении экспрессии генов под действием магнитных полей [27–30].

Мы предполагаем, что такие ритмы играли важную роль на этапе зарождения жизни, когда озоновый слой не был сформирован, а повышение сол-

нечной активности, и вызванные этим выбросы энергии, оказывало негативный эффект на первые организмы. При этом происходило изменение характеристик ГМП и этот процесс имел периодичный характер. Такая периодичность действия негативного фактора способствовала формированию биоритмов и позволяла первым организмам подготовиться к увеличению солнечной активности заранее. Однако при магнитных бурях, которые возникают в результате вспышек на Солнце и других проявлений солнечной активности, происходит резкое изменение геомагнитного поля со значительной частотой и амплитудой колебаний. Это, в свою очередь, нарушает магниторецепцию и вызывает стресс-реакцию у микроорганизмов, при этом чувствительна не вся популяция, а только ее часть, имеющая магниторецепторы. Затем популяция с магниторецепторами через сигналы quorum sensing передает эту информацию остальным клеткам. Этим можно объяснить диссоциацию исходной популяции микроорганизмов. Таким образом, магнитные бури запускают повышенную стресс-реакцию и в то же время нарушают нормальные (привычные) биоритмы популяции микробов. Аналогичный эффект наблюдается и при первичном попадании микроорганизмов в область магнитных аномалий.

Данные литературы свидетельствуют, что магнитное поле оказывает влияние на работу ионно-зависимых каналов, в результате чего происходит дисбаланс ионов и повреждение клетки [31; 32]. В связи с этим можно предположить, что именно повреждение клетки является триггером механизмов патогенности и защиты от стрессовых факторов. Исходя из этого, наименее приспособленные клетки гибнут, в результате чего в популяции остаются клетки, обладающие повышенной жизнеспособностью и активностью. И именно этим можно объяснить образование гомогенной популяции при продолжительном действии аномального поля КМА.

В то же время существуют данные о непосредственном изменении конформации ферментов под действием магнитного поля, в результате чего происходит изменение их активности [33]. В частности пероксидаза является одним из ферментов антиоксидантной системы, т.е. во время магнитных бурь снижается защита от свободных радикалов и происходит увеличение их повреждающей способности. В ответ на повреждение возникает стресс-реакция, сопровождающаяся повышением активности факторов патогенности и резистентности.

Таким образом, независимо от того, какой механизм действительно имеет место, а, возможно, и их совокупность, действие магнитных бурь сопровождается запуском стрессовой реакции микроорганизмов. Эта реакция заключается в изменении репродуктивности, усилении активности ферментных систем, а также факторов патогенности и резистентности.

В период высокой солнечной активности магнитных бурь возможно распространение заболеваний и обострение хронических инфекционных заболеваний. В связи с этим, а также в связи с ограниченностью и зачастую противоречивостью данных этот вопрос является актуальным направлением исследований и требует дальнейшего изучения.

Список литературы

1. Мухачев А.Я., Алексеева Н.В., Миллер Г.Г. Влияние низкочастотного магнитного поля на свойства *Pseudomonas aeruginosa*. *Журн. микробиол.* 2010; 4: 86–89.
[Muhachev A.Y., Alekseeva N.V., Miller G.G. Effect of low-frequency magnetic field on the properties of *Pseudomonas aeruginosa*. *J. microbiol.* 2010; 4: 86–89 (in Russian).]
2. Fojt L., Strasak L., Vetterl V., Smarda J. Comparison of the low-frequency magnetic field effects on bacteria *Escherichia coli*, *Leclercia adecarboxylata* and *Staphylococcus aureus*. *Bioelectrochemistry*. 2004; 63: 337–341.
3. Adebayo E.A., Adeeyo A.O., Ayandele A.A., Otomowo I.O. Effect of radiofrequency radiation from telecommunication base stations on microbial diversity and antibiotic resistance. *J. of Applied Sciences and Environmental Management*. 2015; 18(4): 669–674.
4. Берг Г. Влияние искусственных электромагнитных полей на живые организмы. *Гематол. и трансфузиол.* 1992; 4: 28.
[Berg G. Effect of artificial electromagnetic fields on living organisms. *Gematol. and transfuziol.* 1992; 4: 28 (in Russian).]
5. Агаджанян Н.А., Макарова И.И. Магнитное поле Земли и организм человека. *Экология человека*. 2005; 9: 3–9.
[Aghajanian N.A., Makarova I.I. The Earth's magnetic field and the human body. *Human ecology*. 2005; 9: 3–9 (in Russian).]
6. Бреус Т.К., Чибисов С.М., Баевский Р.М. и др. Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды. М.: Изд-во Российского университета дружбы народов; Полиграф-сервис; 2002: 232.
[Breus T.K., Chibisov S.M., Baevsky R.M. et al. Heart rhythms chronostructure and environmental factors. M.: Publishing House of Russian University of Peoples' Friendship; Polygraph Service; 2002: 232 (in Russian).]
7. Гусев Е.В. Методы полевой геофизики: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та; 2012: 56–73.
[Gusev E.V. Methods of field geophysics: a tutorial. Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic Univ.; 2012: 56–73 (in Russian).]
8. Птицына Н.Г., Виллорези Дж., Дорман Л.И. и др. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья. *УФН*. 1998; 168(7): 767–791.
[Ptitsyna N.G., Villoresi G., Dorman L.I. et al. Natural and man-made low-frequency magnetic fields as a potential health hazard. *Phys.* 1998; 168(7): 767–791 (in Russian).]
9. Румянцев Г.И. (ред.). Гигиена. Учебник для вузов. М.: ГЭОТАР-Медицина; 2000: 608.
[Rumyantsev G.I. (ed.). Hygienics. Textbook for universities. Moscow: GEOTAR-Medicine; 2000: 608 (in Russian).]
10. Чижевский А.Л. Эпидемические катастрофы и периодическая деятельность Солнца. М.: Издание Всерос. об-ва врачей-гомеопатов; 1930: 172.
[Chizhevsky A.L. Epidemic disasters and periodic activity of the Sun. Moscow: Publication of the Society of Homeopathic Physicians; 1930: 172 (in Russian).]
11. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль; 1973: 349.
[Chizhevsky A.L. Earth echo of solar storms. Moscow: Thought; 1973: 349 (in Russian).]
12. Чижевский А.Л. Об одном виде специфически биоактивного или Z-излучения Солнца. В: Космический пульс жизни. М.: Мысль; 1995: 725–738.
[Chizhevsky A.L. A form of specific bioactive Sun radiation or Z-rays. In: Proc. Space pulse of life. Moscow: Thought; 1995: 725–738 (in Russian).]
13. Хабарова О.В. Исследование эффекта Чижевского-Вельховера и поиск механизма воздействия солнечной активности на биообъекты. *Биофизика*. 2004; 49(1): 60–67.
[Khabarova O.V. Study the Chizhevsky-Velhover's effect and mechanism of solar activity influence on biological objects. *Biophysics*. 2004; 49(1): 60–67 (in Russian).]
14. Поликарпов Н.А. О влиянии солнечно-магнитной активности на точность лабораторных методов различения *Staphylococcus aureus* и *S. epidermidis*. *Клинич. лаб. диагностика*. 1995; 5: 49–52.
[Polikarpov N.A. The effect of solar-magnetic activity on the accuracy of laboratory methods of distinguishing *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis*. *Clinical. lab. diagnostics*. 1995; 5: 49–52 (in Russian).]
15. Поликарпов Н.А. О связи показателей солнечно-магнитной активности и автоколебаний биологических свойств у субкультур *Staphylococcus aureus* 209 in vitro. *Журн. микробиол.* 1996; 1: 27–30.
[Polikarpov N.A. On the relationship between indicators of solar-magnetic activity and self-oscillation of the *Staphylococcus aureus* 209 subcultures biological properties. *J. microbiol.* 1996; 1: 27–30 (in Russian).]
16. Бержанская Л.Ю., Бержанский В.Н., Старчевская Т.Г., Чубов И.И. Люминесцентная и популяционная нестабильность фотобактерий в периоды геомагнитных возмущений. Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». 2004; 17(1): 127–130.
[Berzhanskaya L.Y., Berzhansky V.N., Starchevsky T.G., Chubov I.I. Fluorescent and population instability of photobacteria during geomagnetic disturbances. Scientists notes of V.I. Vernadsky Taurida National University.

- “Biology, Chemistry” series. 2004; 17(1): 127–130 (in Russian).]
17. Чернощеков К.А. Метод изучения влияния геомагнитного поля на жизнедеятельность микроорганизмов семейства кишечных. *Журн. микробиол.* 1989; 9: 28–34. [Chernoshchyokov K.A. The method of studying the influence of the geomagnetic field on the activity of intestinal microorganisms. *J. microbiol.* 1989; 9: 28–34 (in Russian).]
 18. Чернощеков К.А., Лепехин А.В., Чернощеков М.А. Некоторые закономерности образования новых экоформ энтеробактерий в условиях геомагнитных возмущений. Корреляции биол. и физ.-хим. процессов с косм. и гелиогеофиз. факторами: материалы 4-го Междунар. симп. Пушино; 1996: 88–89. [Chernoshchyokov K.A., Lepikhin A.V. Chernoshchyokov M.A. Some regulations of the formation of new enterobacteria ekoform in condition of geomagnetic disturbances. Correlation of biol. and physico-chemical processes with the space and heliophysical factors: mater. of 4th the International Symp. Pushchino; 1996: 88–89 (in Russian).]
 19. Неман М.А. Влияние магнитных полей аномальных характеристик на биологические свойства стафилококков и кишечных палочек. Автореф. дис. канд. биол. наук. Курск; 2012. [Neman M.A. The effect of anomalous magnetic fields on the biological properties of Staphylococci and E. coli. Auto-ref. Dis. Cand. Biol. Sciences. Kursk; 2012 (in Russian).]
 20. Тимохина Т.Х., Губин Д.Г., Паромова Я.И., Николенко М.В. Хронобиологический подход к изучению биологических свойств Staphylococcus aureus. *Фундаментальные исследования.* 2014; 7: 1029–1033. [Timohina T.H., Gubin D.G., Paromova Y.I., Nikolenko M.V. Chronobiological approach to the study of the biological properties of Staphylococcus aureus. *Basic research.* 2014; 7: 1029–1033 (in Russian).]
 21. Бухарин О.В., Перунова Н.Б., Фадеев С.Б. Биоритмы антибиотикорезистентности микроорганизмов. *Журн. микробиол.* 2008; 5: 35–38. [Bukharin O.V., Perunova N.B., Fadeev S.B. The biorhythms of microbial antibiotic resistance. *J. microbiol.* 2008; 5: 35–38 (in Russian).]
 22. Blakemore R.P. Magnetotactic bacteria. *Ann. Rev. Microbiol.* 1982; 36: 217–238.
 23. Lefèvre C.T., Bennet M., Landau L. et al. Diversity of magneto-aerotactic behaviors and oxygen sensing mechanisms in cultured magnetotactic bacteria. *Biophysical journal.* 2014; 107(2): 527–538.
 24. Lefèvre C.T., Trubitsyn D., Abreu F. et al. Comparative genomic analysis of magnetotactic bacteria from the Deltaproteobacteria provides new insights into magnetite and greigite magnetosome genes required for magnetotaxis. *Environmental microbiology.* 2013; 15(10): 2712–2735.
 25. Аришкина Е.В. Некристаллические магнитные включения у бактерий. Автореф. дис. канд. биол. наук. Пушино; 2002. [Ariskina E.V. Non-crystalline magnetic inclusions in bacteria. Auto-Ref. Dis. Candidate. Biol. Sciences. Pushchino. 2002 (in Russian).]
 26. Kirschvink J.L., Kobayashi-Kirschvink A., Woodford B.J. Magnetite biomineralization in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 1992; 89(16): 7683–7687.
 27. Ventura C., Maioli M., Yolande A. et al. Turning on stem cell cardiogenesis with extremely low frequency magnetic fields. *The FASEB J.* 2005; 19(1): 155–157.
 28. McCaig C.D., Rajnicek A.M., Song B., Zhao M. Controlling cell behavior electrically: current views and future potential. *Physiol. Rev.* 2005; 85(3): 943–978.
 29. Запорожан В.Н., Пономаренко А.И. Механизмы влияния слабого магнитного поля на экспрессию генома: основы физической эпигенетики. *Наука и инновации.* 2011; 7(6): 50–69. [Zaporozhan V.N., Ponomarenko A.I. Mechanisms of a weak magnetic field influence on the expression of the genome: the physical bases of epigenetics. *Science and Innovation.* 2011; 7(6): 50–69 (in Russian).]
 30. Lupke M., Frahm J., Lantow M. et al. Gene expression analysis of ELF-MF exposed human monocytes indicating the involvement of the alternative activation pathway. *Biochim. Biophys. Acta.* 2006; 1763(4): 402–412.
 31. Gaafar E.S.A., Hanafy M.S., Tohamy E.T. The effect of electromagnetic field on protein molecular structure of E. coli and its pathogenesis. *Romanian J. of Biophysics.* 2008; 18(2): 145–169.
 32. Nascimento L.F.C., Botura J.G., Rogério P. Glucose consume and growth of E. coli under electromagnetic field. *Rev. Inst. Med. trop. S. Paulo;* 2003; 45(2): 65–67.
 33. Новиков В.В., Яблокова Е.В., Кувичкин В.В., Фесенко Е.Е. Действие слабых постоянных и низкочастотных переменных магнитных полей на активность пероксидазы в водных растворах. Научные труды VI Международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». СПб.; 2012: 54. [Novikov V.V., Yablokov E.V., Kuvichkin V.V., Fesenko E.E. The action of the weak low-frequency constant and alternating magnetic fields on the peroxidase activity in aqueous solutions. Proceedings of the VI International Congress “Weak and super-weak fields and radiation in biology and medicine”. St. Petersburg; 2012: 54 (in Russian).]