

Обзор

Воздействие факторов космической погоды на микроорганизмы биосферы

Мигаль А.С., Самсонов И.Ю., Ходакова Н.Г.

ФГБОУ ВО Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского Минздрава России

Поступила в редакцию 08 апреля 2022 г., Принята в печать 19 апреля 2022 г.

© 2022, Мигаль А.С., Самсонов И.Ю., Ходакова Н.Г.
© 2022, Психосоматические и интегративные исследования

Резюме:

Космическая погода включает в себя и метеофакторы, и электромагнитное излучение, а также влияние энергии Солнца, которое обусловлено воздействием на биосферу электромагнитного поля. Космогеофизические процессы, несомненно, играют роль не только как эволюционный фактор, что доказано в ходе длительных мониторинговых экспериментов, но и выступают в качестве фактора адаптации живых организмов. В научных изданиях существуют многочисленные публикации, которые демонстрируют коррелятивную связь между воздействиями геомагнитных излучений, электромагнитных колебаний, солнечной активности и изменениями в работе нервной, сердечно-сосудистой, иммунной и эндокринной систем, психики, половой функции. Эффект космических лучей вносит примерно 15% в суммарную дозу облучения организмов. При этом небольшое количество публикаций содержит информацию о влиянии космогеофизических факторов на микроорганизмы, имеющих влияние на здоровье человека, включая нормальную микробиоту и патогенную микрофлору. На наш взгляд, данный аспект представляет немалый интерес в плане изучения зависимости между колебаниями активности космических факторов и изменениями вирулентности, чувствительности к антибиотикам, механизмов адаптации микроорганизмов и др. и является актуальным направлением для дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: космическая погода, излучение, микроорганизмы, стафилококки, кишечная палочка.

Библиографическая ссылка: Мигаль А.С., Самсонов И.Ю., Ходакова Н.Г. Воздействие факторов космической погоды на микроорганизмы биосферы. Психосоматические и интегративные исследования 2022; 8: 0201.

Review

The impact of space weather factors on the microorganisms of the biosphere

Migal A.S., Samsonov I.Y., Khodakova N.G.

FBGOU VO Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky Ministry of Health of Russia

Received on 08 April 2022, Accepted on 19 April 2022

© 2022, Migal A.S., Samsonov I.Y., Khodakova N.G.
© 2022, Psychosomatic and Integrative Research

Summary:

Space weather includes both meteorological factors and electromagnetic radiation, as well as the influence of solar energy, which is caused by the impact of an electromagnetic field on the biosphere. Cosmogeophysical processes undoubtedly play a role not only as an evolutionary factor, which has been proven during long-term monitoring experiments, but also act as a factor of adaptation of living organisms. There are numerous publications in scientific publications that demonstrate a correlative relationship between the effects of geomagnetic radiation, electromagnetic oscillations, solar activity and changes in the nervous, cardiovascular, immune and endocrine systems, the psyche, and sexual function. The effect of cosmic rays contributes approximately 15% to the total radiation dose of organisms. At the same time, a small number of publications contain information about the influence of cosmogeophysical factors on microorganisms that have an impact on human health, including normal microbiota and pathogenic microflora. In our opinion, this aspect is of considerable interest in terms of studying the relationship between fluctuations in the activity of cosmic factors and changes in virulence, sensitivity to antibiotics, mechanisms of adaptation of microorganisms, etc. and it is an actual direction for further scientific research.

Keywords: space weather, radiation, microorganisms, staphylococci, E. coli.

Cite as Migal A.S., Samsonov I.Y., Khodakova N.G. The impact of space weather factors on the microorganisms of the biosphere. *Psychosomatic and Integrative Research* 2022; 8: 0201.

Микроорганизмы могут обладать наилучшей чувствительностью к изменениям окружающей среды, принимают участие во всех процессах, проходящих в биосфере, и могут быть представлены в виде простой модели для выяснения механизмов влияния космофизических факторов на биологические системы. Причем эффект влияния космических лучей может быть не только конкретно на клетку, а также на межклеточное пространство, изменяя свойства различных растворов, и, как следствие, течение разнообразных физико-химических и биологических процессов [1].

Одним из первых, кто высказал идею о воздействии космофизических факторов на живые организмы, был А.Л. Чижевский, который связал циклические процессы, происходящие на Солнце, и возникновение пандемий. Используя результаты своих исследований, Чижевский предсказал возможность эпидемических вспышек холеры в 1960–1962 г.г., а также 8 пандемий гриппа [2]. Сопоставление возникновения эпидемий гриппа и солнечной активности показало, что большинство эпидемических вспышек приходится на периоды, когда солнечная активность нарастает или же уменьшается. Эти исследования явились базисом для многих научных изысканий.

Одним из крупномасштабных экспериментов являлось наблюдение за изменчивостью золотистых стафилококков (*Staphylococcus aureus*) в 1984–1991 гг. в лаборатории Рима. Для оценки фенотипической изменчивости было введено специальное обозначение – процент аномальных колоний, которое в последующем называлось индексом изменчивости. Такие колонии получили сокращенное название CSD.

Пробы собирались методом седиментации на чашки Петри, питательной средой являлся триптозный агар. После инкубации подсчитывалась доля CSD от общего числа выросших колоний. На аномальных колониях наблюдался четко выраженный один или несколько секторов, отличающийся по визуальным характеристикам – цвет, прозрачность, фактура поверхности и др. Доля CSD рассматривалась как общий показатель фенотипической изменчивости микроорганизмов.

Исходя из этих наблюдений, был сделан вывод, что большее число аномальных колоний выявлялось в период с октября по февраль, а число, являющееся ниже среднего значения – с марта по сентябрь, т. е. в период с наибольшей солнечной активностью. Во время магнитных бурь процент CSD снижался примерно на 10%; отмечена обратная корреляция индекса изменчивости с числами Вольфа (число солнечных пятен) [3].

Российским ученым Н.А. Поликарповым в 1995 и 1996 гг. было проведено два годичных эксперимента, в которых изучалось воздействие солнечной активности на биологические свойства 6 штаммов *Staphylococcus aureus*. В ходе эксперимента отбирались 10 типичных и 10 атипичных колоний. Затем анализировались биологические свойства штаммов по наличию стабильно образуемых ферментов, а также ферментов патогенности – ДНК-азы, РНК-азы, желатиназы. Полученные результаты сравнивали с показателями солнечной активности: со среднемесячным числом Вольфа, плотностью потока излучения и значением вертикальной составляющей магнитного поля Земли у полюсов. Изменение биологических свойств *S. aureus* наблюдалось как в периоды повышения, так и период понижения солнечной активности и имело прямую зависимость от нее [2].

Одним из процессов, свидетельствующим о связи биологических и космофизических ритмов является явление метахромазии волютиновых гранул микроорганизмов. Метахромазия обозначает свойство клеток и тканей окрашиваться в тон, отличающийся от цвета красителя. Поскольку волютиновые гранулы представлены неорганическими полифосфатами, так называемыми «ископаемыми молекулами» [4], их можно считать «биофизическими приборами», реагирующими на космическую погоду. Учитывая полифункциональность и эволюционный путь неорганических фосфатов, можно предположить, что изучение метахромазии волютиновых гранул, может объяснить многие вопросы космического естествознания.

Еще в 30-х годах прошлого столетия А.Л. Чижевский и С.Т. Вельховер определили прямую зависимость метахромазии волютиновых гранул коринебактерий и вспышек солнечной активности [2, 5], что в настоящее время трактуется как воздействие геомагнитного поля земли на стресс-реакцию микроорганизмов [6].

Кроме того, исследование метахромазии волютиновых гранул клеток *Saccharomyces cerevisiae* было осуществлено командой Е.Н. Громозовой в период с 2001 по 2010 гг. [7]. Связь значений проявления метахромазии и космических факторов (в рамках солнечного цикла от максимума 23 цикла в 2001 году до фазы нарастания 24 цикла в 2010 г.) была установлена методами фурье- и косинор-анализа. Авторы отмечают, что наиболее статистически важной является сопряженность метахромазии с космическими лучами. Также выделена связь с обратной солнечной активностью, близкой к обратной геомагнитной активностью, нелинейной скоростью солнечного ветра. Вместе с тем отмечалось влияние космических лучей на реакцию метахромазии и во время минимальной солнечной активности [8]. Стоит отметить исследование [9], информирующее о связи космических лучей в процессах биологической эволюции, климатических изменений.

В 2007 г. в Казани проводились исследования влияния низкоэнергетического микроволнового поля крайне высоких частот (КВЧ) на интенсивность обмена веществ у дрожжей. В качестве объекта наблюдения были выбраны хлебопекарные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* 509, т. к. они являются наиболее восприимчивыми к электромагнитному полю (ЭМП). Наибольший прирост массы дрожжей наблюдался в диапазоне оптимальных частот (60–61 ГГц), что близко к собственным частотам поглощения ЭМП КВЧ водой. Следовательно, ЭМП КВЧ влияет на микроорганизмы через воду, так как вода является основным растворителем в клетках. К концу культивирования отмечалось повышение биомассы дрожжей вследствие усиления процессов метаболической активности. При действии частоты, превышающей оптимальную, наблюдалось повышение скорости роста культуры, а при воздействии частоты, меньшей от оптимальной – снижение этих показателей. Изменения обменных процессов были связаны с лабильностью ферментов микробной клетки. Так после воздействия ЭМП КВЧ повышалась активность β-фруктофуранозидазы. Изменение степени активности

гексокиназы происходило в меньшей степени. Активность fumarat-гидратазы, локализованная в митохондриях, почти не изменялась [10].

Исследование активности фермента-каталазы бактерий с применением искусственно созданного электромагнитного излучения было проведено в 2009–2010 г.г. на кафедре микробиологии Саратовского ГМУ [11]. Известно, что фагоциты макроорганизмов способны обезвреживать поглощенных микроорганизмов с помощью кислородзависимых механизмов [12]. При этом фагоциты действуют свободными кислородными радикалами.

Свободные формы кислорода могут быть нейтрализованы микроорганизмами посредством ферментов защиты. Одним из данных ферментов является каталаза [13, 14, 15]. В приведенном исследовании использовали бактерий – золотистых стафилококков (*Staphylococcus aureus*), кишечных палочек (*Escherichia coli*) и синегнойных палочек (*Pseudomonas aeruginosa*). Выявили повышения каталазной активности микроорганизмов на частоте спектра поглощения и излучения атмосферного кислорода. Данный процесс, изученный при различном времени экспозиции от 10 до 60 мин, развивался постепенно и достигал максимума к 45 мин. При продолжении опыта наблюдалось торможение активности каталазы, то есть изменения зависят от длительности облучения.

Кроме того, сотрудниками кафедры проводилось исследование экспрессии генов лекарственной устойчивости кишечной палочки под воздействием электромагнитного излучения на частотах молекулярного спектра поглощения и излучения [16]. Команда опиралась на особенность молекулы оксида азота (NO), в частности ее механизмов воздействия. NO является активатором многих реакций метаболизма, однако при повышении уровня концентрации проявляет цитотоксическое действие [6, 17, 18, 19]. При электромагнитном воздействии крайне высоких частот на молекулярном уровне происходит активация различных систем, в т. ч. изменение активности важнейших клеточных метаболитов (NO, CO, O₂, CO₂) [20]. Управление электромагнитным излучением, совпадающим со спектрами излучения и поглощения оксида азота, может быть использовано для регулирования метаболизма в биосреде. Объектом исследования были кишечные палочки: *E. coli* j 53 (Rp-1), *E. coli* j 53 (R 100–1). Результаты свидетельствуют о том, что облучение NO (150 ГГц) при плотности мощности не более 0,3 мВт/см угнетало экспрессию генов лекарственной устойчивости плазмид исследуемых бактерий: Rp-1 (устойчивость к канамицину), Rp-100–1 (устойчивость к левомецитину и стрептомицину). Авторы утверждают, что создание генераторов, работающих на частоте спектров поглощения и излучения биологически активных молекул NO, CO, O₂, CO₂, открывает новые направления в практическом использовании электромагнитных волн [5, 21].

Изучения воздействия магнитных бурь на биологическую активность стафилококков проводились в одном из уникальных районов России, где напряженность магнитного поля увеличена в 3-5 раз, за счет залегания крупных пластов железных руд – Курская магнитная аномалия. На основании чего можно предположить, что в данном районе могут возникнуть изменения биологических характеристик микроорганизмов. Было доказано, что при воздействии данных полей в составе популяций стафилококков отбираются клетки с повышенной активностью факторов патогенности, персистенции и лекарственной устойчивости. При длительном и непрерывном воздействии чрезвычайно сильного по напряженности геомагнитного поля у золотистых стафилококков повышается активация гемолитической, фибринолитической, лецитиназной, лизоцимной, антилизоцимной, антикомплементарной активности [22, 23].

В 2015 г. проводились исследования путем многократного воздействия ЭМП 18 ГГц на *Staphylococcus aureus*. Популяция подвергалась 18 обработкам в течение одного часа для изучения проницаемости клеток вместе с количеством жизнеспособных клеток, которые выращивались на питательном агаре. Анализ стафилококков, подвергшихся воздействию ЭМП, показал, что после второго воздействия значительно повысилась проницаемость клеточных мембран (до 99% обработанных клеток) и микроорганизмы оставались таковыми до конца действия ЭМП. По мере увеличения количества воздействий ЭМП до седьмого и восьмого раза, наблюдалось постепенное снижение числа бактериальных клеток, выращенных на агаре, до $54 \pm 5\%$. Но после последующих экспозиций число клеток периодически увеличивалось до $78 \pm 5\%$. Таким образом, несмотря на снижение количества жизнеспособных клеток при непрерывном воздействии ЭМП, происходит увеличение количества клеток, восстановленных на чашках, после продолжающегося воздействия ЭМП [24].

Закключение. В заключение хотелось отметить, что нет сомнения в чувствительности микроорганизмов к воздействию космических излучений и магнитных бурь с самыми различными характеристиками. Их влияние приводит к изменению функциональной деятельности клетки, ферментативных систем, а также к изменениям патогенности и резистентности. В периоды повышенной солнечной активности повышается количество представителей микромира, ухудшается эпидемиологическая обстановка, что непосредственно влияет на человека – возможно развитие острых и ухудшения состояния хронических заболеваний. Т.о. микроорганизмы могут выступать в качестве модели для изучения влияния космических явлений на биосферу.

Детальное изучение влияния космических факторов на микроорганизмы даст возможность прогнозировать процессы возникновения и развития инфекционных состояний, склонных к эпидемическому распространению. Кроме того, понимание механизмов повреждения клеток, происходящих под воздействием этих факторов, может служить основой развития новых технологий, применяемых в рамках этиотропной терапии инфекционных заболеваний.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Список литературы

1. Добротин Н.А. Космические лучи. М.: Гос. издательство технико-теоретической литературы 1954; с. 320.
2. Закиев В.Д., Поддубиков А.В., Романенко Э.Е., Батуро А.П. Влияние гелиофизических факторов и геомагнитных бурь на физиологию микроорганизмов и развитие эпидемий. Сеченовский вестник 2016; 4 (26): 19-24.

3. Фараоне П., Конрадов А.А., Зенченко Т.А., Владимирский Б.М. Гелиогеофизические эффекты в ежедневных показателях жизнедеятельности бактерий. Геофизические процессы и биосфера 2005 4 (1/2): 89-97.
4. Кулаев И.С., Вагабов В.М., Кулаковская Т.В. Высокомолекулярные неорганические полифосфаты: биохимия, клеточная биология, биотехнология. М.: Научный мир 2005; 216 с.
5. Майбородин А.В., Креницкий А.П., Тупикин В.Д., Киричук В.Ф., Авдеенко В.С. Панорамно-спектрометрический комплекс для исследования тонких структур молекулярных спектров физических и биологических сред. Биомедицинская радиоэлектроника 2001; (8): 35-47.
6. Марков Х.М. Окись азота и окись углерода новый класс сигнальных молекул. Успехи физиологических наук 1996; 27 (4): 30-44.
7. Громозова Е.Н., Григорьев П.Е., Качур Т.Л., Войчук С.И. Влияние космофизических факторов на реакцию метахромазиноволотинных гранул *Saccharomycetes cerevisiae*. Геофизические процессы и биосфера 2010; 9 (2): 67-76
8. Громозова Е.Н., Блажчук И.С., Гордиенко А.С. К природе пеллетообразования *Cladosporium cladosporioides*. Микология и фитопатология 2007; 41 (5): 413-420.
9. Marsh, N. D. Influence of Solar Activity Cycles on Earth's Climate. Astrophysics and Space Science Library 2007; 83-94.
10. Крыницкий П.П., Поливанов М.А., Суханов П.П., Крыницкая А.Ю., Василенко С.В. Избирательность воздействия микроволнового поля на микроорганизмы. Вестник технологического университета 2017; 20 (13): 130-132.
11. Пронина Е.А., Шуб Г.М., Креницкий А.П., Майбородин А.В., Бецкий О.В., Гуляев Ю.В. Изменение активности каталазы и супероксиддисмутазы бактерий при действии электромагнитного излучения на частоте молекулярного спектра поглощения и излучения атмосферного кислорода. Проблемы особо опасных инфекций 2009; 1 (99): 55-58.
12. Курбанов А.И., Караев З.О. Роль каталазы и супероксиддисмутазы микроорганизмов при их фагоцитозе макрофагальными клетками. Биомедицина 2005; 3: 44-45.
13. Babior V.M. Phagocytes and oxidative stress. Am J Med 2000; 109 (1): 33-44.
14. Fridovich I. Superoxide anion radical (O₂⁻), superoxide dismutases, and related matters. JBC Online 1997; 272 (30): 18515-18517.
15. Knight J.A. Review: Free radicals, antioxidants, and the immune system. - Ann Clin Lab Sci. 2000; 30(2): 145-58.
16. Пронина Е.А., Шуб Г.М., Швиденко И.Г. Экспрессия генов лекарственной устойчивости кишечной палочки под воздействием электромагнитного излучения. Вестник ВолГМУ 2010; 1(33): 55-58.
17. Ванин А.Ф. Оксид азота и его обнаружение в биосистемах методом электронного парамагнитного резонанса. Успехи физических наук 2000; 170 (4): 455-458.
18. Северина И.С. Растворимая гуанилатциклаза в молекулярном механизме физиологических эффектов окиси азота. Биохимия 1998; 63 (7): 939-997.
19. Снайдер С.Х., Бредт Д.С. Биологическая роль окиси азота. В мире науки 1992; 7: 15-24.
20. Башаринов А.Е., Тучков Л.Г., Поляков В.М., Ананов Н.И. Измерение радиотепловых и плазменных излучений в СВЧ-диапазоне. М.: Советское радио 1968; 390 с.
21. Креницкий А.П., Майбородин А.В., Бецкий О.В. Биофизические эффекты волн терагерцового диапазона и перспективы развития новых направлений в биомедицинской технологии: «Терагерцовая терапия» и «Терагерцовая диагностика». Биомедицинские технологии и радиоэлектроника 2003; 12: 3-6.
22. Неман М.А. Влияние магнитных полей аномальных характеристик на биологические свойства стафилококков и кишечных палочек: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2012; 23 с.
23. Неман М.А., Калущий П.В., Калущий А.П. Влияние ликопида на проявления биологических свойств стафилококков при экспериментальной инфекции на фоне воздействия магнитного поля повышенной напряжённости. Курский научно-практический вестник "Человек и его здоровье" 2012; 2: 5-9.
24. Nguyen THP., Pham VTH., Nguyen SH., Baulin V., Croft RJ., Phillips B. et al. The Bioeffects Resulting from Prokaryotic Cells and Yeast Being Exposed to an 18 GHz Electromagnetic Field. PLoS ONE 2016; 11 (7): e0158135. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158135> (21 December 2022).

Авторы:

Мигаль Анастасия Сергеевна – студентка ФГБОУ ВО Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского Минздрава России, 8-937-027-20-77, migalnastya15@gmail.com

Самсонов Игорь Юрьевич – студент ФГБОУ ВО Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского Минздрава России, 8-968-264-58-18, seeyousgmu@mail.ru

Ходакова Наталья Геннадьевна – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии ФГБОУ ВО Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского Минздрава России, khodakova2012@yandex.ru