

УДК [57+61]6:612.014.424.5

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО И СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

© 2008 Е.А. Зотова, Ю.А. Малинина, А.Ю. Сомов

Саратовский государственный университет, г. Саратов

Проведено исследование влияния миллиметрового и субмиллиметрового излучения (ЭМИ КВЧ) на изменение концентрации подвижных инфузорий *Paramecium caudatum* в диапазоне частот 53-75 ГГц при различной плотности потоков излучения – 4 и 120 мкВт/см². Результаты экспериментов показали, что в зависимости от параметров, условий облучения, состояния и свойств облучаемого объекта электромагнитные волны способны как активизировать, так и угнетать жизнедеятельность клеток. Выявлен резонансный характер воздействия данного диапазона ЭМИ на тест-объекты.

Введение

В XX в. в результате применения мощных источников электромагнитного излучения (ЭМИ) искусственного происхождения практически во всех сферах жизнедеятельности человека (радиосвязь, радиолокация, промышленность, медицина и т.д.) сформировался новый абиотический фактор среды, оказывающий существенное влияние на организмы и их среду обитания [4]. При этом в разных частях спектра ЭМИ оказывает свои специфические свойства на биосистемы [15, 16]. Особый интерес представляют биологические эффекты крайне высоких частот (частотный диапазон от 30 до 300 ГГц – КВЧ диапазон), поскольку они используются в медицинской практике в качестве перспективного терапевтического метода лечения различных заболеваний. Многочисленные теоретические разработки и отдельные, хотя еще не бесспорные эксперименты, подтверждают, что КВЧ излучение является не только фоном, на котором разворачиваются основные биологические процессы, но может играть определенную роль в процессах обмена. При этом оптимальные величины энергетических параметров воздействия внешних физических факторов на биосистемы, не вызывающие побочных патогенных реакций, соответствуют малым и сверхмалым дозам и плотности потока энергии (ППЭ) не более 1 мВт/см² [6, 7]. Доминирующей концепцией в этой области исследований явилась идея

о резонансном взаимодействии ЭМИ КВЧ с живыми системами [12-14]. Резонансный характер воздействия заключается в том, что облучение одной длиной волны приводит к иному результату, чем действие другой, даже достаточно близкой, т.е. биологически значимый отклик может наблюдаться только на строго определенных частотах [12, 14].

В ряде работ указывается, что важную роль в нетепловых эффектах воздействия ЭМИ КВЧ на биологические объекты играет вода. В этой связи особого внимания заслуживает открытый саратовскими физиками эффект (СПЕ-эффект) резонансного возбуждения объемных молекулярных волн миллиметровым излучением в воде и водосодержащих средах [11]. При этом авторы обнаружили два четко выраженных резонанса на частотах 53 и 65 ГГц. В связи с этим целью работы было исследование биологических эффектов воздействия ЭМИ КВЧ в диапазоне частот 53-75 ГГц.

Материалы и методы

Оценку биологических эффектов воздействия ЭМИ КВЧ на живые организмы проводили с помощью биотестирования, обеспечивающего оперативную интегральную диагностику как источников загрязнений, так и состояния организмов [10]. В качестве тест-функции исследовали подвижность инфузорий *Paramecium caudatum* (Ehrb.), которые, обладая сложным строением и разнообрази-

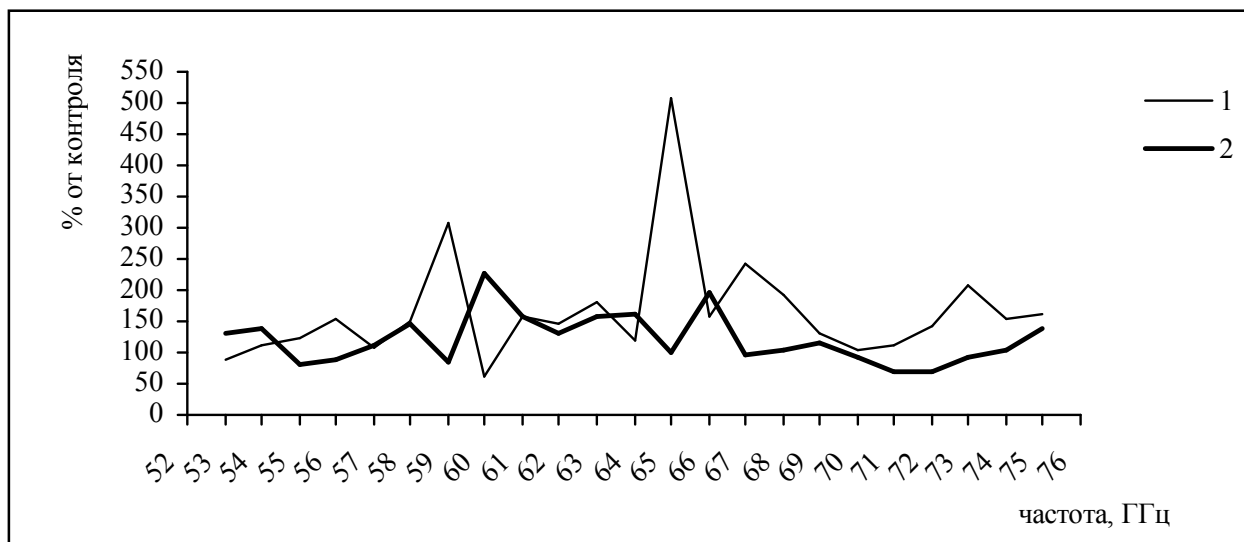


Рис. 1. Изменение концентрации движущихся *P. caudatum* в зависимости от частоты и плотности потока излучения (% от контроля). Облучение разных кювет. Плотности потоков излучения: 1 - 120 мкВт/см²; 2 - 4 мкВт/см². Время воздействия ЭМИ КВЧ - 15 мин

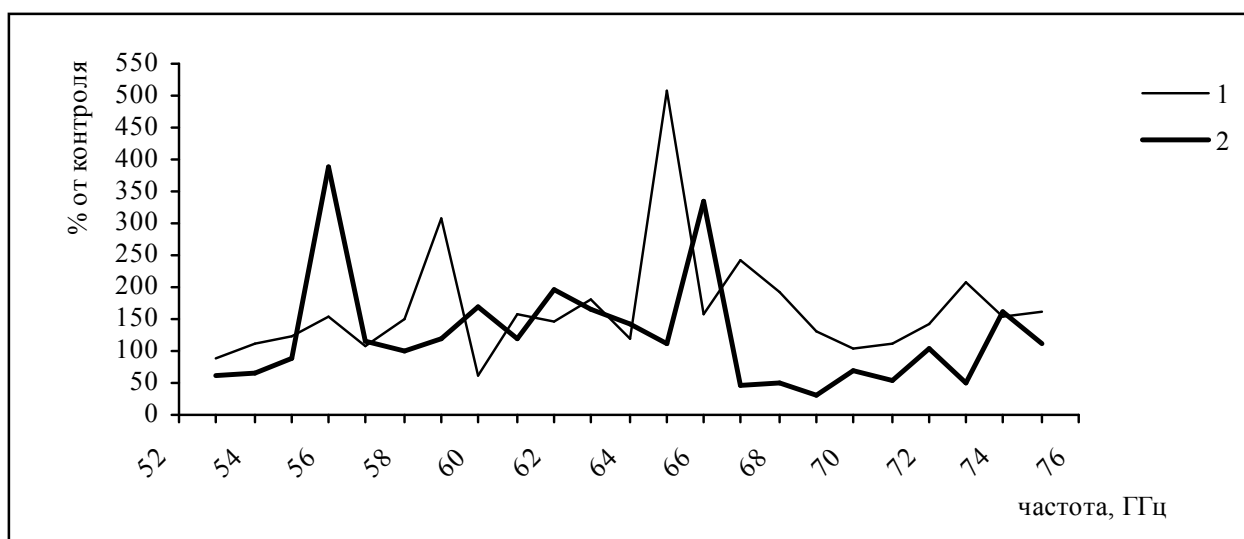


Рис. 2. Изменение концентрации движущихся *P. caudatum* в зависимости от времени воздействия ЭМИ КВЧ (% от контроля). Облучение тест-объектов в разных кюветах: 1 - 15 мин, 2 - 3 мин. Плотность потока излучения - 120 мкВт/см²

ем функций, позволяют одновременно оценивать воздействия на клеточном и организменном уровнях. Изучение биологических эффектов на одноклеточных организмах являются одним из направлений изучения первичных звеньев реакции живых существ на действие ЭМИ КВЧ [2]. В работе использовалась культура *P. caudatum* из коллекции Испытательной лаборатории по контролю сточных вод МУПП «Саратовводоканал». Культуру выращивали на стандартной среде Лозина-Лозинского [8]. Инфузорий пересеи-

вали каждые 10 дней в новую среду и культивировали при температуре 24-25°C. Эксперименты проводили в соответствии с действующей нормативно-технической документацией ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98 [9]. Количество подвижных инфузорий регистрировали до (контроль) и после воздействия ЭМИ КВЧ с помощью специализированного импульсного фотометра «Биотестер-2» ТУ 401-51-005-91. Степень токсичности среды оценивали по концентрации живых движущихся клеток в верхнем слое кюветы (% от контро-

ля).

В качестве источника ЭМИ КВЧ использовали генератор Г4-142. Биологические объекты облучались с помощью пирамидальной рупорной антенной длиной 12 см и апертурой $42 \text{ Ч } 50 \text{ см}^2$. Уровень мощности регулировался встроенным аттенуатором, измерялся термисторной головкой М5-50 и измерительным мостом М4-3. Максимальная мощность генератора (положение 100 внутреннего аттенуатора) в рабочей полосе частот изменялась от 7 мВт до 12 мВт. Плотность потока энергии (ППЭ) в месте расположения биообъекта определялась расчетными методами с учетом затухания ЭМИ в кювете. Устанавливались два дискретных уровня ППЭ: 4 и 120 мкВт/см^2 . Для достижения требуемой ППЭ внутренний аттенуатор генератора устанавливался на отметки шкалы от 50 до 90 в зависимости от частоты. При проведении экспериментов вручную перестраивали частоты с 53 по 75 ГГц с шагом 1 ГГц.

Результаты и их обсуждение

В первой серии экспериментов было проведено исследование влияния ЭМИ КВЧ на подвижность инфузорий *P. caudatum* при различной интенсивности (ППЭ) и времени излучения. При определении тест-отклика на каждой частоте использовали кюветы с новыми (необлученными) образцами. Результаты представлены на рис. 1 и 2.

Как следует из графиков, концентрация движущихся инфузорий изменяется при воздействии ЭМИ КВЧ. На характерных частотах (55, 60 и 65 ГГц) их число резко увеличивается. Частоты 55 и 65 ГГц соответствуют частотам резонансного отклика воды под действием миллиметрового диапазона. При этом на частоте 65 ГГц форма резонансной кривой фактически повторяет аналогичную форму второго резонанса СПЕ-эффекта (наличие двухгорбости) [1, 11]. При оценке влияния ППЭ было показано, что более явно изменения подвижности парameций выражены при 120 мкВт/см^2 . Так, на частоте 65 ГГц обнаружено значительное повышение концентрации подвижных *P. caudatum* при увеличении ППЭ. На частоте 55 ГГц эффект проявился

лишь при ППЭ 120 мкВт/см^2 и уменьшении времени воздействия ЭМИ до 3 мин., что, в принципе, совпадает с результатами работы [11]. Анализируя результаты исследований, представленных на рис. 1 и 2, следует отметить отсутствие явной зависимости наблюдаемых эффектов от энергетической экспозиции (произведения ППЭ на время воздействия). Наиболее явно прослеживаются зависимости от ППЭ и времени воздействия. Как видно из графиков рис. 1, увеличение ППЭ приводит к незначительному сдвигу пиков активности инфузорий по частотам и существенному увеличению тест-отклика. С другой стороны, уменьшение времени воздействия ЭМИ КВЧ с 15 до 3 мин приводит к значительному увеличению тест-отклика на частоте 55 ГГц при его уменьшении на частотах 60 и 65 ГГц.

В отличие от результатов работ [1, 11] резонансное изменение концентрации движущихся инфузорий под действием ЭМИ КВЧ было обнаружено и в районе частоты 60 ГГц. Возможно, это отличие объясняется тем, что в нашем случае с живым биообъектом, а не с водой. Кроме того, можно предположить, что высокие адаптационные возможности биосистем к воздействию ЭМИ обусловлены длительным, эволюционным воздействием электромагнитных полей естественного происхождения. Однако есть целый ряд спектральных полос в радиочастотном диапазоне, уровень которых у поверхности Земли ничтожно мал. Это объясняется резонансным поглощением ЭМИ этих частот атмосферным кислородом и парами воды. Фактически отсутствует на этих частотах и антропогенное воздействие ЭМИ, поскольку их использование на этих частотах практически нецелесообразно из-за больших потерь в атмосфере. Особый интерес представляет интерес частоты 60 и 120 ГГц, которые соответствуют пику максимального поглощения атмосферного кислорода. Очевидно, что именно на этих частотах можно ожидать максимального проявления биоэффектов воздействия ЭМИ КВЧ.

А.С. Авдеенко с соавт. [1], исследуя влияния физических и технических факторов на

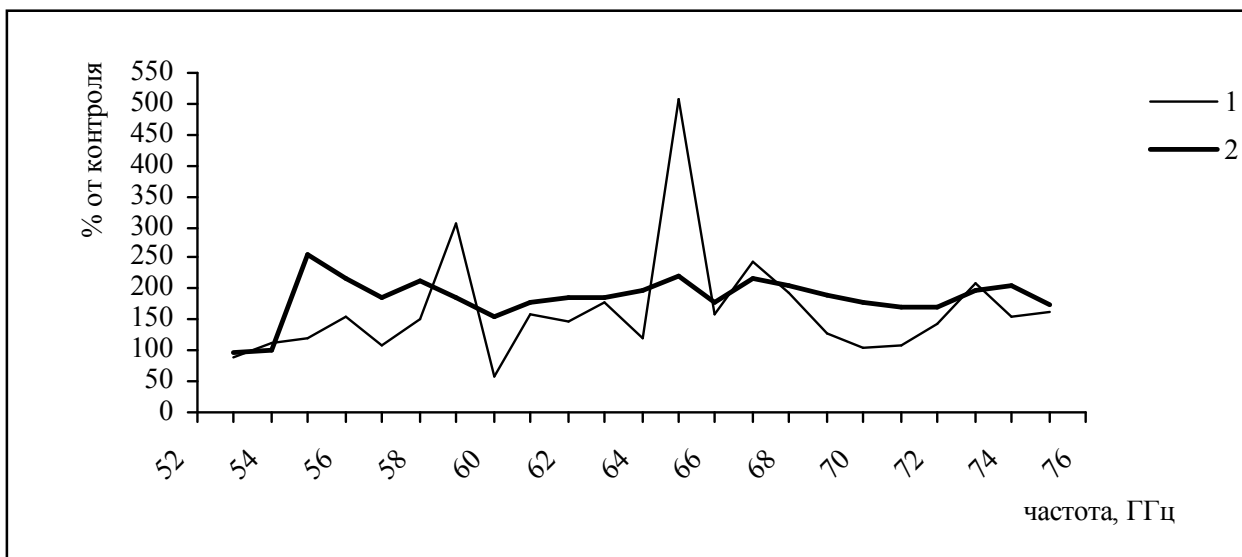


Рис. 3. Изменение концентрации движущихся *P. caudatum* в зависимости от частоты (% от контроля). Плотность потока излучения 120 мкВт/см²: 1 - облучение разных кювет; 2 - облучение одной кюветы. Время воздействия ЭМИ КВЧ - 15 мин

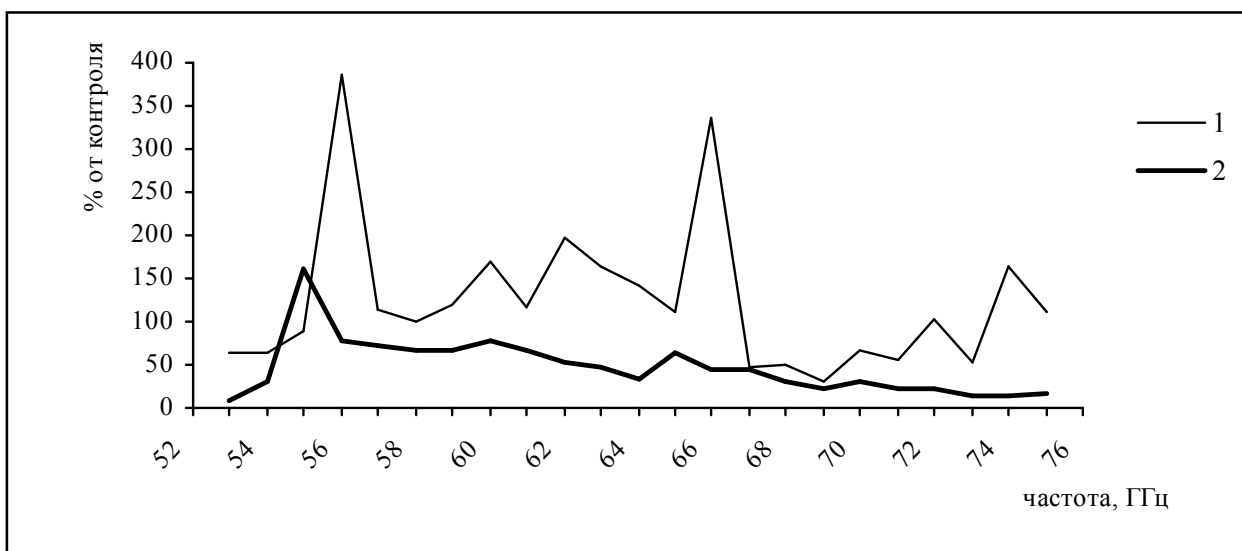


Рис. 4. Изменение концентрации движущихся *P. caudatum* в зависимости от частоты (% от контроля). Плотность потока излучения 120 мкВт/см²: 1 - облучение разных кювет; 2 - облучение одной кюветы. Время воздействия ЭМИ КВЧ - 3 мин

воспроизведение СПЕ-эффекта, обнаружили, что резонансный отклик воды на частоте 55 ГГц был получен только при использовании генератора Г4-141 (рабочий диапазон частот – 37,5-53,57 ГГц). При использовании генератора Г4-142 отклик на этой частоте получен не был. Можно предположить, что для появления резонансного отклика воды на частоте 55 ГГц необходимо ее предварительное облучения на одной из частот в полосе перестройки генератора Г4-141. То есть, для наблюдения резонанса на частоте 55 ГГц не-

обходимо предварительно перевести атом водорода на энергетический уровень, на котором может проявляться эффект возбуждения объемных молекулярных волн. Здесь мы сталкиваемся с эффектом памяти воды при воздействии ЭМИ. Авторы работы [1] связывают эффект памяти воды с состоянием структуры сетки водородных связей, т.е. под воздействием миллиметрового излучения атом водорода переходит на новый энергетический уровень и сохраняется на нем определенный период времени (времени релак-

сации). При наблюдении СПЕ-эффекта Н.И. Синицин с соавт. [11] облучали воду в диапазоне частот 53-78 ГГц в сканирующем режиме с шагом 0,1 ГГц с временной разверткой 24 сек. Несложные расчеты показывают, что время релаксации СПЕ-эффекта должно быть как минимум меньше 0,1 сек. К сожалению, авторы работы не приводят сравнительные результаты проведенных ими экспериментальных исследований, когда в одной серии экспериментов использовалась одна и та же вода, а в другой серии при каждом измерении заливалась новая (необлученная вода).

Для исследования эффекта «памяти воды» нами были проведены дополнительно два эксперимента: в первом из них на каждой исследуемой частоте облучали новые кюветы с образцами тест-объекта; во втором одну и ту же кювету с образцом облучали на всех частотах поочередно, снимая показания после каждого облучения. Было проведено также сравнительное экспериментальное исследование наблюдаемых эффектов при различном времени облучения биообъектов. Результаты экспериментов представлены на рис. 3 и 4.

При облучении одной и той же кюветы вне зависимости от времени облучения (3 и 15 мин) резонансные кривые сглажены, пики активности не выражены. Учитывая время облучения и время проведения измерений подвижности инфузорий на специализированном импульсном фотометре (порядка 10 мин), можно предположить, что время релаксации наблюдаемых эффектов не менее 20 мин.

Согласно полученным данным, проявление различных эффектов ЭМИ КВЧ, а в некоторых случаях и полное их отсутствие можно объяснить кластерной структурой воды, вступающей во взаимодействие с факторами среды и организмами [3].

С увеличением времени и частоты ЭМИ КВЧ увеличивается количество энергии, по-

глощенное исследуемой культурой клеток. Поглощение электромагнитной энергии осуществляется молекулами свободной и связанной воды, входящей в состав биологических мембран. При этом происходит изменение структуры воды и увеличение проницаемости биологических мембран, что приводит к усилению транспорта веществ из окружающей среды в клетку и, как следствие, изменению биологической активности. Можно предположить, что дестабилизация структуры сетки водородных связей при воздействии ЭМИ изменяет диффузионную подвижность приповерхностной воды клеток, что в свою очередь приводит к изменению мембранной проницаемости клетки. Очевидно, вода обладает «памятью на облучение», что в свою очередь действует на способность инфузорий вырабатывать АТФ и активно двигаться согласно врожденному отрицательному геотаксису.

Заключение

В ходе экспериментов выявлены частотные зависимости биоэффектов, которые имеют разнонаправленный характер, а в некоторых случаях и полное их отсутствие. В диапазоне частот 53-75 ГГц обнаружено три полосы резонансного воздействия ЭМИ КВЧ на биологические объекты (59, 65 и 67 ГГц), две из которых совпадают с частотами возбуждения молекулярных волн в воде и водосодержащих средах. Максимальное отклонение экспериментальных данных по сравнению с контролем произошло на резонансной частоте 65 ГГц (в 5 раз). Основные отличия исследованных в данной работе частотных характеристик изменения концентрации движущихся *P. caudatum* под воздействием ЭМИ КВЧ от частотных характеристик зависимости радиоотклика воды при СПЕ-эффекте очевидно объясняются тем, что в данном случае мы имеем дело с живым организмом.

колебаний на частотах молекулярного спектра поглощения атмосферного кислорода на функциональной состоянии эритроцитов крови животных // Биомед. технологии и

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеенко В.С., Калюжный И.И., Креницкий А.П. и др. Влияние электромагнитных КВЧ-

- радиоэлектроника. 2003. № 2.
2. Бакаева Е.Н. Обоснование использования одноклеточных в биотестировании // Тез. докл. Междунар. заоч. науч.-практ. конф. «Инфузории в биотестировании». СПб., 1998.
 3. Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы. М.: САЙНС-ПРЕСС, 2004.
 4. Григорьев О.А., Бичелдей Е.П., Меркулов А.В. Воздействие антропогенного электромагнитного поля на состояние и функционирование природных экосистем // Радиационная биология. Радиоэкология. 2003. Т. 43, № 5.
 5. Григорьев Ю.Г. Электромагнитное загрязнение окружающей среды как фактор воздействия на человека и биоэкосистемы // Материалы науч.-практ. конф. «Электромагнитная безопасность. Проблемы и пути решения». Саратов: Изд-во СГУ, 2000.
 6. Девятков Н.Д., Бецкий О.В., Гельвич Э.А. и др. Воздействие электромагнитных колебаний миллиметрового диапазона длин волн на биологические системы // Радиобиология. 1981. Т. 21, вып. 2.
 7. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: Радио и связь, 1991.
 8. Еришов Ю.А., Плетнева Т.В., Синюк Т.Ф. и др. Определение параметров роста тест-модели *Paramecium caudatum* для стандартизации исследований по изучению биологической активности химических веществ / Бюл. эксперимент. биол. и медицины. 1999. Т. 127, № 6.
 9. Методика определения токсичности проб отходов экспресс-методом с помощью прибора «Биотестер-2». ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98. 1998.
 10. Методы биотестирования качества водной среды / Под ред. О.Ф. Филенко. М.: Изд-во МГУ, 1989.
 11. Синицин Н.И., Петросян В.И., Елкин В.А. и др. Особая роль системы «миллиметровые волны – водная среда» в природе // Биомед. радиоэлектроника. 1998. № 1.
 12. Смолянская А.З., Гельвич Э.А., Голант М.Б. и др. Резонансные явления при действии электромагнитных волн миллиметрового диапазона на биологические объекты // Успехи совр. биол. 1979. Т. 87, № 3.
 13. Филиппова Т.М., Алексеев С.И. Влияние электромагнитного излучения радиочастотного диапазона на хеморецепторные структуры // Биофизика. 1995. Т. 40, вып. 3.
 14. Grundler W., Jentsch U., Keilmann F., Putterlik V. Resonant cellular effects of low intensity microwaves // Frohlich H. (ed.) Biological coherence and response to external stimuli. Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 1988.
 15. Lohmann K.J., Johnsen S. The Neurobiology of Magnetoreception in Vertebrate Animals // Trends Neurosci. 2000. V. 23, № 4.
 16. Ossenkopp K. P. Effects of Magnetic and Electric Fields in Invertebrates and Lower Vertebrates // Biological Effects of Electric and Magnetic Fields. V. 1. Sources and Mechanisms. Academic Press. San Diego, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto, 1994.

BIOLOGICAL EFFECTS OF INFLUENCE MILLIMETER AND SUBMILLIMETER OF RADIATION

© 2008 E.A. Zotova, Ju.A. Malinina, A.Yu. Somov
Saratov State University, Saratov

The research of influence millimeter and submillimeter of radiation (EMR EHF) on change of concentration mobile infusoria *Paramecium caudatum* in a range of frequencies 53-75 GHz is carried out at various density of flows of radiation - 4 and 120 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. The results of experiments have shown, that depending on parameters, conditions of an irradiation, condition and properties of irradiated object, the electromagnetic waves are capable both to make active, and to oppress ability to live of crates. The resonant character of influence of the given range EMR on tests - objects is revealed.