

Эффекты воздействия терагерцового излучения на биологические объекты

Автор научной работы: Рытик, Андрей Петрович

Ученая степень: кандидат физико-математических наук

Место защиты диссертации: Саратов

Код специальности ВАК: 03.00.02

Специальность: Биофизика

Количество страниц: 154

Оглавление диссертации

ВВЕДЕНИЕ

РАЗДЕЛ 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ

1.1 Специфика **терагерцового** диапазона частот

1.2 Техника и приборы терагерцового диапазона

1.3 Применение электромагнитного **излучения** терагерцового диапазона

1.3.1 Радиолокация

1.3.2 Радиосвязь

1.3.3 Радиоастрономия

1.3.4 Радиоспектроскопия

1.3.5 Диагностика плазмы

1.3.6 Неразрушающий контроль на основе применения волн терагерцового диапазона

1.4 Воздействие электромагнитного излучения терагерцового диапазона частот на **биологические** объекты и области его применение в медицине

РАЗДЕЛ 2. МЕТОДЫ И АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ **ВОЗДЕЙСТВИЯ** ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ НА ФИЗИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДЫ

2.1 Панорамно-спектрометрический комплекс

2.1.1 Программное обеспечение для управления выходным спектром генератора

2.2 Квазиоптические устройства для исследования воздействия на биосреды

2.2.1 Рупорная антенна

2.2.2 Делитель луча

2.2.3 Экранированная согласующая нагрузка

РАЗДЕЛ 3.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ НА ФОРМЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КРОВИ

Исследование изменений функциональной активности тромбоцитов при воздействии электромагнитного излучения на частотах спектра газов метаболитов

Исследование влияния электромагнитного излучения на частотах спектра поглощения газа-метаболита - оксида азота на функциональную активность эритроцитов

Исследование терагерцового индуцированного межклеточного взаимодействия в системе форменных элементов крови

Изменение метаболических процессов в крови при воздействии электромагнитного излучения на частотах молекулярного спектра поглощения и излучения атмосферного кислорода

Выводы

РАЗДЕЛ 4.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ НА РОСТ ПРОКАРИОТИЧЕСКИХ КЛЕТОК КИШЕЧНОЙ ПАЛОЧКИ E.COLI

Воздействие электромагнитного излучения на частотах из области спектра поглощения молекулярного кислорода на рост прокариотических клеток

Аппаратура и методы исследования

Результаты экспериментов и выводы

РАЗДЕЛ 5. ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ДАФНИИ

5.1 Обоснование выбора объекта: [дафния](#) - экологический биотест-объект

5.2 Воздействие излучения терагерцового диапазона частот на функциональное состояние дафнии

5.3 Изменение функционального состояния дафнии при воздействии потока атмосферного воздуха, возбужденного электромагнитным терагерцовым излучением

5.4 Воздействие переменного магнитного поля и электромагнитного излучения терагерцового диапазона частот на функциональное состояние дафнии

5.5 Выводы

Введение диссертации (часть автореферата) На тему "Эффекты воздействия терагерцового излучения на биологические объекты"
Воздействие миллиметровых электромагнитных волн (ММ ЭМВ) на физические и биологические среды в последние 30 лет изучается особенно активно. За это время появилось новое направление физиотерапии - КВЧ-терапия

1], экспериментально были установлены частоты, на которых наблюдался эффект влияния электромагнитного излучения (ЭМИ) на клеточный метаболизм

2], а также частоты, на которых фиксировалось неблагоприятное воздействие ЭМИ на лабораторных животных [3]. Последнее стимулировало появление нового аспекта исследований - экологического.

Значительный интерес специалистов, занимающихся биомедицинскими технологиями, привлекает излучение в терагерцовом диапазоне частот (ТГц-диапазон) [1-6], который охватывает частоты от 100 ГГц до 10 ТГц (от 3 мм до 30 мкм). Это связано, прежде всего, с характерной для них спецификой взаимодействия с различными веществами, в том числе, с биологическими средами. Термин «ТГц-диапазон» является удобным, поскольку объединяет большую часть диапазона частот, на которых проявляется отклик физических и биологических сред, рассматриваемых в работе. Этот диапазон включает в себя коротковолновую часть ММ-диапазона, весь субмиллиметровый и дальний (длинноволновый) ИК-диапазоны длин волн [7,8]. Также следует отметить, что энергия кванта в терагерцовом диапазоне частот будет на порядок больше, чем в КВЧ-диапазоне. Следовательно, можно ожидать, что в терагерцовом диапазоне реакционная способность молекул на воздействие излучения может быть существенно выше, чем в КВЧ-диапазоне [1,2,9].

Известно, что вода является сильным поглотителем коротковолнового ЭМИ, причем поглощение растет с увеличением частоты [2]. В работе [10] сообщается, что на кривой частотной зависимости ослабления плоского водного 5 капилляра в диапазоне 0,4-0,5 ТГц наблюдаются резонансные окна «прозрачности» с уменьшением ослабления на 10-15 дБ. Излучение терагерцового диапазона частот свободно проходит через бумагу, дерево, некоторые строительные конструкции, пластики, керамику, а также через верхние слои кожи и одежду человека. В ряде европейских стран «экологически чистые» ТГц-волны уже используются для просвечивания пассажиров и груза в аэропортах, вместо вредных для здоровья рентгеновских волн [8,11]. Приведенные выше свойства ТГц-волн делают их привлекательными и для ряда других областей применений. В связи с этим можно лишь отметить, что сейчас наблюдается повышенный интерес (настоящий бум) специалистов к освоению и применению волн этого диапазона в биомедицинской физике, радиолокации, неразрушающем контроле.

К настоящему времени накоплен обширный экспериментальный материал по исследованию влияния терагерцового электромагнитного излучения на биологические объекты. Методики измерений, подтверждающих влияние ТГц-излучения на биологические объекты, как правило, характеризуются достаточно высоким уровнем сложности, поэтому может представлять интерес изучение влияния воздействия электромагнитного излучения терагерцового диапазона на наиболее часто используемые в экспериментах

биообъекты, в том числе на биотест-объекты. К таким биообъектам можно отнести [бактерии](#) кишечной палочки E.coli, пресноводного [рачка](#) Daphnia magna Straus, форменные элементы крови (тромбоциты, эритроциты).

На основе вышесказанного была сформулирована цель диссертационной работы: исследование воздействия излучения на частотах терагерцового диапазона на наиболее часто используемые в экспериментах биообъекты, в том числе на биотест-объекты.

В задачи исследования входило следующее: 1. Обоснование выбора биологических и физических объектов исследований;

2. Определение наиболее эффективной совокупности параметров излучения по его результативности воздействия на среду;

3. Разработка аппаратуры для воздействия ЭМИ ТГц-диапазона на среды;

4. Исследование влияния ЭМИ терагерцового диапазона частот на функциональное состояние [дафнии](#), используемой в качестве биотест-объекта;

5. Исследование влияния водной среды, а также атмосферного воздуха, на которые предварительно воздействовало ЭМИ ТГц-диапазона, на частоту сердечного ритма дафнии;

6. Исследование ростовых кривых кишечной палочки (E.coli K-12) в условиях аэрации и при воздействии низкоинтенсивного ЭМИ ТГц-диапазона на частотах спектра молекулярного кислорода;

7. Исследование агрегационной способности форменных элементов крови больных нестабильной стенокардией при воздействии ЭМИ ТГц-диапазона.

Новизна исследований, проведенных в ходе диссертационной работы, состоит в следующем:

- Впервые экспериментально исследовано влияние электромагнитного излучения терагерцового диапазона частот на частоту сердцебиения дафнии. Впервые, на дафнии как биотест-объекте, показана возможность наблюдать «[лечебный](#)» эффект КВЧ-терапии.
- Исследована зависимость сдвига частоты сердечных сокращений дафнии от времени, мощности и частоты воздействия ТГц-излучения. Показано, что наибольший эффект влияния достигается на частотах газов-метаболитов (NO, O₂).
- Впервые выявлено опосредованное воздействие ЭМИ ТГц-диапазона на частоту сердцебиения дафнии через водную среду и приповерхностную атмосферу.
- Впервые выявлен эффект, аналогичный аэрации культивируемой среды кишечной палочки E.coli K-12 при облучении ее на частоте, характерной для линии спектра молекулярного кислорода.

- Обнаружен эффект антиагрегационного воздействия ЭМИ ТГц-диапазона на эритроциты крови больных нестабильной стенокардией.
- Предложена экранированная квазиоптическая согласованная нагрузка для проведения исследований воздействия излучения ТГц-диапазона на физические и биологические среды.

Достоверность экспериментальных результатов обеспечена применением стандартной измерительной аппаратуры, обработкой экспериментальных данных с помощью современных методов с использованием ЭВМ. Практическая значимость полученных результатов: предложен универсальный подход, объясняющий общий механизм воздействия электромагнитного излучения терагерцового диапазона частот, характерного для спектров метаболитов, на биологические объекты. Положения, выносимые на защиту:

1. При воздействии электромагнитного излучения на частоте линии спектра поглощения оксида азота 150 ГГц мощностью 3 мВт на форменные элементы крови (эритроциты и тромбоциты) происходит уменьшение их агрегационной способности.
2. Воздействие электромагнитного излучения на частоте, характерной для линии спектра поглощения атмосферного кислорода - 129 ГГц, мощностью 3 мВт и продолжительностью 30 минут на кишечную палочку приводит к изменению ростовой кривой, аналогичному наблюдаемому при аэрации культивируемой культуры. При отстройке частоты на ± 1 ГГц проявление этого эффекта не наблюдается.
3. При воздействии электромагнитного излучения на частоте одной из линий спектра поглощения атмосферного кислорода - 129 ГГц мощностью 3 мВт на *дафнию*, предварительно помещенную в водную среду с небольшим содержанием фенола, наблюдается частичное или полное восстановление ритма сердцебиения, в то время как частота сердцебиения контрольной группы не восстанавливалась.

Исследования выполнялись в соответствии с федеральной целевой научно-технической программой «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2002-2006 годы, НИР «Исследование влияния переменного магнитного и электрического полей на живые организмы и водную среду», № РИ-19.0/002/226.

Апробации работы. Работа выполнена на кафедре физики твердого тела Саратовского государственного университета в 2004-2006 гг. Основные положения и достигнутые в ходе выполнения диссертационной работы результаты докладывались и обсуждались на:

1. Международной конференции «The 3th International Conference on Computational Electromagnetics and Its Applications», 1-4 ноября, 2004, Бейджинг (Beijing), Китай.
2. VI Международной научно-технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов», 3-9 октября, 2005, Нижний Новгород.
3. Научно-технической конференции молодых специалистов ФГУП НПП «Контакт», Саратов, 17-18 февраля 2004.

4. III Всемирном конгрессе по клинической патологии и реабилитации в медицине, Паттайя, Таиланд, 4-11 февраля, 2005.

5. Международной конференции «IRMMW-THZ Conference 2005 -The Joint 30th International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 13th International Conference on Terahertz Electronics», Уильямсбург (Williamsburg), Вирджиния (Virginia), США, 19-23 сентября, 2005.

По материалам исследований опубликовано 13 научных работ, в том числе 7 статей в центральных научно-технических журналах и 6 тезисов докладов на республиканских и международных научных конференциях.

Личный вклад соискателя выразился в постановке основных задач исследований, обосновании методов их решения, разработке алгоритмов, проведении экспериментальных измерений, участии в формулировании научных выводов.

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, имеющих подразделы, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем диссертации составляет 154 страниц машинописного текста, включая 22 рисунка. Список литературы содержит 134 наименований и изложен на 14 страницах.

Заключение диссертации по теме "Биофизика", Рытик, Андрей Петрович

Основные результаты и выводы, полученные в ходе выполнения диссертации сводятся к следующему:

1. Разработано программное математическое обеспечение для управления параметрами выходного сигнала терагерцового генератора частот, предложены и использованы новые типы квазиоптических устройств для проведения исследований воздействия ЭМИ ТГц на физические и биологические среды: рефлектометр и нагрузка, рупор с круговой поляризацией излучения на выходе.
2. Показана эффективность воздействия на биологические объекты излучения на частотах, характерных для спектров газов метаболитов, в частности на частотах, соответствующих линиям спектра молекулярного атмосферного кислорода O₂ (129 ГГц) и оксида азота NO (150 ГГц).
3. Показано, что при воздействии электромагнитного излучения мощностью 3 мВт на частоте 129 ГГц, характерной для линии спектра молекулярного кислорода и продолжительностью 30 минут на кишечную палочку (E.coli) наблюдается изменение ростовой кривой, аналогичное происходящему при ее аэрации. При перестройке частоты в пределах ±1 ГГц проявления такого эффекта не наблюдалось.
4. Обнаружен эффект антиагрегационного воздействия ЭМИ ТГц на форменные элементы крови (тромбоциты и эритроциты). При воздействии электромагнитного излучения на частоте линии спектра поглощения оксида азота (150 ГГц) мощностью 3 мВт и продолжительностью 5 минут на форменные элементы крови - эритроциты и тромбоциты, происходит уменьшение агрегационной способности.
5. Показано, что при одновременном воздействии ЭМИ ТГц и фенола как отравляющего фактора, происходит частичное или полное восстановление сердцебиения рачка. Воздействию электромагнитного излучения на частоте линии спектра поглощения атмосферного кислорода 129 ГГц мощностью 3 мВт и продолжительностью 60 минут на дафнию, предварительно помещенную на 1 минуту в водную среду с концентрацией фенола 50

мг/л, наблюдалось частичное или полное восстановление ритма сердцебиения за 30 минут, в то время как у контрольной группы частота сердцебиения не восстанавливалась на протяжении часа.

6. Показано, что процесс восстановления ритма сердцебиения **дафний**, предварительно подвергнутых воздействию фенола, при аэрации атмосферным воздухом, «**облученным**» на частотах, характерных для полос молекулярного поглощения кислорода, происходит быстрее, чем «**не облученным**».

7. Установлено, что наибольшего уровня восстановления частоты сердечного ритма **дафнии**, предварительно подвергнутой воздействию фенола, можно достичь при одновременном воздействии терагерцового излучения на частоте 129 ГГц и магнитного поля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Список литературы диссертационного исследования кандидат физико-математических наук Рытик, Андрей Петрович, 2006 год

1. **Бецкий** О.В. Девятков Н.Д. Механизмы взаимодействия электромагнитных волн с биологическими объектами // Радиотехника. 1996. т. 41, № 9. с. 411.
2. **Мериакри** В.В. Состояние и перспективы развития линий передачи субмиллиметрового диапазона волн и устройств на их основе // Успехи современной радиоэлектроники. 2002. № 12. с. 15-26.
3. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (Special Issue on Terahertz Electronics). 2000. vol. 48, No. 4.
4. **Майбородин** А.В., **Креницкий** А.П., **Бецкий** О.В. Электродинамическая модель взаимодействия КВЧ-волн и атмосферного воздуха в дыхательной системе // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2002. №4. с.15-26.
5. Sillas Hardjiloucas, Lucas S. Karatzas and John W. Bowen Measurements of Leaf Water Content Using Terahertz Radiation // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 1999. vol. 47, No. 2. p.5-23.
6. Mickan S., Abbott D., Munch J., Zhang X. C. and T. van Doorn Analysis of system trade-offs for terahertz imaging // Microelectronics Journal. 2000. vol 31. p.503-514.
7. **Креницкий** А.П., **Майбородин** А.В., **Тупикин** В.Д., **Рытик** А.П., **Усанов** Д.А. Терагерцовые волны и перспективы развития терагерцовых биомедицинских технологий // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2005. т.8, №1. с.61-68.
8. **Бецкий** О.В., **Яременко** Ю.Г. Миллиметровые волны и перспективные области их применения // Зарубежная радиоэлектроника. 2002. № 5. с. 19-28.
9. Справочник Физические величины / Под ред. И.С. **Григорьева**, Е.З. Мей-лихова. М.; Энергоатомиздат. 1991. 1232 с.
10. **Жевакин** СЛ., **Наумов** А.П. Расчет коэффициента поглощения сантиметровых и миллиметровых волн в атмосферном кислороде // Радиотехника и электроника. 1965. №6. с.987-995.

11. [Майбородин А.В.](#), [Креницкий А.П.](#), [Бецкий О.В.](#) Электродинамическая модель взаимодействия КВЧ-волн и атмосферного воздуха в дыхательной системе // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2002. № 5-6. с. 15-26.
12. [Креницкий А.П.](#), [Майбородин А.В.](#) КВЧ-аэротерапия новый, природный, естественный, экологически чистый метод лечения // Миллиметровые волны в биологии и медицине. 2002. № 4(28). с.15-26.
13. [Гершензон Е.М.](#), [Голант М.Б.](#), [Негирев А.А.](#), [Савельев К.С.](#) Лампы обратной волны миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн / Под ред. Н.Д. Девяткова. М.: Радио и связь, 1985. 135с.
14. [Гершензон Е.М.](#) Субмиллиметровая спектроскопия // Соросовский Образовательный Журнал. 1998. №4. с.78-85.
15. [Гольцман Г.Н.](#) Горячие электроны в резистивном состоянии сверхпроводника новое физическое явление, новая техника в электронике, радиофизике и оптике // Соросовский Образовательный Журнал. 1996. №4. с.90-96.
16. [Ирисова Н.А.](#) Метрика субмиллиметровых волн // Вестник АН СССР. 1968. №10. с. 63-71.
17. [Никольский В.В.](#), [Никольская Т.Н.](#) Электродинамика и распространение радиоволн: Учеб. Пособие для вузов,- 3-е изд., переработанное и дополненное М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1989. 544с.
18. Электроника и радиофизика миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн / А.Я. [Усиков](#), Э.А. Канер, Н.Д. Трутень Киев: Наукова думка, 1986. 368с.
19. Clancy P.F. Spase applications and technology in the 100-1000 GHz frequency range. The Radio and Electronic Engineer. 1979. v. 49, №7/8, p. 395-402.
20. [Крупенко Н.Н.](#) Радиофизические исследования планет. М.: Наука, 1978. 183с.
21. [Креницкий А.П.](#), [Майбородин А.В.](#), [Рытик А.П.](#) Измеритель параметров электромагнитной совместимости СВЧ-усилителей // Электронная промышленность. 2004. №1. с.49-50.
22. [Саломонович А.Е.](#) Субмиллиметровый телескоп для орбитальной пилотируемой станции «Салют-6». // Радиотехника. 1979. № 5. с.33-40.
23. Длинноволновая ИК спектроскопия. Сб. статей. Пер. с англ. М.: Мир. 1966.
24. [Волков А.А.](#) Субмиллиметровый спектрометр «Эпсилон» на основе ЛОВ. В кн. «[Электроника миллиметровых и субмиллиметровых диапазонов](#)», Сб. н. трудов, Киев: Наукова думка. 1988. с.95-103.
25. [Мериакри В.В.](#) Субмиллиметровая лучеводная спектроскопия и ее применение. В кн. «[Проблемы современной радиотехники и электроники](#)». М.: Наука. 1980. с.164-180.

26. Гершензон Е.М. Наблюдение электронного парамагнитного резонанса в п InSb на субмиллиметровых волнах. В кн. III Вс. симп. по миллиметровым и субмиллиметровым волнам. 22-24 сентября 1980, г. Горький. Тез. докл. т. 1. 1980. С.229-230.
27. Гершензон Е.М. Субмиллиметровый автодинный радиоспектрометр на резонансной лампе обратной волны // ПТЭ. 1975. №3. с. 148-149.
28. Науменко В.М. Импульсный спектрометр миллиметровых и субмиллиметровых диапазонов//ПТЭ. 1981. №4. с.159-162.
29. Button K.J. and Lax B. The molecular gas laser in submillimeter spectroscopy // Proc. Sympos. Submm. Wave. 1970. New York. p. 401-416.
30. Bean B.L. and Perkowitz S. Submillimeter-far-infrared spectroscopy in the liquid and solid states with a tunable optically pumped laser. JOSA. 1977. v.67. №7. p.911-914.
31. Багдасаров А.А. Двухканальный интерферометр субмиллиметрового диапазона для измерения концентрации электронов на установке «Тока-мак-10». В кн. «Диагностика плазмы», под. ред. М.И. Пергамента. М.: Энергоиздат, 1981. вып. 4. с. 141-146.
32. Горошко А.И. Квазиоптический фазометр 1 мм диапазона для термоядерных исследований. В сб. докл. «III Всесоюз. Сессия по диагностике высокотемпературной плазмы. Дубна, 12-16 сентября 1983». Дубна. 1983. с.117.
33. Горбунов Е.П. HCN-лазерный интерферометр для измерения плотности плазмы на установке «Токамак-10». В сб. докл. «III Всесоюз. Сессия по диагностике высокотемпературной плазмы. Дубна, 12-16 сентября 1983». Дубна. 1983. с.91.
34. Горбунов Е.П. Двухканальный лазерный интерферометр субмиллиметрового диапазона для установки Т-15. В кн. «Диагностика плазмы» под ред. М.И. Пергамента. М.: Энергоатомиздат, 1989. вып.6. с. 135-139.
35. Разработка и изготовление лазерного супергетеродинного интерферометра с оптической накачкой на длину волны 119 мкм (заключительный отчет), шифр: «Фрегат», Кулешов Е.М., Харьков. 1987. 67с.
36. Багдасаров А.А. Супергетеродинный радиометр поляризационного типа для измерения электронной температуры плазмы на установке «Т-10». В кн. «Диагностика плазмы», под. ред. М.И. Пергамента. М.: Энергоиздат, 1986. вып. 5. с.113-117.
37. В.И. Безбородов Измерительный комплекс миллиметрового диапазона «Луч-85» для определения профиля электронной температуры плазмы в токамаке «Т-15». Тез. докл. IV Всесоюз. Симп. по миллиметровым и субмиллиметровым волнам. 27-29 ноября 1984. т.2. с. 7-8.
38. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. В 2-х книгах. Кн.1/ под ред. В.В. Клюева,- М.: Машиностроение, 1986. -488 с.

39. Рабодзей И.Д. Телевизионный СВЧ дефектоскоп ДТМ-2 // Электронная промышленность. 1972. вып. 7. с. 35-38.
40. Конев В.А. Радиоволновая эллипсометрия. Минск: Наука и техника. 1985.- 104с.
41. Конев В.А. Радиоволновая эллипсометрия диэлектрических структур. -Минск: Наука и техника, 1989. 133с.
42. Виноградов Е.А. Установка радиовидения металлических и диэлектрических объектов // ПТЭ. 1987. №5. с.237.
43. Кутовой В.Д. Исследование ансамблей частиц размерами в сотни микрон рассеянием субмиллиметрового излучения. В кн. «Исследования в области радиотехнических измерений». - Тр. ВНИИФТРИ, 1979. в.40 (70). с.85-88.
44. Cantor A.J. et al. Application of submin wave lasers to high voltage cable inspection//IEEE. 1981. v.17, №4. p. 477-489.
45. Meinel H., Rembold B. Commercial and Scientific applications of millimetric and sub-millimetric waves // The Radio and Electronic Engineer. 1979. v. 49, №7/8. p.351-360.
46. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов / Под ред. Е.С. Кричевского М.: Энергия, 1980 -240с.
47. Переонов С.А. Перспективы массового применения СВЧ-устройств // Электронная техника., сер. Электроника СВЧ. 1987. вып.9. с.55-59.
48. Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы. Монография / Под ред. Ю.В. Гуляева и А.Х. Тамбиева.-М.: Радиотехника, 2003.
49. Поцелуева М.М., Пустовидко А.В., Евдотиенко Ю.В., Храмов Р.Н., Чайла-хян J1.M. Образование реактивных форм кислорода в водных растворах под действием электромагнитного излучения КВЧ-диапазона // Доклады академии наук. 1998. т.359. №3. с.415-418.
50. Belyaev I, Ya., Alipov Y.D., Shcheglov V.S. et al. Cooperative response of Esh-erichia coli to the resonance effect of millimeter waves at super low intensity //Electro Magnetobiol. 1994. v.13. p.14-56.
51. Шуб Г.М., Лунева И.О., Денисова С.Г., Островский Н.В. Действие миллиметровых волн на бактерии в экспериментах in vivo и in vitro. Сб. докл.
52. Росс. Симп. С междунар. Учас. «Миллиметровые волны в медицине и биологии». -М.: ИРЭ РАН, 1995. с.28-32.
53. Бережанская Л.Ю., Белоплотова О.Ю., Бережанский В.Н. Влияние электромагнитного излучения КВЧ-диапазона на биолюминесценцию бактерий // Миллиметровые волны в биологии и медицине. 1993. №2. с.25-30.

54. [Бережанская](#) Л.Ю., Белоплотова О.Ю., Бережанский В.Н. Влияние электромагнитных полей на активность [биолюминисценции](#) у бактерий // Биофизика. 1995. т.40. с.35-38.
55. [Алексеев](#) А.А., Манкевич Л.Б., Голант М.Б. Применение [КВЧ](#) терапии в комбинированном лечении ортопедических больных // Миллиметровые волны в медицине. Сборник статей. Под ред. акад. Н.Д. Девяткова и проф.ф О.В. Бецкого. Том 1. Москва, 1991. с. 120-124.
56. [Алисов](#) А.П., Алисова О.В., Иригорина-Рябова Т.В. и др. Миллиметровые волны в лечении гастродуоденальных язв // Миллиметровые волны в медицине. Сборник статей. Под ред. акад. Н.Д. Девяткова и проф. О.В. Бецкого. Том 1. Москва, 1991. - с. 5-15.
57. [Андреев](#) Е. А., Белый М. У., [Ситько](#) С. П. Проявление собственных характеристических частот человеческого организма. Заявка на открытие № 32-ОТ-10609 от 22 мая 1982 г. в Комитет по делам изобретений и открытий СССР.
58. [Кузьменко](#) А.П., Соловьев И.Е., Тофан А.В. Микроволновая резонансная терапия в профилактике и лечении парезов желудочно-кишечного тракта после операций на толстой кишке // Physics of the Alive. 2000. v. 8, №1. p.104-108.
59. [Грубник](#) Б.П., Ситько С.П., Шалимов А.А. Опыт применения технологии "Ситько-МРТ" для реабилитации онкологических больных III-IV стадии // Physics of the Alive. 1998. v.6, №1. p.97-102.
60. Радиационная медицина, т. 4. Гигиенические проблемы неионизирующих излучений / Под ред. Ю.Г. Григорьева и В.С. Степанова. М.; Изд. АТ, 1999, 304 с.
61. [Григорьев](#) О.А., Меркулов А.В., Темников А.Г. Оценка электромагнитной обстановки в районах размещения базовых станций системы сотовой связи // Материалы 2-й международной конференции "Электромагнитные поля и здоровье человека". М., 1999. с. 114-115.
62. [Григорьев](#) Ю.Г., Степанов В.С., Григорьев О.А., [Меркулов](#) А.В. Электромагнитная безопасность человека. Москва, 1999. 145 с.
63. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 "Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи".
64. Griindler W., Keilmann F., Frohlich H. Resonator growth rate responses of yeast cells irradiated by weak microwaves // Physical Letters. 1977. v.62. p.213-222.
65. [Бецкий](#) О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы,- М.: САЙНС-ПРЕСС, 2004.-^272 с.
66. [Майбородин](#) А.В., Креницкий А.П., Тупикин В.Д. и др. Панорамно-спектрометрический комплекс для исследования тонких структур молекулярных спектров физических и биологических сред // Биомедицинская радиоэлектроника. 2001. № 8. с.6-15.

67. [Маляренко А.М.](#), Фомин В.В. Индуцированные столкновениями спектры поглощения простейших молекулярных систем / Спектральные проявления межмолекулярных взаимодействий в газах. Новосибирск: Наука, 1982. с.100-127.
68. Люиссел Уильям Излучение и шумы в квантовой электронике. Перевод с англ. М., Изд. Наука, 1972.
69. [Зилов В.Г.](#), Судаков К.В., Эпштейн О.И. Элементы информационной биологии и медицины: М.: МГУЛ, 2000. 248 с.
70. Hadjiloucas S., Karatzas L.S., Bowen J.W. Measurements of Leaf Water Content Using Terahertz Radiation // IEEE Trans, on microwave theory and techniques. 1999. v.47, № 2. p.15-26.
71. Б.И. Колупаев Дыхание [гидробионтов](#) в норме и патологии. Изд. Казанского университета, 1989г., 190с.
72. [Быстров М.В.](#), Заславский Г.Э., Кока Г.И. Способ создания стимулирующего воздействия. Авторское свидетельство № 1650148, кп. А61 № 5/00, 1991.
73. [Быстров М.В.](#) Гармония техносферы и быта на основе универсальных "1/f флуктуаций" // Научное приборостроение. 2001. том 11. № 4. с.88-89.
74. Дж. Бендат. Основы теории случайных шумов и ее применение. Пер. с англ. 10.П. Леонова и др. М.: Наука, 1965.
75. Пул Ч. Техника [ЭПР](#) Спектроскопии. Перевод с англ. / Под ред. Л.Л. Де-кабруна, М., Изд. Мир, 1970.
76. Справочник по элементам радиоэлектронных устройств / Под ред. В.Н. Дулина, М.С. Жука, М., Энергия, 1977.
77. [Яновский М.С.](#) и др. Поляризационные аттенюаторы для квазиоптического тракта//Изв. ВУЗ СССР, сер. «Радиоэлектроника», 1974. т.17, №9. с.49-54.
78. [Креницкий А.П.](#), Курчатов Ю.А., Майбородин А.В. и др. Функциональные устройства СВЧ-, КВЧ-, и субмиллиметрового диапазона // Радиотехника. 2003. №2. с.79-93.
79. [Князьков Б.Н.](#), Яновский М.С. Делитель луча для квазиоптической линии передачи. Авторское свидетельство №3400352, 1970.
80. Афсар М.Н., Батон К.Дж. Измерение диэлектрических характеристик материалов в диапазоне миллиметровых волн // ТИИЭР. 1985. т.73, №1. с.143-167.
81. [Харвей А.Ф.](#) Техника сверхвысоких частот. М.: Сов. Радио, 1965.
82. [Девятков Н.Д.](#), Голант Н.Б., Бецкий О.В. ММ-волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М., 1991, Радио и связь, 168 с.

83. [Бецкий](#) О.В. Механизмы воздействия низкоинтенсивных миллиметровых волн на биологические объекты (биофизический подход) // Миллиметровые волны в медицине и биологии: Материалы XI Российского симпозиума с международным участием. М., 1997. с. 135-137.
84. [Северина](#) И.С. Растворимая форма гуанилатциклазы в молекулярном механизме физиологических эффектов окиси азота и в регуляции процесса агрегации тромбоцитов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1995. №3. с.230-235.
85. [Габбасов](#) В.А., [Попов](#) Е.Г., [Гаврилов](#) И.Ю., [Позин](#) Е.Я., [Маркосян](#) Р.А. Новый высокочувствительный метод анализа агрегации тромбоцитов // Лабораторное дело. 1989. № 10. с. 15-18.
86. [Сергеев](#) П.В., [Духанин](#) А.С., [Губаева](#) Ф.Р. Ранние этапы механизма действия глюкокортикоидов на тромбоциты человека. Влияние гидрокортизона на агрегацию тромбоцитов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины 1997. т. 123, №1. с.54-57.
87. [Мазуров](#) А.В., [Идельсон](#) Г.Л., [Хачикян](#) М.В., [Домогатский](#) С.П. Взаимодействие тромбоцитов с 125I-меченым коллагеном III типа. Необходимость образования фибриллярных структур // Биохимия. 1989. т.54, №8. с.1280-1289.
88. Furchgott R.F., Jothianandan D. Endothelium-dependent and independent vasodilatation involving cyclic GMP: relaxation induced by nitric oxide, carbon monoxide and light // Blood Vessels. 1991. v.28. p. 52-61.
89. Ignarro L.J., Wood K.S. Activation of purified soluble guanylate cyclase by arachidonic acid requires absence of enzyme-bound heme // Biochem. Bio-phys. Acta. 1987. v.928. P.160-170.
90. [Волин](#) М.С., [Дэвидсон](#) К.А., [Каминска](#) П.М., [Фейнгерш](#) Р.П., [Мохаззаб](#) Х.К.М. Механизмы передачи сигнала оксидант-оксид азота в сосудистой ткани // Биохимия. 1998. №63(7). с.958-965.
91. [Реутов](#) В.П. Биохимическое предопределение NO-синтазной и нитрит-редуктазной компонент цикла оксида азота // Биохимия. 1999. №64(5). с.634-651.
92. [Реутов](#) В.П., [Сорокина](#) Е.Г. NO-синтазная и нитритредуктазная компоненты цикла оксида азота // Биохимия. 1998. №63(7). с. 1029-1040.
93. Ignarro L.J., Buga G.M., Wood K.S., Byrns R.E., Chaudhuri G. Endothelium-derived relaxing factor produced and released from artery and vein is nitric oxide//Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1987. v.84. P.9265-9269.
94. Kirichuk V.F., Volin M.V. The specialties of inhibiting effect of electromagnetic irradiation of millimetre diapason on platelet aggregation by patients with unstable angina pectoris // Haemostasis, (suppl.I). 2000. p.83.
95. [Северина](#) И.С. Растворимая гуанилатциклаза в молекулярном механизме физиологических эффектов окиси азота // Биохимия. 1998. т.63, №7. с.939-997.
96. [Киричук](#) В.Ф., [Головачева](#) Т.В., [Чиж](#) А.Г. КВЧ-терапия. Саратов, 1999, изд-во СГМУ, 360 с.

97. Киричук В.Ф., Креницкий А.П., Майбородин А.В., Тупикин В.Д., Рытик А.П., Бецкий О.В. КВЧ-индуцированное взаимодействие в системе форменных элементов крови // Миллиметровые волны в биологии и медицине. 2004. №1(33). с.34-39.
98. Пешков МЛ. Цитология бактерий. :М. — Д., 1955. с. 14-56.
99. Гамалей И.А., Клюбин И.В. // Цитология. 1996. т.38, №12. с. 1233-1247.
100. Рассудов С.М. Влияние возраста культуры на биологические свойства брюшнотифозных бактерий. Автореферат канд. дисс. Саратов, 1954.
101. Belyaev I.Y, Shcheglov V.C., Alipov E.D. IEEE transactions on microwave theory ad techniques. 2000. v.48, №11.
102. Кикнадзе Г.С., Есаков Б.П., Кузьминых С.Б., Комаров В.М. Опыт оценки степени загрязнения водной среды по изменениям периода биения сердца дафнии // Научный центр биологических исследований АН СССР в Пущине. 1983. 13с.
103. Усанов Д.А., Шишкин Г.Г., Скрипаль А.В., Панасенко В.И., Усанов А.Д. Дафния как биоиндикатор электромагнитных воздействий на водную среду // Петербургский журнал электроники. 2002. № 4. с. 38-42.
104. Усанов А.Д. Воздействие переменного электрического поля на колебательные движения глаза дафнии // Материалы научной школы конференции. «Нелинейные дни в Саратове для Молодых 2000», Саратов, Изд-во ГосУНЦ "Колледж", 2001. с.162-168.
105. Усанов Д.А., Креницкий А.П., Майбородин А.В., Усанов А.Д., Рытик А.П. Воздействие излучения терагерцового диапазона частот на функциональное состояние дафнии // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2005. №8. с. 54-58.
106. Усанов Д.А., Скрипаль Ап.В., Скрипаль Ан.В. Эффект синхронизации внешним электрическим полем частоты сердцебиений дафнии // Письма в ЖТФ. 1999. т.25. Вып.4. с.74-78.
107. Усанов Д.А., Шишкин Г.Г., Скрипаль А.В., Усанов А.Д. Влияние внешнего переменного магнитного поля на частоту сердцебиений пресноводного рачка дафнии // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2001. №8. с.57-61.
108. Усанов Д.А., Шишкин Г.Г., Скрипаль А.В., Усанов А.Д. Воздействие переменных магнитных полей низкой интенсивности на частоту сердцебиений дафнии // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2003. №3. с.59-62.
109. Креницкий А.П., Майбородин А.В., Бецкий О.В. Метод и устройство ингаляционной терагерцовой акустической NO-терапии // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2006. №1-2. с.46-49

Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat <http://www.dissercat.com/content/effekty-vozdeistviya-teragertsovogo-izlucheniya-na-biologicheskie-obekty#ixzz2N7Oc9q00>