



Г. Г. Верещако

**ВЛИЯНИЕ  
ЭЛЕКТРО-  
МАГНИТНОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ  
МОБИЛЬНЫХ  
ТЕЛЕФОНОВ  
НА СОСТОЯНИЕ  
МУЖСКОЙ  
РЕПРОДУКТИВНОЙ  
СИСТЕМЫ  
И ПОТОМСТВО**



Геннадий Верещако

**Влияние электромагнитного  
излучения мобильных телефонов  
на состояние репродуктивной  
системы и потомство**

«Издательский дом “Белорусская наука”»

2015

УДК [621.395.721.5:537.531]:616.64/.69

**Верещако Г. Г.**

Влияние электромагнитного излучения мобильных телефонов  
на состояние репродуктивной системы и потомство /

Г. Г. Верещако — «Издательский дом “Белорусская наука”», 2015

ISBN 978-985-08-1836-2

Монография посвящена оценке влияния электромагнитного излучения в диапазоне мобильной связи – мобильных (сотовых) телефонов, смартфонов, Интернета (Wi-Fi) на состояние мужской репродуктивной системы.

В ней приводятся общие сведения об электромагнитных излучениях, строении и функции мужской репродуктивной системы, сведения о методах ее исследования. Обсуждаются данные о действии электромагнитных полей мобильных телефонов и беспроводной связи на сперматозоиды человека *in vivo* и *in vitro*, об изменении морфологических, биохимических, молекулярных показателей, ткани сперматогенного эпителия, свойств сперматогенных клеток, об эндокринном статусе самцов млекопитающих, о влиянии биологически активных веществ на семенники животных, подвергнутых экспозиции от мобильных телефонов, о состоянии потомства, полученного от облученных родителей. Для биологов, экологов, врачей, специалистов, занимающихся проблемами электромагнитной безопасности, студентов биологических и медицинских вузов и всех тех, кто интересуется проблемой влияния электромагнитного излучения на организм. Табл. 22. Ил. 7. Библиогр.: 277 назв.

УДК [621.395.721.5:537.531]:616.64/.69

ISBN 978-985-08-1836-2

© Верещако Г. Г., 2015

© Издательский дом “Белорусская  
наука”, 2015

# Содержание

Условные обозначения	7
Введение	9
Глава 1	12
1.1. ЭМИ: основные характеристики, классификация, источники, биологическое действие	13
Конец ознакомительного фрагмента.	20

**Геннадий Григорьевич Верещако**  
**Влияние электромагнитного**  
**излучения мобильных телефонов**  
**на состояние мужской**  
**репродуктивной системы и потомство**

© Верещако Г. Г., 2015

© Оформление. РУП «Издательский дом «Беларуская навука», 2015

\* \* \*

## Условные обозначения

АОК-Zn – антиоксидантный комплекс, содержащий цинк  
АКТГ – адренокортикотропный гормон  
АСБ – андрогенсвязывающий белок  
АТФ – аденозинтрифосфорная кислота  
АФК – активная форма кислорода  
ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения  
Вт/кг – ватт на килограмм – единица удельной поглощенной мощности; производные:  
мВт/г или мВт/кг  
Вт/м<sup>2</sup> – ватт на квадратный метр – единица измерения плотности потока энергии (ППЭ);  
производные: мВт/см<sup>2</sup> или мкВт/см<sup>2</sup>  
Гц – герц – единица частоты; производные: МГц, ГГц  
ГЭБ – гемато-энцефалический барьер  
ДГТ – 5α-дегидротестостерон  
ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота  
Кб – килобайт  
КСГ – кортико-стероидсвязывающий глобулин  
КФК – креатинфосфокиназа  
ЛГ – лютеинизирующий гормон  
ЛГ-РГ – рилизинг фактор лютеинизирующего гормона  
ЛДГ – лактатдегидрогеназа  
ЛЭП – линия электропередач  
МДА – малоновый диальдегид  
МКВ – микроволновой  
НЧ – низкие частоты  
ПДУ – предельно допустимый уровень  
ПОЛ – перекисное окисление липидов  
ППЭ – плотность потока энергии  
ПСА – простатический специфический антиген  
РНК – рибонуклеиновая кислота  
РЧ – радиочастоты  
СВ – средние волны  
СВЧ – сверхвысокие частоты  
СГСГ – секс-гормонсвязывающий глобулин  
СОД – супероксиддисмутаза  
СССГ – секс-стероидсвязывающий глобулин  
ТЭСГ – тестостерон-эстрадиолсвязывающий глобулин  
УВЧ – ультравысокая частота  
УПМ – удельная поглощенная мощность  
ФСГ – фолликулостимулирующий гормон  
ЦНС – центральная нервная система  
эВ – электронвольт  
ЭКО – экстракорпоральное оплодотворение  
ЭМИ – электромагнитное излучение  
ЭМП – электромагнитное поле

CDMA (англ. – Code Division Multiple Access) – Система множественного доступа с кодовым разделением; стандарт мобильной связи.

DFI (англ. – DNA fragmentation index) – Индекс фрагментации ДНК

dUTP – дезоксиуридинтрифосфат

F<sub>1</sub> – первое поколение

G<sub>2</sub> – период – постсинтетический период клеточного цикла

GSM (англ. – Global System for Mobile Communications) – Глобальная система мобильной связи; цифровой стандарт связи

ICNIRP – Международная Комиссия по защите от неионизирующих излучений

IL-1 $\beta$  – интерлейкин-1 $\beta$

IL-6 – интерлейкин-6

*in vitro* – вне организма

LH-RH – гонадотропин-рилизинг-гормон, или гонадолюберин (гормон гипоталамуса)

NO' – оксид азота активированный

NO<sub>x</sub> – оксид азота

SAR (англ. – Specific Absorption Rate) – удельная поглощенная мощность

SCSA (англ. – sperm chromatin structure assay) – метод для исследования фрагментации ДНК в сперматозоидах

TNF $\alpha$  – фактор некроза опухоли

TUNEL assay (англ. – terminal deoxynucleotidyl transferases (TdT) dUTP assay) – метод исследования, позволяющий обнаружить разрывы ДНК в сперматозоидах

WCDMA (англ. – Wideband Code Division Multiple Access) – широкополосный множественный доступ с кодовым разделением; один из стандартов сотовой связи

Wi-Fi – (англ. – Wireless Fidelity – беспроводная точность) – беспроводная связь (Интернет)



## Введение

За последнее столетие окружающая среда человека претерпела существенные изменения. Интенсивное развитие электротехники, радио, телевидения, средств связи, электротранспорта и т. д. привело к глобальному электромагнитному загрязнению [1–4]. Даже в домашних условиях, в быту за относительно небольшой период времени к существующим электромагнитным источникам (электропроводка, холодильники, радиопередающие устройства, телевизоры, пылесосы, стиральные машины) добавилось немало новых широко распространенных искусственных источников электромагнитного излучения, при работе которых возникают электромагнитные поля (ЭМП) различной интенсивности. Достаточно назвать такие излучающие приборы и системы, как компьютеры и их мониторы, СВЧ-печи, мобильные телефоны и смартфоны [5]. Значительный вклад в электромагнитное загрязнение антропогенного происхождения вносит мобильная (сотовая) связь, а также высокоскоростной Интернет, которые приобрели всеобщий характер. Считается, что за последние 10–15 лет уровень ЭМП в наших квартирах увеличился в 5–6 раз [3]. Фактически человек постоянно находится в условиях действия нового фактора окружающей среды – антропогенного электромагнитного загрязнения. ЭМП окружают нас всюду, но мы этого излучения не видим и не чувствуем, так как оно не обнаруживается органами чувств человека, чем усугубляется опасность воздействия.

Сознавая возникшую опасность и принимая во внимание обеспокоенность общественности и правительств, Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) создала в 1996 г. Международный проект по электромагнитным полям для оценки научных данных о возможных неблагоприятных последствиях их воздействия на здоровье.

В мае 2011 г. Международное агентство исследования рака ВОЗ (IARC) классифицировало ЭМП сотовых телефонов как возможный канцерогенный фактор для людей, присвоив им группу канцерогенной опасности 2В, т. е. категорию, используемую в случаях, когда взаимосвязь считается надежной, но нельзя с разумной уверенностью исключать случай, погрешность или смешивание [6]. Это решение было основано на увеличенном риске развития рака мозга глиомы, рака мозга высокой злокачественности [7].

В настоящее время ведутся исследования для наиболее полной оценки потенциальных отдаленных последствий пользования мобильными телефонами. В 2012 г. ВОЗ провела официальную оценку риска всех изученных последствий воздействия радиочастотных полей для здоровья. Полученные данные анализируются.

Очевидно, что электромагнитный фон, образуемый различными искусственными источниками электромагнитного излучения (ЭМИ), в том числе и мобильными аппаратами, многократно превышающий естественный электромагнитный фон, не может не оказывать отрицательного влияния на организм, так как он существенно изменяет физические характеристики среды его обитания. ЭМП сотовой связи является единственным источником вредного физического фактора, с которым контактирует практически все население [8]. В связи с масштабами распространения мобильной связи возникает серьезная обеспокоенность в отношении ее экологической безопасности [3, 9]. Имеет значение и то, что человек, который сам не пользуется мобильной связью, но находится рядом с человеком, разговаривающим по телефону, также подвергается облучению. Поэтому мобильный телефон как излучатель волн дециметрового диапазона с большой проникающей способностью представляет опасность не только для индивидуальных пользователей, но и для всех окружающих. Следует учитывать и то обстоятельство, что функциональные изменения в организме под действием ЭМП накапливаются и со временем могут привести к развитию патологических процессов.

ЭМП мобильного телефона, прежде всего, оказывает влияние на головной мозг, так как аппарат пользователя прикладывается к височной области к наружному уху, и находящиеся во

внутреннем ухе сложные нервные образования слухового нерва, обеспечивающие нормальную деятельность слухового и вестибулярного анализаторов. Излучение захватывает и сетчатку глаз.

У отдельных людей в зависимости от продолжительности электромагнитного воздействия могут наблюдаться такие проявления, как нарушение сна, снижение памяти и познавательной функции, утомляемость, раздражительность, нарушение гематоэнцефалического барьера, цитологические изменения в нервных клетках мозга [1, 10]. При частом использовании аналоговых телефонов у пользователей отмечается высокий риск развития опухолей височной доли мозга и мозговой оболочки. Использование мобильных телефонов в детском и подростковом возрасте, начиная с 10 лет и более, может увеличить риск развития опухоли мозга у пользователей по сравнению с группой, где сотовые телефоны начали использовать лица в старшем возрасте [11, 12].

Действие ЭМП сотовых телефонов не ограничивается влиянием на головной мозг, оно затрагивает и другие системы организма. Например, известно, что мобильные телефоны, которые мужчины носят в карманах брюк, ухудшают количественные и качественные показатели спермы [13–15]. Это также относится и к Интернету. В связи с этим мужчинам рекомендуют держать подключенные Wi-Fi устройства подальше от половых органов [16].

Поэтому в настоящее время все больше внимания уделяется анализу последствий облучения ЭМП сотовых телефонов в диапазоне мобильной связи не только на головной мозг, но и на другие системы организма. Появилось немало исследований, в которых оценивается реакция на ЭМИ сотового телефона и базовых станций таких важнейших систем жизнеобеспечения организма, как иммунная, эндокринная, репродуктивная и т. д. [1, 17–25]. Отрицательные последствия излучения в диапазоне мобильной связи на здоровье значительно возрастают для детей, беременных женщин, а также для лиц, обладающих повышенной чувствительностью к электромагнитному излучению, в связи с чем для вышеуказанных категорий людей использование сотовых телефонов нежелательно [1, 10].

Особый интерес заслуживают данные о влиянии ЭМП мобильной связи на состояние репродуктивной системы, так как они содержат прямые доказательства негативного воздействия на систему, которая, несомненно, играет особую роль в организме, обеспечивая размножение живых организмов, и тем самым осуществляет генетическую непрерывность поколений. Для популяции явление высокой чувствительности половых клеток к повреждающим воздействиям опасно тем, что проявляется не только на пораженной особи, но и через половые клетки последних, на потомстве [26]. Оценить реальную степень потенциальной угрозы излучения мобильных телефонов на организм и его важнейшие системы, а также для последующих поколений – главная и неотложная задача исследований в этой области.

Несмотря на то что в настоящее время нет бесспорных доказательств опасности использования сотового телефона для мужской репродуктивной системы человека, тем не менее появляется все больше работ, в которых нередко выявляются те или иные отклонения свойств облученных зрелых мужских половых клеток, которые могут быть причиной снижения фертильности [25]. Исследования, проведенные на животных, также, во многих случаях, подтверждают высокую чувствительность репродуктивной системы самцов к электромагнитному воздействию в диапазоне мобильной связи, включая регуляцию ее эндокринной функции.

Массовое распространение антропогенных источников электромагнитного излучения, и прежде всего мобильной связи, вызывает необходимость совершенствования существующих методов защиты, регламентов санитарно-гигиенических нормативов и разработки новых способов, снижающих эффекты воздействия на организм. Одно из направлений таких исследований – исследование биологически активных веществ, антиоксидантов и других веществ, которые могут быть использованы для повышения устойчивости организма к электромагнитному воздействию в диапазоне мобильной связи.

Перечисленные проблемы, которые обсуждаются в настоящей монографии, могут представлять интерес для специалистов, экологов, студентов биологических и медицинских вузов и всех тех, кто интересуется проблемой влияния электромагнитного излучения на организм.

Автор считает необходимым отметить, что повышенное внимание к проблеме биологического действия электромагнитного излучения на организм и его отдаленным последствиям уделял академик Е. Ф. Конопля (1939–2010), благодаря которому в Институте радиобиологии НАН Беларуси были начаты и получили развитие исследования в этой области. В настоящее время реализация исследований по проблеме влияния электромагнитного излучения различных диапазонов мобильной связи, промышленной частоты, системы Wi-Fi (Интернет) на состояние наиболее чувствительных систем организма получает постоянную поддержку директора Института радиобиологии НАН Беларуси, доктора биологических наук А. Д. Наумова. Большой вклад в проведение экспериментов и получение данных при изучении состояния репродуктивной и других систем организма крыс-самцов при воздействии ЭМП мобильного телефона вносят научные сотрудники лаборатории эндокринологии и биохимии Н. В. Чуешова, Г. А. Горох, Д. Р. Петренев, Д. В. Сухарева, Н. В. Гунькова (Тхорева), а также кандидат технических наук, доцент кафедры систем телекоммуникаций, заведующий лабораторией 1.4 БГУИР В. И. Шалатонин, который не только осуществляет техническое обеспечение исследований, но и активно участвует в обсуждении перспективных направлений в дальнейшей работе.

Таким образом, в настоящей монографии представлены данные исследований о влиянии электромагнитного излучения в диапазоне мобильной связи на репродуктивную систему самцов млекопитающих, в том числе человека, а также у потомства, полученного от облученных родителей. Кроме того, обсуждаются вопросы эндокринного статуса и эффективности антиоксидантов и биологически активных веществ для защиты репродуктивной системы самцов млекопитающих в этих условиях.

Автор будет признателен за конструктивные замечания читателей, которые будут учтены в дальнейшей работе.

# **Глава 1**

## **Общая характеристика электромагнитного излучения. Источники ЭМП. Особенности ЭМП диапазона мобильной связи и взаимодействие с биологическими объектами**

Человек и все живые объекты окружающей среды постоянно подвергаются воздействию электромагнитных полей естественного и искусственного (антропогенного) происхождения. Возникновение многочисленных искусственных источников ЭМП привело за последние 100–120 лет к резкому возрастанию интенсивности электромагнитного излучения.

Средняя интенсивность электромагнитного излучения Солнца и других внеземных источников, которые создают естественный электромагнитный фон Земли в радиочастотном и микроволновом диапазонах, изменяется в пределах от  $10^{-24}$  (спокойное Солнце) до  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> (максимальная солнечная активность), в то время как общий электромагнитный фон в условиях современного города составляет  $10^{-1}$  –  $10$  Вт/м<sup>2</sup> [2]. Таким образом, суммарная интенсивность ЭМП различного происхождения на несколько порядков превышает интенсивность естественного электромагнитного фона.

Источники ЭМП антропогенного происхождения чрезвычайно разнообразны. Это линии электропередач (ЛЭП), электротранспорт, промышленные установки, телевизионные и радиовещательные станции, бытовая техника, мониторы компьютеров, радары, медицинская и научная аппаратура, системы мобильной связи, Интернет и т. д., которые являются источниками излучения электромагнитного излучения в широком диапазоне частот [1–3]. Среди перечисленных источников электромагнитного воздействия на человека наибольший вклад вносят базовые станции сотовой связи и мобильные телефоны. Суммарная экспозиция населения от ЭМП беспроводных телекоммуникационных технологий постоянно растет и сейчас составляет не менее 60 % от общей экспозиции в радиочастотном диапазоне [27]. Невероятно широкое распространение мобильных средств связи в сочетании с неопределенностями в оценке опасности для здоровья человека, по существу представляет собой небывалый по размаху эксперимент, который человечество проводит на себе [28, 29].

ЭМП, обладая высокой биологической активностью, вызывают в организме, его отдельных системах разнообразные эффекты, выраженность которых зависит от многих факторов, но, прежде всего, от энергии квантов излучения, обусловленных диапазоном частот и их интенсивностью.

Чтобы понять действие электромагнитного излучения (ЭМИ) на организм, необходимо рассмотреть физическую природу ЭМП и более подробно остановиться на его особенностях в диапазоне мобильной связи.

## 1.1. ЭМИ: основные характеристики, классификация, источники, биологическое действие

ЭМП – особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрически заряженными частицами, представляющая собой совокупность электрического и магнитного полей. Электромагнитные волны возникают вследствие связи между изменениями электрического и магнитного полей. Всякое изменение напряженности электрического поля вызывает появление переменного магнитного поля, изменение которого, в свою очередь, порождает меняющееся электрическое поле. Именно поэтому происходит передача колебаний напряженностей электрического и магнитного полей, т. е. происходит распространение электромагнитной волны.

В вакууме ЭМП характеризуются вектором напряженности электрического поля (**E**) и магнитной индукцией (**B**), которые соответственно определяют силы, действующие со стороны поля на неподвижные и (или) движущиеся заряженные частицы. Наряду с векторами **E** и **B**, измеряемыми непосредственно, ЭМП может характеризоваться скалярным  $\phi$  и векторным **A** потенциалами, которые определяются неоднозначно, с точностью до градиентного преобразования. В среде, например в тканях, ЭМП характеризуется дополнительно двумя вспомогательными магнитными величинами: напряженностью магнитного поля (**H**) и электрической индукцией (**D**). При ускоренном движении заряженных частиц ЭМП излучается в виде квантов (фотонов) и существует в виде электромагнитных волн, которые представляют собой взаимосвязанные изменения напряженности электрического и магнитного полей [2, 30–32].

Основными параметрами электромагнитной волны (электромагнитного излучения) являются длина волны ( $\lambda$ ) – расстояние, на которое распространяется волна за один период ( $T$ ), частота колебания ( $F$ ) – число колебаний за 1 с, скорость ( $C$ ) распространения электромагнитной волны, равная ( $\lambda/T$ ) [30, 31]. Электрическая  $E$ - и магнитная  $H$ -составляющие в распространяющейся электромагнитной волне перпендикулярны друг другу и направлению распространения [2].

Действие ЭМП в зависимости от энергии квантов может вызывать или не вызывать ионизацию атомов. ЭМИ, вызывающее ионизацию атомов, является ионизирующим излучением, к числу которых относятся  $\gamma$ - и рентгеновское излучения. ЭМИ, не вызывающее ионизацию атомов, – неионизирующее излучение, к спектру которых принадлежат ультрафиолетовое, оптическое (видимый свет), инфракрасное, гипервысокочастотное, сверхвысокочастотное или микроволновое и радиочастотное излучения. Условной границей между ионизирующими и неионизирующими излучениями принята энергия кванта в 12 эВ, соответствующая длине 100 нм. Эта граница находится в ультрафиолетовой области электромагнитного спектра. Таким образом, неионизирующее излучение не обладает достаточной энергией для ионизации вещества. Оно характеризуется энергиями фотонов ниже 12 эВ, длиной волны выше 100 нм, частотой ниже  $3 \cdot 10^{15}$  Гц. Тем не менее неионизирующее излучение обладает высокой биологической активностью, вызывая в зависимости от его интенсивности такие эффекты, как нагревание, изменение химических реакций, наведение электрических токов в тканях, информационное воздействие [2].

Согласно Международной классификации, электромагнитный спектр до 3000 ГГц в зависимости от частоты и длины волны разделяется на 12 диапазонов (табл. 1.1).

Весь спектр электромагнитных излучений, используемых в медико-биологической практике, также принято относить к низким (низкие частоты (НЧ), диапазон частот от 3 до 300 кГц), радио- (радиочастоты (РЧ), диапазон частот от 0,3 до 300 МГц) и сверхвысоким (СВЧ, диапазон частот от 0,3 до 3000 ГГц) частотам.

Различают естественные (природные) и искусственные (антропогенные, техногенные) ЭМП.

Природные источники ЭМП условно делят на две группы. К первой группе относят постоянное электрическое и постоянное магнитное поле Земли, ко второй группе – радиоволны, генерируемые космическими источниками (Солнце, звезды и др.), и атмосферные процессы (разряды молний и т. д.). Естественное электромагнитное поле Земли является источником энергии и распространяется в виде электромагнитных волн в диапазоне от 10 МГц до 10 ГГц – от инфракрасных до ультрафиолетовых лучей.

А излучение атмосферных разрядов показало, что возникающие при этом электромагнитные излучения охватывают широкий диапазон длин волн – от сверхдлинных до ультракоротких; и наконец, были открыты радиоизлучения Солнца и Галактик в диапазоне от метровых до миллиметровых волн.

Все виды магнитной активности являются результатом солнечной активности, связанной как с увеличением числа солнечных пятен, так и со вспышками на Солнце. В реальных условиях естественные ЭМП изменяются в течение суток и по сезонам, зависят от географических координат (широта, долгота, высота над поверхностью Земли) и от 11-летнего цикла активности Солнца и других факторов [3]. Поэтому естественная магнитная активность носит соответствующий периодический характер.

**Таблица 1.1. Международная классификация ЭМИ по диапазонам частот и длинам волн [2]**

Наименование частотного диапазона	Границы диапазона	Наименование волнового диапазона	Границы диапазона
Крайне низкие частоты, КНЧ	3–30 Гц	Декаметровые	100–10 Мм
Сверхнизкие частоты, СНЧ	30–300 Гц	Мегаметровые	10–1 Мм
Инфранизкие частоты, ИНЧ	0,3–3 кГц	Гектокилометровые	1000–100 км
Очень низкие частоты, ОНЧ	3–30 кГц	Мириаметровые	100–10 км
Низкие частоты, НЧ	30–300 кГц	Километровые	10–1 км
Средние частоты, СЧ	0,3–3 МГц	Гектометровые	1–0,1 км
Высокие частоты, ВЧ	3–30 МГц	Декаметровые	100–10 м
Очень высокие частоты, ОВЧ	30–300 МГц	Метровые	10–1 м
Ультравысокие частоты, УВЧ	0,3–3 ГГц	Дециметровые	1–0,1 м
Сверхвысокие частоты, СВЧ	3–30 ГГц	Сантиметровые	10–1 см
Крайне высокие частоты, КВЧ	30–300 ГГц	Миллиметровые	10–1 мм
Гипервысокие частоты, ГВЧ	300–3000 ГГц	Децимиллиметровые	1–0,1 мм

Человек, все живые существа находятся под постоянным воздействием ЭМП Земли, которое изменяется во времени. На протяжении миллиардов лет естественное ЭМП Земли, все диапазоны естественного электромагнитного спектра, являясь первичным экологическим фактором, оказывали постоянное воздействие на все объекты живой природы и это, несомненно, не могло не отразиться на процессах их жизнедеятельности.

В ходе эволюционного развития структурно-функциональная организация живых существ адаптировалась под воздействием колебаний естественного электромагнитного фона, наблюдаемых в периоды как обычной, так и повышенной солнечной активности, когда мощный корпускулярный поток вызывает резкие кратковременные изменения магнитного поля Земли.

Природные ЭМП совершенно необходимы для нормального протекания процессов жизнедеятельности на всех уровнях организации от субклеточного и клеточного до органов и тканевых систем. Диапазон интенсивностей естественных ЭМП является «привычным» для живых организмов, его называют зоной оптимальных условий [3]. В случае нарушения их действия возникает опасность изменения нормального функционирования организма и его систем.

Однако наряду с природными (естественными), жизненно необходимыми ЭМП в XIX в. возникли искусственные ЭМП, созданные людьми для коммуникации и передачи энергии. Они характеризуются высокой когерентностью, т. е. частотной и фазовой стабильностью, более

простым частотным спектром, обладают значительной интенсивностью и большой неравномерностью локализации в пространстве [2, 3, 32, 33].

Разнообразные антропогенные источники ЭМП не только существенно повышают электромагнитный фон в местах их нахождения, поскольку электромагнитное излучение носит локальный характер, но отражаются и на общем уровне электромагнитного фона Земли, существенно увеличивая его. Это явление получило название «электромагнитное загрязнение окружающей среды», или «электромагнитный смог». В настоящее время излучение искусственных источников ЭМП, существенно превышая естественный электромагнитный фон, превратилось в опасный экологический фактор.

Спектр искусственных источников ЭМП весьма обширен и также делится на две группы.

К первой из них относятся источники низкочастотных излучений в диапазоне от 0 до 3 кГц. Эта группа включает в себя все системы производства, передачи и распределения электроэнергии (ЛЭП, трансформаторные подстанции, электростанции, различные кабельные системы), домашнюю и офисную электро- и электронную технику, в том числе и мониторы персональных компьютеров, железнодорожный транспорт и его инфраструктуру, а также метро, троллейбусный и трамвайный транспорт.

Ко второй группе искусственных ЭМП относятся источники высокочастотных излучений, частота которых составляет от 3 кГц до 300 ГГц. Сюда входят функциональные передатчики – источники электромагнитного поля в целях передачи или получения информации. Это передатчики (радио, телевидение), радиотелефоны (авто-, радиотелефоны, радио средних волн (СВ), любительские радиопередатчики, производственные радиотелефоны), направленная радиосвязь (спутниковая радиосвязь, наземные релейные станции), навигация (воздушное сообщение, судоходство, радиоточка), локации (воздушное сообщение, судоходство, транспортные локации, контроль за воздушным транспортом), беспроводная связь и т. д.

Сюда же относится различное технологическое оборудование, использующее СВЧ-излучение, переменные (50 Гц – 1 МГц) и импульсные поля, бытовое оборудование (СВЧ-печи), средства визуального отображения информации на электронно-лучевых трубках (мониторы персональных компьютеров, телевизоры и др.). Для научных исследований в медицине применяют токи ультравысокой частоты.

Основные диапазоны частот, применяемые в различных сферах деятельности человека, приведены в табл. 1.2.

**Таблица 1.2. Основные области применения источников ЭМИ в соответствии с выделенными для этих целей диапазонами частот (длинами волн) [2]**

Частота	Длина волны	Область применения
0,3–3 МГц	1–0,1 м	Радионавигация, морская радиосвязь, любительская радиосвязь, радиовещание, промышленность (диэлектрический и индукционный нагрев материалов), медицина, научные исследования
3–30 МГц	100–10 м	Международная радиосвязь, любительская радиосвязь, радиовещание, промышленность (диэлектрический и индукционный нагрев материалов), медицина (физиотерапия, ЯМР-диагностика, гипертермия), научные исследования (физиотерапия, ЯМР-диагностика, гипертермия), научные исследования
30–300 МГц	10–1 м	Радиосвязь, радиовещание, телевидение, радиолокация, медицина (физиотерапия, ЯМР-диагностика, гипертермия), научные исследования
0,3–3 ГГц	100–10 см	Радионавигация, радиолокация (гражданская и военная), телевидение, радиотелефонная, радиорелейная и сотовая связь, микроволновые печи, медицина (физиотерапия, гипертермия), научные исследования
3–30 ГГц	10–1 см	Радиолокация (гражданская и военная), радиорелейная и спутниковая связь, научные исследования
30–300 ГГц	10–1 мм	Радиолокация (гражданская и военная), спутниковая связь, научные исследования

Установлено, что в формировании ЭМП наблюдается определенная зональность. Вокруг источника электромагнитного излучения выделяют три зоны: ближнюю, или зону индукции, промежуточную, или зону интерференции, и дальнюю, или волновую зону (зону излучения).

При излучении от источников ближняя зона простирается на расстояние  $\lambda/2\pi$ , т. е. приблизительно на  $1/6$  длины волны. Дальняя зона начинается с расстояний, равных  $\lambda \times 2\pi$ , т. е. с расстояний, равных приблизительно шести длинам волны. Между этими двумя зонами располагается промежуточная зона.

В ближней зоне (зоне индукции) на расстоянии  $r < \lambda$  ЭМП с удалением от источника убывает по закону обратно пропорционально  $r^{-2}$  или  $r^{-3}$ . В ближней зоне, в которой еще не сформировалась бегущая электромагнитная волна, электрическое ( $E$ ) и магнитное ( $H$ ) поля следует считать независимыми друг от друга, их измерение проводят отдельно, поэтому эту зону можно характеризовать электрической и магнитной составляющими электромагнитного поля. Соотношение между ними в этой зоне может быть самым различным.

Для промежуточной зоны характерно наличие как поля индукции, так и распространяющейся электромагнитной волны.

Дальняя зона (или зона сформировавшейся электромагнитной волны) начинается с расстояния  $r > 3 \lambda$ ; там интенсивность поля убывает обратно пропорционально расстоянию до источника  $r^{-1}$  и связь, существующая между электрической ( $E$ ) и магнитной ( $H$ ) составляющими, выражается в соответствии с формулой

$$E = 377 H,$$

где 377 – волновое сопротивление вакуума (Ом).

В волновой зоне воздействие ЭМП определяется плотностью потока энергии (ППЭ), переносимой электромагнитной волной. ППЭ характеризует количество энергии, переносимой электромагнитной волной в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной направлению распространения волны. ППЭ обозначается как  $S$ , единицы измерения – ватт на квадратный метр ( $\text{Вт/м}^2$ ), милливатт на квадратный сантиметр ( $\text{мВт/см}^2$ ) или микроватт на квадратный сантиметр ( $\text{мкВт/см}^2$ ).

Установлено, что ЭМП способно взаимодействовать с живыми организмами. Биологическое действие ЭМП на объекты определяется величиной наведения внутренних полей и электрических токов, отражением, поглощением и их распределением в теле человека и животных. Это зависит от размера, формы, анатомического строения тела, электрических и магнитных свойств тканей, содержания воды в них, ориентации объекта относительно поляризации тела, а также от характеристик ЭМП (частота, интенсивность, модуляция и др.). Биологическое действие ЭМИ также зависит от длины волны (или частоты излучения), режима генерации (непрерывный, импульсный), условий воздействия на организм (постоянное, прерывистое, общее, местное, интенсивность, длительность). Биологическая активность ЭМИ уменьшается с увеличением длины волны (или снижением частоты) излучения, поэтому наиболее активными являются метровые, дециметровые, сантиметровые и миллиметровые диапазоны [34, 35].

При взаимодействии ЭМП с живыми организмами возникают явления отражения, преломления, поглощения и преобразования электромагнитной энергии тканями и жидкостями. С увеличением частоты колебаний величина отражения энергии тканями уменьшается, а поглощение увеличивается. Однако биологический эффект обуславливается не только величиной поглощения, но и глубиной проникновения энергии. Чем больше она, тем больше вероятность поражения жизненно важных органов. Волны миллиметрового диапазона поглощаются поверхностными слоями кожи, сантиметрового – кожей и прилегающими к ней тканями, дециметровые проникают на глубину 8–10 см. В среднем глубина проникновения равняется  $1/10$  длины волны [2, 32, 35].



Поглощение энергии ЭМИ в тканях существенно зависит от содержания воды. Ткани с высоким содержанием воды (кровь, мышцы, сердце, почки, мозг, семенники) обладают значительно большим коэффициентом экранирования, так как лучше поглощают энергию ЭМП. Ткани с низким содержанием воды – костная и жировая ткань [36]. Глубина проникновения для ЭМИ различных частот в некоторых биологических тканях с низким и высоким содержанием воды в диапазоне частот от 300 до 3000 МГц представлена в табл. 1.3.

Глубина проникновения ЭМИ в ткани находится в прямой зависимости от длины волны, а величина поглощения – в обратной. Воздействие излучений миллиметрового (от 30 до 300 ГГц) и сантиметрового (от 3 до 30 ГГц) вызывает в основном термические ожоги, а излучения дециметрового (от 0,3 до 3 ГГц), проникают глубже, поражая внутренние органы. В табл. 1.4 представлены данные о глубине проникновения ЭМИ в тканях человека в диапазоне 100–3000 МГц.

Исследования биологического действия антропогенных источников ЭМП в широком диапазоне частот указывают на высокую чувствительность различных систем организма к их воздействию.

**Таблица 1.3. Глубина проникновения электромагнитных волн в биологических тканях с низким и высоким содержанием воды [2]**

Частота, МГц	Длина волны в воздухе, $\lambda$ , м	Глубина проникновения, $d$ (см) с низким содержанием воды	Глубина проникновения, $d$ (см) с высоким содержанием воды
300	1,0	32,1	3,89
433	0,693	26,2	3,57
750	0,4	23,0	3,18
915	0,328	17,7	3,04
1500	0,2	13,9	2,42
2450	0,122	11,2	1,70
3000	0,1	9,74	1,61

**Таблица 1.4. Глубина проникновения ЭМИ в тканях человека, см [32]**

Ткань	Частота, МГц				
	100	200	400	1000	3000
Костный мозг	22,9	20,66	18,37	11,90	9,92
Головной мозг	3,55	4,13	2,07	1,93	0,47
Хрусталик глаза	9,42	4,39	4,23	2,91	0,50
Кровь	2,86	2,15	1,79	1,40	0,78
Мышца	3,45	2,32	1,84	1,46	–
Кожа	3,76	2,78	2,18	1,64	0,64

Несмотря на существование различных точек зрения, наиболее распространенными являются представления о тепловой природе воздействий на живые организмы любых неионизирующих ЭМИ [37]. Поэтому сообщения о влиянии на исследуемую систему воздействий, энергия которых оказывается меньше средней тепловой энергии, т. е. при  $hf \ll kT$  ( $h$  – постоянная Планка,  $f$  – частота излучения,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура), представляются априори ложными. Тем не менее еще в 80-е годы XX в. было показано, что принципиальных теоретических запретов для такого влияния нет. При весьма низком уровне (нетепловом) ЭМП принято говорить об информационном характере воздействия на организм (к примеру, для радиочастот выше 300 МГц интенсивность такого излучения должна быть менее  $1 \text{ мВт/см}^2$ ) [38]. Предполагается, что для биологических систем воздействие таких полей лежит ниже порога включения защитных биологических механизмов и способно накапливаться на субклеточном уровне, т. е. на уровне генетических процессов. Полагают также, что такие системы могут находиться в состоянии весьма далеко от равновесия и достаточно слабого (информационного) воздействия, чтобы система прошла через точку бифуркации в качественно новое состояние. Информационное воздействие приводит к формированию биологического эффекта за счет энергии самого организма, т. е. при этом передается информация,

необходимая для развития той или иной реакции организма. Особенно интенсивно развиваются исследования нетепловых биологических эффектов в дециметровом – миллиметровом диапазоне длин волн. Результаты биологических исследований свидетельствуют о том, что, несмотря на чрезвычайно малые значения мощности, их излучение оказывает существенное влияние на организм. Показано, что возможные механизмы взаимодействия могут быть связаны с возбуждением элементов жидкокристаллической структуры воды и наличием у живых организмов информационно-волновой составляющей неэлектромагнитной природы [32, 39–43]. Высокая действенность слабых ЭМИ, возможно, объясняется резонансным характером их воздействия, которое способно как усиливать, так и ослаблять функциональные возможности отдельных органов [32, 44, 45].

Тепловое действие ЭМИ наблюдается при высоких интенсивностях излучения – при ППЭ порядка  $10 \text{ мВт/см}^2$  и выше.

При слаботепловом действии ЭМИ в интервале ППЭ от 1 до  $10 \text{ мВт/см}^2$  нагревания всего облучаемого объекта не происходит, однако возможны единичные или множественные локальные повышения температуры в отдельных его частях или точках – «горячие пятна». В этом случае говорят о «микротепловом действии». Нетепловое действие наблюдается при ППЭ менее  $1 \text{ мВт/см}^2$ , когда облучение не вызывает повышения температуры в биологическом объекте, однако эффекты в нем выявляются [2].

Поглощение электромагнитной энергии живыми тканями сопровождается повышением их температуры, если поглощаемая мощность превосходит мощность рассеяния тепловой энергии. Последняя определяется теплоотдачей, которая осуществляется с поверхности тела посредством излучения, конвекции, теплопроводности и испарения влаги. Отведение тепловой энергии от глубоких тканей к поверхности тела обеспечивается кровообращением. Механизмы теплоотдачи функционируют в организме непрерывно, поскольку ему свойствен постоянный высокий уровень производства теплоты в ходе обмена веществ. Нарушение теплового гомеостаза в организме в результате облучения ЭМИ наступает в тех случаях, когда возникающая в результате этого дополнительная тепловая нагрузка, по меньшей мере, вдвое превышает уровень основного обмена [2].

Легко подвержены тепловому действию ЭМП паренхиматозные органы (печень, поджелудочная железа), полые органы, содержащие жидкости (мочевой пузырь, желчный пузырь, желудок). Нагревание указанных органов может обострить хронически протекающие в них воспалительные процессы, провоцировать возникновение язв, кровотечения, прободений. При интенсивном общем облучении повышается температура тела и наступает смерть. Пороговые интенсивности теплового действия электромагнитных волн находятся в пределах  $10\text{--}15 \text{ мВт/см}^2$ .

При низком уровне ЭМИ (как, например, при излучении мобильного телефона) характер воздействия носит преимущественно нетепловой – информационный характер. В этом случае величина кванта энергии у ЭМИ слишком низка, чтобы влиять непосредственно на какую-нибудь химическую связь, даже водородную, энергия которой мала по сравнению с другими. Однако и низкоинтенсивное ЭМИ способно вызывать биологические эффекты в различных тканях организма, которые можно характеризовать как сигнальные, регулирующие и дестабилизирующие. Сигнальное действие происходит при величинах ЭМИ, сопоставимых с уровнем естественных источников излучения, и воспринимается организмом как сигнал, несущий определенную информацию. Регулирующее действие наблюдается у биологических объектов различных уровней организации способностью изменять их функциональное состояние. При дестабилизирующем действии ЭМИ низкого уровня может происходить увеличение отклонений некоторых изучаемых показателей в облученном организме по сравнению с интактным контролем [2].

При нетепловом действии (нетепловая концепция) биологическую реакцию вызывает не энергия ЭМИ. В этом типе взаимодействий ответная реакция осуществляется за счет собственных энергетических ресурсов организма, а ЭМИ является только инициирующим сигналом. Нетепловое действие для ЭМИ радиочастотных и микроволновых диапазонов (РЧ- и МКВ-диапазонов) начинается с величины ППЭ  $\sim 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>, которая является минимальным порогом чувствительности для многих биологических объектов. Тепловые взаимодействия для ЭМИ РЧ- и МКВ-диапазонов наблюдаются на всех уровнях биологической организации – от организма до молекул, тогда как нетепловые, несмотря на крайне низкие интенсивности, проявляются преимущественно на уровне целого организма [2].

Функциональные изменения в организме под действием ЭМП могут накапливаться, но являются обратимыми до достижения определенных величин, если это излучение прекращается. Биологические эффекты ЭМП в условиях длительного многолетнего воздействия накапливаются с возможным развитием отдаленных последствий, включая дегенеративные процессы, нарушения регуляторных процессов в нейроэндокринной системе.

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.