

УДК 577.334

В.М. Сидоренко

МЕХАНИЗМ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЛАБОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧЕЛОВЕКА

На основании теории поляризации диэлектрика Лоренца предложена новая модель описания механизма воздействия электромагнитного поля (ЭМП) на биологический объект. Она позволяет объяснить влияние слабого ЭМП на биологический объект. Показано, что в биологическом объекте имеет место усиление ЭМП на молекулярно-клеточном уровне. Величина усиления поля зависит от диэлектрической постоянной среды. Результатом этого усиления является генерация под действием ЭМП мембранного потенциала, сравнимого по величине с его действующим биологическим значением.

Электромагнитное поле; поляризация диэлектрика; диэлектрическая постоянная среды.

V.M. Sidorenko

THE MECHANISM OF INFLUENCE OF WEAK ELECTROMAGNETIC FIELDS ON A HUMAN ORGANISM

With using of Lorenz model of dielectric polarization the new model of interaction between weak electromagnetic field (EMF) and biological object is proposed. It allows to explain an influence of a weak EMF on human organism in an optical approaching. It was shown that strengthening of the local (effective) EMF in biological object on molecular levels is present. The value of strengthening of the local field depends on dielectric constant of medium. Result of this strengthening is generation by a EMP the cellular membrane potential that is comparable with biological acting value.

Electromagnetic field; polarization of the dielectric; dielectric constant of the medium.

Исследования показали, что слабые электромагнитные поля (с плотностью потока ниже уровня теплового воздействия на живые организмы) влияют на физико-химическую кинетику в конденсированных средах как биологического, так и минерального происхождения [1]. Это говорит о наличии общефизической причины влияния, которая пока не нашла убедительного теоретического истолкования. Следовательно, разработка биофизической модели воздействия слабых электромагнитных полей на живой организм должна вестись на основе достаточно общих физических механизмов, имеющих место в конденсированных средах различной природы. Несмотря на отсутствие достаточно убедительных объяснений этого явления и общепринятых представлений о реализующих его механизмах, считается, что ведущее место в реакции живого организма на ЭМП принадлежит нервной системе [2]. Поэтому особую актуальность приобретает разработка представлений, позволяющих объяснить причины реакции нервных клеток на слабые ЭМП.

Новый подход к проблеме воздействия слабых ЭМП на биологический организм был предложен в [3]. С его помощью впервые удалось в рамках квазистатического приближения дать количественное объяснение причинам влияния слабых низкочастотных ЭМП на живые организмы. Подход основан на рассмотрении влияния поляризации среды, возникшей под воздействием электрической компоненты внешнего поля E_0 на величину микроскопического поля $E_{эф}$, действующего на отдельные диполи в конденсированной среде [5]. Представления о различии E_0 и $E_{эф}$

впервые были развиты в теории диэлектриков. Для получения соотношения между искомой величиной $E_{\text{эф}}$ и значением E_0 в [3] использовалась модель поляризации диэлектрика Лоренца [5]. Согласно этой модели, различие между $E_{\text{эф}}$ и E_0 определяется деполяризующим полем E_1 , возникающим за счет наведенных зарядов на поверхности диэлектрика, полем E_2 в центре воображаемой сферы радиуса R , окружающей рассматриваемый диполь, которое создается диполями вне сферы и полем E_3 , вызванным диполями среды внутри сферы:

$$\vec{E}_{\text{эф}} = \vec{E}_0 + \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3. \quad (1)$$

Для гомогенного диэлектрика эллипсоидальной формы, когда \vec{E}_0 направлено вдоль одной из главных осей эллипсоида, вектора \vec{E}_0 , \vec{E}_1 и вектор поляризации среды \vec{P} параллельны. При этом $E_1 = -\gamma P$, где величина γ определяется степенью вытянутости эллипсоида. С учетом вышеизложенного в [3] получена связь между напряженностями полей $E_{\text{эф}}$ и E_0 , выраженная через диэлектрическую проницаемость среды $\varepsilon_{\text{ср}}$:

$$\frac{E_{\text{эф}}}{E_0} = 1 + \frac{(4\pi/3 - \gamma)(\varepsilon_{\text{ср}} - 1)}{4\pi + \gamma(\varepsilon_{\text{ср}} - 1)}. \quad (2)$$

Для эллипсоида, моделирующего тело человека $\gamma \approx 4\pi/30$ и тогда на основании (2) и данных о значениях $\varepsilon_{\text{ср}}$ из [4] имеем $|E_{\text{эф}}/E_0| = 10$. Локальные значения $|E_{\text{эф}}/E_0|$ для отдельных органов могут быть существенно выше, так как величина γ убывает с ростом отношения c/a . При $\gamma \rightarrow 0$ из (4) на низких частотах (ниже 100 Гц) можно получить оценку усиления сверху – 10^6 . Реальные же величины $|E_{\text{эф}}/E_0|$ должны лежать в пределах указанного диапазона $10 \dots 10^6$. Это усиление может привести к появлению на клеточных мембранах потенциалов, сравнимых по величине с биологически действующими значениями при воздействии на биологический объект внешних электрических полей напряженностью в десятки доли Мв см^{-1} . Таким образом, на основании предложенной модели взаимодействия ЭМП с биологическим объектом на клеточном и субклеточном уровне можно объяснить эффект воздействия слабых ЭМП в низкочастотной области спектра на организм.

Применим изложенный выше подход к биологическому организму, находящемуся во внешнем высокочастотном ЭМП (оптическое приближение).

Пусть поперечная электромагнитная волна (ЭМВ) падает из воздушной в конденсированную среду. В воздухе присутствуют электрические поля падающей (E_0) и отраженной ($E_{\text{отр}}$) волн, а в объекте – поле прошедшей волны $E_{\text{ср}}$. Определим поле $E_{\text{ср}}$ в случае нормального падения ЭМВ на плоскую границу раздела, считая, что площадь ее достаточно велика, так что краевыми эффектами на ней можно пренебречь. При этом условии присутствуют только тангенциаль-

ные компоненты волновых электрических полей, граничное условие для которых имеет вид [6]:

$$E_{\text{ср}} = E_0 + E_{\text{отр}}, \quad (3)$$

Рассмотрим вначале приближение, в котором объект обладает однородными характеристиками (рис. 1).

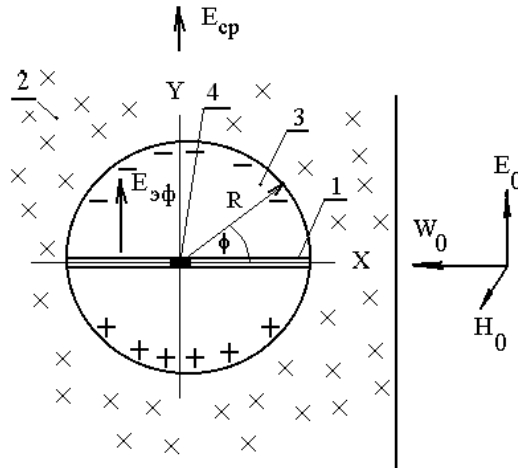


Рис. 1. Модель клеточной мембраны, находящейся под воздействием ЭМП в однородной биологической среде (оптическое приближение): 1 – мембрана; 2 – биологическая среда; 3 – полость Лоренца; 4 – участок мембраны, на который действует сформированное эффективное поле

Учтем в соответствии с [6] граничное условие для падающего W_0 , прошедшего в среду W_{0c} и отраженного $W_{отр}$ плотностей потоков в виде:

$$W_0 = W_{отр} + W_{ср}. \quad (4)$$

Из (3), (4) получим соотношение между напряженностями электрических полей $E_{ср}$ и E_0 на границе раздела:

$$E_{ср}/E_0 = 2/(\sqrt{\epsilon_{ср}} + 1), \quad (5)$$

где $\epsilon_{ср} = \epsilon'_{ср} + i\epsilon''_{ср}$ – диэлектрическая проницаемость среды, а $\epsilon'_{ср}$ и $\epsilon''_{ср}$ – соответственно ее вещественная и мнимая части.

При выполнении закона Бугера-Бера величина $E_{ср}$ для среды с показателем поглощения K на расстоянии x от границы будет равна

$$E_{ср} = 2E_0 \exp(-Kx)/(\sqrt{\epsilon_{ср}} + 1). \quad (6)$$

Причем величина K связана с мнимой частью диэлектрической проницаемости соотношением:

$$K = 2\pi\epsilon''_{ср} \nu c^{-1}, \quad (7)$$

где ν – частота. Установим связь между величинами $E_{эф}$ и $E_{ср}$ на основании модели Лоренца:

$$E_{эф}/E_{ср} = (\varepsilon_{ср} + 2)/3. \quad (8)$$

Таким образом, из (8), (10) получаем искомое соотношение между $E_{эф}$ и E_0 :

$$\left| E_{эф}/E_0 \right| = 2/3 \times \exp(-Kx) \left| (\varepsilon_{ср} + 2) / (\sqrt{\varepsilon_{ср}} + 1) \right|. \quad (9)$$

Из (9) следует, что усиление тем больше, чем выше значение диэлектрической проницаемости среды и убывает по мере проникновения в ткани организма. Для более детального рассмотрения совокупности этих факторов использована четырехслойная модель биологического объекта.

При определении соотношения между напряженностями эффективного поля $E_{эф_i}$ в слое i и падающего поля E_0 использовались представления, применявшиеся при выводе соотношения (9), на основании которых было получено выражение:

$$\left| E_{эф_i}/E_0 \right| = |\varepsilon_i + 2|/3 \times \prod_{p=1}^i (1 - \sqrt{P_p}) \exp\left(-\sum_{p=0}^{i-1} h_p K_p - \Delta x_i K_i\right), \quad (10)$$

где Δx_i – расстояние от поверхности слоя i до рассматриваемой его области;

$P_p = (\sqrt{\varepsilon_p} - \sqrt{\varepsilon_{p-1}})^2 / (\sqrt{\varepsilon_p} + \sqrt{\varepsilon_{p-1}})^2$ – коэффициент отражения от верхней границы слоя p . В расчетах по формуле (10) полагалось, что толщина рогового слоя $h_1 = 5 \cdot 10^{-5}$ м, водно-насыщенного слоя эпидермиса и дермы $h_2 = 3 \cdot 10^{-3}$ м, а жирового слоя $h_3 = 10^{-2}$ м. Мышечный (четвертый) слой считался полубесконечным.

Значения вещественных и мнимых частей диэлектрических проницаемостей ε_i в СВЧ области для тканей с высоким и низким содержанием воды заимствованы из [7]. Показано, что заметное усиление электрического поля по отношению к внешнему происходит в роговом слое (первый слой), а также в верхней части второго слоя. Что касается более глубоких слоев, то электромагнитная волна СВЧ диапазона практически полностью затухает в жировом слое (третий слой), в результате чего ЭМП в мышечном слое (четвертый слой) пренебрежимо мало. Расчеты показали, что наибольшее усиление поля (порядка шести раз) происходит в верхней области водонасыщенного эпидермиса непосредственно под роговым слоем, где находятся такие структуры кожи, как рецепторы и свободные нервные окончания. Воздействие на эти структуры может обеспечить влияние слабых ЭМИ на живой организм, приводя, в частности, к изменению мембранных потенциалов нервных клеток. Последнее может быть вызвано конформационными изменениями молекул, отвечающих за открытие ионных каналов клеточной мембраны и ориентационным движением отдельных молекул в клеточной мембране под действием микроскопического поля $E_{эф}$ в соответствии с механизмом поляризации Дебая [5].

Таким образом, слабое ЭМИ может вызвать те же явления в организме на молекулярном уровне, что и его нагрев, еще до появления теплового эффекта. Следовательно, рассмотренный эффект позволяет объяснить влияние слабых ЭМП СВЧ диапазона на живой организм с плотностью потока более чем на порядок меньшим уровня теплового воздействия. Необходимо отметить, что обнаруженный максимум в частотной зависимости усиления электрического поля находится в области несущей частоты сотовой связи. Таким образом, рассмотренный меха-

низм может являться одной из причин воздействия слабого высокочастотного излучения мобильных телефонов на человека.

В целом проведенное рассмотрение показывает, что слабые высокочастотные электромагнитные поля должны оказывать нетепловое воздействие на периферические системы организма, что дает объяснение имеющимся экспериментальным данным. Полученные в работе результаты могут способствовать совершенствованию методов терапевтического использования слабых ЭМП и служить научной базой для установления пороговых уровней их влияния на организм человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Владимирский Б.М., Брунс А.В.* Солнечная активность, физико-химические процессы и технические системы. Биомедицинская радиоэлектроника. – 1999. Т. 4. – С. 3-11.
2. *Новиков В.В.* Электромагнитная биоинженерия. Биофизика. – 1998, Т.43. Вып. 4, – С. 588-593.
3. *Сидоренко В.М.* Механизм влияния слабых электромагнитных полей на живой организм. Биофизика. – 2001. Т. 46. Вып. 3, – С. 500-504.
4. *Кузнецов А.И.* Биофизика электромагнитных воздействий. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 200 с.
5. *Киттель Ч.* Введение в физику твердого тела. – М.: Изд. Физ.-мат.лит., 1962. – 696 с.
6. *Поль Р.В.* Оптика и атомная физика. – М.: Физ.- мат. лит., 1966. – 552с.
7. *Исмаилов Э.Ш.* Биофизическое действие СВЧ-излучений. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.

Сидоренко Владимир Михайлович

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ».

E-mail: vmsidorenko@mail.ru.

197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5, тел.: (8812)2349071.

Кафедра инженерной защиты окружающей среды, заведующий, профессор, д.т.н.

Sidorenko Vladimir Mikhailovich

Saint-Petersburg Electrotechnical University «LETI».

E-mail: vmsidorenko@mail.ru.

5, Prof. Popov str., Saint-Petersburg, 197376, Russia, Phone: (8812)2349071.

Department of Engineering Protection of Environment, head, Prof., Doctor Eng. Sc.

УДК 621.371

В.Э. Чекрыгин

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА МАГНИТОТЕРАПИИ

Приводится аналитический обзор современного состояния внедрения магнитотерапии в медицинскую технику. Обосновывается безвредность использования данных полей для человеческого организма.

Магнитное поле; магнитотерапия; магнитотерапевтическая аппаратура.

V.E. Chekrigin

THEORETICAL BASIS OF MAGNETOTHERAPY TECHNIQUE

The state-of-the-art review of a current state of introduction of a magnetotherapy in iatrotechnics is resulted. Harmlessness of use of the given fields for a human body is proved.

Magnetic field; magnetotherapy; magnetotherapy equipment.