



УДК 537.81; 504.05; 502.613

В.Е. Холмогоров, А.В. Бармасов

Санкт-Петербургский государственный университет

БИОСФЕРА И ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И ЖИЗНЬ.

Самая крупная и наиболее близкая к идеалу «самообеспечения» биологическая система, известная нам, – это биосфера или экосфера. Понятие «биосфера» впервые ввёл в научную терминологию австрийский геолог Эдуард Зюсс (Suess, 1831-1914). Биосфера в современном понимании – сфера Земли, содержащая всю совокупность живых организмов и ту часть вещества, с которой происходит непосредственное взаимодействие биосистем; она включает все живые организмы Земли, находящиеся во взаимодействии с физической средой Земли, в результате чего эта система, через которую проходит поток энергии от мощного её источника, Солнца, и которая переизлучает в космическое пространство, поддерживается в состоянии устойчивого равновесия. Владимир Иванович Вернадский (1863-1945) считал, что биосферу нельзя рассматривать в отрыве от неживой природы, от которой, с одной стороны, она зависит, а, с другой – сама воздействует на неё. Центральной в этой концепции является понятие о живом веществе, то есть о совокупности живых организмов. Кроме животных, растений и насекомых В.И. Вернадский включал сюда и человека, влияние которого на процессы в биосфере отличается от воздействия остальных живых существ. Биосфера (особенно современная) пронизана электромагнитными полями – электромагнитное поле окружает любой проводник с переменным током, существуют и естественные электромагнитные поля – это магнитное поле Земли, космическое излучение.

В экспериментальных исследованиях роли электромагнитных полей (ЭМП) в живой природе рассматриваются три вида явлений:

1. влияние естественных и искусственных электрических и магнитных полей и электромагнитных волн на физиологию и поведение живых существ;
2. собственные электрические и магнитные поля живых организмов;
3. электромагнитные взаимодействия между живыми организмами.

Исследования роли ЭМП ведутся в различных областях спектра электромагнитных излучений (ЭМИ) по следующим основным направлениям:

1. электромагнитная биология – постоянные электрические и магнитные поля, и ЭМП от сверхдлинных радиоволн (> 10 км) до инфракрасного (ИК) диапазона (1 мм);
2. фотобиология – ИК, видимый и ультрафиолетовый (УФ) диапазоны (1 мм – 5 нм);
3. радиобиология – рентгеновские и гамма-лучи (от 50 до тысячных долей ангстрема).

В качестве объектов рассматриваются живые организмы разных уровней организации – от одноклеточных до человека, а также изолированные органы (мозг, сердце, печень и т.д.), ткани (срезы органов, кровь), фрагменты тканей, культуры клеток, отдельные клетки и их фрагменты (нервные клетки, семейства нейронов, клеточные мембраны и внутриклеточные органеллы, комплексы белков с липидами, нервно-мышечные ткани), растворы биологически важных веществ (липиды, природные пигменты, белки, нуклеиновые кислоты), вода.

При относительно низком уровне ЭМИ (менее 1 мВт/см^2) принято говорить о нетепловом характере воздействия. Наиболее чувствительными к нетепловому биологическому действию ЭМП считают нервную, иммунную, эндокринную и половую системы человека. Биологический эффект накопления воздействия вызывает развитие отдалённых последствий (дегенерацию нервной системы, лейкозы, опухоли мозга, гормональные и сердечно-сосудистые заболевания).

Один из подходов к исследованиям биологической активности электромагнитных полей основан на том, что «любое возможное влияние ЭМП на биологические объекты, как и на подобные им по электрофизическим свойствам неживые объекты, должно быть обусловлено теми или иными энергетическими взаимодействиями ЭМП с веществом, то есть, преобразованием энергии электромагнитного поля в другие формы. При этом возникающий эффект зависит от величины действующей энергии ЭМП [27]. Поскольку энергии квантов в области длин волн $\lambda \sim 0,01$ см малы ($h\nu \sim kT$ при комнатных температурах), то, утверждается, что действие поля может вызывать в биологической среде только колебания заряженных частиц как целого – ионов, дипольных молекул, коллоидных мицелл; при этом энергия ЭМП преобразуется в тепловую – происходит нагрев ткани; для значимого биологического эффекта напряжённость поля должна быть достаточно большой. Отсюда делается вывод, что

слабые естественные ЭМП, действующие в биосфере, никакого эффекта вызывать не могут. То же считалось верным и для постоянного геомагнитного поля, поскольку, для того, чтобы вызвать изменения ориентации пара- и диамагнитных молекул, его напряжённость должна была бы быть в десятки тысяч раз выше.

В экспериментах, тем не менее, обнаруживались закономерности, которые вступали в противоречие с принятым подходом. Оказалось, *«что организмы различных видов – от одноклеточных до человека – чувствительны к постоянному магнитному полю и ЭМП различных частот при воздействующей энергии на десятки порядков(!) ниже теоретически оценённой»* [27]. Также биологические эффекты вовсе не были пропорциональны интенсивности ЭМП, а демонстрировали совсем иные соотношения: в одних случаях они возрастали при уменьшении интенсивности, в других – возникали только при некоторых оптимальных интенсивностях, в третьих при малых и больших интенсивностях реакции были противоположны по характеру. Наконец, при одной и той же средней энергии ЭМП, поглощаемой в тканях, характер реакции существенно зависел от режима модуляции ЭМП, от направления векторов электрических и магнитных составляющих ЭМП относительно оси тела животного, от участка тела, подвергнутого воздействию ЭМП и т.д.

В современной научной литературе приводятся многочисленные примеры, иллюстрирующих такое «неклассическое» поведение биологических объектов при действии искусственных ЭМП [27]. Так, показано, что температура седалищного нерва кошки при его облучении трёхсантиметровыми волнами высокой интенсивности возрастает, а изменение электроэнцефалограммы (то есть фактически амплитуды биопотенциалов) носит явно немонотонный характер, не соответствующий изменениям температуры нерва (поглощённой энергии ЭМП). Другой пример – изменение способности поглощать пищу (фагоцитарной активности) у одноклеточных организмов (парамеций) под действием СВЧ поля, ИК излучения и конвекционного нагрева (на водяной бане). В зависимости от интенсивности облучения отмечаются четыре фазы изменения фагоцитарной активности – стимуляция при сравнительно малых интенсивностях, угнетение при средних и затем повторение этих фаз при дальнейшем возрастании интенсивности. Такое же нагревание среды с парамециями ИК излучением или в водяной бане приводило к иному – двухфазному – изменению активности: стимуляции при температурах, оптимальных для этих инфузорий, и угнетению при более высоких температурах.

Из разработок в области электромагнитной биологии существенный вклад внесли работы отечественных исследовательских групп Ю.А. Холодова, Н.Ф. Девяткова, В.П. Казначеева, М.Б. Голанта, Н.В. Красногорской и др., а также зарубежных, главным образом, в США.

В зарубежной научной литературе [3, 39] приводится множество интересных фактов, среди которых особую важность представляют результаты, демонстрирующие биологическое действие полей малой интенсивности: выработка условного рефлекса у рыб на малые градиенты электрического поля и влияние слабого ЭМП на ранее выработанные условные рефлексы животных; изменение функций сердечно-сосудистой системы (ритма сердца, кровяного давления) животных при облучении слабыми СВЧ полями; влияние вариаций магнитного поля Земли на поведение живых организмов, изменения у птиц способности ориентироваться при естественных возмущениях геомагнитного поля (магнитных бурях) или искусственных искажениях его; явление так называемого «радиозвука» – возникновение звуковых ощущений у человека при облучении его головы радиоволнами малой интенсивности; влияние магнитного поля на регенерацию конечностей земноводных и изменения суставов в ходе лечения различных заболеваний. Так, в зависимости от даже очень малых изменений формы импульса магнитного поля наблюдается заметное ускорение регенерации лапы тритона после ампутации, полное прекращение роста или существенное изменение вида вырастающей конечности по сравнению с контролем – регенерацией в отсутствие наложения магнитного поля. Описано и множество других эффектов, наблюдаемых при действии слабых постоянных магнитных полей, слабых электрических токов или импульсных электрических и магнитных полей на живые организмы, в том числе на скорость срастания костей при переломах, на чувствительность к боли, на психическое состояние, на физиологические параметры (состав крови, скорость дыхания, иммунологические реакции и др.), на функции центральной нервной системы, проявляющиеся в изменениях поведения человека и животных.

Впрочем, полное отсутствие магнитного поля также является неблагоприятным фактором. Американские учёные ещё в 1960-х гг. построили две экспериментальные камеры, одна из которых была окружена мощным металлическим экраном, снижающим напряжённость земного магнитного поля внутри камеры в сотни раз. В другой камере сохранялись земные условия. В камеры были помещены семена клевера, пшеницы, а также мыши.

Спустя несколько месяцев, оказалось, что мыши в экранированной камере быстрее теряли волосяной покров и умирали раньше, чем контрольные. Их кожа была более толстой, чем у животных контрольной группы. Эта кожа, разбухая, вытесняла корневые мешочки волос, что служило причиной раннего облысения. А у растений в безмагнитной камере были отмечены более длинные и толстые корни.

На основании подобных наблюдений высказывается [39] гипотеза, получившая название «концепция биоэлектричества» [15]:

1. В живых организмах существуют «функционально значимые, организованные постоянные электрические токи», которые обуславливают существование вблизи организма «сложного поля потенциалов или биоэлектрического поля».
2. Постоянные и переменные электрические и магнитные поля малой интенсивности (не вызывающие нагрева или ионизации тканей) оказывают заметное биологическое воздействие на живые организмы.
3. Факт существенного биологического влияния полей малой интенсивности находится в противоречии с концепциями классической физики, которые отрицают возможность такого влияния в отсутствие теплового эффекта. Возможно, что, по крайней мере, в некоторых случаях, это противоречие удастся разрешить в результате исследований механизмов взаимодействия внешних полей с магниточувствительными структурами, обнаруженными в клетках организмов разного уровня сложности, включая человека. Вместе с тем, можно допустить, что биологическое действие слабых электрических и магнитных полей может быть обусловлено и иными, неклассическими механизмами.

Способность животных и растений генерировать электрические потенциалы – одно из наиболее удивительных свойств биологических систем. Какую бы часть организма или клетки мы не взяли, она обязательно несёт определённую электрическую полярность. Долгое время эту способность склонны были рассматривать как интересный биологический феномен, являющийся «побочным результатом» основных физиолого-биохимических и биофизических процессов. Однако в последние годы становится более ясным, что электрическая активность биологических объектов – это очень важная функция, которая играет существенную и весьма универсальную роль в жизнедеятельности организмов.

Наличие у живых организмов биоэлектрических полей и глубокое влияние естественных электрических и магнитных полей на различные проявления

жизнедеятельности на Земле составляют фундамент качественно новой биологической концепции «биоэлектричества», дающей *«нам совершенно новую научную парадигму, которая позволяет понять основные физиологические механизмы, связывающие все живые организмы с естественным электромагнитным полем Земли. Дальнейшее исследование этих проблем несомненно приведёт к более существенным успехам медицины и к пониманию фундаментальной связи между всеми живыми существами и электромагнитными силами окружающей среды»* [39].

В фотобиологии существенным вкладом в разработку новых представлений о живом организме явились исследования сверхслабых излучений биологических объектов и взаимодействий между ними посредством излучений. В данном случае речь идёт не о достаточно хорошо известной биолюминесценции, а об очень слабом излучении, которое стало возможным улавливать и изучать сравнительно недавно.

Среди наиболее интересных в области сверхслабых излучений – исследования, проводившиеся в 1920-30-е гг. российским биологом Александром Гавриловичем Гурвичем (1874-1954) с сотрудниками [11, 12, 13], - опыты с митогенетическим излучением (его называют также «излучением Гурвича» - излучениями раковой ткани, корешков лука и бобов, крови, тканей глаза и других объектов в ультрафиолетовой области). Сверхслабые излучения биологических объектов регистрировались с помощью биологических детекторов – клеток, чувствительных к УФ лучам. Позднее появилась возможность улавливать кванты биоизлучений с помощью физических приборов. За последние годы достигнуты большие успехи в разработке высокочувствительной аппаратуры; теперь удаётся проводить дистанционные измерения электрических и магнитных полей самых разных биологических объектов – от изолированных клеток до сложных организмов – животных и человека.

С середины 1960-х гг., важные результаты были получены в исследованиях взаимодействий между клетками, обусловленных электромагнитным излучением, в основном в УФ диапазоне [17]. Оказалось, что при воздействии на одну из культур губительных факторов биологической, химической или физической природы другая культура также гибнет, причём характерная картина гибели второй культуры в каждом случае та же, что и для первой.

Существенное продвижение в понимании свойств собственного электромагнитного поля живых существ стало возможным благодаря экспериментальным и теоретическим исследованиям, проводившимся с конца 1970-х гг. немецким биофизиком Ф.-А. Поппом и его школой [41, 42]. Ф.-А. Попп выдвинул концепцию биофотонного

поля – упорядоченной системы когерентных (синхронных по фазе) электромагнитных излучений, связанных с живым веществом. Концепция когерентного биофотонного поля разработана с привлечением представлений квантовой электродинамики. Экспериментальной базой для проверки концепции служат измерения самопроизвольной и фотоиндуцированной люминесценции (биофотонной эмиссии) биологических систем – молодых ростков растений, семян, колоний микроскопических морских животных (дафний), животных и растительных клеток, в том числе культивируемых клеток опухолевых тканей, а также суспензий внутриклеточных частиц и больших молекул (ядер, митохондрий, ДНК). Использование высокочувствительной аппаратуры и совершенных методов компьютерной обработки результатов позволили выйти на значительно более высокий уровень измерений самопроизвольной люминесценции. В терминах физической химии «фотобиологических процессов речь идёт об измерениях «замедленной флуоресценции» - очень слабой люминесценции при комнатных температурах с характерными временами того же порядка, что и при фосфоресценции ($0,1 \div 10$ с).

Как явствует из других приложений теоретического подхода, который развивают Ф.-А. Попп и его коллеги, представление о когерентном биофотонном поле биологических систем является чрезвычайно плодотворным при рассмотрении явлений жизни на разных уровнях организации, применительно к решению общебиологических задач. Интересна, в частности, предлагаемая Ф.-А. Поппом концепция эволюции жизни на Земле [41]. Вполне возможно, что именно электромагнитный фон сыграл немаловажную роль в зарождении жизни на Земле. Кстати, из других планет солнечной системы только Юпитер обладает геомагнитным полем, но условия для жизни там более чем неподходящие.

В радиобиологии, в исследованиях влияния на живые организмы малых доз радиации, за последние годы были сделаны исключительно важные выводы, существенно дополняющие результаты, полученные в исследованиях других областей спектра, о которых говорилось выше. Речь идёт, прежде всего, о двух открытиях – явлении «радиационного гормезиса» [40] и вторичном биогенном излучении [19]; кроме того, интересно появившееся сообщение об измерениях радиоактивного компонента излучения человека [4].

Явление «радиационного гормезиса» – это обнаруженная во множестве экспериментов способность живого вещества реагировать диаметрально противоположным образом на большие и малые дозы радиации – ионизирующая

радиация в больших дозах губительна для живых организмов, а в очень малых дозах (на 4-5 порядков меньших) оказывается, наоборот, не только полезна, но и необходима для их роста и развития.

Факт благоприятного действия малых доз радиации, существующих в естественных условиях, был обнаружен впервые в 1966 г. на Международном конгрессе по радиационным исследованиям. Французский учёный А. Плanelь сообщил о том, что скорость размножения одноклеточных организмов (парameций) существенно уменьшается при искусственном снижении природного радиоактивного фона в специальной камере, причём этот эффект полностью исчезает при введении в камеру радиоактивных солей тория. Сообщение было встречено с недоверием, поскольку оно противоречило тезису о безусловно вредном действии ионизирующих излучений в любых, сколь угодно малых дозах, в том числе и тех, которые соответствуют природному радиоактивному фону. Однако эксперименты Плanelя были затем подтверждены в опытах на других одноклеточных, а позднее и в опытах на высших растениях и животных. Во всех случаях было показано, что экранирование внешнего радиоактивного фона угнетает рост и развитие живых существ. Особенно значительным эффектом был, когда внешнее экранирование природного радиоактивного фона сочеталось с уменьшением внутреннего облучения организма.

Таким образом, стало очевидным, что природный радиоактивный фон необходим для нормального существования живых организмов. Позднее было обнаружено благоприятное действие малых доз рентгеновского и гамма-излучения (дополнительно к природному фону) на развитие растений [20]. Отсюда вытекало, что малые дозы радиации оказывают стимулирующее воздействие на жизненные процессы, однако, причины такого влияния оставались непонятными.

Существенным для объяснения этих эффектов явилось открытие членом-корреспондентом РАН Александром Михайловичем Кузиным (1906-1999) вторичного биогеенного излучения [19] – стимуляции роста и развития различных биологических объектов под влиянием таких же (или других) объектов, предварительно облучённых малой дозой. Вывод о существовании вторичного излучения был сделан на основании экспериментов, в которых γ -облучённые семена редиса ускоряли прорастание необлучённых семян, причём достоверное изменение скорости роста необлучённых семян наблюдалось независимо от того, была ли возможность химического контакта между ними и облучёнными семенами или нет. Позднее А.М. Кузиным и его сотрудниками было выявлено стимулирующее действие УФ излучения различных γ -

облучённых объектов (веток сирени, листьев колонхоэ, коры берёзы, дрожжей, насекомых, шерсти собак и кошек, крови и волос человека) на рост семян редиса.

Исходной основой существования биосферы Земли и происходящих в ней процессов является космическое положение нашей планеты и, в первую очередь, её расстояние (160 млн. км) от Солнца и наклон земной оси к эклиптике. Солнце – основной источник энергии для биосферы. Эту его роль сформулировал создатель закона сохранения и превращения энергии Юлиус Майер (Mayer, 1814-1878), отметивший, что *«жизнь является созданием солнечного луча»*. Влиянием космических излучений на организм человека занимался ещё в 1920-х гг. российский учёный Александр Леонидович Чижевский (1897-1964). Его считают основоположником гелиобиологии. Он первым обратил внимание на то, что магнитные бури, солнечные затмения, вспышки на Солнце влияют на здоровье человека¹ и даже на события человеческой истории. С тех пор проводятся исследования, накапливаются данные, подтверждающие влияние магнитных бурь на здоровье.

В настоящее время не вызывает сомнения утверждение А.Л. Чижевского о том, что мы живём в «атмосфере Солнца». Создание концепции о солнечном ветре и его воздействии на магнитосферу Земли определило новый подход к экологии. Исходя из особенностей строения магнитосферы Земли, его влияние во много раз ощутимее для человека в полярных районах. Именно через каспы (полярные щели или воронки в магнитосфере на севере и юге) происходит затекание заряженных космических частиц высокой энергии, поэтому именно здесь атмосфера наиболее доступна для воздействия солнечного ветра.

В конце 2002 г. после анализа в Центре космических исследований Дании результатов наблюдений, полученных со спутника, осуществляющего мониторинг магнитных полей Земли, был сделан вывод, что в магнитном поле Земли над Северным и Южным полюсами появились крупные и всё быстрее увеличивающиеся дыры из-за возрастания угла раствора каспов. Этот угол к середине 1990-х гг. по данным Института земного магнетизма ионосферы и распространения радиоволн РАН (ИЗМИРАН) достиг 45°. В расширившиеся щели устремился радиационный материал солнечного ветра и межпланетного пространства, то есть в полярные области стало попадать огромное количество дополнительного вещества и энергии, что приводит к «разогреву» полярных шапок.

¹ Во время магнитных бурь число инфарктов увеличивается более чем в 3 раза, инсультов – в 2, приступов стенокардии – в 1,5.

Как известно, увеличение солнечного ветра происходит в результате солнечных вспышек, которые длятся от нескольких минут до нескольких часов. Энергия, выделяющаяся при вспышке, достигает 10^{25} Дж. При этом наблюдается значительное увеличение интенсивности рентгеновского и радиоизлучения, повышенный выброс частиц высоких энергий, увеличение интенсивности ультрафиолетового излучения. Солнечная активность повторяется, в среднем, через 11,3 года. Изменения уровня солнечной активности вызывают цепочку взаимосвязанных явлений в межпланетном пространстве, в магнитосфере, ионосфере, нейтральной атмосфере, гидросфере, литосфере и, конечно, в биосфере. Солнечные циклы отражаются во многих процессах в биосфере Земли: цикличности сельскохозяйственных урожаев, процессов фотосинтеза, размножении и миграции насекомых и животных, эпидемии болезней, сердечно-сосудистых заболеваний и пр. Последствия вспышек начинают сказываться в околоземном пространстве приблизительно через 8 минут. Имеются статистические данные о том, что через 2÷4 суток после магнитной бури происходит заметная перестройка барического поля тропосферы, что приводит к нестабильности атмосферы, нарушению характера её циркуляции, развитию циклонов и других метеоявлений. Более слабые возмущения возникают вблизи границы магнитосферы. При этом в магнитосфере из-за флуктуаций солнечного ветра генерируется спектр электромагнитных волн с частотами 0,001÷10,0 Гц, которые свободно доходят до поверхности Земли. Во время магнитных бурь интенсивность этого низкочастотного излучения возрастает в 10÷100 раз. Лабораторными исследованиями установлена непосредственная связь между процессами в биосфере и низкочастотными электромагнитными колебаниями. В частности, показано, что слабые низкочастотные (1÷5 Гц) электромагнитные поля изменяют физиологическое состояние микроорганизмов, приводя к ослаблению их колониобразующей способности и, соответственно, к их гибели. Непосредственным участником этих процессов является вода, изменяющая свою структуру под действием низкочастотных магнитных полей.

Геомагнитное поле Земли имеет особое значение для живых организмов, населяющих Землю. Как видно из Рис. 1, природный спектр электромагнитного излучения в диапазоне 1÷ 10^{20} Гц можно условно представить в виде двух широких максимумов.

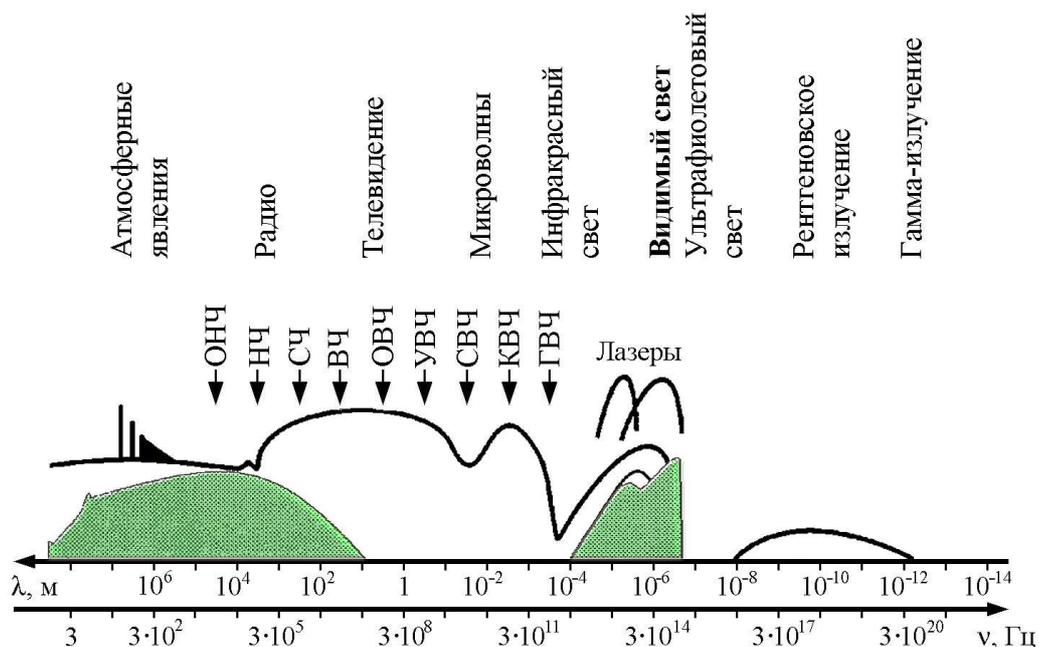


Рис. 1. Электромагнитные волны на поверхности Земли. Закрашенные области отображают уровень излучения от природных (естественных) источников ЭМИ.

Сплошные тёмные кривые демонстрируют уровень излучения от различных искусственных источников ЭМИ [33].

Первый максимум, простирающийся от единиц (резонансные частоты системы Земля-ионосфера) до 10^6 Гц и более, связан с процессами, происходящими в атмосфере Земли (грозы, колебания в ионосфере), а также с электромагнитным полем Земли и космическими источниками радиоволн (Солнце и другие звёзды). В этом диапазоне ЭМИ основной вклад вносят атмосферные электрические разряды (грозы) с длительностью порядка 10^{-4} с. Второй максимум, занимающий спектральный интервал от $3 \cdot 10^{12}$ до 10^{15} Гц связан с излучением Солнца и ИК излучением поверхности Земли.

В диапазоне десятков и сотен герц на Рис. 1 выделяется «гребёнка», связанная с широко используемым в промышленности и быту переменным током 50 (60) Гц и его гармониками. Источниками ЭМИ в этом диапазоне являются трансформаторные подстанции, распределительные щиты, кабели электропитания, ЛЭП. Все бытовые приборы, работающие с использованием электрического тока, также служат источниками электромагнитных полей. Из них наиболее мощными являются СВЧ-печи, аэрогрили, холодильники с системой «No frost», кухонные вытяжки, электроплиты, телевизоры.

XX в. характеризуется появлением мощных антропогенных излучений. Появляются линии электропередач (ЛЭП) и трансформаторные подстанции, бытовая и оргтехника, а

также устройства, специально созданные для излучения электромагнитной энергии. За последние десятилетия суммарная ЭМП в различных местах земной поверхности увеличилась, по опубликованным данным, по сравнению с естественным фоном в сотни и тысячи раз. Сегодня любому из нас трудно представить свою жизнь без телефона и телевизора, электрического утюга и фена для сушки волос. Жители больших городов не мыслят свой день без поездки в метро, без вышек теле- и радиовещания. Вдоль автомобильных дорог и в аэропортах работают радиолокаторы, которые посылают электромагнитные импульсы. Здания (в том числе и жилые) начинены электрическими приборами, кабелями и распределительными щитами. Чем более комфортной становится наша жизнь, тем больше в ней электрических приборов. В последнее время к ним добавились сотовые телефоны, антенны спутниковой связи и компьютеры.

Широкий максимум в диапазоне $10^4 \div 10^9$ Гц на Рис. 1 обязан своим появлением радио- и телевизионным станциям. Мощность передатчиков некоторых радиостанций доходит до 2 МВт, что обеспечивает устойчивый приём, а значит многократное превышение отношения сигнал/шум на расстояниях до сотен и тысяч километров. В стометровой зоне этих радиостанций напряжённость поля ЭМИ в миллионы раз больше. На высокочастотном краю первого низкочастотного максимума в области $4,5 \cdot 10^8 \div 1,88 \cdot 10^9$ Гц работают базовых станции и многочисленные мобильные телефоны. В область этого же максимума попадает излучение мониторов ($20 \div 3 \cdot 10^8$ Гц) и применяемых в медицине аппаратов ОВЧ (например, широко используемый аппарат ИКВ-4 излучает на частоте 56 МГц мощность 200 Вт).

Далее на Рис. 1 в миллиметровой и сантиметровой областях длин волн располагаются ЭМИ локаторов, радаров дорожной инспекции, станций спутникового вещания и медицинских КВЧ-аппаратов. Ультрафиолетовую область спектра, где естественный фон излучения крайне низок, занимают ЭМИ аппаратов ультрафиолетового облучения, применяемых в промышленности и медицине. Самую высокочастотную область – область рентгеновского излучения – занимают ЭМИ различных промышленных и медицинских установок.

В исследованиях, проведённых шведскими учеными в 1992 г., была обнаружена связь между ЭМП и повышенным риском заболевания лейкемией у детей. После публикации этих результатов правительство Швеции объявило о начале разработки стандартов на предельно допустимые уровни ЭМП. Однако уже через два года те же учёные и то же правительство заявили: *«Сегодняшний уровень наших знаний*

недостаточен для того, чтобы достоверно сказать, как действуют на человека электромагнитные поля и они (знания) не могут служить основой для разработки каких-либо стандартов и ограничений». Согласно современным международным стандартам (стандарт MPR II) гигиеническим нормативом магнитного поля является уровень 0,2 мкТл.

Итак, основными источниками ЭМИ искусственного происхождения являются:

1. Электротранспорт. Трамваи и троллейбусы, электропоезда метрополитена, пригородные электрички и электровозы, и даже лифты являются основным мощным источником электромагнитного поля в диапазоне частот от 0 до 1000 Гц. Среднее значение магнитной индукции, создаваемой электродвигателями, $B = 20 \div 30$ мкТл.
2. Линии электропередач. ЛЭП создают в прилегающем пространстве электрические и магнитные поля промышленной частоты (50 или 60 Гц). В Российской Федерации действуют достаточно жёсткие по сравнению с зарубежными санитарные нормы, регламентирующие допустимые уровни электромагнитного воздействия на здоровье людей. Предельно допустимые уровни (ПДУ) воздействия электрических полей ЛЭП представлены в Табл. 1. Основной принцип защиты здоровья населения от ЭМИ ЛЭП состоит в вынесении санитарно-защитных зон и снижении напряжённости электрического поля в жилых зданиях и в местах продолжительного пребывания людей (Табл. 2). Напряжение в большинстве городских линий не превышает 110÷220 кВ. В пределах санитарно-защитных зон запрещается размещать жилые и общественные здания, устраивать стоянки и остановки всех видов транспорта, размещать склады нефтепродуктов. Исследователи из Института профессионального здоровья в Университете Бирмингема оценили причины смерти среди 84000 рабочих, занятых в сфере энергетики или в сфере передачи электроэнергии в Англии и Уэльсе. Обзор исследования охватывал период с 1973 по 1997 г. Учёные использовали новые методы оценки уровня воздействия электромагнитных полей и вычислили среднюю продолжительность жизни для этой категории рабочих, каждый из которых проработал в этой сфере не менее 5 лет. Показатели смертности от рака мозга среди всех причин смертности этих рабочих были сравнены с общенациональной статистикой смертности, чтобы видеть, имелся ли любой повышенный риск. Результаты показали, что смертность от рака мозга была практически на уровне среднестатистической, и

не было отмечено какого-либо повышенного риска смерти в результате работы в этой отрасли. Авторы сделали вывод, что электромагнитные поля, воздействие которых обширно в сфере промышленной энергетики, не служат стимулирующим фактором для развития рака мозга у людей.

3. Электропроводка. Наибольший вклад в электромагнитную обстановку в жилых помещениях вносят кабельные линии и распределительные щиты электропитания. В настоящее время ПДУ ЭМИ для населения в жилых помещениях – 500 В/м, а магнитной индукции – $0,2 \div 0,3$ мкТл (Табл. 1).
4. Бытовая электротехника. Наиболее мощными источниками магнитного поля следует считать электропитание СВЧ печей, аэрогрилей, холодильников, электроплит и телевизоров (Табл. 3). Следует иметь в виду, что кратковременное использование бытовой техники не оказывает влияния на здоровье основной части населения. Опасность для здоровья человека представляет продолжительное облучение не менее 8 часов в сутки в течение нескольких лет с уровнем магнитного поля 0,2 мкТл. Однако, фены и электробритвы, которыми люди пользуются практически каждый день, могут представлять серьезную угрозу для здоровья. Как показали американские исследователи, создаваемые ими слабые электромагнитные поля могут вызвать повреждение ДНК и гибель клеток. Во время работы бытовые электроприборы создают слабые переменные электромагнитные поля, которые воздействуют на все клетки и ткани организма человека, в том числе на головной мозг. В ходе экспериментов на лабораторных животных обнаружено, что уже через 24 часа такое воздействие приводит к повреждению генетического материала, содержащегося в клетках, а через 48 часов в ткани мозга обнаруживаются признаки апоптоза – запрограммированной гибели клеток. По данным итальянских исследователей, у женского организма, на который на протяжении продолжительного времени воздействуют электромагнитные поля, уменьшается способность к репродукции. Здоровых мышей помещали вблизи электрических приборов так, чтобы воздействие электромагнитных полей было максимальным. Через некоторое время у мышей женского пола обнаружили дисфункцию яичников. В некоторых случаях нарушения работы яичников были настолько сильными, что мыши теряли способность к зачатию. У мышей мужского пола никаких отклонений от нормы не установлено.

5. Теле- и радиостанции. Радиостанции ДВ (30÷300 кГц) мощностью 500 кВт создают на расстоянии 30 м от антенн передатчиков электрические поля 630 В/м и магнитные поля напряжённостью 1,2 А/м; радиостанции СВ (300 кГц – 3 МГц) мощностью 50 кВт на расстоянии 30 м создают электрическое поле 275 В/м; радиостанции КВ (3÷30 МГц) мощностью 100 кВт на расстоянии 100 м создают электрическое поле 44 В/м и магнитное поле 0,12 А/м; телепередатчики мощностью 1 МВт создают на расстоянии 1 км электрическое поле 15 В/м. Однако опасность передающих станций зависит не столько от их мощности (хотя и от мощности тоже), сколько от размещения передающих антенн. В январском номере «Американского эпидемиологического журнала» за 1997 г. была опубликована статья о том, что по данным Лондонского института гигиены и тропической медицины в радиусе двух километров вокруг радиотелевизионной станции в Sutton Coldfield (эффективная излучаемая мощность УКВ радиопередатчиков 250 кВт, телепередатчиков – 1000 кВт) обнаружено превышение частоты заболеваемости лейкозами на 80%, при этом заболеваемость снижается по мере удаления от станции. Однако при этом частота заболеваемости лейкозами вокруг других 20 крупных радиотелевизионных станций Великобритании не превышена. ПДУ облучения полями высокой частоты (радиоволнами) в нашей стране в 1000 раз ниже, чем, например, в США. Однако в недалёком прошлом неучитываемым фактором электромагнитного загрязнения в крупных городах нашей страны были многочисленные так называемые «глушилки» – они из-за своей специфики практически круглосуточно излучали ЭМИ большой интенсивности в широком диапазоне радиоволн в направлении наиболее населённых районов.
6. Спутниковая связь. У станций спутниковой связи излучение направлено под большими углами вверх на искусственный спутник Земли в виде узкого луча – меньше одной угловой минуты. Плотность потока ЭМИ станции спутниковой связи мощностью 225 кВт в основном узконаправленном луче на расстоянии 100 м достигает $2,2 \text{ Вт/м}^2$. Существуют и боковые «лепестки» излучения, но их мощность составляет всего несколько процентов от общей мощности.
7. Сотовая связь. Источниками ЭМИ являются базовые станции и мобильные телефоны. Мобильные телефоны – это фактически малогабаритные приёмопередающие радиостанции. Работают они в основном на частотах от 453 до 1880 МГц. Максимальная мощность излучения находится в границах

0,125÷1 Вт, но реально не превышает 0,05÷0,2 Вт, однако опасность вызывают особенности эксплуатации мобильных телефонов – в непосредственной близости к жизненно важным органам, в том числе – головному мозгу, поэтому интенсивность их излучения сопоставима с интенсивностью ЭМИ в стометровой зоне мощных теле- и радиостанций. Неоспоримо, что организм человека чувствителен к излучению сотового телефона, однако биологическое действие сотовых телефонов остаётся до конца не изученным. Противоречивые результаты исследований о влиянии мобильных телефонов на человека наглядно показывают, как мало науке известно о взаимодействии собственного электрического поля человека с полями внешних излучателей, в особенности их воздействию на мозг. Мозг человека – это сложный электрохимический генератор электромагнитных волн. Внешние излучения влияют на собственные импульсы нервных клеток мозга тремя путями: оказывая резонансный эффект; создавая препятствия и помехи; изменяя частоту импульсов. Негативное влияние на здоровье проявляется, когда внешнее излучение близко по частотным характеристикам к частоте естественных импульсов мозга. Электромагнитные импульсы, излучаемые телефоном, способны нарушать биохимический баланс на уровне клеток организма и тем самым влиять на синтез противоракового гормона мелатонина (мелатонин вырабатывается во время глубокого сна при определённом ритме активности головного мозга). Также возможно повышение проницаемости защитного барьера между кровеносной системой и нервной тканью мозга (гематоэнцефалического барьера), что увеличивает риск поступления токсических веществ, потенциально опасных для нервной ткани мозга.

8. Радиолокационные станции (РЛС). РЛС работают на частотах от 500 МГц до 15 ГГц и имеют узконаправленную диаграмму ЭМИ. Метеорологические РЛС создают на удалении 1 км поток ЭМИ около 100 Вт/м^2 . РЛС аэропорта на расстоянии 60 м создаёт поток ЭМИ $0,5 \text{ Вт/м}^2$, а корабельная РЛС в обычном режиме сканирования – 10 Вт/м^2 .
9. Персональные компьютеры. Основным источником неблагоприятного действия ПК являются мониторы старого типа (электроннолучевая трубка), а именно его ЭМИ в диапазоне 20 Гц÷1000 МГц (Табл. 4), статический заряд экрана, УФ излучение, рентгеновское излучение. Под влиянием ЭМИ монитора в организме

пользователя ПК происходят изменения гормонального состояния и специфические изменения биотоков мозга.

Табл. 1. Предельно-допустимые уровни ЭМИ ЛЭП.

Условия облучения	ПДУ, кВ/м
Внутри зданий	0,5
На территории жилой застройки	1,0
На территории вне жилой застройки, на территории огородов и садов, на землях посёлков городского типа, в пригородных зелёных зонах, на курортах	5,0
На участках пересечения воздушных ЛЭП с автомобильными дорогами	10,0
В труднодоступной местности	20,0

Табл. 2. Границы санитарно-защитных зон для ЭМИ ЛЭП.

Напряжение ЛЭП	Размер охранной зоны
330 кВ	20 м
500 кВ	30 м
750 кВ	40 м

Табл. 3. Уровни магнитного поля частотой 50 Гц бытовых электроприборов на расстоянии 0,3 м.

Бытовой электроприбор	B , мкТл
Микроволновая (СВЧ) печь	4,0÷12
Электродрель	2,2÷5,4
Электроплита	0,4÷4,4
Люминесцентная лампа	0,5÷2,5
Электропылесос	0,2÷2,2
Миксер	0,5÷2,2
Телевизор	2,0
Электроутюг	0,4
Стиральная машина	0,3
Электрокофеварка	0,2

Табл. 4. ПДУ ЭМИ на рабочем месте пользователя ПК.

Измеряемый параметр	Частоты 5 Гц÷2 кГц	Частоты 2÷400 кГц
Напряжённость переменного электрического поля, В/м	1,0÷35,0	0,1÷1,1
Индукция переменного магнитного поля, нТл	6,0÷770,0	1,0÷32,0

В реальных условиях интенсивность воздействия (напряжённость) электрических и магнитных полей от разных источников по сравнению с общим фоном будет изменяться следующим образом (от более сильного к более слабому):

- в 10 м от высоковольтной (330 кВ) ЛЭП
- в 30 см от бытовых электроприборов
- в 5 м от силового электрокабеля (380 В)
- в 8 м от бытовых электроприборов
- общий электромагнитный фон

Это значит, что воздействие будет более сильным в случае, если Вы будете стоять в 10 м от высоковольтной ЛЭП, чем перед микроволновой печью, однако облучение от нее сильнее, чем от силового кабеля.

Резюмируя изложенное, подчеркнём основные моменты:

1. Организмы различных видов – от одноклеточных до человека - чувствительны не только к высокоинтенсивным, но и к низкоинтенсивным (включая нетепловые) ЭМП различных частот (начиная с постоянных электрических и магнитных полей).
2. Биосфера Земли подвержена воздействию космических факторов, среди которых одно из основных место занимает солнечная активность, то есть естественный электромагнитный фон подвержен периодическим изменениям, влияющим на биосферу.
3. Биосфера подвержена антропогенной деятельности человека, приводящей к изменениям естественного электромагнитного фона, что не может не сказываться на экологической обстановке.

Чтобы современная бытовая техника и компьютеры не нанесли вреда здоровью, необходимо соблюдать следующие правила:

1. Не располагайте телевизор ближе 2 м от спального места.

2. Уберите все электромеханические устройства подальше от кровати. Так, например, если вы используете электронный будильник – поменяйте его на обычный механический.
3. Включайте электрогриль и микроволновую печь на кухне, когда семья ещё не собралась за столом, и не стойте от неё на расстоянии ближе, чем 1 м.
4. Если Вам часто приходится работать с компьютером с монитором старого типа, то старайтесь отодвигать монитор подальше, хотя бы на расстояние вытянутой руки. Также старайтесь не сидеть ближе 1 м от задней или боковой стенки монитора – там излучение особенно сильное.
5. Работайте на компьютере не более 6 часов в сутки (по 1 часу с 10-минутными перерывами).
6. Беременные и кормящие женщины не должны работать на компьютере.
7. Не ставьте компьютеры на близком расстоянии друг от друга.
8. Отодвиньте компьютер от кровати, на которой Вы спите, и от стены, за которой находится спальня или кухня.
9. Смотрите телевизор, старайтесь сидеть от него как можно дальше.
10. Разговаривайте по сотовому телефону не более 10 минут в сутки.
11. Перестаньте пользоваться электрическими грелками, одеялами и другими нагревательными приборами или выключайте их, когда находитесь в помещении.

Литература:

1. Беркинблит М.Б., Глаголева Е.Г. Электричество в живых организмах. – М.: Наука, 1988.
2. Бинги В.Н. Магнитобиология: эксперименты и модели. – М: Милта, 2002. –592 с.
3. Биогенный магнетит и магниторецепция. Новое о биомагнетизме, в 2-х томах, пер. с англ. Ред. Дж. Киршвинк, Р. Джонс, Б. Фадден. – М.: Мир, 1989.
4. Виноградова Е.С., Живлюк Ю.Н. Микрокосм человека. – М., 1998.
5. Влияние магнитных полей на биологические объекты. / Сб. статей. – М., 1971.
6. Волькенштейн М.В. Биофизика, 2-е изд. – М.: Наука, 1984.
7. Горелик Г.С. Колебания и волны, 2 изд. – М., 1959.
8. Григорьев Ю.Г., Хейфец Л.И., Степанов В.С., Банерджи Дж.Л., Васин А.Л., Григорьев О.А., Гимранов Р.Ф., Меркулов А.В., Никитина В.Н., Петухов В.С., Труханов К.А., Харламов Г.А., Хестер Дж.Л., Чекмарев О.М., Шафиркин А.В. Электромагнитные поля и здоровье человека. – М.: Изд-во РУДН, 2002. – 177 с.

9. *Григорьев Ю.Г., Шафиркин А.В., Васин А.Л.* Биоэффекты хронического воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона малых интенсивностей (стратегия нормирования) // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2003. – № 5.
10. *Грин Н., Стаут У., Тейлор Д.* Биология, в 3-х томах, пер. с англ. – М.: Мир, 1993.
11. *Гурвич А.Г.* Избранные труды. – М.: Медицина, 1977.
12. *Гурвич А.Г.* Понятие «целого» в свете теории биологического поля. / В Сб. работ по митогенезу и теории биологического поля. – М.: Изд-во АМН СССР, 1947.
13. *Гурвич А.Г.* Теория биологического поля. – М.: Сов. наука, 1944.
14. *Дубров А.П.* Геомагнитное поле и жизнь. – Л.: Гидрометеиздат, 1974.
15. *Егорова Е.М.* // Биологические мембраны. – 1992. – Т. 9, № 6.
16. *Егорова Е.М.* Электромагнитные поля и жизнь // Дельфис. – 1999. – № 4(20).
17. *Казначеев В.П., Михайлова Л.П.* Сверхслабые излучения в межклеточных взаимодействиях. – Новосибирск: Наука, 1981.
18. *Крауфорд Ф.* Волны, пер. с англ., 3 изд. – М., 1984.
19. *Кузин А.М.* Вторичные биогенные излучения – лучи жизни. – Пущино, 1997.
20. *Кузин А.М.* Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы. – М.: Атомиздат, 1977.
21. *Кузнецов А.Н.* Биофизика низкочастотных электромагнитных воздействий. – М.: МФТИ, 1994.
22. *Кузнецов А.Н.* Биофизика электромагнитных воздействий. – М.: Энергоатомиздат, 1994.
23. *Павлов А.Н.* Воздействие электромагнитных излучений на жизнедеятельность. – М., 2002.
24. *Парселл Э.* Электричество и магнетизм, пер. с англ., 3 изд. – М., 1983.
25. *Пресман А.С.* Идеи В.И. Вернадского в современной биологии. – М., Знание, 1976.
26. *Пресман А.С.* Электромагнитные поля в биосфере. Сер. Новое в жизни, науки и технике. – М.: Знание, 1971. – 64 с.
27. *Пресман А.С.* Электромагнитные поля и живая природа. – М.: Наука, 1968.
28. *Пудовкин М.И., Распопов О.М., Клеймёнова Н.Т.* Возмущения электромагнитного поля Земли. – Л.: ЛГУ, 1976. – 247 с.
29. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты. – М.: МЗ СССР, 1984.

30. *Холодов Ю.А.* Человек в магнитной паутине. – М., 1972.
31. *Чижевский А.Л.* Земное эхо солнечных бурь. – М.: Мысль, 1976.
32. *Чижевский А.Л.* Эпидемические катастрофы и периодическая деятельность Солнца. – М.: Изд-во Всероссийского общества врачей-гомеопатов, 1930. – С. 23.
33. *Чудновский В.М., Леонова Г.Н., Скопинов С.А., Дроздов А.Л., Юсупов В.Н.* Биологические модели и физические механизмы лазерной терапии. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 157 с. ISBN 5-8044-0245-5.
34. Электромагнитная угроза здоровью: мифы и реальность. Сборник научно-популярных статей. – М., 2003. – 53 с.
35. Электромагнитные поля в биосфере, в 2-х томах. Ред. Н.В. Красногорская. – М.: Наука, 1984.
36. Электромагнитные поля и население (современное состояние проблемы). Под общей редакцией профессора Ю.Г. Григорьева и А.Л. Васина. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 116 с.
37. Электромагнитные поля и наше здоровье // Наука и жизнь. – 1998. – № 4. – С. 7-9.
38. *Яновский Б.М.* Земной магнетизм. – ЛГУ, 1964.
39. *Dekker Marieel, et al.* Modern Bioelectricity. Ed. A.A. Marino. – N.Y., Basel, 1988.
40. *Luckey T.D.* Gormesis with ionizing radiation. – Boca Raton, CRC Press, 1980.
41. *Popp F.-A.* Evolution as the expansion of coherent states. / In: Current development of biophysics. Hangzou University Press, 1996.
42. Recent Advances in Biophoton Research and its Application. (Eds. F.-A. Popp, K.H. Li and Q. Gu). London: World Scientific, 1992.

Биосфера и физические факторы / Biosphere and physical factors

1. *Холмогоров В.Е., Бармасов А.В.* Биосфера и физические факторы. Электромагнитные поля и жизнь / В кн.: Проблемы теоретической и прикладной экологии. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2005. – 267 с. – С. 27-47. ISBN 5-86813-154-1.
2. *Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю.* Биосфера и физические факторы. Световое загрязнение окружающей среды // Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2014. – Вып. 33. – С. 84-101. / *Barmasov, A.V.; Barmasova, A.M.; Yakovleva, T.Yu.* The biosphere and the physical factors. Light pollution of the environment // Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. – 2014. – No. 33. – P. 84-101.
3. *Яковлева Т.Ю., Бармасова А.М., Бармасов А.В.* Биосфера и физические факторы. Возможные опасности широкого применения белых светодиодов / В кн.: Мировая наука и образование в условиях современного общества: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 октября 2014 г.: в 4 частях. Часть III. – М.: ООО «АР-Консалт», 2014. – С. 42-50. ISBN 978-5-9905930-4-6.
4. *Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю.* Биосфера и физические факторы. Геомагнитное поле // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2015. – № 3-4. – С. 127-131.