

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕ-СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА ИМЕНИ МИРЗО УЛУГБЕКА

На правах рукописи

УДК 577.35:75.033

КАНОКОВА ШАХНОЗА ЗАКИРОВНА

**«БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ
НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ».**

По специальности 5А 140205

«Физика атомного ядра и элементарных частиц»

ДИССЕРТАЦИЯ

Для получения академической степени магистра

Научный руководитель :
доцент кафедры

«Ядерной и теоретической физики»

_____ Полвонов С.Р.

Ташкент

2013

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3-6
ГЛАВА I . СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ	
1.1 Основные аспекты биологического действия слабых и сверхслабых магнитных полей	7-11
1.2 Классификация моделей биологического влияния неионизирующего излучения.....	11-15
1.3 «Проблема kT ».....	15-18
ГЛАВА II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ НЕИОНЕЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ	
2.1 Основные источники ЭМП в окружающей среде. Характеристика и частотно- амплитудные диапазоны ЭМП.....	19-23
2.2 Биологические эффекты естественных магнитных полей.....	23-28
2.3 Биологические эффекты искусственных (техногенных)ЭМП.....	29-32
ГЛАВА III. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ	
3.1 Механизмы биологического влияния неионизирующих излучений	32-45
3.2 Влияние слабого постоянного магнитного поля на флуктуации ионного тока в крови.....	45-52
3.3 Расчёт величины напряженности магнитной индукции B для различных сосудов в организме человека.....	52-61
Заключение.....	61-62
Список литературы	

Введение

Актуальность работы. Ранее считалось, что слабые низкочастотные магнитные поля и поля нетепловой интенсивности безопасны для человека. С точки зрения физики, биологическое воздействие таких полей казалось невозможным. Однако слабые электромагнитные поля (ЭМП) являются экологически значимым фактором внешней среды, безусловно влияющим на многие биологические процессы. Живые организмы на планете постоянно находятся под воздействием повсеместно присутствующих естественного геомагнитного и искусственных слабых магнитных полей (МП). Частотно-амплитудный диапазон этих полей широк, велико разнообразие вызываемых ими биологических эффектов. Экспериментальный массив данных о биологической активности слабых электромагнитных полей в настоящее время огромен, эти данные показывают, что действия магнитных полей на живые организмы и растения являются одинаковыми [1-2]. Согласно экспериментальным данным, ультранизкочастотные (от 0.01 Гц до нескольких десятков герц) магнитные поля с амплитудами микротеслового и нанотеслового диапазонов способны изменять ферментативную активность клеток крови человека и время ее свертывания, скорость роста раковых клеток [3-7]. Также получены достаточно убедительные доказательства того, что поля с амплитудами в области микротеслового, нанотеслового и даже пикотеслового диапазонов индуцируют достоверные эффекты в биологических системах.

В работах [8-16] впервые было ясно показано, что эффекты действия слабых комбинированных постоянного и переменного низкочастотного магнитного поля наблюдаются, преимущественно, при определенных частотах переменной компоненты поля, соответствующих циклотронным частотам ряда ионов, прежде всего *Ca*, *K* и *Mg*. Поэтому

эта проблема касается не только экологической и медико-биологической значимости природных электромагнитных полей, но и в большей степени электромагнитных излучений техногенного происхождения в широком диапазоне частот.

В то же время, до сих пор отсутствует теория и общие физические концепции воздействия слабых и сверхслабых магнитных полей, нет даже предсказательных теоретических моделей объясняющие механизмы взаимодействий полей с биологическими объектами. С точки зрения физики, это связано со сложностью макроскопических открытых систем в физике, биологии, химии. Их сложность обусловлена тем, что, будучи макроскопическими, они состоят из многих объектов, принимаемых за элементы строения. Еще одну трудность объяснения этих эффектов обычно связывают с тем, что квант электромагнитного поля низкой частоты существенно меньше характерной энергии химических превращений порядка kT . Распространено мнение, что этот факт указывает на парадокс или даже служит доказательством невозможности магнитобиологических эффектов. Данный тезис получил в литературе специальное название «проблема kT » [6].

В связи с отсутствием общепринятого воззрения на механизмы взаимодействия слабого и сверхслабого внешнего поля биологическими системами и, особенно с "проблемой kT ", в работах [17-18] была предложена упрощенная модель воздействия слабого внешнего магнитного и электрического поля на флуктуацию стохастического ионного тока в крови.

Целью данной диссертационной работы является теоретическое изучение влияния слабого и сверхслабого постоянного магнитных полей на процессы, происходящие в биологических системах на уровне молекулярной и атомной структуры вещества. В данной магистерской

диссертационной работе в рамках модели [17-18] вычислены критические значения индукции внешних магнитных полей для различных кровеносных сосудов человеческого организма, воздействия которых приводит к биологическим эффектам. Так же приведены численные оценки средней кинетической энергии молекул в объеме капилляра вблизи критического значения внешнего магнитного поля.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы статистической физики неравновесных процессов. Предложенные в ней современные расчетные методы, позволяют вполне адекватно анализировать физические явления, возникающие при исследовании биологического влияния неионизирующих излучений, применение стохастических уравнений для решения влияния слабых магнитных полей на биологические процессы.

Научная новизна исследования. В работе получены численные величины критического значения внешних магнитных полей, приводящие к биологическим изменениям в человеческом организме, и в некоторых случаях, являющиеся опасными для здоровья. Теоретически обоснована связь между экспериментально наблюдаемыми процессами и параметрами внешнего поля. Найдены оптимальные параметры ЭМП, приводящие к резкому увеличению флуктуации ионного тока в кровеносных сосудах.

Практическая значимость результатов. Полученные результаты могут применяться в следующих целях:

1. Оценка принципиальной возможности воздействия слабых постоянных МП на биологические системы.

2. Создание принципиально новых методов и аппаратуры магнитотерапии для профилактики и лечения некоторых заболеваний, в том числе онкологических.

3.Выявление основных закономерностей взаимодействия электромагнитного поля техногенного происхождения с биологическими системами и окружающей средой.

4.Разработка надежных средств защиты от негативного влияния НЧ ЭМП на экосистемы.

Апробация работы. Изложенные в диссертационной работе основные результаты докладывались и обсуждались на следующих Конференциях: на III Республиканской научной конференции молодых физиков Узбекистана «Ядерная физика и ядерные технологии» ИЯФ , Ташкент 2010г.; Узбекистон инновацион таракйёти ёшлар нигохида, УзМУ Конференцияси 2010 й; 8я Международная Конференция «Ядерная и радиационная физика» Алмата, Казахстан 2011г; Международная Конференция «Актуальные проблемы физической электроники» Ташкент, 2012г; «Физика фанининг ривожиди иктидорли ёшларнинг ўрни» Республика илмий амалий конференцияси, Тошкент 2013 йил.

Опубликованность результатов. По материалам диссертации было подготовлено 6 научных докладов для участия в Международных Конференциях и опубликовано 2 статьи в научных журналах.

Личный вклад диссертанта: выполнила все основные аналитические расчеты, проанализировал полученные результаты и представил их на конференциях и семинарах.

ГЛАВА I . СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

1.1 ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ СЛАБЫХ И СВЕРХСЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ (МП).

Современный человек живет в условиях постоянного воздействия природных, техногенных, экологических, социальных и других факторов окружающей среды, влияющих на его безопасность жизнедеятельности и здоровье. В данной главе сделан литературный обзор существующих гипотез и моделей биологической рецепции слабых МП. К настоящему времени влиянию естественных электромагнитных полей на человека посвящены уже тысячи публикаций. Экспериментальные и эпидемиологические данные, а также теоретические доводы говорят о том, что скорее магнитная, а не электрическая составляющая электромагнитных окружающих полей имеет отношение к биоэффектам, так как магнитное поле может свободно проникать в ткани [19-21]. Поэтому большинство из публикаций касается исследований биологических действий слабых магнитных полей естественного и техногенного происхождения. По мере исследований данной области накоплен огромный экспериментальный материал, свидетельствующий о высокой чувствительности живых систем к их воздействию. Однако, ответ на вопрос, каким образом слабое (порядка 1 Гс и меньше) низкочастотные МП вызывает биологический отклик, не может быть дан в простой форме.

Специалисты разных областей науки отвечают на вопрос по-разному. Медики выделяют в организме органы и общие физиологические процессы, чувствительные к МП. Биологи пытаются найти клеточные и субклеточные структуры, формирующие биологические сигналы в ответ на действие поля. Биохимики ищут мишени – звенья биохимических реакций, скорость которых могла бы зависеть от параметров МП. В рамках физики делаются попытки выделить магниточувствительные

процессы взаимодействия МП с относительно простыми молекулярными структурами. Именно на этом уровне возникают сложность биофизических процессов с биотропными параметрами магнитного поля.

Существенный прогресс в понимании процессов, лежащих в основе механизмов биологического действия слабых МП, а также в принципах формирования биологически активных полей, произошел в середине 80х годов и был связан, прежде всего, с работами А. Либова с соавторами (1985-1996). В этих работах впервые было ясно показано, что эффекты действия слабых комбинированных постоянного и переменного низкочастотного МП наблюдаются преимущественно при определенных, теоретически предсказуемых значениях частот переменной компоненты поля, соответствующих, по крайней мере формально, циклотронным частотам ряда ионов, прежде всего Ca^{2+} , K^+ и Mg^{2+} . Один из основных эффектов действия слабого поля, зарегистрированный этими авторами, заключался в том, что воздействие низкочастотного (порядка десятков Гц) переменного МП на фоне слабого постоянного поля, сравнимого по величине с геомагнитным полем (десятки мкТл), проявляло себя в изменении концентрации ионов Ca во вне- и внутриклеточных средах. Однако экспериментальные результаты, полученные в лабораториях А. Либоффа и его последователей, и, как следствие, разработанные на их основе теоретические модели, касались в основном действия относительно больших переменных компонент МП (десятки мкТл), в реальных условиях окружающей среды встречающихся крайне редко. Биологические эффекты и механизмы действия слабых геомагнитных (магнитные бури) и техногенных (магнитные помехи высоковольтных линий передач и транспорта) возмущений амплитудой от единиц нТл до мкТл, преимущественно присутствующие в окружающей среде, в

теоретических и экспериментальных работах этого направления практически не рассматривались. Помимо фундаментального значения решение этих вопросов имеет большое прикладное значение, в особенности для научного обоснования санитарных норм, связанных с проблемой электромагнитной безопасности населения и использования МП в медицине.

По некоторым данным [22,23] от 1,5 до 2% населения имеют повышенную чувствительность к электромагнитному полю, которая в англоязычной литературе описывается как EHS (syndrome of hypersensitivity to electricity — синдром гиперчувствительности к электричеству или СГЭ). СГЭ является одним из эффектов биологического влияния неионизирующего излучения и проявляется в головной боли, головокружении, беспокойном сне или сыпи на коже. В настоящее время пытаются определить объективные критерии гиперчувствительности человека к ЭМП [24,25]. Симптоматика проявлений СГЭ показывает, что наиболее восприимчивой к воздействию ЭМП является нервная система человека [26,27]. Кроме факторов неэлектромагнитной природы, возникновение магнитобиологических эффектов зависит от параметров ЭМП: частоты и амплитуды, постоянных магнитных [28] и электрических полей, а также их ориентации [29]. Наличие такого рода эффектов дает основание полагать, что, по крайней мере часть наблюдаемых биологических эффектов слабых ЭМП обусловлена действием ЭМП на мишени атомно-молекулярного масштаба.

Длительное воздействие слабых магнитных полей на человека приводит к снижению его работоспособности негативному действию на его здоровье. Такие поля являются биологически активным фактором, вызывающим ряд изменений на физиологическом биохимическом и морфологическом уровнях.

В последнее десятилетие также было выполнено много исследований, касающихся возможной опасности для здоровья естественных возмущений магнитного поля Земли, обусловленных солнечной активностью. Эти геомагнитные вариации лежат, в основном, ниже 10 Гц, т.е. в УНЧ диапазоне. Так как нервные структуры должны были постоянно взаимодействовать с этими полями в процессе эволюции, следует ожидать особой чувствительности живых систем к естественному геомагнитному полю. Ряд исследований показал, что есть значимая корреляция между количеством клинически важных патологий и большими геомагнитными возмущениями, так называемыми геомагнитными бурями. В основном были рассмотрены действия слабых электромагнитных полей на нервную и сердечно-сосудистую систему [30-32].

В развитии указанных обзорных работ можно было выделить группы физических процессов или идей [33], предположительно лежащих в основе магниторецепции, разделив их по типам описания (феноменологическому, макроскопическому и микроскопическому). Феноменологическое описание не затрагивает природу явления, предлагая лишь математические средства для описания внешних проявлений объекта. Наоборот, макроскопическое и микроскопическое описания выявляют физическую сущность объекта, устанавливают границы применимости конкретных феноменологических моделей.

Имеется особая группа теоретических работ, суть которых можно показать следующими соображениями общего порядка. Тезис, что А как физическое явление существует, сравнительно легко доказать. Достаточно подтвердить экспериментальное его наличие при каких-то определенных условиях из ряда допустимых. В то же время тезис, что А как физическое явление не существует, доказать гораздо труднее. Для этого необходимо подтвердить справедливость данного тезиса при всех

допустимых условиях. Часто перебрать допустимые условия даже мысленно невозможно. Именно так обстоит дело с явлением биологических влияний слабых МП. Его подтверждение – вопрос научной практической деятельности. В рамках концепции позитивизма тезис о том, что биологические эффекты воздействий слабых МП не существуют, фальсифицирован всей совокупностью экспериментальных данных. Тем не менее происходят попытки опровержения данных эффектов. В частности, в работе [34] (поддержанной одной из лабораторий MOTOROLA) утверждается, что отсутствие какого-либо иного механизма накопления энергии, отличного от дебаевского и джоулевского нагрева, нетепловые биологические эффекты при нетепловых уровнях мощности в диапазоне 0.3-3 ГГц (сотовая связь) маловероятны. Согласно авторам этой работы, накопление энергии, в частности, ее аккумуляция выше порога кТ на одной химической связи, является необходимой предпосылкой появления биологических эффектов. Далее авторы рассматривают несколько гипотетических процессов накопления энергии и заключают, что последние не могут быть обоснованы существованием нетепловых биологических эффектов ЭМП УВЧ диапазона. При этом они упускают из поля зрения нетепловой интерференционный механизм, уже описанный в ряде профильных журналов. Интерференционный механизм не требует накопления энергии для появления заметного биологического отклика.

1.2 КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ БИОЛОГИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ НЕИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Условно модели механизмов можно разделить на три основные группы:

Феноменологические модели: сложное поведение решений уравнений типа уравнений химической кинетики, стохастический резонанс как усилительный механизм в магнитобиологии и другие случайные

процессы, магниточувствительные фазовые переходы в биофизических системах, рассматриваемых как жидкие кристаллы[35] или упорядоченные мембранные белки [36]

Макроскопические модели: биомангнетит в магнитном поле и ферромагнитное загрязнение, джоулево тепло и вихревые электрические токи, индуцируемые переменными МП, сверхпроводимость на уровне клеточных структур, магнитогидродинамика.

Микроскопические модели : движение заряженных частиц и частиц со спином в МП, в том числе эффекты резонансные, осцилляторные , интерференционные, коллективные возбуждения многочастичных систем.

Краткое описание моделей магнито-биологических эффектов (МБЭ)

Приведем краткое описание часто обсуждаемых механизмов магниторецепции, которые могли бы служить основой МБЭ.

Одна из исторически первых идей связана с так называемым биогенным магнетитом в магнитном поле. В теле некоторых животных и микроорганизмов естественным путем образуются микроскопические кристаллы, способные намагничиваться. Во внешнем МП такие кристаллы испытывают вращательный момент и оказывают давление на близлежащие ткани, что вызывает биологическую реакцию. Этот механизм действительно имеет место. Кристаллы магнетита обнаружены в некоторых насекомых , бактериях, а также в мозге некоторых птиц, которые, как известно, обладают ярко выраженной способностью к ориентации в геомагнитном поле.

Объяснение биологического действия низкочастотных МП на клетки с учетом ферромагнитного загрязнения [37] развивает идеи биогенного магнетита. Загрязняющие магнитные частицы присутствуют не только в

пыли воздуха, но и входят в состав пластмасс и стекол, в лабораторные химические препараты и воду. Средний размер таких частиц около 10-5 см, состоят из ферро- и ферромагнитных веществ, т.е. обладают спонтанной намагниченностью. Было показано, что обычные лабораторные процессы по переливанию и полосканию приводят к обогащению клеточных культур магнитными частицами, причем их количество может в десятки раз превышать число клеток. Энергия магнитной частицы превышает энергию kT приблизительно на три порядка. Такая частица, будучи адсорбирована на клеточной поверхности, может передавать свою энергию близлежащим клеточным структурам, например механически активируемым ионным каналам. Тем не менее, данный механизм не решает основную проблему магнитобиологических эффектов. Ведь одноклеточные организмы, в которых магнетит отсутствует, также способны реагировать на магнитное поле.

Многократно проверяли гипотезу о том, что действующим фактором при облучении биологических систем низкочастотным МП являются вихревые электрические токи, индуцируемые переменным МП в биологических тканях. Они могут привести к нагреву ткани или конкурировать с естественными электрическими токами. Полк [38] показал, что вихревые токи также могут вызвать электрохимические эффекты за счет перераспределения зарядов. Величина тока в целом следует напряженности индуцированного электрического поля, которая пропорциональна произведению амплитуды и частоты МП. Если гипотеза верна, то МБЭ в эксперименте должен был коррелировать с изменениями этой величины. Действительно, имеются экспериментальные свидетельства, что с ростом напряженности переменного магнитного поля такая корреляция происходит. Однако

корреляций в случае относительно слабых МП (порядка геомагнитного) обнаружено не было [10,39-43]

Часто говорят об информационном характере действия слабых физико-химических факторов на биологические системы. При этом имеют в виду, что биосистема находится в состоянии , близком к режиму неустойчивого динамического равновесия. Поэтому надо лишь подтолкнуть систему, и она перейдет в другое состояние за счет внутренних ресурсов. Другими словами , произойдет лишь так называемое биологическое усиление слабого сигнала МП.

Важным остается вопрос, почему тепловые флуктуации, масштаб энергии которых на десять порядков превосходит квант энергии магнитного поля, не разрушают влияние крайне слабых магнитных полей на биологические системы? Решение связывают с идеей когерентного воздействия внешнего фактора на фоне некогерентного теплового шума. Тогда можно раскачать какой-либо высокочастотный осциллятор (временная когерентность) до состояния , в котором его энергии будет достаточно для инициирующего толчка, либо раскачать синхронно систему осцилляторов (пространственная когерентность) так, что высвободится квант энергии коллективного возбуждения [44,45]. Другая версия состоит в том, что не энергия, а другие параметры осциллятора (поляризация колебаний) приобретают под действием МП свойства, небезразличные для работы связанных с ним биофизических систем. Например, М.Н.Жадин и Е.Е.Фесенко[46] и Эдмонс[47] обсуждали применение теоремы Лармора к иону, связанному в микрополости калмодулина. Центральной идеей было то, что направление осцилляций ионов оказывает решающее влияние на форму белка, что в свою очередь вызывает изменение ферментной активности.

Еще одна идея преодоления теплового фактора апеллирует к так называемому явлению стохастического резонанса . Явление состоит в усилении малого сигнала на фоне шума за счет перераспределения энергии в спектре аддитивной смеси сигнала и шума. Принципиально то, что наличие шума не помеха , а полезное свойство системы. В условиях стохастического резонанса относительно слабые биологические сигналы могут приводить к существенным изменениям в поведении динамической системы на фоне действия разнообразных , относительно сильных возмущающих факторов.

В ряде случаев эффекты слабых МП имеют резонансный характер , причем эффективные частоты близки к циклотронным частотам ионов Ca^{2+} , Na^{+} и др. Как указывалось выше, А. Либофф предположил, что циклотронный резонанс лежит в основе наблюдаемых явлений [8-16] . Вместе с этими экспериментами была показана существенная роль ионов (особенно Ca^{2+}) в изучении влияния слабых магнитных полей на биологические объекты. Важно отметить, что совпадение эффективных частот с циклотронными частотами не является убедительным аргументом в пользу идеи циклотронного резонанса в биологии. Например, любая из теоретических моделей МБЭ, основанная на динамике электрических зарядов , будет оперировать характерными частотами:

$$\Omega_c = qH / (Mc),$$

где q и M – заряд и масса частицы, H – напряженность магнитного поля, c – скорость света. Другой комбинации параметров заряда и МП с размерностью частоты не существует.

1.3 «ПРОБЛЕМА kT »

Природа биологических эффектов слабых электромагнитных полей остается неясной, не смотря на большой объем фактического материала.

На сегодня нет приемлемого с точки зрения физики понимания того, как слабые низкочастотные МП вызывают реакцию живых систем. Парадоксально, что такие поля способны менять скорость биохимических реакций, причем по типу резонанса. Физическая природа этого явления неясна, и это составляет одну из самых важных, если не основную проблему воздействия слабых МП на биологические организмы. [48,49]

Отдельный акт химического превращения молекул требует инициирующего импульса с энергией порядка kT , т.е. теплового масштаба. Как тогда квант энергии низкочастотного МП, энергия которого на десять порядков меньше, может повлиять на этот процесс? Другая форма этого вопроса связана с тем, что акт химического превращения с характерной энергией kT локализован в микроскопическом объеме. Такая же, порядка kT , энергия слабого МП H (например, геомагнитного) содержится в объеме V , на 12 порядков большем (соответствует объему биологической клетки). Это легко найти из формулы для плотности энергии МП

$$kT \sim \frac{1}{8\pi} \int H^2 dV$$

Как же собрать энергию по макроскопическому объему и передать ее на микроуровень? По широко распространенному мнению, эти вопросы как бы закрывают проблему, указывая на то что слабые МП не могут оказывать влияние на биологические системы. В то же время существуют и контраргументы к такой точке зрения.

Во-первых, известны нетермически активируемые реакции, например, ферментные

Во-вторых, само понятие кванта электромагнитного поля (ЭМП) в низкочастотном диапазоне имеет ограниченный смысл. При данной

интенсивности МП адекватное физическое описание ЭМП дают уравнения Максвелла классической электродинамики.

В третьих, к живым системам не применимы понятия равновесной термодинамики, в частности тепловой масштаб kT . В термодинамической равновесной системе энергия kT есть средняя энергия теплового движения на одну динамическую переменную, или на одну степень свободы. В неравновесной системе в общем случае отсутствуют объекты, которые могли бы быть охарактеризованы энергией kT . с одной стороны термодинамический фактор надо учитывать. С другой стороны, ясно, что мы имеем дело с промежуточной областью, где законы механики и принципы термодинамики теряют свою конструктивность, т.е. способность описывать явления и предсказывать их.

В- четвертых, две формы вышеприведенного вопроса, сопоставляющие энергии kT в одном случае квант поля, а в другом – плотность энергии поля, выделяют отдельные аспекты (в первом случае – частотный, во втором - мощностной) единой целостной сущности ЭМП. Это указывает на логическую неполноценность вопроса.

Дискутируемый вопрос содержит в себе на самом деле два равно парадоксальных вопроса, а проблема биологического действия низкочастотных МП имеет два видимый аспекта:

- 1)каков механизм преобразования сигнала слабого низкочастотного МП, приводящий к изменениям на уровне биохимического процесса kT ?
- 2)каков механизм устойчивости, т.е.как столь малые воздействия не теряются на фоне тепловых возмущений среды с масштабом kT ?

Второй вопрос конструктивен, если известен или предположен механизм преобразования. Ответ только на первый вопрос, о механизме

преобразования, не решает проблему, хотя и является неотъемлемой частью решения. Предполагается, что для биологических систем действия таких полей лежат ниже порога включения защитных биологических механизмов и способны накапливаться на субклеточном уровне - уровне генетических процессов. При этом делаются предположения об информационном характере действия слабых физико-химических факторов на биологические системы, полагая, что такие системы находятся в состоянии весьма далеком от равновесия, и достаточно слабого воздействия, чтобы система прошла точку бифуркации, реализовав биологическое усиление слабого сигнала магнитного поля. Вопрос о том, почему тепловые флуктуации, величина которых на десять порядков превосходит квант энергии магнитного поля, не разрушают магнитобиологический эффект, связывают с идеей когерентного воздействия внешнего фактора на фоне некогерентного теплового шума. Тогда за счет пространственной когерентности можно раскачать систему осцилляторов и высвободить квант энергии коллективного возбуждения, хотя и по этому поводу существуют различные воззрения. При этом надо также иметь в виду, что само понятие " kT " происходит из статистической физики и имеет смысл только для систем в состоянии, близком к равновесному. В системах, далеких от равновесия квант поля вызывает большое относительное изменение энергии некоторых степеней свободы и это характерно именно для биологических систем

В то же время решить проблему, не прибегая к ее анализу, т.е. не решая ее по частям, не удастся. Пока отсутствуют модели, т.е. системы уравнений, учитывающие магнитный и тепловой факторы вместе и обладающие при этом решениями, адекватными опыту.

ГЛАВА II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ НЕИОНЕЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

2.1 ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭМП

В окружающей среде постоянно присутствуют электромагнитные поля естественного и искусственного происхождения. Основными естественными электромагнитными полями являются атмосферное электричество, постоянное магнитное поле Земли и геомагнитные вариации, возникающие при взаимодействии земного магнитного поля с межпланетной средой. В течение нескольких последних лет уровень интенсивности электромагнитного окружения возрос: технические устройства, генерирующие электромагнитные поля, широко используются на заводах, в транспортных системах, в учреждениях, в домах и т.д. Это новая ситуация часто определяется как «электромагнитное загрязнение».

Хотя электромагнитный спектр занимает область от 0 до 10^{20} Гц, основные составляющие электромагнитного загрязнения лежат в крайне низкочастотном (КНЧ: 10-300 Гц) и особенно в ультранизкочастотном (УНЧ: 0-10 Гц) диапазоне. Интенсивность магнитных полей с частотами менее 300 Гц, типичными для нашего окружения, обычно ниже или такого же порядка, что и интенсивность земного постоянного магнитного поля ≈ 50 мкТл и они рассматриваются как «слабые».

Магнитные поля в окружающей среде генерируются электрическими токами. Интенсивность этих полей зависит от геометрии электрических цепей, силы тока в проводниках и от расстояния наблюдателя до электрической цепи. В простейших случаях, когда имеется один протяженный линейный проводник с током, два параллельных проводника или проводник в виде петли, магнитное поле B пропорционально $1/r^n$, где n равно соответственно 1, 2 или 3 для трех вышеупомянутых случаев. В действительности, когда имеется больше, чем один проводник с током и электрическая цепь имеет сложную

конфигурацию, то существует разной степени ослабление или усиление токов $[B = \sum(1/r^n)]$. [1]

Естественные магнитные поля.

Естественные магнитные поля – это постоянное магнитное поле Земли и геомагнитные вариации, возникающие при взаимодействии межпланетной среды с магнитным полем Земли. Постоянное магнитное поле генерируется токами, текущими на глубинах гораздо ниже земной коры. Величина геомагнитного поля меняется по земной поверхности от 35 мкТл на экваторе до 65 мкТл вблизи полюса. Солнечная активность и связанные с ней возмущения межпланетной среды генерируют имеющиеся во времени магнитные поля общепланетарного масштаба, главным образом, в УНЧ диапазоне. Пульсации геомагнитного поля в частотной области 0,001-10 Гц часто наблюдаются по всему земному шару с амплитудами 0,1-100нТл. Пульсации могут быть регулярными и нерегулярными.

Плазма солнечного ветра, постоянно обтекающая Землю, создает вокруг Земли область, ограничивающую геомагнитное поле. Эту область, содержащую плазму и земное магнитное поле, называют магнитосферой. Приход на Землю высокоскоростного потока солнечной плазмы, генерируемого нестационарными процессами на Солнце, и связанной с ним ударной волны вызывает геомагнитные бури. Взаимодействие межпланетных возмущений с магнитосферой приводит к пересоединению межпланетного магнитного поля с геомагнитным и к изменениям размеров магнитосферы, которые зависят от величины потока солнечной плазмы. Это позволяет проникнуть в магнитосферу новым частицам или ускорить заряженные частицы плазмы до энергий в несколько килоэлектронвольт. Так формируются сложные системы токов в магнитосфере и ионосфере. Во время больших геомагнитных бурь в течение 1-2 дней могут наблюдаться сильные флуктуации,

амплитуды флуктуации поля составляют 200-300 нТл на низких широтах и достигают выше 1000 нТл на высоких широтах. Нормальные суточные вариации магнитного поля Земли, например, в средних геомагнитных широтах, при этом не превышают 50...80 нТл. [50]



Техногенные магнитные поля

Сильные техногенные магнитные поля на частоте 50 Гц (60 Гц в США) можно обнаружить в непосредственной близости от домашней бытовой электротехники.

Бытовые электроприборы

Все бытовые приборы, работающие с использованием электрического тока, являются источниками электромагнитных полей.

Наиболее мощными следует признать СВЧ-печи, аэрогрили, холодильники с системой “без инея”, кухонные вытяжки, электроплиты, телевизоры. Реально создаваемое ЭМП в зависимости от конкретной модели и режима работы может сильно различаться среди оборудования одного типа. Все ниже приведенные данные относятся к магнитному полю промышленной частоты 50 Гц.

Значения магнитного поля тесно связаны с мощностью прибора - чем она выше, тем выше магнитное поле при его работе. Значения электрического поля промышленной частоты практически всех электробытовых приборов не превышают нескольких десятков В/м на расстоянии 0,5 м.

В таблице 1. представлены данные о расстоянии, на котором фиксируется магнитное поле промышленной частоты (50 Гц) величиной 0,2 мкТл при работе ряда бытовых приборов.

Таблица 1. Распространение магнитного поля промышленной частоты от бытовых электрических приборов (выше уровня 0,2 мкТл)

Источник	Расстояние, на котором фиксируется величина больше 0,2 мкТл
Холодильник, оснащенный системой "No frost" (во время работы компрессора)	1,2 м от дверцы; 1,4 м от задней стенки
Холодильник обычный (во время работы компрессора)	0,1 м от мотора
Утюг (режим нагрева)	0,25 м от ручки
Телевизор 14"	1,1 м от экрана; 1,2 м от боковой стенки.
Электрорадиатор	0,3 м
Торшер с двумя лампами по 75 Вт	0,03 м (от провода)
Электродуховка	0,4 м от передней стенки
Аэрогриль	1,4 м от боковой стенки

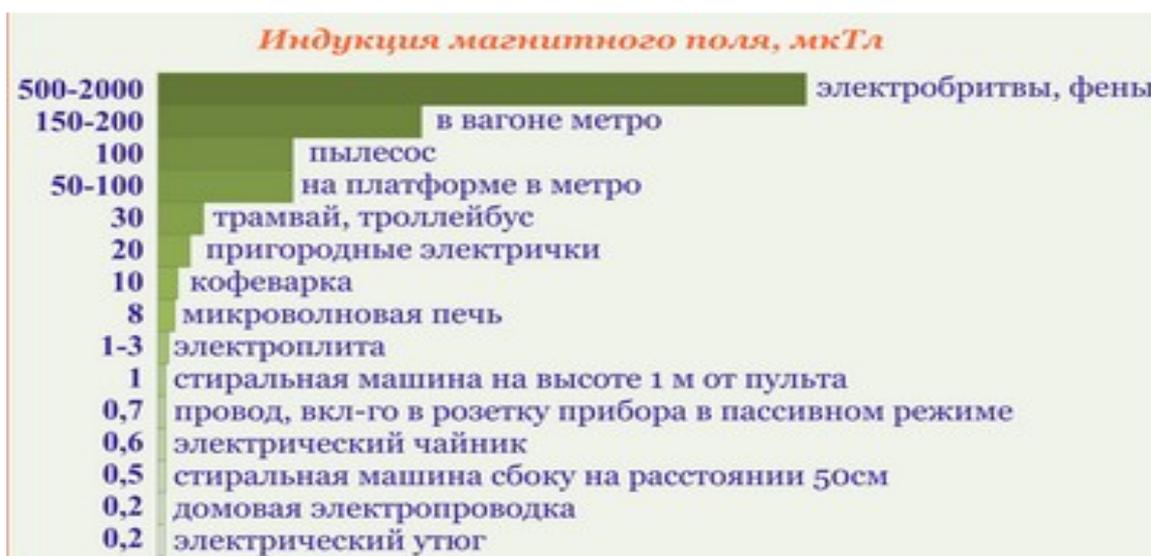


Рис. 1. Биологическое действие неионизирующего излучения

2.2 БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ.

Одним из достижений науки конца XX в. явилось признание того факта, что слабые электромагнитные поля являются экологически значимым фактором, влияющим на многие биологические процессы. На живые организмы постоянно воздействует природный электромагнитный фон, динамика параметров которого контролируется солнечной активностью и космической погодой в околоземном пространстве, а также метеорологическими и гидро - литосферными процессами.

Существует достаточно много работ, в которых отмечают совпадения между магнитными бурями и следующими биологическими процессами: кровяное давление, число лейкоцитов в крови человека, число обострений заболеваний сердечно-сосудистой и нервной систем, число самоубийств и автодорожных происшествий [51-53], число серьезных аварийных ситуаций [54] и авиакатастроф [55], двигательная активность животных, насекомых и рыб [56-59] развитие клеточных структур и потребление кислорода

растениями [60]. Особенно большое внимание уделяется влиянию солнечной активности на изменения сердечно-сосудистой деятельности (частота инфарктов, гипертонических кризов).

В дни выраженных магнитных бурь (МБ) сосудистые катастрофы у больных атеросклерозом и гипертонической болезнью всех стадий наблюдались значительно чаще, чем в спокойные в геомагнитном отношении дни [61]. Обнаружено, что во время МБ возрастает число инфарктов миокарда и инсультов [62,63]. Т.И.Андропова с соавт. в своих исследованиях убедительно показали, что из естественных факторов внешней среды наибольшее влияние на физиологические функции человека оказывают изменения напряженности магнитного поля Земли.

Как и другие физические факторы, магнитное поле обладает последствием. Здесь следует отметить наличие своеобразной реакции нервной системы на выключение электромагнита,- так называемый *офф-эффект*. Возможно, наличие такой реакции может объяснить более выраженное биологическое действие переменных полей в сравнении с постоянными магнитными полями. Было установлено, что при кратковременных воздействиях магнитными полями не слишком большой интенсивности реакции носят непостоянный характер [64], то есть не каждое воздействие вызывает реакцию. Это свидетельствует и об относительной слабости воздействия и о зависимости реакции от колебаний чувствительности отдельного организма. Рекордные значения зафиксированных биологических эффектов от воздействия переменных ЭМП сформулированы в монографии Н.А.Темурьянц с соавт. Экспериментально обнаружено, что организмы чувствительны к внешним ЭМП низкой и сверхнизкой частоты при напряженностях электрического и магнитного полей порядка 0,1 В/м и 0,1 нТл соответственно. Существует значительное количество данных,

говорящих об индивидуальных различиях в реакциях на магнитные поля. Эти различия зависят от возраста организма и более четко выражены для особей юного и преклонного возраста. Особенно чувствителен организм к воздействию ЭМП в период эмбрионального развития. Замечено, что при прочих равных условиях биологический эффект ЭМП, как правило, лучше выражен при его воздействии на организм с какой-либо патологией.

Исследования, проведенные Р.У.Когхиллом, обнаружившим, что величина низкочастотного электрического поля, измеренного у постелей, где спали дети заболевшие лейкемией, более чем в 2 раза превышает значение у постелей здоровых детей, позволили впервые указать на возможную связь внешних электрических полей с заболеваемостью лейкемией. Дж.Пиккарди, в результате многолетних исследований пришел к выводу, что многие биологические и даже химические процессы изменяются под влиянием природных низкочастотных ЭМП.

Заряженные частицы, попадающие в атмосферу Земли, меняют ее циркуляцию, то есть изменяют погоду. При этом меняется атмосферное электричество, которое (как и погода) оказывает влияние на все живое, в том числе и на человека. В результате меняется состояние биосферы, состояние здоровья людей. Те частицы, которые вызывают МБ, изменение погоды и атмосферного электричества, имеют разные энергии и поэтому биотропные эффекты от них будут различными.

Сотрудниками Лаборатории магнитобиологии при Отделении реанимации и интенсивной терапии Центральной клинической больницы №3 под руководством Ю.И.Гурфинкеля совместно с учеными ИЗМИРАН в период геомагнитосферных возмущений и бурь проводились исследования капиллярного кровотока у больных

ишемической болезнью сердца [50]. Результаты наблюдений свидетельствует о важной роли гелио- и геомагнитных факторов в патогенезе ишемической болезни сердца, в реализации ее скрытых форм в явные от стенокардии во всех ее вариантах

до инфаркта миокарда. При всем многообразии влияний геомагнитных возмущений на организм два фактора представили наибольший интерес, поскольку очевидной выявилась их взаимосвязь и влияние на течение патологического процесса у больных ишемической болезнью сердца.

Первый фактор – сердечно-сосудистая система .

Стенокардитические приступы наблюдаются в два раза чаще в магнитовозмущенные дни, чем в дни с малой магнитной активностью. Это хорошо подтверждается исследованиями, проведенными Т.И.Андроновой с соавт., которые проанализировав более 30 тыс. случаев смерти от сердечно-сосудистой патологии за двухлетний период, пришли к выводу, что количество умерших скоропостижно от инфаркта миокарда увеличивается от 1,25 до 1,5 раза в дни, когда магнитное поле возмущено. Обнаружено также, что максимальное количество скоропостижных смертей от инфаркта миокарда в среднем за все годы приходится на вторые сутки после геомагнитных возмущений.

Гелиогеофизические факторы оказывают существенное влияние на возникновение, течение и исходы заболевания инфаркта миокарда, особенно у лиц старше 50 лет.

Инфаркт миокарда, возникающие в неблагоприятные по гелиогеофизическим факторам дни, отличаются более тяжелым течением, чаще сопровождаются осложнениями (кардиогенный шок, отек легких, разрыв сердца) и повышенной летальностью. На зависимость внезапной кардиологической смерти от уровня геомагнитной активности указывает также М.Филиппов с соавт. Были проведены исследования влияния геомагнитных возмущений на

больных хронической ишемической болезнью сердца по показателям физической работоспособности. Наибольшее снижение толерантности к физическим нагрузкам было зарегистрировано в день развития магнитных бурь и на следующие сутки. Имеются также экспериментальные данные, указывающие на изменение функционального состояния сердца животных во время магнитных бурь и под действием ЭМП близких к природным.

Второй фактор - влияние геомагнитных возмущений на кровь. При повышении возмущенности магнитного поля время свертываемости крови возрастает [65]. Возрастает также количество тромбоцитов. Отмечено также наличие корреляционных статистических связей суточных показателей числа тромбоцитов, протромбинового времени, толерантности плазмы к гепарину с солнечной активностью. У больных с ишемической болезнью сердца склонность к гиперкоагуляции и активизации фибринолиза регистрируются в день развития геомагнитного возмущения, а также в первые два дня после него. Поэтому в периоды геомагнитных возмущений регистрируется увеличение числа как тромбоэмболических, так и геморрагических осложнений. Как подчеркивают авторы проведенных исследований, изменения в системе гомеостаза тем значительней, чем интенсивней магнитные бури.

Все вышеизложенное дало основание предположить возможность влияния магнитной бури на капиллярный кровоток больных, страдающих ишемической болезнью сердца. Такого рода исследования проводились Ю.И.Гурфинкелем с соавт. с 1990 по 1996 гг. У 144 пациентов с ишемической болезнью сердца было показано, что в день магнитных бурь наблюдаются появление сладж-феномена, замедление скорости капиллярного кровотока вплоть до стаза. Наблюдения показали, что в ряде случаев ухудшение капиллярного кровотока наступает на второй и на третий день после начала

магнитных бурь. Полученные результаты исследований позволили выявить важный механизм влияния геомагнитных возмущений на капиллярный кровоток считая, что магнитные бури, воздействуя на магниторецепторы центральные и органические, "информирует" адаптационную систему, к которой относятся, в частности, гипоталамус, имеющий в своей структуре катехоламиновые включения, и надпочечники. Это ведет к появлению в крови гормонов адреналина, ответственного за активизацию свертывающей системы, повышению агрегации, спазма в приносящих сосудах микроциркуляторной сети. Такое предположение опирается на данные, полученные Дж.Киршвинком и соавт., обнаруживших наличие ферромагнитного материала с высокой коэрцитивностью в мозгу и в надпочечниках человека. На наличие магниторецептора указывают также оригинальные исследования В.Н.Михайловского с соавт., выработавших у человека условный рефлекс на включение магнитного поля с амплитудой 200 нТл в частотном диапазоне от 0,01 до 10 Гц (то есть, частоты и напряженность магнитного поля, которые характерны для естественных геомагнитных возмущений).

Результаты исследований показывают, что ухудшение показателей капиллярного кровотока у больных ишемической болезнью сердца отмечается не только в день начала магнитных бурь, но и в последующие 2-3 суток. У больных, переносящих инфаркт миокарда, степень выраженности реакции микрососудистых изменений на геомагнитные возмущения выше, чем у больных стенокардией. Количество больных ишемической болезнью сердца с реакцией капиллярного кровотока на возмущенность геомагнитного поля в 2,5-3 раза превышает количество реагирующих на изменения атмосферного давления. Ухудшение показателей капиллярного

кровотока у больных ишемической болезнью сердца отмечается за сутки - двое до изменения самого атмосферного давления.

Таким образом, у людей, страдающих ишемической болезнью сердца, в качестве основной становится проблема обратимости этих патологических процессов. Следует отметить, что несмотря на проведенные исследования, окончательных ответов на все вопросы, связанные с магниторецепцией у человека, пока не получено.

2.3 БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИСКУССТВЕННЫХ (ТЕХНОГЕННЫХ) ЭМП.

Необходимость принимать меры защиты от влияния МБ в первую очередь диктует потребность в средствах ее обнаружения в реальном масштабе времени в условиях промышленного большого города с сильными искусственно созданными ЭМП и помехами, амплитуда которых может достигать 1...10 мкТл и более [66-70] .

Известно [71], что уровень помех с частотой сети в обычных лабораторных условиях или в условиях городских больниц и клиник может превышать вариации естественного геомагнитного поля (ГМП) и биомагнитные поля в тысячу и более раз. Помехи от электрифицированного транспорта имеют импульсный характер и составляют по амплитуде десятки нТл на расстоянии в сотни метров. Спектральный состав городских помех практически перекрывает спектры всех известных сигналов от биообъектов. Максимум спектра вариаций ГМП обычно приходится на область периодов порядка суток (амплитуды порядка 30...50 нТл в зависимости от геомагнитной широты места наблюдения) с резким уменьшением в области коротких периодов (амплитуды порядка 50...100 пТл, период 1 с).

Окруженные большим количеством электронных и электротехнических приборов как на производстве, так и в быту (в домашних условиях), люди часто не знают и не думают, об их вредном

воздействию и влиянию. В настоящее время возникла настоятельная необходимость знания о наличии вредных искусственно создаваемых ЭМП и степени их биотропного влияния на организм.

Во многих больших городах мира (например, Лондон, Токио, Нью-Йорк и т.д.) с наступлением компьютеризации стали все чаще и чаще раздаваться голоса о вредном воздействии ЭМП на операторов, окружающих людей и персонал. Как известно, крупнейшими источниками ЭМП являются радио- и телевизионные средства связи и информации, радиолокационные и навигационные средства, лазерные системы, воздушные линии электропередач.

Летом 1997 г. в Санкт-Петербурге состоялся Международный конгресс “Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине”, на котором по указанной проблеме были сделаны интересные сообщения. Было отмечено, что дисплеи персональных компьютеров (ПК) создают все виды электромагнитных излучений: радиоволны, инфракрасные лучи, видимый свет, ультрафиолет, микроволны, рентгеновские лучи. Проведенные исследования излучений типового дисплея ПК зафиксировали следующие значения их амплитуд в зависимости от расстояния: $4 \dots 0,5$ мкТл в полосе частот $50 \dots 80$ Гц и $0,6 \dots 0,06$ мкТл в полосе частот $15 \dots 85$ кГц на расстояниях $0,15 \dots 0,5$ м соответственно.

Исследования показали, что длительное воздействие гипогеомагнитных полей на человека приводит к снижению его работоспособности, негативному действию на его здоровье [72]. Такие поля являются биологически активным фактором, вызывающим ряд изменений на физиологическом, биохимическом и морфологическом уровнях функционирования организма. Установлено, что биологическая граница, разделяющая безопасные и вредные условия труда при

наличии гипогеомагнитных полей в помещении характеризуется коэффициентом ослабления $K_g = 2$. При $K_g = 2 \dots 5$ наблюдается увеличение на 40% количества заболеваний у людей, работающих в условиях такого помещения. При нахождении человека в искусственных гипомагнитных условиях отмечаются изменения психики, появляются нестандартные идеи, новые образы. При создании гипомагнитных условий (экранировании естественных магнитных полей в 1000 раз) обнаружено изменение ритмики деления клеточного монослоя, деградация и гибель клеток млекопитающих, нарушение развития куриных эмбрионов, появление грубых морфологических изменений внутренних органов цыплят.

ГЛАВА III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1 МЕХАНИЗМЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Установлено, что микроволны оказывают влияние на живые организмы самой различной степени организации — от простейших до высокоразвитых, что это влияние имеет место даже при весьма небольших интенсивностях облучения и характеризуется разнообразными эффектами - от реакций целого организма до изменений на молекулярном уровне. Имеются основания полагать, что микроволны принимают участие и в некоторых биологических процессах. Хотя магнитное поле даже значительной интенсивности чаще всего вызывает слабые и неспецифические физиологические реакции организма, эти реакции могут различаться даже качественно в зависимости от интенсивности магнитного поля. Резкие изменения в характере реакции связаны с переходом от реакций, обусловленных магниточувствительностью, к реакциям, обусловленным магнитопоражаемостью, то есть вовлечением адаптационных (приспособительных) механизмов. Первая фаза реакции обычно характеризуется усилением физиологических процессов, а вторая - их торможением.

Следует также отметить еще одну важную особенность влияния электромагнитных факторов на живые системы. В большинстве экспериментальных исследований регистрируют ответ клетки или многоклеточного организма в пределах физиологической нормы реакции, т.е. в тех пределах, в которых осуществляется обычные реакции на другие не повреждающие раздражители. И лишь только при относительно сильном и длительном воздействии электромагнитных факторов регистрируются патологические нарушения, которые носят

неспецифический характер. Поэтому очень часто исследователи задаются вопросом: может ли воздействие ЭМП на живые организмы носить какой-либо специфический характер? Если да, то в чем, и на каких уровнях организации проявляется эта специфичность? Ответ на данный вопрос невозможен без понимания механизмов действия электромагнитных полей на молекулярном, клеточном и организменном уровнях.

Первичные механизмы действия МП КНЧ .

На данном этапе развития электромагнитной биологии имеется ряд теоретических представлений о первичных механизмах биологического действия слабых МП КНЧ [6, 73-77]. Однако рассмотрение механизмов действия МП КНЧ на клеточном уровне уже требует учета «интерференции» разных механизмов на молекулярном уровне, которые могут одновременно реализовываться в клетке. Среди предлагаемых в настоящее время механизмов влияния МП КНЧ на первичном молекулярном уровне наибольший интерес вызывают, так называемые, резонансные и водные механизмы.

Ион-резонансные механизмы. Суть «ион-резонансных» гипотез заключается в том, что «мишенями» действия МП КНЧ являются биологически важные ионы. Гипотезы основаны на экспериментальных результатах. Установлено, что для некоторых моделей биологических процессов максимальные магнитобиологические эффекты наблюдаются на частотах, формально совпадающих с частотами циклотронного резонанса в геомагнитном поле для таких биологически важных ионов, как Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ и др. [78]. Было предложено несколько вариантов теоретической интерпретации того, каким образом МП КНЧ оказывает влияние на взаимодействие ионов с белками и предприняты попытки их экспериментальной проверки [81-85]. Итоги дискуссии по этому

вопросу показывают, что предлагаемые теоретические объяснения с классической физической точки зрения недостаточно корректны, а наблюдаемые в эксперименте магнитобиологические эффекты могут быть объяснены на основе явлений квантовой интерференции [6,73-75] и разных видов спиновой конверсии [79]. При этом явно просматривается общность известных резонансных явлений, характерных для магнитных моментов атомных ядер и электронных орбиталей, и «ионных резонансов», что явно указывает на общую квантовую природу наблюдаемых явлений. Рассмотрение этой проблемы с позиций квантовой физики позволяет не только по-новому увидеть физическую суть «ион-резонансных» и других явлений, но и открывает гораздо более широкие перспективы для теоретического объяснения магнитобиологических эффектов [6]. Указанные выше теоретические построения не объясняют всего разнообразия известных магнитобиологических эффектов. Это в первую очередь связано с тем, что ионы и все другие компоненты живых систем, которые могут выступать в качестве мишеней действия МП КНЧ, «работают» в особой по своим свойствам конденсированной среде – в воде.

Влияние МП КНЧ на физико-химические свойства воды, водных растворов и коллоидных систем.

Суть «водных» гипотез состоит в том, что первичным акцептором слабых электромагнитных полей является водная фаза, фрактальная квазикристаллическая структура которой реально находится в метастабильном состоянии и постоянно меняется вследствие спонтанного протекания в ней свободнорадикальных процессов и спонтанных перестроек пространственной организации водородных связей [80]. Именно такое метастабильное динамичное состояние является ключевым фактором чувствительности водной фазы к слабым МП КНЧ. При этом факторы, которые структурируют воду, т.е.

способствуют образованию кластеров и клатратных полостей, повышают чувствительность водной фазы к электромагнитным воздействиям. Воздействие факторов разной природы, в том числе и МП КНЧ, изменяет динамику структурных перестроек, что приводит к изменению структуры водных кластеров и более крупных водных «конструкций» разной природы.

Учитывая тот факт, что вода является своеобразной матрицей, которая определяет организацию поверхности биомакромолекул и их пространственную структуру в целом [86], а также является одним из факторов, определяющих микро- и макромасштабную динамику молекулярных конструкций [87,88] МП-индуцированные изменения динамики водной фазы должны приводить к соответствующим изменениям динамики внутримолекулярных сегментов белковых молекул [88] и, как следствие, к изменению структурно-функциональных свойств белков.

Рассматривается еще один биологически важный, опосредованный через воду канал влияния МП КНЧ на живые системы. Речь идет о влиянии электромагнитных полей на стабильность ионов Ca^{2+} в водных системах. Данные ионы являются одними из универсальных внутриклеточных агентов в разных путях клеточной сигнализации и регулируют широкий спектр внутриклеточных процессов. Повышение концентрации свободного Ca^{2+} в клетке переводит ее, как правило, в активное функциональное состояние. Давно известно, что ионы Ca^{2+} относятся к классу ионов, которые понижают структурную температуру воды, т.е. ионы Ca^{2+} способствуют стабилизации сети водородных связей, являясь ионными структураторами воды. Учитывая тот факт, что структурирующие вещества повышают чувствительность водных систем к действию слабых электромагнитных факторов [89], а также крайне важную биологическую роль ионов кальция как «информационного

посредника» в системе клеточной регуляции, становится понятным, почему биологические эффекты ЭМП очень часто напрямую связаны с состоянием этих ионов в клетке. Весьма важным является также тот факт, что во многих экспериментальных исследованиях показан резонансный ответ биосистем на действие МП КНЧ, который формально реализуется на частотах циклотронного резонанса ионов Ca^{2+} . Это доказывает, что одной из мишеней действия МП КНЧ в биологических системах являются физикохимические и молекулярно-биологические процессы, определяющие концентрацию свободных ионов Ca^{2+} и, вероятно, устойчивость их гидратной оболочки. Если МП КНЧ воздействует на биологический объект, находящийся в функционально активном состоянии, что «запечатлено» в динамической структуре воды, то может иметь место обратный процесс, т.е. ионы Ca^{2+} будут терять гидратную оболочку и переходить в связанное состояние, тем самым переключая клетку в неактивное (или другое) функциональное состояние. Таким образом, данная гипотеза в определенной степени позволяет объяснить феномены активирующего и нормализующего («антистрессорного») действия МП КНЧ [90], которые невозможно объяснить на основе идеи об ионных резонансах. Работы В.В. Леднева и сотр. [91,92] показывают возможность влияния магнитных полей, формально настроенных на «ионный параметрический резонанс» в геомагнитном поле, на водные растворы карбоната кальция, что подтверждает справедливость «водных» гипотез.

Биологические механизмы действия МП КНЧ

Литературные данные показывают, что выраженность и направленность биологических эффектов зависит от частоты МП КНЧ; при этом «частотные эффекты», в свою очередь, зависят от амплитуды как переменной, так и постоянной компоненты МП, на фоне которой

осуществляется воздействие переменной компонентой. Вероятно, можно говорить о частотно-амплитудной «специфичности» действия МП КНЧ. Это, с одной стороны, существенно расширяет спектр возможных биологических эффектов, а с другой – создает серьезные проблемы с воспроизводимостью экспериментальных результатов, получаемых разными исследовательскими коллективами. Таким образом, понимание специфичности действия МП КНЧ усложняется тем, что в клетке одновременно реализуются все перечисленные выше механизмы, и какой из этих механизмов вносит наибольший вклад в генерализованную реакцию зависит от функциональной специализации клетки, ее исходного физиологического состояния, частотно-амплитудных и экспозиционных характеристик магнитополевого воздействия. Этим объясняется большое количество эффектов МП КНЧ, полученных на разных молекулярных и клеточных моделях, которые трудно сопоставлять и теоретически интерпретировать, что вызывает справедливые замечания со стороны ученых-теоретиков. Несмотря на «многоканальность» воздействия МП КНЧ на молекулярном и физико-химическом уровне, генерализованная специфика клеточной реакции на действие этого фактора зависит от структурно-функциональной специализации клеток. Можно выделить ряд клеточных элементов организма, которые демонстрируют более высокую чувствительность и реактивность на действие МП КНЧ [90]. Практически все они относятся к группе клеток APUD-системы. APUD-система наряду с нервной и эндокринной системами представляет собой особую интегративную систему регуляции организма, которая состоит из особых клеток-апудоцитов, расположенных повсеместно в тканях и обладающих специфическими ультраструктурными и цитохимическими свойствами. Особенностью ультраструктуры апудоцитов является наличие цитоплазматических, связанных с клеточной оболочкой микрогранул, заполненных биоактивными субстанциями. Цитохимическая специфика

этих клеток заключается в способности поглощать и расщеплять моноамины, точнее, 5-гидрокситриптофан и L-дигидроксифенилаланин, из которых при помощи L-дофадекарбоксилазы и других ферментов синтезируются биогенные амины и пептидные гормоны. Именно эти цитохимические свойства отражены в аббревиатуре APUD (amine precursor uptake and decarboxylation). В русскоязычной литературе эта система получила название диффузной нейроиммунноэндокринной системы (ДНИЭС). APUD-система соединяет нервную, эндокринную и иммунную системы в единый комплекс с дублирующими и отчасти взаимозаменяемыми структурами и функциями. Ее физиологическая роль – регуляция фактически всех биологических процессов на всех уровнях – от субклеточного до системного [93]. APUD-систему составляет около 60 типов клеток, обнаруживаемых в ЦНС (гипоталамусе, мозжечке), железах внутренней секреции (гипофизе, эпифизе, щитовидной железе, островках поджелудочной железы, надпочечниках, яичниках), в тимусе и лимфатических узлах, желудочно-кишечном тракте, легких, почках и мочевых путях, параганглиях, плаценте и соединительной ткани. К клеткам APUD-системы относят тучные клетки, тироциты, эндокринные клетки желудочно-кишечного тракта, хромафинные клетки надпочечников, нейросекреторные клетки гипоталамуса, пинеалоциты эпифиза, паратироциты паращитовидных желез, лейкоцитарные гранулоциты, а также эндокриноциты аденогипофиза, плаценты, поджелудочной железы, респираторного дерева, почек, кожи и других органов и тканей. Одной из особенностей этих клеток является расположение около кровеносных сосудов, среди клеток, находящихся в составе эпителия и соединительной ткани. Апудоциты синтезируют широкий спектр медиаторов и тканевых гормонов (гистамин, серотонин, мелатонин, адреналин, норадреналин, ДОФА), в том числе и пептидной (соматотропный гормон, цитокины, АКТГ, АДГ, эндорфины, энкефалины, фактор некроза опухоли и многие

другие) и стероидной (тестостерон, прогестерон, эстрогены) природы. В норме секреция данных веществ апудоцитами осуществляется под действием внешних стимулов. При воздействии МП КНЧ на целый организм каждая ткань и орган реагирует в соответствии с клеточным представительством в них APUD-системы и характером распределения ее клеточных элементов.

На организменном уровне вполне возможна реализация индукционных механизмов. Физической основой для их реализации является сложная система электропроводящих контуров в организме человека и животных, в которых в соответствии с законом Фарадея меняющееся во времени магнитное поле генерирует электрическое поле, которое в электропроводящем контуре приводит к появлению электродвижущей силы (ЭДС). Возможность такого влияния детально проанализирована в работе [1]. Нервная, сердечно-сосудистая и лимфатическая системы организма являются ярким примером такой трехмерной системы электропроводящих контуров. При вариациях потока магнитной индукции в таких контурах возникают переменные электродвижущие силы (ЭДС) в области крайне низких частот, которые акцептируются нейронами. Согласно расчетам величина наведенной ЭДС в электрическом поле 1 В/м в электропроводящем контуре клеточных размеров составляет 10^{-4} В [74,76]. Это очень малая величина, поэтому усиление сигнала можно обеспечить повышением числа витков в контуре или увеличением его размеров. Такое усиление в организме человека и животных вполне возможно, если учесть, что реальные линейные размеры нервных, лимфатических и сосудистых электропроводящих контуров, соединенных последовательно и параллельно, могут составлять от нескольких миллиметров или сантиметров до нескольких метров. В таком случае значения наведенной ЭДС могут достигать уровня десятка милливольт, что уже

достаточно для пороговой деполяризации мембраны нейрона и развития потенциала действия. Дополнительное усиление сверхслабых ЭДС, наводимых природными и техногенными МП КНЧ, может осуществляться по механизму стохастического резонанса.

Явление стохастического резонанса состоит в перераспределении спектра мощности динамической переменной метастабильной системы под действием слабой детерминированной силы на фоне аддитивного шума [94]. Показано, что данный механизм может реализовываться на уровне нейрональных сетей с целью усиления слабых сигналов или в ансамблях ионных каналов, локализованных в биологических мембранах [95]. Его суть заключается в том, что на случайные колебания какого-либо параметра, например подпороговые колебания мембранного потенциала, дополнительно накладывается периодический слабый электрический сигнал, возникающий, например, в результате реализации индукционных механизмов. В результате такого наложения повышается вероятность возникновения флуктуаций мембранного потенциала порогового уровня и формирования потенциала действия. Чем сильнее накладывающийся на подпороговые флуктуации периодический сигнал, тем выше вероятность возникновения потенциала действия. При этом важным моментом является то, что роста чувствительности такой системы к слабому периодическому воздействию можно добиться и повышением уровня ее внутреннего шума. Следует отметить, что в нервной системе имеется еще один надежный способ усиления слабых электрических подпороговых флуктуаций мембранного потенциала. Это широко известный механизм пространственно-временной суммации потенциалов подпорогового уровня. Поэтому сложная трехмерная система «электропроводящих контуров» организма может функционировать как высокочувствительный датчик МП КНЧ с высоким коэффициентом

усиления. Вполне вероятно, что по такому индукционно стохастически - резонансному принципу функционирует «магнитный компас» у птиц и животных, который позволяет им эффективно ориентироваться в пространстве [96]. При этом становятся понятными причины дезориентации птиц во время всплесков геомагнитной активности [97]. Поскольку геомагнитные импульсы характеризуются разной полярностью и разным вращением плоскости поляризации, то результирующий геомагнитный вектор, положение которого отслеживает магнитонавигационная система мозга птиц, все время колеблется, в результате чего траектория полета птиц становится более хаотической, а на перелет затрачивается больше времени. Механизм стохастического резонанса может быть успешно применен и для объяснения индивидуально-типологических особенностей реакций организма на действие МП КНЧ. Дело в том, что важной особенностью данного механизма является то, что шум, который всегда имеет место в физических и биологических системах (например, подпороговые колебания мембранного потенциала), является одним из факторов, повышающих чувствительность «магнитного биодетектора». В биологических системах уровень шума может регулироваться параметрически (например, регуляция спонтанного выделения квантов нейромедиатора в синаптическую щель или активности моноаминоксидаз, регулирующих концентрацию неймедиаторов в синаптической щели). Это позволяет организму изменять диапазон чувствительности к МП КНЧ, что имеет важное значение для адаптации организма к изменениям во внешней среде обитания. Но активность молекулярных и клеточных систем, осуществляющих параметрическую регулировку шума, также меняется под действием МП КНЧ. В этом случае можно ожидать интерференцию механизмов разной природы, реализуемых на разных уровнях организации, в результате чего происходит дополнительное усиление или ослабление входящего

сигнала или компенсация эффектов. Соответственно можно ожидать либо выраженную чувствительность и реактивность организма на действие МП КНЧ, либо слабую реакцию, либо отсутствие какого-либо эффекта. Необходимо отметить, что экспериментальные данные убедительно свидетельствуют о зависимости реакции организма животных на действие МП КНЧ от его индивидуально-типологических особенностей [98]. Показано, что животные с низкой активностью в «открытом поле» активнее реагируют на действие МП КНЧ. Одна из причин такой чувствительности, вероятно, связана с более высокой возбудимостью отделов (ЦНС), которые отвечают за формирование отрицательных эмоций страха и тревоги. Такие особенности организации процессов в ЦНС, в свою очередь, определяют характер нейроиммунноэндокринной регуляции в организме. Можно предположить, что у низкоактивных в «открытом поле» животных в нейрональных структурах мозга, отвечающих за указанные эмоции, уровень «шума» более высокий, что обеспечивает высокую чувствительность данных отделов ЦНС к действию разнообразных факторов, приносящих дополнительный сигнал, в том числе и МП КНЧ. Вероятно, соответствующий гормональный фон, характерный для данной группы животных, а именно повышенный базовый уровень стресс-гормонов в крови [99,100], дополнительно способствует поддержанию повышенной возбудимости разных отделов их головного мозга и, соответственно, высокой чувствительности к действию МП КНЧ. Следует отметить, что для рассматриваемых системных механизмов действия МП КНЧ, вероятно, не существует принципиальных различий в том, какой сигнал вносится – периодический или шумоподобный. Сравнительный анализ данных литературы и собственных исследований по влиянию импульсного МП КНЧ частотой 8 Гц и МП со сложным спектром показывают, что на системном уровне в целом развивается сходная однотипная

неспецифическая реакция, проявление которой в большей степени зависят от индивидуально-типологических особенностей животных, чем от частотных характеристик МП. Тем не менее, окончательный ответ на данный вопрос давать пока рано. Эта проблема представляет большой теоретический и практический интерес и требует комплексного изучения.

По последним данным современных исследований было также выявлено, что слабые магнитные поля влияют также на клеточную биологию, чему посвящено исследование учёных из [Университета Невады](#) в городе Рино под руководством [Карлоса Мартино](#). Его результаты представлены 23 апреля на конференции «[Экспериментальная биология 2012](#)», (Сан-Диего, США). Исследование было посвящено изучению того, как флуктуации магнитного поля вызывают изменения в биохимических реакциях внутри нашего организма. Исследователи из Невады ограничили спектр изучаемых полей слабыми статическими (на 1–2 порядка слабее поля Земли) и слабыми высокочастотными, создаваемыми мобильными телефонами. Оказалось, что уменьшение магнитного поля Земли ингибирует скорость роста клеток рака лёгких ([фибросаркомы](#)), клеток рака толстой кишки и первичного рака эндотелиальных клеток. По мнению К. Мартино, слабые магнитные поля могут модулировать производство реакционно способного кислорода, известного своей способностью отрицательно влиять на пролиферирование и выживаемость клеток. Раковые клетки поджелудочной железы, по наблюдениям исследователей, демонстрируют ускорение роста в тех же слабых магнитных полях, свидетельствуя о том, что различные типы клеток могут по-своему реагировать на одни и те же изменения в окружающем их магнитном поле. Кроме того, как удалось

продемонстрировать учёным, слабые высокочастотные магнитные поля ингибируют рост опухолей в животных моделях[107].

Воздействие слабых полей (информационный уровень)

Биофизические механизмы воздействия низкоинтенсивных миллиметровых волн на организм человека впервые были описаны академиком Н.Д. Девятковым и М.Б. Голантом. Вкратце, концепция заключается в следующем: организм человека состоит из клеток, каждая из которых достаточно автономное образование. Для обеспечения согласованности их работы должны быть механизмы синхронизации их функций. Гомеостаз организма связан с генерацией клетками электромагнитных полей в миллиметровом диапазоне.

Миллиметровый диапазон был выбран природой не случайно: электромагнитные излучения, падающие на Землю из космоса, практически полностью поглощаются ионосферой. Поэтому у живых организмов на Земле в процессе эволюции не было воздействий в данном диапазоне из внешней среды. Именно поэтому природа выбрала этот диапазон для общения между живыми клетками. Амплитудно-частотная характеристика излучений больного и здорового организма различны, так как любая патология это главным образом патология клеток. Внешнее, например техногенное ЭМП в миллиметровом диапазоне, имитирует собственное излучение организма в данном диапазоне, выполняя функцию синхронизирующего фактора, навязывая организму другой ритм. Внешнее излучение влияет на сообщение между клетками и на информационно-управляющую систему организма в целом. В случае искусственной десинхронизации собственных ритмов возможно инициирование патологического процесса с нарушением дееспособности человека. При воздействии миллиметрового ЭМП в мембранах клеток возникают акустоэлектрические волны. Клеточная

мембрана, как резонатор, определяет частотно-зависимые биологические эффекты миллиметрового излучения.

3.2 ВЛИЯНИЕ СЛАБОГО ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФЛУКТУАЦИИ ИОННОГО ТОКА В КРОВИ.

В данной главе, с помощью уравнение Ланжевена в Марковском приближении, рассмотрено влияние слабого постоянного магнитного поля на флуктуации ионного тока в крови.

Как известно, более 90% живого вещества состоит из полярных молекул, белков, нуклеиновых кислот, липидов, жиров, углеводов и воды. Кровь человека представляет собой многокомпонентную систему, состоящую из плазмы и клеток крови. Как известно из физиологии сердечно - сосудистой системы человека[102], плазма крови является водным раствором электролитов, питательных веществ, метаболитов, белков и витаминов. По сравнению с составом цитоплазмы, в плазме крови относительно высокие концентрации ионов Na^+ , Ca^{2+} и Cl^- . Напротив, концентрации ионов K^+ , Mg^{2+} и фосфата ниже, чем в клетках.

Эти факты позволяют нам рассмотреть кровь в кровеносных сосудах как проводник электрического тока. Известно, что во всех проводниках из-за его молекулярного строения возникает флуктуация тока, она была экспериментально измерена Джонсоном в 1928 году и называется джонсоновским шумом [103]. Спектральная плотность джонсоновского шума не зависит от частоты, поэтому является белым электрическим шумом. Джонсоновский шум наблюдается в системах, находящихся в состоянии равновесия или близком к нему состоянии. Конкретные микроскопические механизмы джонсоновского шума могут быть различными. Однако, во всех случаях, причиной джонсоновского шума служит хаотическое, броуновское движение заряженных частиц, которое обладает двумя важными свойствами - быстрой случайной сменой направления и принципиальной возможностью переноса сколь

угодно большого заряда через сечение проводника, и при этом не имеет никакого значения геометрический размер системы. Броуновский характер движения носителей все равно остается неизменным. Так как броуновское движение ионов очень слабо связано с флуктуациями их числа, то исчезновение одних частиц и рождения других не меняет сути дела; все равно через данную площадку внутри проводника может быть перенесен произвольно большой заряд [104].

В диссипативной системе линейное уравнение, связывающее импульс и сопряженную с ним переменную, есть уравнение Ланжевена[105]:

$$\frac{d\vec{P}_i}{dt} = -\lambda_i \vec{P}_i + \vec{F}_e + \vec{f}_i(t) \quad (1)$$

где λ_i -коэффициент трения, \vec{F}_e -внешняя сила, $\vec{f}_i(t)$ -случайная сила, она для каждого иона своя, и в разбавленном растворе для различных ионов некоррелированных между собой :

$$\langle \vec{f}_i(t) \rangle = 0 \quad \langle \vec{f}_k(t) \vec{f}_j(t') \rangle = 2kT \lambda_i \delta_{kj} \delta(t - t') \quad (2)$$

Чтобы найти плотность электрического тока, связанную с заряженными ионами, вычислим плотность потока ионов и умножим полученную величину на их заряд:

$$\vec{j} = q \sum_{j=1}^n \vec{v}_j \quad (3)$$

Где сумма берется по всем зарядам указанных сортов ионов, находящихся в малом объеме $V=LS$. Умножив плотность тока на площадь сечения, получим выражение для электрического тока

$$\vec{i} = \frac{q}{L} \sum_{j=1}^n \vec{v}_j \quad (4)$$

Используя соотношение $\vec{P}_i = m\vec{v}_i$, получим из уравнения Ланжевена стохастические дифференциальные уравнения для случайных токов $\vec{i}_{\pm}(t)$. Нас интересует флуктуация абсолютного значения тока, поэтому мы напишем эти уравнения в следующем виде :

$$\frac{di_+(t)}{dt} + \lambda_+ i_+(t) = \frac{q_+}{m_+ L} \mathbf{e}_j f_j^+(t) + \frac{q_+ n_+}{m_+ L} F_e \quad (5)$$

$$\frac{di_-(t)}{dt} + \lambda_- i_-(t) = \frac{q_-}{m_- L} \mathbf{e}_j f_j^-(t) + \frac{q_- n_-}{m_- L} F_e \quad (6)$$

суммируя эти уравнения, получим уравнение для полного тока $i = i_+ + i_-$ [105]:

$$\frac{di(t)}{dt} + \lambda i(t) = f(t) + \left[\frac{q_+ n_+}{m_+ L} + \frac{q_- n_-}{m_- L} \right] F_e \quad (7)$$

где $\lambda = t_+ \lambda_+ + t_- \lambda_-$ — полный коэффициент трения, числа $t_{\pm} = \frac{i_{\pm}}{i}$ показывают, какую долю тока переносят ионы каждого сорта; случайный член $f(t)$

$$f(t) = \left[\frac{q_+}{m_+ L} \mathbf{e}_j f_j^+(t) + \frac{q_-}{m_- L} \mathbf{e}_j f_j^-(t) \right] \quad (8)$$

представляет собой белый шум и удовлетворяет условиям:

$$\langle f(t) \rangle = 0; \quad \langle f(t) f(t') \rangle = \gamma \delta(t - t') \quad (9)$$

здесь:

$$\gamma = \frac{2k_B T}{L^2} \left[\frac{q_+^2 n_+ \lambda_+}{m_+} + \frac{q_-^2 n_- \lambda_-}{m_-} \right] \quad (10)$$

Для упрощения уравнения (7), введем явный вид выражения для долей тока задаваемых соотношением $t_{\pm} = \frac{i_{\pm}}{i}$.

Из условия общей электронейтральности системы имеем $q_+ n_+ + q_- n_- = 0$ и, учитывая, что $q_+ = -q_-$ получим:

$$q_+ n_+ = q_- n_- \quad (11)$$

Таким образом, в стационарном состоянии значение $t_{\pm} = \frac{i_{\pm}}{i}$ можно записать в виде

$$t_{\pm} = \frac{\frac{q_{\pm}^2 n_{\pm}}{m_{\pm}}}{\left[\frac{q_+^2 n_+}{m_+} + \frac{q_-^2 n_-}{m_-} \right]} = \frac{r_{\pm}}{r_+ + r_-}; \text{ где } r_{\pm} = \left| \frac{q_{\pm}}{m_{\pm}} \right| \quad (12)$$

Подставляя (11), (12) в $\lambda = t_+ \lambda_+ + t_- \lambda_-$ определим :

$$\lambda = \frac{[r_+ \lambda_+ + r_- \lambda_-]}{r_+ + r_-} \quad (13)$$

используя эти результаты, выражение (10) можно записать в виде :

$$\gamma = \frac{2k_B T q_+ n_+ \lambda (r_+ + r_-)}{L^2} \quad (14)$$

С учетом (12) - (14), запишем уравнение (7) :

$$\frac{di(t)}{dt} + \lambda i(t) = \frac{qn}{L\mu} F_e + f(t) \quad (15)$$

где $\mu = \frac{m_+ m_-}{m_+ + m_-}$ приведенная масса ионов. (16)

Во внешнем слабом постоянном магнитном поле, на элемент тока с длиной L действует сила Ампера $F_e = i(t)LB \sin \theta$, с учетом чего мы запишем уравнения (5) - (6) и (15) соответственно в следующем виде:

$$\frac{di_{\pm}(t)}{dt} + \lambda_{\pm} i_{\pm}(t) = \frac{qn}{m_{\pm}} i_{\pm}(t) B \sin(\alpha) + f(t) \quad (17)$$

$$\frac{di(t)}{dt} + \lambda i(t) = \frac{qn}{\mu} i(t) B \sin(\alpha) + f(t) \quad (18)$$

Или
$$\frac{di_{\pm}(t)}{dt} = -\Lambda_{\pm} i_{\pm}(t) + f_{\pm}(t), \quad \frac{di(t)}{dt} = -\Lambda i(t) + f(t) \quad (19)$$

Здесь $\Lambda_{\pm} = \lambda_{\pm} - \frac{q_{\pm} n_{\pm}}{m_{\pm}} B \sin \theta$; $\Lambda = \lambda - \frac{qn}{m} B \sin \theta$

Умножая уравнение (19) на $i_{\pm}(t)$, $i(t)$ и усреднив по ансамблю с учетом того, что рассматриваемый процесс является стационарным гауссовским марковским процессом, соответственно получаем следующие уравнения для вторых моментов $\sigma_{\pm}(t) = \langle i_{\pm}(t)^2 \rangle$; $\sigma(t) = \langle i(t)^2 \rangle$:

$$\frac{d\sigma_{\pm}(t)}{dt} = -2\Lambda_{\pm} \sigma_{\pm}(t) + 2 \langle f_{\pm}(t) i_{\pm}(t) \rangle \quad \text{и} \quad \frac{d\sigma(t)}{dt} = -2\Lambda \sigma(t) + 2 \langle f(t) i(t) \rangle \quad (20)$$

Стационарные решения уравнения (20) с учетом (9) имеет вид [106]:

$$\sigma_{\pm}(t) = \frac{1}{\Lambda_{\pm}} \langle f_{\pm}(t) i_{\pm}(t) \rangle = \frac{1}{\Lambda_{\pm}} \int_0^t \langle f_{\pm}(t) f_{\pm}(\tau) \rangle e^{-\Lambda_{\pm}(t-\tau)} d\tau = \frac{\gamma_{\pm}}{\Lambda_{\pm}}$$

$$\text{и } \sigma(t) = \frac{\gamma}{\Lambda} \quad (21)$$

Как видно из (21) флуктуация ионного тока резко увеличится при критическом значении внешнего магнитного поля $B_{кр}$:

$$B_{\pm кр} = \frac{\lambda_{\pm} m_{\pm}}{q_{\pm} n_{\pm} \sin \theta} \quad \text{или} \quad B_{\epsilon\delta} = \frac{\lambda \mu}{qn \sin \theta} \quad (22)$$

Здесь m масса и q заряд иона; n количество заряженных ионов в рассматриваемом объеме, λ коэффициент трения,

Умножая (21) на $R = \frac{mL^2\lambda}{nq^2}$ (электрическое сопротивление участка кровеносного сосуда с длиной L) и на время экспозиции t не сложно получить выражение для средней кинетической энергии молекул в рассматриваемом объеме участка кровеносного сосуда:

$$\epsilon_{\pm} = \frac{2k_B T \lambda_{\pm}^2}{n_{tot} \Lambda_{\pm}} t \quad \text{или} \quad \epsilon = \frac{2k_B T \lambda^2}{n_{tot} \Lambda} t \quad (23)$$

На рис.1 приведены численные оценки энергии молекул в объеме капилляра вблизи критического значения внешнего магнитного поля. Например, при $\Lambda = 0.5\lambda$, 0.05λ , и 0.005λ , каждая молекула капилляра ежесекундно приобретает энергию $\epsilon_{\text{ср}} \approx 4k_B T$, $40k_B T$, и $400k_B T$, соответственно. Таким образом, по мере приближения к критическим значениям магнитного поля средняя энергия молекулы, локализованной в капилляре, увеличивается на несколько порядков по сравнению с её тепловой энергией. Это значение энергии достаточно для разрушения химических связей. Даже если значение магнитного поля не так близко к резонансным значениям, с увеличением времени экспозиции магнитного поля можно достичь значительного эффекта

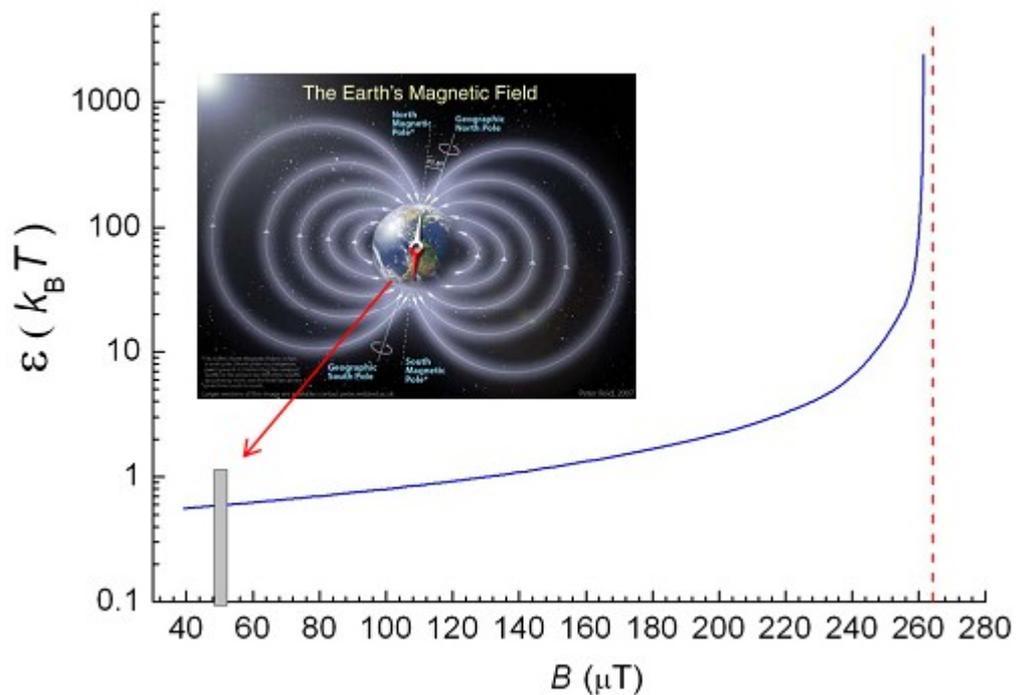


Рис.1 Зависимость средней кинетической энергии молекул в капилляре от внешнего магнитного поля (численные расчеты проведены для ионов кальция и критическое магнитное поле для ионов кальция порядка 270 микротесла).

С помощью уравнение Ланжевена в Марковском приближении рассмотрено влияние слабого постоянного магнитного поля на флуктуацию ионного тока в крови. Приведены численные оценки энергии молекул в объеме капилляра вблизи критического значения внешнего магнитного поля. Например, при $\Lambda = 0.5\lambda$, 0.05λ , и 0.005λ , каждая молекула капилляра ежесекундно приобретает энергию $\varepsilon_{\text{cap}} \approx 4k_B T$, $40k_B T$, и $400k_B T$, соответственно. Таким образом, по мере приближения к критическим значениям магнитного поля средняя энергия молекулы, локализованной в капилляре, увеличивается на несколько порядков по сравнению с её тепловой энергией. Это значение энергии достаточно для разрушения химических связей. Даже если значение магнитного поля не так близко к резонансным значениям, с

увеличением времени экспозиции магнитного поля можно достичь значительного эффекта.

3.3 РАСЧЁТ ВЕЛИЧИНЫ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ B_{kr} ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СОСУДОВ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

Человеческий организм не способен физически чувствовать электромагнитное поле окружающей среды. Тем не менее, электромагнитное поле может быть причиной понижения иммунитета и работоспособности человека. Более чем 90 % биологической ткани состоит из полярных молекул волокна, нуклеиновой кислоты, липидов, жиров, карбоновых кислот и воды. Кровь человека является компонентной системой из плазмы и кровяных клеток и составляет 8,6% от массы его тела. Приблизительно 10% крови содержат в себе артерии, такую же долю – вены, и оставшиеся 80% содержатся в микроциркуляторной части (сосудистого русла), артериолах и капиллярах. Хорошо известно, что биообъекты являются сложными открытыми нелинейными динамическими системами, в реакции которых определяющим может быть их состояние, а не только воздействующий фактор. Их сложность обусловлена тем, что, будучи макроскопическими, они состоят из многих объектов, принимаемых за элементы строения. При рассмотрении механизмов взаимодействия слабых ЭМП с элементами сложной биосистемы возникает необходимость поиска наиболее фундаментальных принципов, определяющих такого рода взаимодействие. По-видимому, эти принципы лежат в области изучения неравновесных и нелинейных взаимодействий биологических систем в целом, или их отдельных элементов. Пригожин отмечает, что открытие системы непрерывно флуктуируют. Флуктуация – это случайное отклонение величины, характеризующей систему, от ее среднего значения. Иногда отдельная

флуктуация или их комбинация может стать настолько сильной, что существовавшая прежде организация не выдерживает и разрушается. Поэтому, большой интерес представляет не только исследование взаимодействия электромагнитного поля с биологическими системами в целом, но и с их отдельными составляющими элементами. К последним можно отнести сосуды, клетки, липиды, белки, а также их водные растворы. В работах[17,18] была предложена упрощенная стохастическая модель воздействия слабого внешнего магнитного и электрического поля на флуктуацию ионного случайного тока в крови. Показано, что внешнее стационарное магнитное поле может вызывать резкое увеличение флуктуации ионного электрического случайного тока в биологических клетках, в частности в кровеносных сосудах благодаря броуновскому движению свободных заряженных ионов. Получено аналитическое выражение для кинетической энергии молекулы среды в рассматриваемом объеме. Приведены численные оценки энергии молекул в объеме капилляра и аорты вблизи критического значения внешнего магнитного поля. Показано, что по мере приближения к критическим значениям магнитного поля средняя энергия молекулы, локализованной в капилляре, увеличивается на несколько порядков по сравнению с её тепловой энергией. Это значение энергии достаточно для разрушения химических связей. Даже если значение магнитного поля не так близко к критическим значениям с увеличением времени экспозиции магнитного поля можно достичь значительного эффекта. В этих работах все численные расчеты были проведены только для ионов кальция -Ca^{2+} . Кроме ионов Ca^{2+} в живых организмах также биологически важными являются ионы магния- Mg^{2+} , калия -K^{+} , натрия- Na^{+} , железа- Fe^{2+} и др. В данной работе мы вычислили критические значения индукции внешнего магнитного поля приводящие к резкому увеличению флуктуации случайного тока биологически важных ионов в разных кровеносных сосудах

человеческого организма (табл.1). При этом, мы рассматриваем каждый кровеносный сосуд как отдельный элемент организма и $V_{кр}$ вычисляется по формуле которая легко получается из выражении приведенных в работе [17,18]

$$V_{cr} = \frac{6\pi\eta r}{qn} \quad (24)$$

где $\eta=(1,2\div 1,1)\cdot 10^{-3}$ (кг•м/сек)- вязкость крови, r - радиус иона , q -заряд иона, n - число ионов данного элемента объёме $V = \pi r^2 \cdot l$ сосуда

сосуд	Диаметр $d \cdot 10^{-2}$ (м)	Площадь сечения $S \cdot 10^{-4}$ (м ²)	Длина $l \cdot 10^{-2}$ (м)	Общее кол-во в организме	Объем сосуда $V \cdot 10^{-8}$ (м ³)
Аорта	3.2-1.6	8.0-2.00	80	1	640-160
Полые вены	2.0	3.14	50	2	157
Большие вены	1.0-0.5	0.80-0.20	30-10	10^3	24-2
Большая артерия	0.6-0.1	0.28-0.01	40-20	1000	11.2-0.2
Малая артерия	0.1-0.02	0.01- 0.003	5-0.2	10^8	$5 \cdot 10^{-2} 6 \cdot 10^{-4}$
Капилляр	$(10-5) \cdot 10^{-4}$	$78.5 \cdot 10^{-8}$ $19.63 \cdot 10^{-8}$	0.1	10^9	$7.9 \cdot 10^{-8}$ $2.0 \cdot 10^{-8}$

Для определения число ионов в рассматриваемом объеме мы использовали данные приведенные в Таблице 2.

Таблица 2. Показатели минерального обмена в крови [101]

Показатель	Моль/л
Кальций в сыворотки крови	2,25-3
Магний в сыворотки крови	0,70-0,99
Железо в сыворотки крови	12,5-30,4
Калий в плазмы крови	3,48-5,3
Натрий в плазмы крови	130,5-156,6

Результаты расчетов приведены в Таблице 3

Таблица 3. Критические значения индукции $B_{кр}$ внешнего магнитного поля

Элем./ сосуд	Аорта 10^{-12} (Тл)	Полые Вены 10^{-12} (Тл)	Большие Вены 10^{-12} (Тл)	Большая Артерия 10^{-12} (Тл)	Малая Артерия 10^{-10} (Тл)	Капилляр. 10^{-3} (Тл)
$B(Ca^{2+})$	0.50-0.88	5.0	0.2-1.0	0.7-23.5	2.3-70.6	0.26
$B(K^+)$	0.15-0.26	0.26	1.6-21	7-184	45-9500	0.6
$B(Na^+)$	0.32.-0.54	0.6	4.3-65	21-650	650- 16250	1.4
$B(Mg^{2+})$	0.12-0.32	0.4	2.6-50	13-435	435- 12500	0.9
$B(Fe^{2+})$	2.3-3.5	3.6	27-280	140-4030	450-9500	9.4

Таблица 4. Значения напряженности магнитной индукции $B_{кр}$ для ионов жизненно важных элементов в организме человека в зависимости от синуса угла ($\sin\alpha$) между направлением магнитного поля и проводника с током (в нашем случае проводником тока являются сосуды в организме человека).

Численные расчеты приведены для каждого сосуда.

α	$\sin(\alpha)$	Капилля р $B(Ca)$	Капилляр $B(K)$	Капилляр $B(Na)$	Капилляр $B(Mg)$	Капилляр $B(Fe)$
5	0.087	$3.00 \cdot 10^{-3}$	$6.81 \cdot 10^{-3}$	$1.64 \cdot 10^{-2}$	$1.07 \cdot 10^{-2}$	0.10

10	0.173	$1.51 \cdot 10^{-3}$	$3.42 \cdot 10^{-3}$	$8.25 \cdot 10^{-3}$	$5.39 \cdot 10^{-3}$	$5.44 \cdot 10^{-2}$
15	0.258	$1.01 \cdot 10^{-3}$	$2.29 \cdot 10^{-3}$	$5.53 \cdot 10^{-3}$	$3.61 \cdot 10^{-3}$	$3.65 \cdot 10^{-2}$
20	0.342	$7.65 \cdot 10^{-4}$	$1.73 \cdot 10^{-3}$	$4.17 \cdot 10^{-3}$	$2.72 \cdot 10^{-3}$	$2.75 \cdot 10^{-2}$
25	0.422	$6.20 \cdot 10^{-4}$	$1.40 \cdot 10^{-3}$	$3.38 \cdot 10^{-3}$	$2.21 \cdot 10^{-3}$	$2.23 \cdot 10^{-2}$
30	0.500	$5.23 \cdot 10^{-4}$	$1.18 \cdot 10^{-3}$	$2.85 \cdot 10^{-3}$	$1.86 \cdot 10^{-3}$	$1.88 \cdot 10^{-2}$
35	0.573	$4.56 \cdot 10^{-4}$	$1.03 \cdot 10^{-3}$	$2.49 \cdot 10^{-3}$	$1.62 \cdot 10^{-3}$	$1.64 \cdot 10^{-2}$
40	0.643	$4.06 \cdot 10^{-4}$	$9.21 \cdot 10^{-4}$	$2.22 \cdot 10^{-3}$	$1.45 \cdot 10^{-3}$	$1.46 \cdot 10^{-2}$
45	0.707	$3.70 \cdot 10^{-4}$	$8.38 \cdot 10^{-4}$	$2.02 \cdot 10^{-3}$	$1.32 \cdot 10^{-3}$	$1.33 \cdot 10^{-2}$
50	0.766	$3.41 \cdot 10^{-4}$	$7.73 \cdot 10^{-4}$	$1.86 \cdot 10^{-3}$	$1.21 \cdot 10^{-3}$	$1.22 \cdot 10^{-2}$
55	0.819	$3.19 \cdot 10^{-4}$	$7.23 \cdot 10^{-4}$	$1.74 \cdot 10^{-3}$	$1.13 \cdot 10^{-3}$	$1.15 \cdot 10^{-2}$
60	0.866	$3.02 \cdot 10^{-4}$	$6.84 \cdot 10^{-4}$	$1.64 \cdot 10^{-3}$	$1.07 \cdot 10^{-3}$	$1.08 \cdot 10^{-2}$
65	0.906	$2.88 \cdot 10^{-4}$	$6.54 \cdot 10^{-4}$	$1.57 \cdot 10^{-3}$	$1.03 \cdot 10^{-3}$	$1.03 \cdot 10^{-2}$
70	0.939	$2.78 \cdot 10^{-4}$	$6.31 \cdot 10^{-4}$	$1.52 \cdot 10^{-3}$	$9.94 \cdot 10^{-4}$	$1.00 \cdot 10^{-2}$
75	0.965	$2.71 \cdot 10^{-4}$	$6.14 \cdot 10^{-4}$	$1.48 \cdot 10^{-3}$	$9.67 \cdot 10^{-4}$	$9.76 \cdot 10^{-3}$
80	0.984	$2.65 \cdot 10^{-4}$	$6.02 \cdot 10^{-4}$	$1.45 \cdot 10^{-3}$	$9.48 \cdot 10^{-4}$	$9.57 \cdot 10^{-3}$
85	0.996	$2.62 \cdot 10^{-4}$	$5.95 \cdot 10^{-4}$	$1.43 \cdot 10^{-3}$	$9.37 \cdot 10^{-4}$	$9.45 \cdot 10^{-3}$
90	1	$2.61 \cdot 10^{-4}$	$5.92 \cdot 10^{-4}$	$1.42 \cdot 10^{-3}$	$9.33 \cdot 10^{-4}$	$9.42 \cdot 10^{-3}$

α	$\sin(\alpha)$	Полые вены В(Ca)	Полые вены В(K)	Полые вены В(Na)	Полые вены В(Mg)	Полые вены В(Fe)
5	0.087	$6.76 \cdot 10^{-11}$	$1.49 \cdot 10^{-10}$	$3.73 \cdot 10^{-10}$	$3.00 \cdot 10^{-10}$	$2.16 \cdot 10^{-9}$
10	0.173	$3.40 \cdot 10^{-11}$	$7.51 \cdot 10^{-11}$	$1.87 \cdot 10^{-10}$	$1.51 \cdot 10^{-10}$	$1.08 \cdot 10^{-9}$
15	0.258	$2.28 \cdot 10^{-11}$	$5.03 \cdot 10^{-11}$	$1.25 \cdot 10^{-10}$	$1.01 \cdot 10^{-10}$	$7.30 \cdot 10^{-10}$
20	0.342	$1.72 \cdot 10^{-11}$	$3.80 \cdot 10^{-11}$	$9.50 \cdot 10^{-11}$	$7.64 \cdot 10^{-11}$	$5.50 \cdot 10^{-10}$
25	0.422	$1.39 \cdot 10^{-11}$	$3.08 \cdot 10^{-11}$	$7.70 \cdot 10^{-11}$	$6.19 \cdot 10^{-11}$	$4.46 \cdot 10^{-10}$
30	0.500	$1.17 \cdot 10^{-11}$	$2.59 \cdot 10^{-11}$	$6.49 \cdot 10^{-11}$	$5.22 \cdot 10^{-11}$	$3.76 \cdot 10^{-10}$
35	0.573	$1.02 \cdot 10^{-11}$	$2.26 \cdot 10^{-11}$	$5.67 \cdot 10^{-11}$	$4.56 \cdot 10^{-11}$	$3.28 \cdot 10^{-10}$
40	0.643	$9.15 \cdot 10^{-12}$	$2.02 \cdot 10^{-11}$	$5.05 \cdot 10^{-11}$	$4.06 \cdot 10^{-11}$	$2.93 \cdot 10^{-10}$
45	0.707	$8.32 \cdot 10^{-12}$	$1.83 \cdot 10^{-11}$	$4.59 \cdot 10^{-11}$	$3.69 \cdot 10^{-11}$	$2.66 \cdot 10^{-10}$
50	0.766	$7.68 \cdot 10^{-12}$	$1.69 \cdot 10^{-11}$	$4.24 \cdot 10^{-11}$	$3.41 \cdot 10^{-11}$	$2.45 \cdot 10^{-10}$
55	0.819	$7.18 \cdot 10^{-12}$	$1.58 \cdot 10^{-11}$	$3.96 \cdot 10^{-11}$	$3.19 \cdot 10^{-11}$	$2.30 \cdot 10^{-10}$
60	0.866	$6.79 \cdot 10^{-12}$	$1.50 \cdot 10^{-11}$	$3.75 \cdot 10^{-11}$	$3.01 \cdot 10^{-11}$	$2.17 \cdot 10^{-10}$
65	0.906	$6.49 \cdot 10^{-12}$	$1.43 \cdot 10^{-11}$	$3.58 \cdot 10^{-11}$	$2.88 \cdot 10^{-11}$	$2.07 \cdot 10^{-10}$
70	0.939	$6.26 \cdot 10^{-12}$	$1.38 \cdot 10^{-11}$	$3.46 \cdot 10^{-11}$	$2.78 \cdot 10^{-11}$	$2.00 \cdot 10^{-10}$
75	0.965	$6.10 \cdot 10^{-12}$	$1.34 \cdot 10^{-11}$	$3.36 \cdot 10^{-11}$	$2.70 \cdot 10^{-11}$	$1.95 \cdot 10^{-10}$
80	0.984	$5.98 \cdot 10^{-12}$	$1.32 \cdot 10^{-11}$	$3.30 \cdot 10^{-11}$	$2.65 \cdot 10^{-11}$	$1.91 \cdot 10^{-10}$
85	0.996	$5.91 \cdot 10^{-12}$	$1.30 \cdot 10^{-11}$	$3.26 \cdot 10^{-11}$	$2.62 \cdot 10^{-11}$	$1.89 \cdot 10^{-10}$
90	1	$5.88 \cdot 10^{-12}$	$1.29 \cdot 10^{-11}$	$3.24 \cdot 10^{-11}$	$2.61 \cdot 10^{-11}$	$1.88 \cdot 10^{-10}$

α	$\sin(\alpha)$	Аорта В(Ca)1	Аорта В(Ca)2	Аорта В(Na)1	Аорта В(Na)2

5	0.087	$1.01 \cdot 10^{-11}$	$5.80 \cdot 10^{-12}$	$4.98 \cdot 10^{-10}$	$2.98 \cdot 10^{-10}$
10	0.173	$5.10 \cdot 10^{-12}$	$2.91 \cdot 10^{-12}$	$2.50 \cdot 10^{-10}$	$1.50 \cdot 10^{-10}$
15	0.258	$3.42 \cdot 10^{-12}$	$1.95 \cdot 10^{-12}$	$1.67 \cdot 10^{-10}$	$1.00 \cdot 10^{-10}$
20	0.342	$2.58 \cdot 10^{-12}$	$1.47 \cdot 10^{-12}$	$1.26 \cdot 10^{-10}$	$7.60 \cdot 10^{-11}$
25	0.422	$2.09 \cdot 10^{-12}$	$1.19 \cdot 10^{-12}$	$1.02 \cdot 10^{-10}$	$6.16 \cdot 10^{-11}$
30	0.500	$1.76 \cdot 10^{-12}$	$1.00 \cdot 10^{-12}$	$8.66 \cdot 10^{-11}$	$5.19 \cdot 10^{-11}$
35	0.573	$1.54 \cdot 10^{-12}$	$8.80 \cdot 10^{-13}$	$7.56 \cdot 10^{-11}$	$4.53 \cdot 10^{-11}$
40	0.643	$1.37 \cdot 10^{-12}$	$7.84 \cdot 10^{-13}$	$6.73 \cdot 10^{-11}$	$4.04 \cdot 10^{-11}$
45	0.707	$1.24 \cdot 10^{-12}$	$7.13 \cdot 10^{-13}$	$6.12 \cdot 10^{-11}$	$3.67 \cdot 10^{-11}$
50	0.766	$1.15 \cdot 10^{-12}$	$6.58 \cdot 10^{-13}$	$5.65 \cdot 10^{-11}$	$3.39 \cdot 10^{-11}$
55	0.819	$1.07 \cdot 10^{-12}$	$6.16 \cdot 10^{-13}$	$5.29 \cdot 10^{-11}$	$3.17 \cdot 10^{-11}$
60	0.866	$1.01 \cdot 10^{-12}$	$5.82 \cdot 10^{-13}$	$5.00 \cdot 10^{-11}$	$3.00 \cdot 10^{-11}$
65	0.906	$9.74 \cdot 10^{-13}$	$5.57 \cdot 10^{-13}$	$4.78 \cdot 10^{-11}$	$2.86 \cdot 10^{-11}$
70	0.939	$9.40 \cdot 10^{-13}$	$5.37 \cdot 10^{-13}$	$4.61 \cdot 10^{-11}$	$2.76 \cdot 10^{-11}$
75	0.965	$9.15 \cdot 10^{-13}$	$5.22 \cdot 10^{-13}$	$4.49 \cdot 10^{-11}$	$2.69 \cdot 10^{-11}$
80	0.984	$8.97 \cdot 10^{-13}$	$5.12 \cdot 10^{-13}$	$4.40 \cdot 10^{-11}$	$2.64 \cdot 10^{-11}$
85	0.996	$8.86 \cdot 10^{-13}$	$5.06 \cdot 10^{-13}$	$4.35 \cdot 10^{-11}$	$2.61 \cdot 10^{-11}$
90	1	$8.83 \cdot 10^{-13}$	$5.04 \cdot 10^{-13}$	$4.33 \cdot 10^{-11}$	$2.59 \cdot 10^{-11}$

α	Sin(α)	Аорта	Аорта	Аорта	Аорта	Аорта	Аорта
		B(Mg)1	B(Mg)2	B(Fe)1	B(Fe)2	B(K)1	B(K)2
5	0.087	$3.00 \cdot 10^{-10}$	$2.00 \cdot 10^{-10}$	$3.24 \cdot 10^{-9}$	$3.00 \cdot 10^{-10}$	$2.49 \cdot 10^{-10}$	$1.40 \cdot 10^{-10}$
10	0.173	$1.51 \cdot 10^{-10}$	$1.00 \cdot 10^{-10}$	$1.63 \cdot 10^{-9}$	$1.51 \cdot 10^{-10}$	$1.25 \cdot 10^{-10}$	$7.04 \cdot 10^{-11}$
15	0.258	$1.01 \cdot 10^{-10}$	$6.75 \cdot 10^{-11}$	$1.09 \cdot 10^{-9}$	$1.01 \cdot 10^{-10}$	$8.39 \cdot 10^{-11}$	$4.72 \cdot 10^{-11}$
20	0.342	$7.64 \cdot 10^{-11}$	$5.09 \cdot 10^{-11}$	$8.26 \cdot 10^{-10}$	$7.64 \cdot 10^{-11}$	$6.33 \cdot 10^{-11}$	$3.56 \cdot 10^{-11}$
25	0.422	$6.19 \cdot 10^{-11}$	$4.12 \cdot 10^{-11}$	$6.69 \cdot 10^{-10}$	$6.19 \cdot 10^{-11}$	$5.13 \cdot 10^{-11}$	$2.88 \cdot 10^{-11}$
30	0.500	$5.22 \cdot 10^{-11}$	$3.48 \cdot 10^{-11}$	$5.65 \cdot 10^{-10}$	$5.22 \cdot 10^{-11}$	$4.33 \cdot 10^{-11}$	$2.43 \cdot 10^{-11}$
35	0.573	$4.56 \cdot 10^{-11}$	$3.04 \cdot 10^{-11}$	$4.93 \cdot 10^{-10}$	$4.56 \cdot 10^{-11}$	$3.78 \cdot 10^{-11}$	$2.12 \cdot 10^{-11}$
40	0.643	$4.06 \cdot 10^{-11}$	$2.71 \cdot 10^{-11}$	$4.39 \cdot 10^{-10}$	$4.06 \cdot 10^{-11}$	$3.36 \cdot 10^{-11}$	$1.89 \cdot 10^{-11}$
45	0.707	$3.69 \cdot 10^{-11}$	$2.46 \cdot 10^{-11}$	$3.99 \cdot 10^{-10}$	$3.69 \cdot 10^{-11}$	$3.06 \cdot 10^{-11}$	$1.72 \cdot 10^{-11}$
50	0.766	$3.41 \cdot 10^{-11}$	$2.27 \cdot 10^{-11}$	$3.68 \cdot 10^{-10}$	$3.41 \cdot 10^{-11}$	$2.82 \cdot 10^{-11}$	$1.59 \cdot 10^{-11}$
55	0.819	$3.19 \cdot 10^{-11}$	$2.12 \cdot 10^{-11}$	$3.45 \cdot 10^{-10}$	$3.19 \cdot 10^{-11}$	$2.64 \cdot 10^{-11}$	$1.48 \cdot 10^{-11}$
60	0.866	$3.01 \cdot 10^{-11}$	$2.01 \cdot 10^{-11}$	$3.26 \cdot 10^{-10}$	$3.01 \cdot 10^{-11}$	$2.50 \cdot 10^{-11}$	$1.40 \cdot 10^{-11}$
65	0.906	$2.88 \cdot 10^{-11}$	$1.92 \cdot 10^{-11}$	$3.11 \cdot 10^{-10}$	$2.88 \cdot 10^{-11}$	$2.39 \cdot 10^{-11}$	$1.34 \cdot 10^{-11}$
70	0.939	$2.78 \cdot 10^{-11}$	$1.85 \cdot 10^{-11}$	$3.00 \cdot 10^{-10}$	$2.78 \cdot 10^{-11}$	$2.30 \cdot 10^{-11}$	$1.29 \cdot 10^{-11}$
75	0.965	$2.70 \cdot 10^{-11}$	$1.80 \cdot 10^{-11}$	$2.92 \cdot 10^{-10}$	$2.70 \cdot 10^{-11}$	$2.24 \cdot 10^{-11}$	$1.26 \cdot 10^{-11}$
80	0.984	$2.65 \cdot 10^{-11}$	$1.77 \cdot 10^{-11}$	$2.87 \cdot 10^{-10}$	$2.65 \cdot 10^{-11}$	$2.20 \cdot 10^{-11}$	$1.23 \cdot 10^{-11}$
85	0.996	$2.62 \cdot 10^{-11}$	$1.75 \cdot 10^{-11}$	$2.83 \cdot 10^{-10}$	$2.62 \cdot 10^{-11}$	$2.17 \cdot 10^{-11}$	$1.22 \cdot 10^{-11}$
90	1	$2.61 \cdot 10^{-11}$	$1.74 \cdot 10^{-11}$	$2.82 \cdot 10^{-10}$	$2.61 \cdot 10^{-11}$	$2.16 \cdot 10^{-11}$	$1.21 \cdot 10^{-11}$

α	Sin(α)	Большие Артерии	Большие артерии	Большие артерии	Большие артерии
----------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

		B(Ca)1	B(Ca)2	B(Na)1	B(Na)2
5	0.087	6.24×10^{-10}	2.03×10^{-8}	4.98×10^{-9}	1.49×10^{-7}
10	0.173	3.14×10^{-10}	1.02×10^{-8}	2.50×10^{-9}	7.51×10^{-8}
15	0.258	2.10×10^{-10}	6.84×10^{-9}	1.67×10^{-9}	5.03×10^{-8}
20	0.342	1.58×10^{-10}	5.16×10^{-9}	1.26×10^{-9}	3.80×10^{-8}
25	0.422	1.28×10^{-10}	4.18×10^{-9}	1.02×10^{-9}	3.08×10^{-8}
30	0.500	1.08×10^{-10}	3.53×10^{-9}	8.66×10^{-10}	2.59×10^{-8}
35	0.573	9.48×10^{-11}	3.08×10^{-9}	7.56×10^{-10}	2.26×10^{-8}
40	0.643	8.45×10^{-11}	2.74×10^{-9}	6.73×10^{-10}	2.02×10^{-8}
45	0.707	7.68×10^{-11}	2.49×10^{-9}	6.12×10^{-10}	1.83×10^{-8}
50	0.766	7.09×10^{-11}	2.30×10^{-9}	5.65×10^{-10}	1.69×10^{-8}
55	0.819	6.63×10^{-11}	2.15×10^{-9}	5.29×10^{-10}	1.58×10^{-8}
60	0.866	6.27×10^{-11}	2.03×10^{-9}	5.00×10^{-10}	1.50×10^{-8}
65	0.906	5.99×10^{-11}	1.94×10^{-9}	4.78×10^{-10}	1.43×10^{-8}
70	0.939	5.78×10^{-11}	1.88×10^{-9}	4.61×10^{-10}	1.38×10^{-8}
75	0.965	5.63×10^{-11}	1.83×10^{-9}	4.49×10^{-10}	1.34×10^{-8}
80	0.984	5.52×10^{-11}	1.79×10^{-9}	4.40×10^{-10}	1.32×10^{-8}
85	0.996	5.45×10^{-11}	1.77×10^{-9}	4.35×10^{-10}	1.30×10^{-8}
90	1	5.43×10^{-11}	1.76×10^{-9}	4.33×10^{-10}	1.29×10^{-8}

α	$\sin(\alpha)$	Большие артерии	Большие артерии	Большие артерии	Большие артерии	Большие артерии	Большие артерии
		B(Mg)1	B(Mg)2	B(Fe)1	B(Fe)2	B(K)1	B(K)2
5	0.087	$3.00 \cdot 10^{-10}$	$2.00 \cdot 10^{-10}$	$3.24 \cdot 10^{-9}$	$3.00 \cdot 10^{-10}$	$2.49 \cdot 10^{-10}$	$1.40 \cdot 10^{-10}$
10	0.173	$1.51 \cdot 10^{-10}$	$1.00 \cdot 10^{-10}$	$1.63 \cdot 10^{-9}$	$1.51 \cdot 10^{-10}$	$1.25 \cdot 10^{-10}$	$7.04 \cdot 10^{-11}$
15	0.258	$1.01 \cdot 10^{-10}$	$6.75 \cdot 10^{-11}$	$1.09 \cdot 10^{-9}$	$1.01 \cdot 10^{-10}$	$8.39 \cdot 10^{-11}$	$4.72 \cdot 10^{-11}$
20	0.342	$7.64 \cdot 10^{-11}$	$5.09 \cdot 10^{-11}$	$8.26 \cdot 10^{-10}$	$7.64 \cdot 10^{-11}$	$6.33 \cdot 10^{-11}$	$3.56 \cdot 10^{-11}$
25	0.422	$6.19 \cdot 10^{-11}$	$4.12 \cdot 10^{-11}$	$6.69 \cdot 10^{-10}$	$6.19 \cdot 10^{-11}$	$5.13 \cdot 10^{-11}$	$2.88 \cdot 10^{-11}$
30	0.500	$5.22 \cdot 10^{-11}$	$3.48 \cdot 10^{-11}$	$5.65 \cdot 10^{-10}$	$5.22 \cdot 10^{-11}$	$4.33 \cdot 10^{-11}$	$2.43 \cdot 10^{-11}$
35	0.573	$4.56 \cdot 10^{-11}$	$3.04 \cdot 10^{-11}$	$4.93 \cdot 10^{-10}$	$4.56 \cdot 10^{-11}$	$3.78 \cdot 10^{-11}$	$2.12 \cdot 10^{-11}$
40	0.643	$4.06 \cdot 10^{-11}$	$2.71 \cdot 10^{-11}$	$4.39 \cdot 10^{-10}$	$4.06 \cdot 10^{-11}$	$3.36 \cdot 10^{-11}$	$1.89 \cdot 10^{-11}$
45	0.707	$3.69 \cdot 10^{-11}$	$2.46 \cdot 10^{-11}$	$3.99 \cdot 10^{-10}$	$3.69 \cdot 10^{-11}$	$3.06 \cdot 10^{-11}$	$1.72 \cdot 10^{-11}$
50	0.766	$3.41 \cdot 10^{-11}$	$2.27 \cdot 10^{-11}$	$3.68 \cdot 10^{-10}$	$3.41 \cdot 10^{-11}$	$2.82 \cdot 10^{-11}$	$1.59 \cdot 10^{-11}$
55	0.819	$3.19 \cdot 10^{-11}$	$2.12 \cdot 10^{-11}$	$3.45 \cdot 10^{-10}$	$3.19 \cdot 10^{-11}$	$2.64 \cdot 10^{-11}$	$1.48 \cdot 10^{-11}$
60	0.866	$3.01 \cdot 10^{-11}$	$2.01 \cdot 10^{-11}$	$3.26 \cdot 10^{-10}$	$3.01 \cdot 10^{-11}$	$2.50 \cdot 10^{-11}$	$1.40 \cdot 10^{-11}$
65	0.906	$2.88 \cdot 10^{-11}$	$1.92 \cdot 10^{-11}$	$3.11 \cdot 10^{-10}$	$2.88 \cdot 10^{-11}$	$2.39 \cdot 10^{-11}$	$1.34 \cdot 10^{-11}$
70	0.939	$2.78 \cdot 10^{-11}$	$1.85 \cdot 10^{-11}$	$3.00 \cdot 10^{-10}$	$2.78 \cdot 10^{-11}$	$2.30 \cdot 10^{-11}$	$1.29 \cdot 10^{-11}$
75	0.965	$2.70 \cdot 10^{-11}$	$1.80 \cdot 10^{-11}$	$2.92 \cdot 10^{-10}$	$2.70 \cdot 10^{-11}$	$2.24 \cdot 10^{-11}$	$1.26 \cdot 10^{-11}$
80	0.984	$2.65 \cdot 10^{-11}$	$1.77 \cdot 10^{-11}$	$2.87 \cdot 10^{-10}$	$2.65 \cdot 10^{-11}$	$2.20 \cdot 10^{-11}$	$1.23 \cdot 10^{-11}$
85	0.996	$2.62 \cdot 10^{-11}$	$1.75 \cdot 10^{-11}$	$2.83 \cdot 10^{-10}$	$2.62 \cdot 10^{-11}$	$2.17 \cdot 10^{-11}$	$1.22 \cdot 10^{-11}$
90	1	$2.61 \cdot 10^{-11}$	$1.74 \cdot 10^{-11}$	$2.82 \cdot 10^{-10}$	$2.61 \cdot 10^{-11}$	$2.16 \cdot 10^{-11}$	$1.21 \cdot 10^{-11}$

α		$\text{Sin}(\alpha)$	Большие Вены	Большие вены	Большие вены	Большие вены	
			$\text{B}(\text{Ca})1$	$\text{B}(\text{Ca})2$	$\text{B}(\text{Na})1$	$\text{B}(\text{Na})2$	
5		0.087	$1.16 \cdot 10^{-9}$	$2.70 \cdot 10^{-10}$	$7.47 \cdot 10^{-9}$	$1.49 \cdot 10^{-9}$	
10		0.173	$5.83 \cdot 10^{-10}$	$1.36 \cdot 10^{-10}$	$3.75 \cdot 10^{-9}$	$7.51 \cdot 10^{-10}$	
15		0.258	$3.91 \cdot 10^{-10}$	$9.12 \cdot 10^{-11}$	$2.51 \cdot 10^{-9}$	$5.03 \cdot 10^{-10}$	
20		0.342	$2.95 \cdot 10^{-10}$	$6.88 \cdot 10^{-11}$	$1.90 \cdot 10^{-9}$	$3.80 \cdot 10^{-10}$	
25		0.422	$2.39 \cdot 10^{-10}$	$5.58 \cdot 10^{-11}$	$1.54 \cdot 10^{-9}$	$3.08 \cdot 10^{-10}$	
30		0.500	$2.01 \cdot 10^{-10}$	$4.71 \cdot 10^{-11}$	$1.29 \cdot 10^{-9}$	$2.59 \cdot 10^{-10}$	
35		0.573	$1.76 \cdot 10^{-10}$	$4.10 \cdot 10^{-11}$	$1.13 \cdot 10^{-9}$	$2.26 \cdot 10^{-10}$	
40		0.643	$1.56 \cdot 10^{-10}$	$3.66 \cdot 10^{-11}$	$1.01 \cdot 10^{-9}$	$2.02 \cdot 10^{-10}$	
45		0.707	$1.42 \cdot 10^{-10}$	$3.33 \cdot 10^{-11}$	$9.19 \cdot 10^{-10}$	$1.83 \cdot 10^{-10}$	
50		0.766	$1.31 \cdot 10^{-10}$	$3.07 \cdot 10^{-11}$	$8.48 \cdot 10^{-10}$	$1.69 \cdot 10^{-10}$	
55		0.819	$1.23 \cdot 10^{-10}$	$2.87 \cdot 10^{-11}$	$7.93 \cdot 10^{-10}$	$1.58 \cdot 10^{-10}$	
60		0.866	$1.16 \cdot 10^{-10}$	$2.71 \cdot 10^{-11}$	$7.50 \cdot 10^{-10}$	$1.50 \cdot 10^{-10}$	
65		0.906	$1.11 \cdot 10^{-10}$	$2.59 \cdot 10^{-11}$	$7.17 \cdot 10^{-10}$	$1.43 \cdot 10^{-10}$	
70		0.939	$1.07 \cdot 10^{-10}$	$2.50 \cdot 10^{-11}$	$6.92 \cdot 10^{-10}$	$1.38 \cdot 10^{-10}$	
75		0.965	$1.04 \cdot 10^{-10}$	$2.44 \cdot 10^{-11}$	$6.73 \cdot 10^{-10}$	$1.34 \cdot 10^{-10}$	
80		0.984	$1.02 \cdot 10^{-10}$	$2.39 \cdot 10^{-11}$	$6.60 \cdot 10^{-10}$	$1.32 \cdot 10^{-10}$	
85		0.996	$1.01 \cdot 10^{-10}$	$2.36 \cdot 10^{-11}$	$6.52 \cdot 10^{-10}$	$1.30 \cdot 10^{-10}$	
90		1	$1.00 \cdot 10^{-10}$	$2.35 \cdot 10^{-11}$	$6.49 \cdot 10^{-10}$	$1.29 \cdot 10^{-10}$	
α	$\text{Sin}(\alpha)$	Большие Вены	Большие Вены	Большие Вены	Большие Вены	Большие Вены	Большие Вены
		$\text{B}(\text{Mg})1$	$\text{B}(\text{Mg})2$	$\text{B}(\text{Fe})1$	$\text{B}(\text{Fe})2$	$\text{B}(\text{K})1$	$\text{B}(\text{K})2$
5	0.087	$6.00 \cdot 10^{-9}$	$1.00 \cdot 10^{-9}$	$3.24 \cdot 10^{-8}$	$9.28 \cdot 10^{-9}$	$2.49 \cdot 10^{-9}$	$6.05 \cdot 10^{-10}$
10	0.173	$3.02 \cdot 10^{-9}$	$5.03 \cdot 10^{-10}$	$1.63 \cdot 10^{-8}$	$4.66 \cdot 10^{-9}$	$1.25 \cdot 10^{-9}$	$3.04 \cdot 10^{-10}$
15	0.258	$2.02 \cdot 10^{-9}$	$3.37 \cdot 10^{-10}$	$1.09 \cdot 10^{-8}$	$3.12 \cdot 10^{-9}$	$8.39 \cdot 10^{-10}$	$2.04 \cdot 10^{-10}$
20	0.342	$1.52 \cdot 10^{-9}$	$2.54 \cdot 10^{-10}$	$8.26 \cdot 10^{-9}$	$2.36 \cdot 10^{-9}$	$6.33 \cdot 10^{-10}$	$1.54 \cdot 10^{-10}$
25	0.422	$1.23 \cdot 10^{-9}$	$2.06 \cdot 10^{-10}$	$6.69 \cdot 10^{-9}$	$1.91 \cdot 10^{-9}$	$5.13 \cdot 10^{-10}$	$1.24 \cdot 10^{-10}$
30	0.500	$1.04 \cdot 10^{-9}$	$1.74 \cdot 10^{-10}$	$5.65 \cdot 10^{-9}$	$1.61 \cdot 10^{-9}$	$4.33 \cdot 10^{-10}$	$1.05 \cdot 10^{-10}$
35	0.573	$9.12 \cdot 10^{-10}$	$1.52 \cdot 10^{-10}$	$4.93 \cdot 10^{-9}$	$1.40 \cdot 10^{-9}$	$3.78 \cdot 10^{-10}$	$9.19 \cdot 10^{-11}$
40	0.643	$8.13 \cdot 10^{-10}$	$1.35 \cdot 10^{-10}$	$4.39 \cdot 10^{-9}$	$1.25 \cdot 10^{-9}$	$3.36 \cdot 10^{-10}$	$8.19 \cdot 10^{-11}$
45	0.707	$7.39 \cdot 10^{-10}$	$1.23 \cdot 10^{-10}$	$3.99 \cdot 10^{-9}$	$1.14 \cdot 10^{-9}$	$3.06 \cdot 10^{-10}$	$7.45 \cdot 10^{-11}$
50	0.766	$6.82 \cdot 10^{-10}$	$1.13 \cdot 10^{-10}$	$3.68 \cdot 10^{-9}$	$1.05 \cdot 10^{-9}$	$2.82 \cdot 10^{-10}$	$6.88 \cdot 10^{-11}$
55	0.819	$6.38 \cdot 10^{-10}$	$1.06 \cdot 10^{-10}$	$3.45 \cdot 10^{-9}$	$9.85 \cdot 10^{-10}$	$2.64 \cdot 10^{-10}$	$6.43 \cdot 10^{-11}$
60	0.866	$6.03 \cdot 10^{-10}$	$1.00 \cdot 10^{-10}$	$3.26 \cdot 10^{-9}$	$9.32 \cdot 10^{-10}$	$2.50 \cdot 10^{-10}$	$6.08 \cdot 10^{-11}$
65	0.906	$5.77 \cdot 10^{-10}$	$9.61 \cdot 10^{-11}$	$3.11 \cdot 10^{-9}$	$8.91 \cdot 10^{-10}$	$2.39 \cdot 10^{-10}$	$5.81 \cdot 10^{-11}$
70	0.939	$5.56 \cdot 10^{-10}$	$9.27 \cdot 10^{-11}$	$3.00 \cdot 10^{-9}$	$8.59 \cdot 10^{-10}$	$2.30 \cdot 10^{-10}$	$5.61 \cdot 10^{-11}$
75	0.965	$5.41 \cdot 10^{-10}$	$9.02 \cdot 10^{-11}$	$2.92 \cdot 10^{-9}$	$8.36 \cdot 10^{-10}$	$2.24 \cdot 10^{-10}$	$5.46 \cdot 10^{-11}$
80	0.984	$5.31 \cdot 10^{-10}$	$8.85 \cdot 10^{-11}$	$2.87 \cdot 10^{-9}$	$8.20 \cdot 10^{-10}$	$2.20 \cdot 10^{-10}$	$5.35 \cdot 10^{-11}$
85	0.996	$5.24 \cdot 10^{-10}$	$8.74 \cdot 10^{-11}$	$2.83 \cdot 10^{-9}$	$8.10 \cdot 10^{-10}$	$2.17 \cdot 10^{-10}$	$5.29 \cdot 10^{-11}$
90	1	$5.22 \cdot 10^{-10}$	$8.71 \cdot 10^{-11}$	$2.82 \cdot 10^{-9}$	$8.07 \cdot 10^{-10}$	$2.16 \cdot 10^{-10}$	$5.27 \cdot 10^{-11}$

α	Sin(α)	Малые артерии	Малые артерии	Малые артерии	Малые артерии
		B(Ca)1	B(Ca)2	B(Na)1	B(Na)2
5	0.087	$5.41 \cdot 10^{-8}$	$1.62 \cdot 10^{-6}$	$1.49 \cdot 10^{-7}$	$3.73 \cdot 10^{-6}$
10	0.173	$2.72 \cdot 10^{-8}$	$8.16 \cdot 10^{-7}$	$7.51 \cdot 10^{-8}$	$1.87 \cdot 10^{-6}$
15	0.258	$1.82 \cdot 10^{-8}$	$5.47 \cdot 10^{-7}$	$5.03 \cdot 10^{-8}$	$1.25 \cdot 10^{-6}$
20	0.342	$1.37 \cdot 10^{-8}$	$4.13 \cdot 10^{-7}$	$3.80 \cdot 10^{-8}$	$9.50 \cdot 10^{-7}$
25	0.422	$1.11 \cdot 10^{-8}$	$3.34 \cdot 10^{-7}$	$3.08 \cdot 10^{-8}$	$7.70 \cdot 10^{-7}$
30	0.500	$9.42 \cdot 10^{-9}$	$2.82 \cdot 10^{-7}$	$2.59 \cdot 10^{-8}$	$6.49 \cdot 10^{-7}$
35	0.573	$8.21 \cdot 10^{-9}$	$2.46 \cdot 10^{-7}$	$2.26 \cdot 10^{-8}$	$5.67 \cdot 10^{-7}$
40	0.643	$7.32 \cdot 10^{-9}$	$2.19 \cdot 10^{-7}$	$2.02 \cdot 10^{-8}$	$5.05 \cdot 10^{-7}$
45	0.707	$6.66 \cdot 10^{-9}$	$1.99 \cdot 10^{-7}$	$1.83 \cdot 10^{-8}$	$4.59 \cdot 10^{-7}$
50	0.766	$6.14 \cdot 10^{-9}$	$1.84 \cdot 10^{-7}$	$1.69 \cdot 10^{-8}$	$4.24 \cdot 10^{-7}$
55	0.819	$5.75 \cdot 10^{-9}$	$1.72 \cdot 10^{-7}$	$1.58 \cdot 10^{-8}$	$3.96 \cdot 10^{-7}$
60	0.866	$5.43 \cdot 10^{-9}$	$1.63 \cdot 10^{-7}$	$1.50 \cdot 10^{-8}$	$3.75 \cdot 10^{-7}$
65	0.906	$5.19 \cdot 10^{-9}$	$1.55 \cdot 10^{-7}$	$1.43 \cdot 10^{-8}$	$3.58 \cdot 10^{-7}$
70	0.939	$5.01 \cdot 10^{-9}$	$1.50 \cdot 10^{-7}$	$1.38 \cdot 10^{-8}$	$3.46 \cdot 10^{-7}$
75	0.965	$4.88 \cdot 10^{-9}$	$1.46 \cdot 10^{-7}$	$1.34 \cdot 10^{-8}$	$3.36 \cdot 10^{-7}$
80	0.984	$4.78 \cdot 10^{-9}$	$1.43 \cdot 10^{-7}$	$1.32 \cdot 10^{-8}$	$3.30 \cdot 10^{-7}$
85	0.996	$4.72 \cdot 10^{-9}$	$1.41 \cdot 10^{-7}$	$1.30 \cdot 10^{-8}$	$3.26 \cdot 10^{-7}$
90	1	$4.71 \cdot 10^{-9}$	$1.41 \cdot 10^{-7}$	$1.29 \cdot 10^{-8}$	$3.24 \cdot 10^{-7}$

α	Sin(α)	Малые артерии	Малые артерии	Малые артерии	Малые артерии	Малые артерии	Малые артерии
		B(Mg)1	B(Mg)2	B(Fe)1	B(Fe)2	B(K)1	B(K)2
5	0.087	$1.00 \cdot 10^{-7}$	$3.00 \cdot 10^{-6}$	$9.28 \cdot 10^{-7}$	$2.16 \cdot 10^{-5}$	$5.60 \cdot 10^{-8}$	$2.24 \cdot 10^{-6}$
10	0.173	$5.03 \cdot 10^{-8}$	$1.51 \cdot 10^{-6}$	$4.66 \cdot 10^{-7}$	$1.08 \cdot 10^{-5}$	$2.81 \cdot 10^{-8}$	$1.12 \cdot 10^{-6}$
15	0.258	$3.37 \cdot 10^{-8}$	$1.01 \cdot 10^{-6}$	$3.12 \cdot 10^{-7}$	$7.30 \cdot 10^{-6}$	$1.88 \cdot 10^{-8}$	$7.55 \cdot 10^{-7}$
20	0.342	$2.54 \cdot 10^{-8}$	$7.64 \cdot 10^{-7}$	$2.36 \cdot 10^{-7}$	$5.50 \cdot 10^{-6}$	$1.42 \cdot 10^{-8}$	$5.70 \cdot 10^{-7}$
25	0.422	$2.06 \cdot 10^{-8}$	$6.19 \cdot 10^{-7}$	$1.91 \cdot 10^{-7}$	$4.46 \cdot 10^{-6}$	$1.15 \cdot 10^{-8}$	$4.62 \cdot 10^{-7}$
30	0.500	$1.74 \cdot 10^{-8}$	$5.22 \cdot 10^{-7}$	$1.61 \cdot 10^{-7}$	$3.76 \cdot 10^{-6}$	$9.74 \cdot 10^{-9}$	$3.89 \cdot 10^{-7}$
35	0.573	$1.52 \cdot 10^{-8}$	$4.56 \cdot 10^{-7}$	$1.40 \cdot 10^{-7}$	$3.28 \cdot 10^{-6}$	$8.50 \cdot 10^{-9}$	$3.40 \cdot 10^{-7}$
40	0.643	$1.35 \cdot 10^{-8}$	$4.06 \cdot 10^{-7}$	$1.25 \cdot 10^{-7}$	$2.93 \cdot 10^{-6}$	$7.58 \cdot 10^{-9}$	$3.03 \cdot 10^{-7}$
45	0.707	$1.23 \cdot 10^{-8}$	$3.69 \cdot 10^{-7}$	$1.14 \cdot 10^{-7}$	$2.66 \cdot 10^{-6}$	$6.89 \cdot 10^{-9}$	$2.75 \cdot 10^{-7}$
50	0.766	$1.13 \cdot 10^{-8}$	$3.41 \cdot 10^{-7}$	$1.05 \cdot 10^{-7}$	$2.45 \cdot 10^{-6}$	$6.36 \cdot 10^{-9}$	$2.54 \cdot 10^{-7}$
55	0.819	$1.06 \cdot 10^{-8}$	$3.19 \cdot 10^{-7}$	$9.85 \cdot 10^{-8}$	$2.30 \cdot 10^{-6}$	$5.95 \cdot 10^{-9}$	$2.38 \cdot 10^{-7}$
60	0.866	$1.00 \cdot 10^{-8}$	$3.01 \cdot 10^{-7}$	$9.32 \cdot 10^{-8}$	$2.17 \cdot 10^{-6}$	$5.62 \cdot 10^{-9}$	$2.25 \cdot 10^{-7}$
65	0.906	$9.61 \cdot 10^{-9}$	$2.88 \cdot 10^{-7}$	$8.91 \cdot 10^{-8}$	$2.07 \cdot 10^{-6}$	$5.38 \cdot 10^{-9}$	$2.15 \cdot 10^{-7}$
70	0.939	$9.27 \cdot 10^{-9}$	$2.78 \cdot 10^{-7}$	$8.59 \cdot 10^{-8}$	$2.00 \cdot 10^{-6}$	$5.19 \cdot 10^{-9}$	$2.07 \cdot 10^{-7}$
75	0.965	$9.02 \cdot 10^{-9}$	$2.70 \cdot 10^{-7}$	$8.36 \cdot 10^{-8}$	$1.95 \cdot 10^{-6}$	$5.05 \cdot 10^{-9}$	$2.02 \cdot 10^{-7}$
80	0.984	$8.85 \cdot 10^{-9}$	$2.65 \cdot 10^{-7}$	$8.20 \cdot 10^{-8}$	$1.91 \cdot 10^{-6}$	$4.95 \cdot 10^{-9}$	$1.98 \cdot 10^{-7}$
85	0.996	$8.74 \cdot 10^{-9}$	$2.62 \cdot 10^{-7}$	$8.10 \cdot 10^{-8}$	$1.89 \cdot 10^{-6}$	$4.89 \cdot 10^{-9}$	$1.95 \cdot 10^{-7}$
90	1	$8.71 \cdot 10^{-9}$	$2.61 \cdot 10^{-7}$	$8.07 \cdot 10^{-8}$	$1.88 \cdot 10^{-6}$	$4.87 \cdot 10^{-9}$	$1.94 \cdot 10^{-7}$

Заключения

В данной работе впервые были вычислены критические значения индукции внешнего магнитного поля $B_{кр}$, воздействия которого на ионы жизненно важных элементов, способно вызывать изменение в биологическом организме.

Результаты вычисления показывают, что величина $B_{кр}$ в зависимости от объема сосуда, от числа ионов биологический важного элемента в данном объеме принимает значения от 10^{-12} Тл до до 10^{-3} Тл.

Исходя из этих данных, можно объяснить несогласованности и противоречивости экспериментальных результатов, полученные в разное время разными экспериментальными группами, так как любой биологический организм представляет собой сложную и индивидуальную для каждого объекта, систему.

И данные, соответствующие одному человеку не могут быть рассмотрены как стандарт для другого. Всё зависит от состава крови, концентрации в организме жизненно важных элементов и характеристикам сосудов. Содержание ионов биологически важных элементов в организме является различным в зависимости от природы строения самого человека. В связи с этим, нельзя однозначно установить каким будет биологический отклик на все организмы в целом.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Z.Kanokov, Sh.Z.Kanokova ., Past chastotali kuchsiz va o'ta kuchsiz magnit hamda elektr maydonlarining biofizik ta'sirlari//журнал, Fizika, Matematika va Infotmatika, 3/2012, 6-11б.
2. Ш.З. Канокова , З.Каноков «Биологическое действие не ионизирующих излучений» журнал «УзМУ Хабарлари»№2/1,2013, с.192-194.
3. Ш.Канокова, Биологическое действие неионизирующих излучений// «Аёллар фан ва таълим тизимида»Республика илмий –назарий конференцияси 24 май 2013), 60б.
4. Z.Kanokov and Sh.Z.Kanokova , Critical values of the external magnetic field leading biological effects in the human organism// arXiv:1305.5392v1 [physics.med-ph] 23 May 2013.
5. Ш.З.Канокова, Механизм воздействия геомагнитных полей на здоровье человека, (Узбекистоннинг инновацион тарақиёти- ёшлар нигоҳида, УзМУ Конференцияси , Ташкент, 2010г.), стр.10-13.
6. Ш.З.Канокова, Э.Х.Алпомишев, Т.Ю.Шерматов «Диссипативные системы во внешнем магнитном поле» (Узбекистоннинг инновацион тарақиёти -ёшлар нигоҳида, УзМУ Конференцияси, Ташкент, 2010г.) стр229-233
7. Ш.З.Канокова, З.Каноков «Критические значения внешнего магнитного поля, влияющие на здоровье человека» (III Республиканская Конференция молодых физиков Узбекистана «Ядерная физика и ядерной технологии» ИЯФ РУ, Ташкент 2010г.)
8. Sh.Z.Kanokova, Z.Kanokov«Critical values of the external magnetic field exerting in fluences on health of a Person» (8я Международная Конференция «Ядерная и радиационная физика»2011Алмата, Казахстан) стр178
9. Канокова Ш.З., Каноков З. «Механизм биологического и лечебного воздействия магнитных полей» (Международная конференция «Актуальные проблемы физической электроники» ,Ташкент, 28 ноября 2012 года, Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУ стр 150

10. Канокова Ш.З., Каноков З.У. «Биологическое действие неионизирующих излучений» («Fizika fanining rivojida iste'dodli yoshlarning o'rni» Respublika ilmiy –amaliy konferensiyasi 26-27 aprel 2013y.)стр 10-13

Список литературы

- [1] Птицына Н.Г., Виллорези Дж., Дорман Л.И., Ючки Н., Тясто М.И. *Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья // УФН - 1998. - Т. 168, No 7. - С. 767-791.*
- [2] Чижевский А.Л. *Земное эхо солнечных бурь.* М.: Мысль, 1973. 350с
- [3] Сидякин В.Г., Темурьянц Н.А., Макеев В.Б., Тишкин О.Г. *Чувствительность человека к изменению солнечной активности/Успехи современной биологии.* 1983. Т.96, В. 1(4)с. 151-160
- [4] Сидякин В.Г., Темурьянц Н.А., Макеев В.Б., Владимирский Б.М. *Космическая экология.* Киев : Наукова Думка, 1985.с.176
- [5] Темурьянц Н.А., Макеев В.Б., Тишкин О.Г. *Влияние солнечной активности на заболеваемость и смертность от болезней сердечно-сосудистой системы/ Сов.мед.* 1982. N10. с.66-72
- [6] В.Н. Бинги, А.В. Савин. *Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические системы.* УФН, 173(3):265-300, 2003.
- [7] Алексеев Д.В., Кориченков Н.И., Кокин С.М. *О воздействии электромагнитных полей на здоровье человека // Неделя науки 2000-2002 гг.: тр. науч.-практ. конф. В 3ч. - М.: МИИТ, 2006. - С. XXIV-2.*
- [8] Liboff A.R. *Geomagnetic cyclotron resonance in membrane transport.* J.Biol.Phys.-1985-V.13.-P.99-102
- [9] Liboff A.R. *Geomagnetic cyclotron resonance in membrane transport.* In: Chiabrera, A., Nicolini, C., Schwan, H.P. (eds.). *Interactions between Electromagnetic Field and Cells.* New-York: Plenum.-1985-P.281-296
- [10] Liboff A.R., Smith S.D., McLeod B.R. *Mechanistic Approches of Interactions of Electric and Electromagnetik Fieldswith Living Systems.* New York: Plenum Press. 1987. P.109

- [11] Liboff A.R., Rozek R.J., Sherman M.L., McLeod B.R., Smith S.D. *Ca(2)45 cyclotron resonance in human lymphocytes*//J.Bioelectricity.-1987b.-V.6(1).-P.13-22
- [12] Liboff A.R., McLeod B.R. *Kinetics of channelized membrane ions in magnetic fields*//Bioelectromagnetics.-1988.-V.9.-P.39-51.
- [13] Liboff A.R., McLeod B.R. *Power lines and the geomagnetic field*//Bioelectromagnetics-1995.-V.16.-P.227-230.
- [14] Liboff A.R., Parkinson W.C. *Search for ion-cyclotron resonance in an Na transport system.* // Bioelectromagnetics-1991.-V.12(2).-P.77-83.
- [15] Liboff A.R., Rozek R.J., Sherman M.L., McLeod B.R., Smith S.D. *CaMS cyclotron resonance in human lymphocytes* // Bioelectromagnetics.-1987.-V.6.-P.13-22.
- [16] Liboff A.R., Thomas J.R., Schrot J. *Intensity threshold for 60-Hz magnetically induced behavioral changes in rats* // Bioelectromagnetics 1989.-V/10(1).-P.111-113.
- [17] Zakirjon Kanokov, Jurn W. P. Schmelzer, Avazbek K. Nasirov arXiv:0904.1198 ; Title: *On the Influence of Weak Magnetic and Electric Fields on the Fluctuations of Ionic Electric Currents in Blood Circulation*;
- [18] Zakirjon Kanokov, Jurn W. P. Schmelzer, Avazbek K. Nasirov : *New mechanism of solution of the kT-problem in magnetobiology* .Central European Journal of Physics. DOI:102478/s11534-0090144-3
- [19] Wertheimer N.W., in *Mechanisms of Carcinogenesis* (Ed.E K Weisburger) (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1989)p.188
- [20] Kaune W.T., Anderson L.E., in *Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields: the Questions of Cancer*(Eds B.W.Wilson, R.G. Stevens, L.E.Anderson)(Columbus, OH:Bettele Press, 1989)p.17
- [21] Goldberg R.B., Creasey W.A. Med.Hypoth.35 265 (1991)
- [22] Rea W.J., Pan Y., Fenyves E.J., Sujisawa I., Suyama H., Samadi N., Ross G. *Electromagnetic Field Sensitivity*. J Bioelectricity, 10:241-256, 1991.
- [23] Hillert L., Berglind N., Arnetz B.B., Bellander T. *Prevalence of self-reported hypersensitivity to electric or magnetic fields in a population-based questionnaire survey*. Scand J Work Environ Health. Feb;28(1):33-41, 2002.

- [24] Belyaev I.Y., Hillert L., Protopopova M., Tamm C, Malmgren L.O.G., Persson B.R.R., Selivanova G., Harms-Ringdahl M. *915 MHz Microwaves and 50 Hz Magnetic Field Affect Chromatin Conformation and 53BP1 Foci in Human Lymphocytes From Hypersensitive and Healthy Persons*. *Bioelectromagnetics*, 26:173-184, 2005.
- [25] Mueller C.H., Krueger H., Schierz C. *Project NEMESIS: Perception of a 50 Hz Electric and Magnetic Field at Low Intensities (Laboratory Experiment)*. *Bioelectromagnetics* 23:26-36, 2002.
- [26] Cook C.M., Thomas A.W., Prato F.S. *Human electrophysiological and cognitive effects of exposure to ELF magnetic and ELF modulated RF and microwave fields: a review of recent studies*. *Bioelectromagnetics*, 23(2): 144–57, 2002.
- [27] Saunders R.D., McCaig C.D. *Developmental Effects of Physiologically Weak Electric Fields and Heat: An Overview*. *Bioelectromagnetics*, Suppl. 7:S127-S132, 2005.
- [28] Blackman CF, Benane SG, Rabinowitz JR, House DE, Joines WT. *A role for the magnetic field in the radiation-induced efflux of calcium ions from brain tissue in vitro*. *Bioelectromagnetics*, 6(4):327-37, 1985.
- [29] Бинги, В.Н. *Магнитобиология: эксперименты и модели*. М., МИЛТА, 2002.
- [30] Владимирский Б.М. *Биофизика* 40 950 (1995)
- [31] Roederer J.G. *Space Medicine and Medical Engineering (Jpn)* 97(1996)
- [32] Ptitsyna N. *Getal. Phys. Med.* 1193(1995)
- [33] Binhi V.N. *Electro Magnetobiol.* 20 47 (2001)
- [34] Pickard W.F. Moros E.G. *Bioelectromagnetics* 22 97 (2001)
- [35] Симонов А.Н., Лившиц В.А., Кузнецов А.Н., *Биофизика* 31 777 / (1986)
- [36] Thompson C.J. et al. *Bioelectromagnetics* 21 455(2000)
- [37] Kobayaschi A.K. , Kirschvink J.L., Nesson M.H. *Nature* 374 123(1995)

- [38] Polk C.J. *Biol.Phys.* 14 3 (1986)
- [39] Juutilainen J.P.Z. *NaturforschungC* 41 1111(1986)
- [40] Ross S.M. *Bioelectromagnetics* 11 27 (1990)
- [41] Blackman C.F.,Benane S.G.,House D.E. *FASEB J.*7 801 (1993)
- [42] Jenrow K.A.,Smith C.H.,Liboff A.R. *Bioelectromagnetics* 16 106 (1995)
- [43] Prato F.S.et al. *FASEB J.*9 807 (1995)
- [44] Froelich H. *Phys Lett A.*26 402 (1968)
- [45] Popp F.A et al. (Eds) *Electromagnetic Bio-Information: Proc.ofthe Symp.Marburg,Sept.5,1977*
- [46]Zhadin M.N, Fesenko E.E. *Biomed.Sci* 1 245 (1990)
- [47] Edmons D.T. *Bioelectrochem.Bioenerg.* 30 3 (1993)
- [48]Бинги В.Н., Рубин А.Б. *Фундаментальная проблема магнитобиологии. Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. Юбилейный сборник, посвященный памяти акад. Н.Д. Девяткова. 2007.*
- [49] Бинги В. Н., Миляев В.А., Чернавский Д. С., Рубин, А. Б. *Парадокс магнитобиологии: анализ и перспективы решения.* Биофизика 51(3)553-559, 2006.
- [50] Любимов В.В. *Биотропность естественных и искусственно созданных электромагнитных полей.* (Аналитический обзор). Препринт No.7 (1103) М.: ИЗМИРАН, 1997. - 85 с.
- [51] Мизун ю.г. *Космос и биосфера.* М.: Знание, 1989.
- [52] Мизун Ю.Г. *Космос и здоровье. Как уберечь себя и избежать болезней.* М.: Вече, АСТ, 1997. - 608 с.
- [53] Мизун Ю.Г., Мизун П.Г. *Магнитные бури и здоровье.* М.: КОРОНА, 1990. - 204 с.
- [54]Сидякин В.Г., Темурьянц Н.А., Макеев В.Б., Владимирский Б.М. *Космическая экология.* Киев: Наукова Думка, 1985. - 176 с.
- [55] Холодов Ю.А., Берлин Ю.В. *Сенсорные реакции человека при воздействии магнитным полем* // [46] С.83 – 89

[56] Александров В.В., Кутикова Л.А. *Об элементах связи суточной миграции озерного зоопланктона с флуктуациями электрического и магнитного полей Земли* // Гидробиологический журнал. 1985. Т.21. №.4. С. 17 - 29.

[57] Ачкасова Ю.Н. Метаболизм и скорость размножения микроорганизмов, развивающихся при экранировании электрических и магнитных полей // Влияние слабых электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков: Харьк. мед. институт, 1973. Т.53. С.51 - 52.

[58] Ачкасова Ю.Н., Бобова В.П., Брызгунова Н.И., Владимирский Б.М. *Секторная структура межпланетного магнитного поля и размножение бактерий в лабораторном эксперименте* // Солнечные данные: Бюллетень №.1. 1978. С.99 - 102.

[59] Ачкасова Ю.Н., Владимирский Б.М. *Реакция микроорганизмов на воздействия магнитного поля с частотой в диапазоне КПК типа Pс2* // Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты: Материалы 2-го Всесоюзного симпозиума (Белгород, 18-20 сентября 1973 г.). Белгород, 1973. С.127 - 129.

[60] Ананьев И.П., Гак Е.З., Рохинсон Э.Е. *Экологические аспекты электромагнитных технологий в растениеводстве и земледелии* // (20) С.10 - 11.

[61] Русяев В.Ф. *Действие электромагнитных полей на систему свертывания крови* // [46] С.97 - 107.

[62] Рывкин Б.А. *К вопросу о влиянии солнечной активности на заболеваемость инфарктом миокарда* // Солнце, электричество, жизнь. М., 1972. С.93 - 95.

[63] Рывкин Б.А., Вольнов Н.И., Ведерников В.В. *О влиянии физических факторов внешней среды на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы* // 21-й Украинская республиканская научно-техническая конференция, посвященная 50-летию образования СССР, Дню Радио и Дню Связиста. Тезисы докладов. К., 1972. С.51.

[64] Торопцев И.В. *Морфологическая характеристика биологического действия магнитных полей* // Архив патологии. М., Т.30. №.3. С.3 - 16.

[65] Пяткин В.П., Ажицкий Ю.А., Барсуков О.М. и др. *Состояние свертывающей системы крови у больных хронической пневмонией и активность геомагнитного поля // Система свертывания крови и фибринолиз.* Саратов, 1975. С.297

[66] Григорьев Ю.Г. *Электромагнитное загрязнение экологической среды и человек (оценки неблагоприятного воздействия, факты, прогнозы) // [20] С.16 - 17.*

[67] Селиванов А.М., Корзинин В.Н., Пирушкин В.И. *Исследование техногенных магнитных полей // [26] С.224 - 225.*

[68] Сердюк А.М. *Социально-гигиенические аспекты влияния электромагнитных полей на организм человека // Социальная гигиена, организация здравоохранения и истории медицины.* 1974. Вып.7. С.95 - 98.

[69] Рудаков М.Л. *Электромагнитные излучения персональных ЭВМ: источники, опасности, стандарты, защитные мероприятия // [26] С.217 - 218.*

[70] Шандала М.Г. *Физические факторы в населенных местах и проблемы гигиенического нормирования // Гигиена населенных мест.* 1975. Вып.14. С.58 - 68.

[71] Холодов Ю.А., Лебедева Н.Н. *Реакции нервной системы человека на электромагнитные поля.* М.: Наука, 1992.-135 с.

[72] Нахальницкая З.Н., Мاستрюкова В.М., Андрианова Л.А., Бородкина А.Т. *Реакция организма на воздействие "нулевого" магнитного поля // Космическая биология и авиакосмическая медицина,* 1978. No.2. С.74 - 76.

[73]Миляев В.А., Бинги В.Н. *О физической природе магнитобиологических эффектов.* Квантовая электроника. 2006, 36 (8), 691-701.

[74] V.N. Binhi and A.V. Savin. *Molecular gyroscopes and biological effects of weak extremely low-frequency magnetic fields.* Phys Rev E 65(051912):1-10, 2002.

[75]Автореферат диссертации "Физические механизмы магнитобиологических явлений". В.Н. Бинги. 2005.

- [76] Бинги В.Н. *Нетепловые биологические эффекты электромагнитных полей. Наука и технологии в промышленности*, (3–4):74–77, 2002.
- [77] Binhi V.N. *Theoretical concepts in magnetobiology. Electro- & Magnetobiology* 20(1):47-62, 2001.
- [78] Леднев В.В. *Биоэффекты слабых комбинированных постоянных и переменных магнитных полей // Биофизика - 1996. - Т.41, вып. 1. - С.224-231.*
- [79] Дроздов А.В. *Квантово-механические аспекты эффектов слабых магнитных полей на биологические объекты/ Биофизика 2010-Т.55, № 4.-С740-749*
- [80] V.N. Binhi. *Interference mechanism for some biological effects of pulsed magnetic fields. Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 45:73–81, 1998.
- [81] V.N. Binhi, Ye.D. Alipov, and I.Ya. Belyaev. *Effect of static magnetic field on E. coli cells and individual rotations of ion-protein complexes. Bioelectromagnetics* 22(2):79–86, 2001
- [82] V.N. Binhi. *Amplitude and frequency dissociation spectra of ion-protein complexes rotating in magnetic fields. Bioelectromagnetics*, 21(1):34–45, 2000.
- [83] V.N. Binhi and R.J. Goldman. *Ion-protein dissociation predicts "windows" in electric field-induced wound-cell proliferation. Biochimica et Biophysica Acta* 1474:147–156, 2000.
- [84] Бинги В.Н. *Интерференция квантовых состояний ионов связанных с белками в слабых магнитных полях. Биофизика*, 42, в.6, 1186–1191, 1997.
- [85] Бинги В.Н. *Механизм магниточувствительного связывания ионов некоторыми белками. Биофизика*, 42, в.2, 338–342, 1997.
- [86] Bullienkov N.A. *Three possible branches of determine modular generalization of crystallography // Fields Institute Monograph. 1998. V. 10. P. 67–133.*
- [87] 42.Кяйверяйнен А.И. *Динамическое поведение белков в водной среде и их функции. Л.: Наука, 1980. 272 с.*

- [88] Кяйверяйнен А.И. Крупномасштабная динамика белковых молекул и их взаимодействие водной средой: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук (в форме науч. доклада). Л., 1989. 53 с.
- [89] Colic M., Morse D. *Mechanism of the long-term effects of electromagnetic radiation on solution and suspended colloids* // *Lanmuir*. 1998. V. 14, N 4. P. 783–787.
- [90] Темурьянц Н.А., Шехоткин А.В. *Современные представления о механизмах электромагнитных воздействий* // *Вест. физиотерапии и курортологии*. 1999. Т. 5, № 1. С. 8–13.
- [91] Белова Н.А., Ермаков А.М., Знобищева А.В., Сребницкая Л.К., Леднев В.В. Влияние крайне слабых переменных магнитных полей на регенерацию планарий и гравитационную реакцию растений // *Биофизика*. 2010. Т. 55, вып. 4. С. 704–709.
- [92] Леднев В.В. *Биологические эффекты крайне слабых магнитных полей: идентификация первичных мишеней*. *Биофизика*, 10, в1
- [93] Лукьянчиков В.С. *АПУД-теория в клиническом аспекте* // *Рос. мед. журн.* 2005. Т. 13, № 26. С. 1808–1811.
- [94] 103. Benzi R., Sutera A., Vulpiani A. *The mechanism of stochastic resonance* // *J. Phys.* 1981. V. 14. P. L453–L457.
- [95] Bezrukov S.M., Vodyanov I. *Stochastic resonance at the single-cell level* // *Nature*. 1997. V. 388. P. 632–633.
- [96] Diego-Rasilla F.J., Luengo R.M., Phillips J.B. *Magnetic compass mediates nocturnal homing by the alpine newt, Triturus alpestris* // *Behav. Ecol. Sociobiol.* 2005. V. 58. P. 361–365.
- [97] Shreiber B., Rossi O. Observation of homing behavior of pigeons during geomagnetic storm of solar origin // *Monit. Zool. Ital.* 1979. V. 13, N 2-3. P. 215–216.
- [98] Мартынюк В.С., Мартынюк С.Б. *Влияние экологически значимого переменного магнитного поля на метаболические процессы в головном мозге животных* // *Биофизика*. 2001б. Т. 46, № 5. С. 876–880.
- [99] Коплик Е.В., Ганнушкина И.В., Антелова А.Л., Баранчикова М.В., Судаков К.В. *Прогностические поведенческие критерии и особенности мозгового кровотока у крыс с различной устойчивостью к*

эмоциональному стрессу // Физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 1995а. Т. 81, № 9. С. 35–39.

[100] Коплик Е.В., Салиева Р.М., Горбунова А.В. *Тест открытого поля как прогностический критерий устойчивости к эмоциональному стрессу у крыс линии Вистар* // Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П. Павлова. 1995б. Т. 45, № 4. С. 775–781.

[101] Ю.Е.Вельтишев, Ф.И.Комаров, С.М.Навашин и др. *Справочник практического врача*. –М.: Баян, 1992 г.-608 с.

[102] Д.Мармон, Л.Хеллер. *Физиология сердечно-сосудистой системы*. Санкт-Петербург: Издательство Питер. 2002.

[103] Johnson J.B. *Thermal Agitation of Electricity in Conductors* // Phys. Rev., 1928, vol. 32, pp. 97-109.

[104] Г.Н.Бочков, Ю.Е. Кузовлев. *Новое в исследованиях 1/f шума*// УФН, т 141, вып 1, стр. 151-176.

[105] J.Keizer, *Statistical Thermodynamics of Non-Equilibrium Processes* (Springer, Berlin, 1987).

[106] В.И.Кляцкин. *Стохастические уравнения глазами физика*. Москва: Физматлит 2001г. 528ст.

[107] <http://medicalxpress.com/news/2012-04-effects-weak-magnetic-fields-cancer.html>