

# Воздействие переменных магнитных полей низких частот на организм человека (аналитический обзор)

**С.М. Коробейников**, заведующий кафедры, д-р физ.-мат. наук, профессор,  
**А.Д. Коробенков**, доцент, канд. техн. наук,  
**М.С. Акрамова**, аспирант

Новосибирский государственный технический университет

e-mail: korobeynikov@corp.nstu.ru, madina\_07.92@mail.ru

**Ключевые слова:**  
магнитное поле,  
низкие частоты,  
воздействие на организм человека,  
вредный эффект,  
лечебный эффект.

*В обзоре рассмотрены и проанализированы отечественные и зарубежные публикации по вопросу воздействия магнитных полей низких частот на человека. Магнитное поле низких частот является биологически активным фактором. Действие и конечный результат его воздействия зависят от многих факторов, как внешних (частота, интенсивность магнитных полей, длительность воздействия), так и внутренних, индивидуальных, таких как состояние здоровья человека, подвергающегося воздействию, состояние нервной системы в момент воздействия, уровень возбудимости нервной системы конкретного человека и т.д. Магнитное поле может иметь как положительный (лечебный) эффект при определенных режимах и дозах, так и негативный эффект, отрицательно влияющий на здоровье человека, который, к сожалению, встречается намного чаще и рассматривается как вредный производственный фактор и фактор загрязнения окружающей среды.*

## 1. Биофизические механизмы воздействия поля на организм

Научные исследования воздействия электромагнитных полей (ЭМП) на человека в России и за рубежом начали проводиться с середины XX в. в связи с масштабным строительством линий электропередач высокого (110–220 кВ) и сверхвысокого (330–750 кВ) напряжения. За это время произошла значительная эволюция представлений о влиянии полей на человека. Долгое время считалось, что магнитная составляющая ЭМП промышленной частоты оказывает незначительное биологическое действие на организм. Подчеркнем, что на подстанциях, особенно закрытого исполнения, нередко наблюдаются превышение уровней магнитных полей (МП) над гигиеническими нормативами [1]. Обеспечение электромагнитной безопасности населения при воздействии электромагнитных полей (ЭМП) частотой 50 Гц составляет значительную проблему, особенно в части воздействия магнитной составляющей ЭМП, в связи с повышением риска потери здоровья [2].

Воздействию ЭМП промышленной частоты (ПЧ) (50 Гц, в некоторых странах 60 Гц), в различной степени подвергается каждый человек практически ежедневно. Эти поля окружают все действующие установки, участвующие в генерировании, передаче и использовании электрической энергии: электротехническое оборудование электростанций и подстанций, линии электропередачи и распределительные сети в городах и сельских населенных пунктах, промышленное электрооборудование, внутридомовая и внутриквартирная электропроводка, различные электробытовые приборы. ЭМП ПЧ следует признать самым распространенным неблагоприятным фактором среды обитания человека [3].

Существует множество гипотез о механизмах воздействия магнитных полей на организм человека. К настоящему времени научно обоснована следующая связь между внешним низкочастотным МП и реакцией организма человека. МП наводит в тканях организма ЭДС, под действием которых в теле человека протекают индуцированные токи. Их величина

зависит от напряженности поля (магнитной индукции), размера контура, через который протекает ток, и электропроводности ткани. При воздействии МП одной напряженности наиболее сильные индуцированные токи будут протекать в контуре с наибольшими размерами [4–6]. В данном случае действие МП становится очевидным лишь при значительных уровнях, многократно превышающих естественный электромагнитный фон.

Естественное электромагнитное поле Земли характеризуется постоянным МП с уровнем вертикальной составляющей напряженности в средних широтах до 55 А/м, а также наличием МП напряженностью 0,04–0,8 А/м при частоте пульсаций 0,0002–0,1 Гц и уменьшением напряженности электромагнитного поля с  $0,8 \cdot 10^{-4}$  А/м до  $0,8 \cdot 10^{-8}$  А/м при увеличении частоты с 0,1 кГц до 3 кГц [6]. Однако и при действии низких уровней МП, дополнительно создаваемых антропогенными источниками, возможны различные реакции организма человека.

Из многочисленных механизмов взаимодействия МП с организмом человека можно выделить в качестве наиболее вероятно действующих три механизма. Предполагается, что первичной мишенью действия МП на биологические объекты и организм человека могут быть заряженные частицы, в частности ионы, участвующие в биохимических реакциях. МП существенно влияет на движение ионов  $H^+$ , что меняет динамику биохимических реакций [7]. Причем наиболее важную роль в этом процессе играют магнитные или электрические свойства самих молекул, образующих те или иные биологические структуры, а также параметры МП, воздействующего на эти структуры. МП влияет на течение химических реакций свободных радикалов, обычно путем увеличения концентрации свободных радикалов в слабых полях и снижения концентрации в сильных полях (механизм действия радикальных пар) [4].

Электрические поля, наведенные в тканях МП, непосредственно стимулируют одиночные миелиновые нервные волокна<sup>1</sup>, когда напряженность внутреннего поля превышает несколько вольт на метр. В отличие от отдельных клеток значительно более слабые поля

могут оказывать влияние на синаптическую передачу<sup>2</sup> в нейронных сетях [4].

В тканях животных и человека, хотя и в незначительных количествах, присутствуют магнетитовые кристаллы, мелкие ферромагнитные кристаллы оксидов железа различной формы. Расчеты, основанные на крайних предположениях, позволяют сделать вывод, что нижний предел эффектов воздействия МП на магнетитовые кристаллы составляет 4 А/м. Наличие этих магнитных частиц может не только непосредственно повышать чувствительность организма к МП, но и оказывать влияние на механизм действия радикальных пар [4].

В [8] приведены данные о действии слабых низкочастотных магнитных полей на биологические системы. Величина переменного МП не обязательно ключевой фактор. Ответ биосистемы зависит от соотношения между величиной постоянного и переменного полей, их направлений и частоты, различных для разных моделей. Исследования показали, что скачкообразные (изменения устойчивого состояния поля) и иррегулярные магнитные поля (естественные геомагнитные возмущения, ультранизкочастотные поля электрифицированного транспорта) биологически более эффективны и могут вызвать более сильные эффекты.

Несмотря на то, что магнитобиологические эффекты МП разной напряженности описаны для многих биологических объектов — от бактерий до клеток и целостных организмов, включая человека, отсутствует понимание сущности биофизических процессов взаимодействия МП с биологическими субстанциями. Такие взаимодействия пока в научном сообществе считаются неустановленными и в наиболее полном издании Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) о влиянии МП на человека и окружающую среду [4] не рассматриваются.

## 2. Данные экспериментальных исследований и расчетов влияния МП

В исследованиях за рубежом [5, 9] показано, что воздействие индуцированных электрических токов на уровнях, превышающих эндогенные биоэлектри-

<sup>1</sup> Миелиновые нервные волокна имеют довольно сложное строение. Они есть как в центральной, так и в периферической нервной системе, т.е. в составе головного и спинного мозга, а также в составе периферических нервов. Это толстые волокна, диаметр их поперечного сечения колеблется от 1 до 20 мкм. Они построены из осевого цилиндра, миелиновой оболочки, нейролеммы и базальной мембраны. Осевой цилиндр – это отросток нервной клетки, которым чаще бывает аксон, но может быть и дендрит. Он состоит из нейроплазмы, содержащей продольно ориентированные нейрофиламенты и нейротубул, а также митохондрии. Осевой цилиндр покрыт аксолемой (продолжением клеточной мембраны), которая обеспечивает проведение нервного импульса (Ред.).

<sup>2</sup> Синаптическая передача (нейропередача) — электрические движения в синапсах, вызванные распространением нервных импульсов. Синапс (греч. σὺναψις, от συνάπτειν — соединение, связь) — место контакта между двумя нейронами или между нейроном и получающей сигнал клеткой (Ред.).

ческие сигналы в тканях, может привести к некоторым физиологическим эффектам, тяжесть которых растет с увеличением плотности тока. Так, при плотности индуцированного тока в диапазоне 10–100 мА/м<sup>2</sup> были отмечены тканевые эффекты и изменение мыслительных функций мозга. При плотности тока от 100 до нескольких сотен мА/м<sup>2</sup> и частоте внешнего поля от 10 Гц до 1 кГц превышает порог нервной и нервно-мышечной возбудимости. При очень высоких значениях плотности тока, превышающих 1 А/м<sup>2</sup>, могут происходить тяжелые и угрожающие жизни эффекты — фибрилляция сердечных желудочков, мышечный столбняк и изменения в дыхательной системе. Тяжесть и вероятность необратимости тканевых эффектов увеличивается при хроническом воздействии индуцированных электрических токов, превышающих уровни 10–100 мА/м<sup>2</sup>.

Восприимчивость МП человеком значительно хуже, чем электрического. Во многих исследованиях добровольцы свидетельствовали о визуальном восприятии слабых мерцающих вспышек света, известных как магнитные фосфены, при воздействии МП выше 2,4–4 кА/м. Эти визуальные эффекты также могут быть индуцированы прямым воздействием слабых электрических токов на голову человека. Кроме возникающих световых вспышек и кругов перед глазами, других эффектов, связанных с восприятием даже МП сильной напряженности, не отмечено. Для фибрилляции желудочков сердца необходимо поле выше 0,4 МА/м. В любом случае, на практике такая напряженность МП не встречается, однако доказано вредное действие индуцированных электрических токов, протекающих в тканях под влиянием поля.

Если рассматривать экспериментальные работы, то биологические эффекты МП исследовались на нескольких уровнях: на уровне организма человека (в основном эпидемиологические исследования), в экспериментах на животных и на клеточном уровне.

Наиболее значительные биологические эффекты, наблюдаемые в организме человека и животных, подвергавшихся воздействию МП промышленной частоты, непосредственно или опосредованно связаны с нервной системой. В табл. 1 суммированы эффекты, наблюдаемые при воздействии МП ПЧ на добровольцев, лабораторных животных или на ткани. Никакого влияния МП на кровяное давление не было обнаружено. В целом эти исследования свидетельствуют о том, что нервная и сердечно-сосудистая система, по-видимому, весьма восприимчивы к низкочастотным МП [8].

Никаких доказательств непосредственного влияния МП промышленной частоты на мутагенез или канцерогенез при исследовании на животных пока не найдено [8]. Электромагнитное воздействие позволяет повысить эффективность противоопухолевого лечения [10]. Кроме того, ЭМП приводило на какое-то время к сдерживанию роста и удлинению периода до прогрессирования злокачественного процесса [11].

Исследуется воздействие на отдельные клетки и их свойства, например, на клетки крови. Оно проявилось в повышении концентрации гемоглобина в крови, его среднего содержания и средней концентрации в одном эритроците. Показатели белой крови не претерпели существенных изменений [12]. Однако в исследовании зарубежных авторов [13] показано, что время жизни лимфоцитов заметно увеличивается при выдержке пробы крови в МП ПЧ напряженностью 40 А/м и выше (рис. 1), т. е. наблюдается отрицательное влияние на белые кровяные клетки.

В издании ВОЗ [4] сделан вывод, что данные не свидетельствуют о связи между воздействием именно низкочастотных МП и сердечно-сосудистыми заболеваниями. Но в качестве важнейшей необходимости ВОЗ рекомендовала провести дальнейшие исследования (оценить воздействие, эпидемиологические и лабораторные исследования с участием че-

Таблица 1

**Воздействие магнитного поля промышленной частоты по данным биологических исследований**

Характеристика магнитного поля	Наблюдаемый эффект
10–300 Гц, 32–1000 А/м	Изменения энцефалограмм у человека и животных
50 Гц, 80 А/м	Уменьшение времени реакции, отсутствие реакции сердечно-сосудистой системы человека
60 Гц, 16 А/м	Снижение изменчивости сердечного ритма человека
60 Гц, 40 А/м	Ухудшение решения задач у крыс
50 Гц, 1600 кА/м	Стимуляция деятельности сердца у собак в диастолической фазе

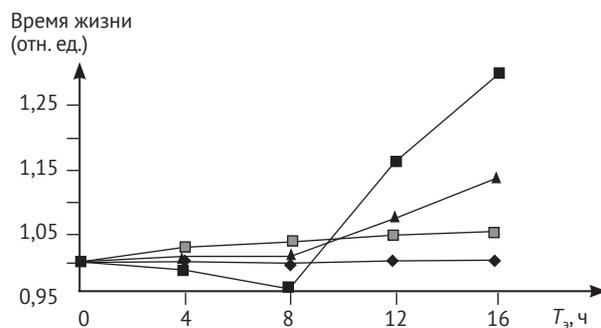


Рис. 1. Время жизни лимфоцитов (отн. ед.) в зависимости от периода выдержки  $T_3$  (ч) в магнитном поле: 1 — 0 А/м, 2 — 4 А/м, 3 — 40 А/м, 4 — 80 А/м

ловека, а также исследования на животных и на клеточном уровне) в отношении промежуточных частот (от 300 Гц до 100 кГц), учитывая имеющийся пробел в этой области.

Нужно выделить исследование российского автора [14], который отметил, что МП влияют на развитие у человека различных заболеваний, но вместе с тем могут быть фактором повышения защитных функций и иммунных реакций организма. Сделан вывод, что недостаточно данных о механизмах действия МП на человека и живые организмы, и сформулирована цель исследования — установить ответную реакцию организма животных и антиоксидантной системы крови человека на воздействие МП для снижения риска развития профессиональных болезней. Экспериментальное исследование позволило выявить зависимость между облучением организмов МП (частота 66 кГц, напряженность 500 А/м) и явно выраженным мембрано- и цитотоксическим эффектом, характеризующим отрицательное действие на клетки организма животных. Впервые установлено, что данное МП уменьшает активность ферментов антиоксидантной системы, что приводит к снижению адаптационных возможностей организма как животных, так и человека. Также экспериментально выявлено, что воздействие комбинированных постоянного (напряженность 20 А/м) и переменного МП крайне низкой частоты (КНЧ) (частота 3,1 Гц, напряженность 4 А/м) перед облучением организмов МП низких частот (НЧ) (частота 66 кГц, напряженность 500 А/м) значительно повышает адаптационные возможности организма животных, блокируя патологическое действие МП частотой 66 кГц и, соответственно, поля более высокой напряженности. Принципиально, что данное исследование подтвердило наличие у человека адаптационных ресурсов к воздействию МП, сопоставимых с естественным электромагнитным фоном, и наличие отрицательных эффектов при воздействии на организм более сильных МП искусственного происхождения.

Известно влияние искусственных ЭМП на возникновение и развитие ряда заболеваний центральной нервной, иммунной, эндокринной, выделительной, пищеварительной систем. В результате воздействия ЭМП нарушается обмен белков, жиров, углеводов и других биоактивных веществ, что влечет распад макромолекул высокополимерных веществ, ведя к изменениям в организме [15–18]. Отмечается, что ЭМП обладает также информационным действием при воздействии на человека [8,11]. При этом электромагнитное излучение оказывает непосредственное влияние на структуру лобных долей, промежуточного мозга и рефлекторное действие на ко-

нечные рецепторы и интерорецепторы. В результате нарушается условно рефлекторная деятельность, развивается первоначальное доминирование процессов возбуждения с последующим стойким доминированием тормозных процессов, истощением приспособительных реакций и астенизацией (появление повышенной утомляемости, истощаемости, ослабления или утраты способности к продолжительному физическому или умственному напряжению) [19].

### 3. Данные эпидемиологических исследований

В 1960-е годы отечественными учеными Т.Н. Асановой и А.И. Раковым впервые были описаны нарушения сердечно-сосудистой системы у электрослесарей [20, 21]. При воздействии ЭМП отмечается выраженное преобладание парасимпатической направленности реакций со стороны сердечно-сосудистой системы, в частности замедление ритма, брадикардия (урежение частоты сердечных сокращений менее 60 ударов в 1 минуту), брадиаритмия (нарушение сердечного ритма, при котором частота сердечных сокращений периодически снижается ниже допустимых значений) и снижение показателей артериального давления (гипотония) [22]. Проведенные эпидемиологические исследования свидетельствуют о наличии малого, но достоверного риска смерти от острого инфаркта миокарда [23, 24] у работников, подвергавшихся высоким экспозициям МП промышленной частоты. Так, одно из первых масштабных эпидемиологических исследований выявило достоверно повышенный риск смерти от инфаркта миокарда и аритмии в группе работников американских электрических компаний, подвергавшихся воздействию высоких уровней МП НЧ [25]. Однако имеются публикации, опровергающие наличие связи между профессиональным воздействием МП НЧ и смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний, а также развитием тяжелых форм аритмии [21, 26].

В зарубежных исследованиях была отмечена вероятность увеличения риска развития лейкоза и злокачественных новообразований центральной нервной системы. Исследования шведских ученых показали, что у детей до 15 лет, проживающих около воздушных линий электропередачи, при напряженности 0,16 А/м вероятность заболевания лейкозом в 2,7 раза выше, чем в контрольной группе, проживающей вдали от ВЛ, и в 3,8 раза выше, если напряженность МП превышает 0,24 А/м. Результаты исследований в Канаде свидетельствовали о повышенном риске лейкоза у новорожденных детей в случае воздействия магнитных полей на мать во время беременности. Предполагалось также, что хроническое внешнее

воздействие МП может угнетать синтез мелатонина и таким образом увеличить риск рака молочной железы и других опухолей [10].

Однако такие выводы нельзя считать бесспорными из-за небольшого числа тяжело больных детей, которые подвергались воздействию МП ПЧ более 0,2 мкТл (0,16 А/м) в Северной Америке, Великобритании, Германии и Новой Зеландии. Результаты исследований в Скандинавских странах (Дания, Финляндия, Норвегия и Швеция), полученные для детей, подвергавшихся воздействию поля напряженностью более 0,16 А/м, основаны на такой малой выборке, что они, возможно, случайные [10]. Тем не менее как безопасный уровень для условий продолжительного воздействия, не приводящий к онкологическим заболеваниям, независимо друг от друга шведскими и американскими специалистами рекомендована величина магнитной индукции 0,2 мкТл.

Согласно изданию ВОЗ [4], результаты исследований, проведенных с участием добровольцев, а также эпидемиологических исследований в местах проживания и в условиях производственного воздействия, позволяют предположить, что на нейроэндокринную систему не оказывает неблагоприятного влияния воздействие электрических или магнитных полей промышленной частоты. Это относится к уровням циркуляции специфических гормонов в нейроэндокринной системе, в том числе мелатонина, выделяемого шишковидной железой, а также ряда гормонов, участвующих в управлении обменом веществ и физиологическими процессами, которые выделяются гипофизом.

Классификация Международного агентства по исследованию рака (МАИР), относящая магнитные поля СНЧ к категории «2b» — «потенциальных канцерогенов по лейкозам для детей», основана на всех имеющихся данных до 2001 г. включительно. С появлением более поздних исследований данные о взаимосвязи между воздействием МП и риском онкологических заболеваний не получили подтверждения и не свидетельствуют о взаимосвязи подобного рода. По поводу рака головного мозга и лейкозов у взрослых новые исследования, опубликованные после монографии МАИР, не меняют вывод о том, что общий объем данных о взаимосвязи между МП и риском этих заболеваний остается недостаточным. Эксперименты на грызунах подтвердили, что пока отсутствуют свидетельства того, что воздействие МП само по себе вызывает опухоли. Данные о том, что воздействие МП в сочетании с канцерогенами может активизировать развитие опухоли, недостаточны. По поводу воздействия МП на иммунную и гематологическую системы, на развитие и репродуктивную систему организма сделан вывод, что данные прове-

денных исследований с участием человека, с использованием животных и клеток недостаточны.

#### 4. Иерархия воздействия магнитного поля на биообъекты

Воздействие МП проявляется на всех уровнях: молекулярном, клеточном, уровнях органов и организма в целом. Однако для животных характерно воздействие на сообщества организмов. Экспериментально доказано, что величина напряжения ЭМП промышленной частоты влияет на видовое разнообразие сообщества мелких млекопитающих, обитающих в зоне его воздействия. Чем выше регистрируемое напряжение ЭМП на участке, тем больший стресс испытывает сообщество и тем меньше его видовое разнообразие и сильнее доминирование одного или нескольких видов [25].

Воздействие ЭМП приводит у животных к изменению интенсивности обменных процессов, иммунной активности, а также изменяется поведение животных — их двигательная активность, ориентация в пространстве, способность к выработке условных рефлексов. Воздействие электромагнитных полей на биологические объекты зависит не только от характеристик этих полей (частота, напряженность), но и от самих объектов, сложности их организации и текущего состояния. Подход, основанный на представлении биологических объектов в виде иерархических систем, предложенный в [26], позволяет это объяснить. На рисунке 2 показана зависимость чувствительности (напряженность ЭМП, способная оказывать регистрируемое влияние на биологический объект) от сложности объекта. Из графика ясно, что с повышением уровня иерархии уменьшаются частота и напряженность ЭМП, достаточные для влияния на биологический объект в целом.



Рис. 2. Зависимость чувствительности биологических объектов от их сложности:  $\lambda$  — длина волны (м),  $H$  — напряженность магнитного поля (А/м)

Предпринимаются попытки построить удачные модели распределения МП и взаимодействия МП и биообъектов. Существование множества моделей, причем абсолютно различных по сути, объясняется тем, что корректную модель участка живой материи построить затруднительно, поскольку электрические свойства кожного покрова неоднородны и их числовые значения зависят от внешних факторов и физико-химических воздействий [27].

### 5. Воздействие магнитного поля на организм человека в лечебных целях

В настоящее время имеются данные о воздействии МП на организм человека в лечебных целях: магнитотерапия очень развита и широко применяется во многих областях медицины. Эффективность лечебного воздействия магнитотерапевтической аппаратуры высока для целой группы заболеваний, для каждого из которых требуется применение определенной лечебной методики [27]. Показания к применению магнитотерапии очень широки: общая физиотерапия, невропатология, хирургия, гинекология, проктология, оториноларингология, офтальмология, дерматология, стоматология. Разработаны специальные аппараты и приборы с этой целью [28, 29]. Нужно отметить, что данными устройствами можно создавать достаточно высокую, но кратковременную напряженность низкочастотных МП (до 40 кА/м).

Существуют методы, которые одновременно являются средством диагностики и применяются для лечения, как отдельно, так и в комплексе с традиционными методами [28]. Все чаще традиционная медицина обращает внимание на комплексное лечение больных с мозговыми инсультами, в том числе и с использованием искусственных физических факторов [30, 31]. Широко применяются ЭМП-приборы при лечении заболеваний сердечно-сосудистой системы. Можно предположить, что прямое миотропное действие магнитотерапии отвечает за эффекты гладкомышечных волокон сосудистой стенки. Под влиянием электромагнитного поля улучшаются транспортные характеристики периферического кровообращения [32, 33].

Сравнительные исследования показали значительное преимущество включения структурно-резонансной электромагнитной терапии (СРЭМ) в комплексное лечение больных остеоартрозом, что способствует уменьшению или полному купированию болевого синдрома, оказывало позитивное влияние на тревожно-депрессивные нарушения, способствовало социально-психологической адаптации пациентов с остеоартрозом [34]. СРЭМ терапия способна положительно влиять на микроциркуляцию,

метаболические и трофико-регенераторные процессы, что приводит к нормализации этих показателей. Указанные изменения способствуют улучшению условий местного кровообращения и питания тканей [33, 34], под действием низкочастотных переменных и импульсных магнитных полей происходят отчетливые изменения в деятельности нейронов головного мозга и подкорковых ядер, ретикулярной формации [34]. Как ни странно, но при этом нет единого мнения относительно продолжительности воздействия, чтобы оно не вызвало изменения в нервной системе. Общепринятым остается мнение, что стимуляция должна быть «больше, чем несколько секунд» [35].

Доказана эффективность использования магнитной стимуляции низких частот с положительным влиянием на вегетативную регуляцию и липидный обмен [36]. Широко применяются МП в лечении гинекологических заболеваний. На примере лечения рака молочной железы было показано, что комбинированное применение магнитного поля снижает высокую токсичность химиопрепаратов, а также позитивно влияет на функциональное состояние и состав иммунокомпетентных клеток [37]. При анализе результатов клинического обследования больных со спаечно-воспалительными процессами в малом тазу до и после комплексного лечения установлено, что все клинические проявления хронического воспаления значительно уменьшались при применении магнитотерапии [38].

Под влиянием полимагнитотерапии устраняются функциональные расстройства микроциркуляции (нормализуется тонус прекапиллярных микрососудов) и понижается чувствительность периферических рецепторов, что способствует ослаблению или прекращению импульсации из болевого очага (при диабете). Применение нового эффективного метода коррекции микроциркуляции ПМТ в составе комплексного консервативного лечения дает достаточно быстрый положительный клинический эффект, ощущаемый больными [39]. Назначение больным магнитных полей основывалось на таких механизмах их действия, как улучшение трансапиллярного обмена, усиление притока крови и снабжения тканей кислородом, замедление процесса склерозирования, снижение вязкости и свертывающей функции крови [40].

Применение ЭМП в медицине имеет положительную особенность — лечебный эффект долговременный, поэтому применение магнитотерапии снижает вероятность рецидивов более чем в 3 раза [41]. Метод низкочастотной электромагнитной терапии может быть рекомендован как дополнение в лечении пациентов с язвенными поражениями желудочно-кишечного тракта [42].

Электромагнитотерапия, даже в выверенных методологических и технических решениях, может рассматриваться как дополнительная нагрузка на организм человека. Нам представляется, что электромагнитотерапия, особенно лазеро- и магнитотерапия, поля которых имманентны (присущи самому явлению или предмету) живому миру ввиду их присутствия в спектре ЭМП природного происхождения, может быть действенным клиническим инструментом по многим группам заболеваний. Желательно использовать магнитотерапию для лечения пациентов пострепродуктивного возраста, а как экстренное средство — для лиц не моложе 16–18 лет. Эффективность такой терапии, включая минимизацию патогенных эффектов, может быть существенно увеличена при совершенствовании технико-методологического обеспечения [43].

## 6. Заключение

В обзоре изучены около 50 российских и зарубежных публикаций, проведен анализ существующих данных о воздействии магнитных полей низких частот на организм человека. Магнитное поле низких частот является биологически активным фактором. Действие и конечный результат зависят от многих факторов, как внешних (частота, интенсивность МП, длительность воздействия), так и внутренних, индивидуальных, таких как состояние здоровья человека, подвергающегося воздействию, состояние нервной системы в момент воздействия, уровень возбудимости нервной системы конкретного человека и т. д. МП может иметь как лечебный эффект при соответствующем использовании, так и негативный.

Магнитное поле — широко распространенный фактор и встречается повсеместно. Опасность воздействия заключается, в первую очередь, в высокой чувствительности нервной и сердечно-сосудистой систем, а также в незаметном воздействии и способ-

ности нарушений постепенно накапливаться в организме. Часто встречается магнитное поле в диагностике и лечении множества заболеваний: нервной системы, сердечно-сосудистых нарушений, мочеполовой и эндокринной систем и т. д. Опасность воздействия магнитного поля заключается в том, что нервная система и головной мозг чувствительны к данному фактору, причем даже при воздействии уровня ниже допустимого.

В целом информации о воздействии и применении магнитных полей много, однако иногда эти данные противоречивы, одинаковые диапазоны могут быть лечебными для одних людей, но вредными и даже опасными для других в иных обстоятельствах. Происходит активный рост как числа источников МП, так и уровней создаваемых ими полей, что приводит к увеличению общего электромагнитного фона, сопутствующего жизнедеятельности каждого человека.

В России действуют гигиенические нормы МП частотой 50 Гц для воздействия на человека в производственных условиях и длительного воздействия на население, нормируется воздействие магнитного поля свыше 10 кГц [44]. Однако отечественная нормативная база не охватывает все частотные диапазоны и случаи влияния, предстоит разработать отвечающие современным условиям воздействия МП ограничительные требования [45].

В соответствии с вышесказанным можно сделать вывод, что наиболее логичным и простым решением проблемы будут метод предупредительного контроля (причем наиболее эффективный и объективный в данном случае индивидуальный контроль по примеру дозиметров на предприятиях ядерного цикла) и снижение уровней магнитного поля в помещениях рабочего персонала, а также недопущение или максимально возможное предотвращение увеличения общего электромагнитного фона, например, с помощью различных методов экранирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коробейников С.М., Соловейчик Ю.Г., Коробенков А.Д. Исследование электромагнитных полей в помещениях закрытой электрической подстанции // *Безопасность в техносфере*. 2011. № 1. С. 37–43.
2. Мисриханов М.Ш., Рубцова Н.Б., Седунов В.Н., Демин С.А., Токарский А.Ю. Электромагнитные поля воздушных и кабельных линий электропередачи как фактор риска для здоровья населения // *Безопасность в техносфере*. 2011. № 11. С. 18–25.
3. Абдурахманов А.М., Зимин К.А., Рубцова Н.Б., Рябченко В.Н., Токарский А.Ю. Магнитные поля воздушных и кабельных линий электропередачи: нормирование, расчет, проектирование // *Безопасность в техносфере*. 2014. № 2. С. 52–62. DOI: 10.12737/3672
4. Environmental Health Criteria 238. Extremely low frequency fields, World Health Organization, Geneva, 2007.
5. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz): ICNIRP guidelines // *Health Physics* April. 1998. Vol. 74, N. 4. P. 494–522.
6. Аполлонский С.М., Горский А.Н. Расчеты электромагнитных полей: Монография / Под ред. А.Н. Горского. М.: Маршрут, 2006. — 992 с.
7. Луценко Ю.А., Яшин С.А. Первичные механизмы воздействия электромагнитных излучений и магнитных полей на циркуляцию крови (краткое сообщение) //

- Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. 20. № 1. С. 106–107.
9. 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 (Успехи физических наук). 1998. Т. 168, № 7. С. 767–791.
  10. Review of the scientific evidence For Limiting Exposure to Electromagnetic fields (0–300 GHz). Volume n. 3 2004.
  11. Кошелева О.Н., Франциянц Е.М., Комарова Е.Ф., Погорелова Ю.А., Шихлярова А.И., Леонтьева Д.В. Влияние электромагнитного воздействия на содержание некоторых гормонов и пролактина в ткани легкого и гипофиза у крыс с перевивной опухолью С-45 // Сибирский онкологический журнал. 2009. № S1. С. 104–106.
  12. Агаджанян Н.А., Ступаков Г.П., Ушаков И.Б., Полушин И.Н., Зуев В.Г. Экология, здоровье, качество жизни. М. — Астрахань, 1996. — 248 с.
  13. Волчкова О.А. Динамика гематологических показателей и морфологического статуса спортсменов при комбинированном воздействии вибромиостимуляции и общей магнитотерапии // Вестник спортивной науки. 2011. № 1. С. 59–63.
  14. Авилова И.А., Попов М.П., Стародубцева Л.В. Влияние промышленных электромагнитных полей на биообъекты на примере г. Курска // Вестник новых медицинских технологий. 2006. Т. XIII. № 2. С. 67–70.
  15. Азанова А.В. Воздействие электромагнитных и магнитных полей на жизнеспособность биологических объектов: автореф. дис. канд. техн. наук / КрасГАУ. Красноярск, 2013. — 19 с.
  16. Давыдкин Н.Ф., Денисова О.И. Влияние общей магнитотерапии и гбо на состояние ликвородинамики у детей неонатального периода с церебральной ишемией // Фундаментальные исследования. 2012. № 1–0. С. 35–38.
  17. Кадыков А.С., Черникова Л.А., Шахпаронова Н.В. Реабилитация неврологических больных. М.: МЕДпресс-информ, 2008. — 560 с.
  18. Ropper A.H. Treatment of intracranial hypertension // Neurological and Neurosurgical Intensive Care. 3d ed. New York: Raven, 2003. — P 29–52.
  19. Асанова Т.П., Раков А.Н. Состояние здоровья работающих в ЭП открытых распределительных устройств ОРУ 400–500 кВ // Гигиена труда и проф. забол. 1966. № 5. С. 50–52.
  20. Беренштейн Г.Ф., Суртлова С.Ф., Нурбаева М.Н., Базеко Н.П., Полевой Д.А., Осипович Ж.С., Караваев А.Г. // Медикобиологическое обоснование применения магнитных полей в практике здравоохранения. Л., 1989. С. 63–68.
  21. Сердечно-сосудистая система при действии профессиональных факторов // Под ред. Н.М. Кончаловской. М., 1976. — 24с.
  22. Пфлюгер Д., Копытенко Ю.А., Виллорези Дж., Птицына Н.Г. // Электромагнитные поля и здоровье человека: Матер. II Международн. конф. М., 1999. С. 101.
  23. Savitz D.A., Liao D, Sastre A. et al. Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers // Am. J. Epidemiol. 1999. Vol. 149, 2. P. 135–142.
  24. Гурвич Е.Б., Новохатская Э.А., Рубцова Н.Б. // Медицина труда. 1995. № 10. С. 18–21.
  25. Фатхутдинова Л.М., Залялов Р.Р., Берхеева З.М. и др. Эпидемиологическое исследование влияния работы с источниками электромагнитных полей сверхнизкой частоты на развитие сердечно-сосудистой патологии // Казанский медицинский журнал. 2005. Т. 86. № 4. С. 284–288.
  26. Жевновская А.Н., Гашев С.Н. Видовое разнообразие мелких млекопитающих в зоне воздействия электромагнитного поля промышленной частоты // Вестник Тюменского государственного университета. 2011. № 12. С. 90–97.
  27. Сурма С.В., Стефанов В.Е., Щеголев Б.Ф. Отражение иерархии биологических объектов в особенностях влияния на них электромагнитных полей // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4: Физика. Химия. 2007. № 2. С. 43–47.
  28. Борисов А.Г., Кирьяков О.В. Анализ структур магнитотерапевтических комплексов с применением к-сетей // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2000. Т. 18. № 4. С. 86–87.
  29. Гусев В.Г., Санникова А.М. Структуры и способы построения устройств для терапевтического воздействия магнитным полем // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2007. Т. 9. № 6. С. 200–204.
  30. Варванец Ю.В., Сариев Э.О., Маслов А.И. Аппарат магнитотерапевтический «Градиент-2» // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 1998. Т. 10. № 4.
  31. Кузьмичев А.А., Михайлов В.П., Визило Т.Л. Возможности транскраниальной магнитной стимуляции в реабилитации больных с инсультом головного мозга // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. Выпуск 11. 2002. С. 39–45.
  32. Belmaker R.H., Fleischmann A. Transcranial magnetic stimulation: a potential new frontier in psychiatry//Biol. Psychiatry.1995. Vol. 38, № 7. P. 419–421.
  33. Грибанов А.Н. Активность симпатической и парасимпатической нервной системы при магнитотерапии гипертонической болезни по данным анализа вариабельности сердечного ритма // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2001. № 3. С. 118–119
  34. Грехов Р.А., Александров Л.В., Алехина И.Ю. и др. Влияние структурно-резонансной электромагнитной терапии на нормализацию психоэмоционального статуса больных остеоартрозом // Научно-практическая ревматология. 2008. № 5. С. 76–80.
  35. Пономоренко Т.Н. Электромагнитотерапия и светолечение. М., 1995. С. 31–35.
  36. Живолупов С.А., Рашидов Н.А., Михайленко А.А. и др. Магнитная стимуляция в неврологии (теоретические основы, диагностические возможности, терапевтиче-

- ская эффективность) // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2011. Т. 1. С. 215–221.
37. Белоусова Т.Е., Карпова Ж.Ю. Восстановительное лечение остеоартроза крупных суставов и позвоночника методами магнитосветотерапии // Современные технологии в медицине. 2010. № 3. С. 48–52.
  38. Кечеджиева С.М., Шихлярова А.И., Марьяновская Г.Я. и др. Влияние некоторых режимов оптико-магнитных воздействий на дезинтоксикационные параметры крови в эксперименте // Сибирский онкологический журнал. 2009. № S1. С. 97–98.
  39. Ремез Е.А., Файзрахманова Л.Р., Наговицина С.В., Хадарцева К.А. Использование магнитотерапии при лечении хронических сальпингоофоритов // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18. № 4. С. 214–215.
  40. Татжикова К.А. Влияние полимагнитотерапии на качество жизни больных синдромом диабетической стопы с хронической артериальной недостаточностью // Сибирский медицинский журнал (г. Иркутск). 2008. Т. 76. № 1. С. 87–89.
  41. Фаталиева Г.Г., Чандра Д' Мелло Р. Использование общей магнитотерапии для коррекции показателей липопероксидации у больных хроническим цервицитом в сочетании с хроническим аднекситом // Современные технологии в медицине. 2010. № 4. С. 98–100.
  42. Васильева Л.В., Горьковенко И.А. Низкочастотная электромагнитная терапия — альтернатива антибиотикотерапии язвенных поражений желудочно-кишечного тракта // Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. 20. № 2. С. 185–187.
  43. Яшин А.А. Электромагнитотерапия: между Сциллой и Харибдой // Вестник новых медицинских технологий. 2008. Т. 15. № 03. С. 7–8.
  44. Попов В.М., Коробенков А.Д., Баширцев Г.П. Пути гармонизации российских требований к безопасности источников неионизирующих излучений с международными нормами // Промышленная энергетика. 2009. № 8. С. 32–37.
  45. Закирова А.Р., Кузнецов К.Б. Оценка ЭМП на рабочих местах электротехнического персонала тягового электроснабжения // Транспорт Урала. Екатеринбург: ИД «Лазурь», 2013. № 3. С. 112–117.
  46. Коробенков А.Д. Электромагнитные поля высоковольтных источников в помещениях и разработка мероприятий по защите от их воздействия: автореф. дис. канд. техн. наук / НГТУ. Новосибирск, 2013. 22 с.

## REFERENCES

1. Korobeynikov S.M., Soloveychik Yu.G., Korobenkov A.D. Issledovanie elektromagnitnykh poley v pomeshcheniyakh zakrytoy elektricheskoy podstantsii [Study of electromagnetic fields in the premises of the closed electrical substation]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere]. 2011, I. 1, pp. 37–43. (in Russian).
2. Misrikhanov M. Sh., Rubtsova N.B., Sedunov V.N., Demin S.A., Tokarskiy A. Yu. Elektromagnitnye polya vozdushnykh i kabel'nykh liniy elektroperedachi kak faktor riska dlya zdorov'ya naseleniya [The electromagnetic field of overhead and cable power lines as a risk factor for health]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere]. 2011, I. 11, pp. 18–25. (in Russian).
3. Abdurakhmanov A.M., Zimin K.A., Rubtsova N.B., Ryabchenko V.N., Tokarskiy A. Yu. Magnitnye polya vozdushnykh i kabel'nykh liniy elektroperedachi: normirovanie, raschet, proektirovanie [Magnetic fields of overhead and cable transmission lines: valuation, calculation, engineering]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere]. 2014, I. 2, pp. 52–63. (in Russian). DOI: 10.12737/3672
4. Environmental Health Criteria 238. Extremely low frequency fields, World Health Organization, Geneva, 2007.
5. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz): ICNIRP guidelines // Health Physics April 1998, Volume 74, Number 4: L 494 — L 522.
6. Apollonskiy S.M., Gorskiy A.N. *Raschety elektromagnitnykh poley* [Calculations of electromagnetic fields]. Moscow, Marshrut Publ., 2006. 992 p. (in Russian).
7. Lutsenko Yu.A., Yashin S.A. Pervichnye mekhanizmy vozdeystviya elektromagnitnykh izlucheniya i magnitnykh poley na tsirkulyatsiyu krovi [Primary mechanisms of exposure to electromagnetic radiation and magnetic fields on blood circulation]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Bulletin of new medical technologies]. 2013, V. 20, I. 1, pp. 106–107 (in Russian).
8. Ptitsyna N.G., Dzh. Villorezi, Dorman L.I., N. Yuchchi, Tyasto M.I. «Estestvennye i tekhnogennye nizkочастотnye magnitnye polya kak faktory, potentsial'no opasnye dlya zdorov'ya» [“Natural and man-made low-frequency magnetic fields as a potential health hazard”]. *UFN (Uspekhi fizicheskikh nauk)* [UFN (Advances of Physical Sciences)]. 1998, V. 168, I. 7, pp. 767–791 (in Russian).
9. Review of the scientific evidence For Limiting Exposure to Electromagnetic fields (0–300 GHz), Volume n. 3 2004 (in Russian).
10. Kosheleva O.N., Frantsiyants E.M., Komarova E.F., Pogorelova Yu.A., Shikhlyarova A.I., Leont'eva D.V. Vliyanie elektromagnitnogo vozdeystviya na sodержание nekotorykh gormonov i prolaktina v tkani legkogo i gipofiza u krysa s perevivnoy opukhol'yu S-45 [The impact of electromagnetic influence on the content of certain hormones and prolactin in the pituitary gland and lung tissue in rats with transplanted tumor C-45]. *Sibirskiy onkologicheskii zhurnal* [Siberian Journal of Oncology]. 2009, I. S1, pp. 104–106. (in Russian).
11. Agadzhanyan H.A., Stupakov G.P., Ushakov I.B., Polunin I.N., Zuev V.G. *Ekologiya, zdorov'e, kachestvo zhizni* [Environmental, health, quality of life]. Moscow-Astrakhan', 1996. 248 p. (in Russian).
12. Volchkova O.A. Dinamika gematologicheskikh pokazateley i morfologicheskogo statusa sportsmenov pri kombinirovannom vozdeystvii vibromiostimulyatsii i obshchey magnitoterapii [Dynamics of hematological indices and morphological status of the athletes at the combined impact and overall vibromiostimulyatsii magnetom]. *Vestnik sportivnoy nauki* [Journal of Sport Science]. 2011, I. 1, pp. 59–63 (in Russian).

13. Avilova I.A., Popov M.P., Starodubtseva L.V. Vliyaniye promyshlennykh elektromagnitnykh poley na bioob"ekty na primere goroda Kurska [The impact of industrial electromagnetic fields on biological objects on an example of Kursk]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Herald of new medical technologies]. 2006, V. 3, I. 2, pp. 67–70. (in Russian).
14. Azanova A.V. Vozdeystvie elektromagnitnykh i magnitnykh poley na zhiznesposobnost' biologicheskikh ob"ektov. Kand. Diss [Exposure to electromagnetic and magnetic fields on the viability of biological objects. Cand. Diss]. *KrasGAU* [KrasGAU]. Krasnoyarsk, 2013. 19 p. (in Russian).
15. Davydkin N.F., Denisova O.I. Vliyaniye obshchey magnitoterapii i gbo na sostoyaniye likvorodinamiki u detey neonatal'nogo perioda s tserebral'noy ishemiyey [Influence of magnetic therapy and HBO on the state liquor dynamics in children with neonatal cerebral ischemia]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic Research]. 2012, I. 1–0, pp. 35–38. (in Russian).
16. Kadykov A.S., Chernikova L.A., Shakhparonova N.V. *Reabilitatsiya nevrologicheskikh bol'nykh* [Rehabilitation of neurological patients]. Moscow, MEDpress- inform Publ., 2008. 560 p. (in Russian).
17. Ropper A.H. Treatment of intracranial hypertension. — *Neurological and Neurosurgical Intensive Care*, 3rd ed. — New York: Raven, 2003. — P. 29–52. (in Russian).
18. Asanova T.P., Rakov A.N. Sostoyaniye zdorov'ya rabotayushchikh v EP otkrytykh raspreditel'nykh ustroystv ORU400–500 kV [Health workers in the EP Open switchgear ORU400–500 kV]. *Gigiya truda i professional'nye zabolovaniya* [Occupational hygiene and occupational diseases]. 1966, I. 5, pp. 50–52 (in Russian).
19. Berenshteyn G.F., Surgtova S.F., Nurbaeva M.N., Bazeko N.P., Polevoy D.A., Osipovich Zh.S., Karavaev A.G. *Medikobiologicheskoe obosnovaniye primeneniya magnitnykh poley v praktike zdravookhraneniya* [biomedical rationale for the use of magnetic fields in public health practice]. 1989, pp. 63–68. (in Russian).
20. *Serdechno-sosudistaya sistema pri deystvii professional'nykh faktorov* [Cardiovascular system under the influence of occupational factors]. Moscow, 1976. 24 p. (in Russian).
21. Pflyuger D., Kopytenko Yu.A., Villorezi Dzh., Ptitsyna N.G. Elektromagnitnye polya i zdorov'e cheloveka [Electromagnetic fields and human health]. *Materialy II Mezhdunarodnoy konferentsii* [Materials of the II International Conference]. Moscow, 1999, pp. 101 (in Russian).
22. Savitz D.A., Liao D, Sastre A. et al. Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers // *Am. J. Epidemiol.* — 1999. — Vol. 149, 2. — P. 135–142.
23. Gurvich E.B., Novokhatskaya E.A., Rubtsova N.B. *Meditsina truda* [Occupational Medicine]. 1995, V. 10, pp. 18–21. (in Russian).
24. Fatkhutdinova L.M., Zalyalov R.R., Berkheeva Z.M. Epidem iologicheskoe issledovaniye vliyaniya raboty s istochnikami elektromagnitnykh poley sverkhnichkoy chastoty na razvitiye serdechno-sosudistoy patologii [An epidemiological study of the impact of work with sources of electromagnetic fields of low frequency on the development of cardiovascular disease]. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal* [Kazan Medical Journal]. 2005, V. 86, I. 4, pp. 284–288. (in Russian).
25. Zhevnovskaya A.N., Gashev S.N. Vidovoye raznoobrazie melkikh mlekopitayushchikh v zone vozdeystviya elektromagnitnogo polya promyshlennoy chastoty [Species diversity of small mammals in the area of industrial frequency electromagnetic field exposure]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Tyumen State University]. 2011, I. 12, pp. 90–97. (in Russian).
26. Surma S.V., Stefanov V.E., Shchegolev B.F. Otrazheniye ierarkhii biologicheskikh ob"ektov v osobennostyakh vliyaniya na nikh elektromagnitnykh poley [The reflection of the hierarchy of biological objects in the peculiarities of the impact on them of electromagnetic fields]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 4: Fizika. Khimiya* [Bulletin of St. Petersburg State University. Episode 4: Physics. Chemistry]. 2007, I. 2, pp. 43–47. (in Russian).
27. Borisov A.G., Kir'yakov O.V. Analiz strukturi magnitoterapevticheskikh kompleksov s primeneniem k-setey [Analysis of structures magnetotherapy complexes with an application to networks]. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of the Southern Federal University. Technical science]. 2000, V. 18, I. 4, pp. 86–87. (in Russian).
28. Gusev V.G., Sannikova A.M. Struktury i sposoby postroeniya ustroystv dlya terapevticheskogo vozdeystviya magnitnym polem [Structures and methods for constructing devices for the therapeutic effects of the magnetic field]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University]. 2007, V. 9, I. 6, pp. 200–204. (in Russian).
29. Varvanets Yu.V., Sariev E.O., Maslov A.I. Apparat magnitoterapevticheskoy "Gradient-2" [Magnetotherapeutic device "Gradient-2"]. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Southern Federal University. Technical science]. 1998, V. 10, I. 4, pp. 161–161 (in Russian).
30. 3Kuz'michev A.A., Mikhaylov V.P., Vizilo T.L. Vozmozhnosti transkranial'noy magnitnoy stimulyatsii v reabilitatsii bol'nykh s insul'tom golovnoy mozga [Features of transcranial magnetic stimulation in rehabilitation of patients with brain stroke]. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya* [Bulletin of the physiology and pathology of respiration]. 2002, I. 11, pp. 39–45. (in Russian).
31. Belmaker R.H., Fleischmann A. Transcranial magnetic stimulation: a potential new frontier in psychiatry// *Biol. Psychiatry.* — 1995. — Vol. 38, I. 7. — P. 419–421.
32. Gribov A.N. Aktivnost' simpaticheskoy i parasimpaticheskoy nervnoy sistemy pri magnitoterapii gipertonicheskoy bolezni po dannym analiza variabel'nosti serdechnogo ritma [The activity of the sympathetic and parasympathetic nervous system in magnetic therapy of essential hypertension according to the analysis of heart rate variability]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov* [Bulletin of Russian Peoples Friendship University. Series: Medicine]. 2001, I. 3, pp. 118–119. (in Russian).
33. Grekhov R.A., Aleksandrov L.V., Alekhina I. Yu. Vliyaniye strukturno-rezonansnoy elektromagnitnoy terapii na normalizatsiyu psikhooemotsional'nogo statusa bol'nykh osteoartrinom [The effect of structure-resonance electromagnetic therapy on the normalization of mental and emotional status of patients with osteoarthritis].

- Nauchno-prakticheskaya revmatologiya* [Scientific and practical rheumatology]. 2008, I. 5, pp. 76–80.
34. Ponomorenko T.N. *Elektromagnitoterapiya i svetoledchenie* [Elektromagnitoterapiya and phototherapy]. Moscow, 1995, pp. 31–35 (in Russian).
  35. Zhivolupov S.A., Rashidov N.A., Mikhaylenko A.A. Magnitnaya stimulyatsiya v nevrologii (teoreticheskie osnovy, diagnosticheskie vozmozhnosti, terapevticheskaya effektivnost') [Magnetic stimulation in neurology (theoretical foundations, diagnostic capabilities, therapeutic efficacy)]. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii* [Bulletin of the Russian Military Medical Academy]. 2011, V. 1, pp. 215–221 (in Russian).
  36. Belousova T.E., Karpova Zh.Yu. Vosstanovitel'noe lechenie osteoartroza krupnykh sustavov i pozvonochnika metodami magnitosvetoterapii [Rehabilitation treatment of osteoarthritis of large joints and the spine methods magnitosvetoterapii]. *Sovremennye tekhnologii v meditsine* [Modern technologies in medicine]. 2010, I. 3, pp. 48–52 (in Russian).
  37. Kechedzhieva S.M., Shikhlyarova A.I., Mar'yanovskaya G. Ya. Vliyaniye nekotorykh rezhimov optiko-magnitnykh vozdeystviy na dezintoksikatsionnye parametry krovi v eksperimente [Influence of certain modes of opto-magnetic detoxification effects on blood parameters in experiment]. *Sibirskiy onkologicheskii zhurnal* [Siberian Journal of Oncology]. 2009, I. 51, pp. 97–98 (in Russian).
  38. Remez E.A., Fayzrakhmanova L.R., Nagovitsina S.V., Khadartseva K.A. Ispol'zovaniye magnitoterapii pri lechenii khronicheskikh sal'pingooforitov [Use of magnetic therapy for the treatment of chronic salpingoophoritis]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Herald of new medical technologies]. 2011, V. 18, I. 4, pp. 214–215 (in Russian).
  39. Tatzhikova K.A. Vliyaniye polimagnitoterapii na kachestvo zhizni bol'nykh sindromom diabeticheskoy stopy s khronicheskoy arterial'noy nedostatochnost'yu [Polimagnitoterapii Impact on quality of life of patients with diabetic foot syndrome with chronic arterial insufficiency]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal* [Siberian Journal of Medicine]. Irkutsk, 2008, V. 76, I. 1, pp. 87–89 (in Russian).
  40. Fatalieva G.G., Chandra D' Mello R. Ispol'zovaniye obshchey magnitoterapii dlya korrektsii pokazateley lipoperoksidatsii u bol'nykh khronicheskimi tservitsitom v sochetanii s khronicheskimi adneksitom [Using the general magnetic therapy for the correction of lipid peroxidation parameters in patients with chronic cervicitis in conjunction with chronic adnexitis]. *Sovremennye tekhnologii v meditsine* [Modern technologies in medicine]. 2010, I. 4, pp. 98–100 (in Russian).
  41. Vasil'eva L.V., Gor'kovenko I.A. Nizkochastotnaya elektromagnitnaya terapiya — al'ternativa antibiotikoterapii yazvennykh porazheniy zheludochno-kishechnogo trakta [Low-frequency electromagnetic therapy — an alternative to antibiotic therapy ulcerative lesions of the gastrointestinal tract]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Herald of new medical technologies]. 2013, V. 20, I. 2, pp. 185–187 (in Russian).
  42. Yashin A.A. Elektromagnitoterapiya: mezhdru stillyu i kharibdoy [Elektromagnitoterapiya: between Scylla and Charybdis]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Herald of new medical technologies]. 2008, V. 15, I. 03, pp. 7–8 (in Russian).
  43. Popov V.M., Korobnikov A.D., Bashkirtsev G.P. Puti garmonizatsii rossiyskikh trebovaniy k bezopasnosti istochnikov neioniziruyushchikh izlucheniy s mezhdunarodnymi normami [Ways to harmonize the requirements of Russian security sources of non-ionizing radiation with international standards]. *Promyshlennaya energetika* [Industrial power]. 2009, I. 8, pp. 32–37 (in Russian).
  44. Zakirova A.R., Kuznetsov K.B. Otsenka EMP na rabochikh mestakh elektrotekhnicheskogo personala tyagovogo elektrosnabzheniya [Evaluation of EMF in the workplace electricians traction power supply]. *Transport Urala* [Transport of the Urals]. Ekaterinburg, «Lazur» Publ., 2013, I. 3, pp. 112–117 (in Russian).
  45. Korobnikov A.D. Elektromagnitnye polya vysokovol'tnykh istochnikov v pomeshcheniyakh i razrabotka meropriyatiy po zashchite ot ikh vozdeystviya. Kand. Diss [The electromagnetic field of high-voltage sources in the premises and the development of measures to protect them from the effects of. Cand. Diss]. NGTU [NGTU]. Novosibirsk, 2013. 22 p. (in Russian).

## Effects of Low-Frequency Alternating Magnetic Fields on the Human Body (Analytical Review)

**S.M. Korobeynikov**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of Chair, Novosibirsk State Technical University  
**A.D. Korobnikov**, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Novosibirsk State Technical University  
**M.S. Akramova**, Graduate Student, Novosibirsk State Technical University

*Domestic and foreign publications on the problem of low-frequency alternating magnetic fields effects on human being have been considered and analyzed in this review. The low-frequency magnetic field is biologically active factor whose effects and its result depend on many others factors, both external (magnetic fields' frequency and intensity, exposure duration), and internal and individual ones, such as health of the person being subject to impact, nervous system's state at the moment of exposure, the person's nervous system excitability level, etc. The magnetic field may have either a positive (therapeutic) effects in certain modes and doses, and the negative one, adversely affecting person's health (the negative effects, unfortunately, much more common and is considered as a harmful production factor and a factor of environmental pollution).*

**Keywords:** magnetic field, low frequencies, effects on the human body, adverse effect, therapeutic effect.