

Ю.А. ХОЛОДОВ, А.Н. КОЗЛОВ, А.М. ГОРБАЧ

# Магнитные поля биологических объектов

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Институт высшей нервной деятельности  
и нейрофизиологии

**Ю.А. ХОЛОДОВ, А.Н. КОЗЛОВ, А.М. ГОРБАЧ**

# **Магнитные поля биологических объектов**

Ответственный редактор  
доктор медицинских наук  
М. Г. АЙРАПЕТЯНЦ



МОСКВА «НАУКА» 1987

Холодов Ю. А., Козлов А. Н., Горбач А. М. **Магнитные поля биологических объектов.** М.: Наука, 1987.

В книге изложены основные достижения биомагнетизма (в особенности нейромагнетизма).

Благодаря созданию высокочувствительных магнитометров за последнее десятилетие удалось надежно зарегистрировать (в условиях магнитной экранировки или с применением градиентометрической схемы) магнитные поля сердца, скелетных мышц, мозга и других систем человека.

Являясь бесконтактным пассивным методом регистрации физиологических функций, магнитометрия позволяет диагностировать состояния биологических систем непрерывно на протяжении длительного времени.

Книга рассчитана на биофизиков, физиологов, зоологов, кардиологов и невропатологов.

Рецензенты:

доктор медицинских наук Р. И. КРУГЛИКОВ,

доктор биологических наук А. П. ДУБРОВ

**Холодов Юрий Андреевич**

**Козлов Александр Николаевич**

**Горбач Александр Михайлович**

### **Магнитные поля биологических объектов**

Утверждено к печати Институтом высшей нервной деятельности и нейрофизиологии АН СССР

Редактор издательства **Е. А. Колпакова**. Художник **Б. М. Рябышев**. Художественный редактор **Н. А. Фильчагина**. Технический редактор **М. Ю. Соловьева**. Корректор **И. А. Талалай**

ИБ №31501

Сдано в набор 13.05.86. Подписано к печати 22.07.86. Т-09890. Формат 84X108'/з2. Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 7,5 6 Усл. печ. л. 7,87. Уч.-изд. л. 8,0. Тираж 3150 экз. Тип. зак. 4871. Цена 1 руб.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука» 117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства Наука» 121099, Москва, Г-99. Шубинский пер., 6

© Издательство "Наука", 1987 г.

© Козлов А.Н. Электронная версия, 1999 г.

## Введение

Термин «биомagnetизм» стал чаще встречаться на страницах представительных физических журналов и появился даже в некоторых биологических изданиях. Сформировалось мнение, «что биомagnetные измерения стали ведущим направлением в развитии сверхчувствительной магнитометрии. Именно здесь наиболее интенсивно развивается магнитометрическая аппаратура, разрабатываются методики измерений, специальные приемы и оборудование, которые вполне применимы и для большого числа других магнитных измерений. В этом смысле биомagnetные исследования не только обеспечивают прогресс биологической науки, но и развивают другие научные и технические направления».

Если это так, то мы имеем перед собой тот редкий случай, когда путем биологических исследований физики совершенствуют свои собственные методы и прямо заинтересованы в раскрытии биологических закономерностей.

В чем причина такого завидного положения современного биомagnetизма среди других биологических дисциплин? Многие связывают современный этап развития исследований по регистрации сверхслабых магнитных полей (МП) биообъектов с появлением сверхчувствительных магнитометров, работа которых основана на эффекте Джозефсона. Эти магнитометры кратко обозначаются словом СКВИД (сверхпроводящий квантовый интерференционный датчик) и для их работы необходим жидкий гелий. Из-за своей уникальности и дороговизны СКВИДы появлялись в 70-х годах нашего века преимущественно в физических лабораториях. Только в последнее время наблюдается коммерческое изготовление биомagnetных систем в США, Канаде, Италии и Японии.

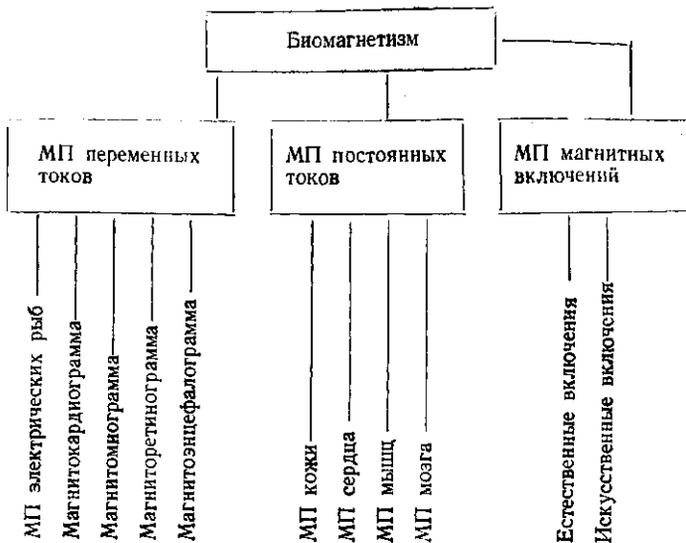
Это направление исследование получило название биомagnetизма в отличие от магнитобиологии, которая

---

*В. Л. Введенский, В. И. Ожогин.* Сверхчувствительная магнитометрия и биомagnetизм. М., 1981. С. 5.

## Схема

### Направления исследований в современном биомагнетизме



изучает действие внешних МП на биосистемы (схема) Биомагнитные поля по интенсивности в миллионы раз меньше магнитного поля Земли, если речь идет о МП сердца, и потому измерять их можно или в очень сложной и дорогой магнитоэкранированной комнате, которая имеется в США, Финляндии и Западном Берлине или (что делается чаще) при использовании так называемой градиентметрической схемы, когда два рядом расположенных датчика испытывают одинаковое влияние от дальних источников МП и разное от ближних источников. Так бесконтактным (не касаясь поверхности кожи человека) пассивным (не влияя ничем на организм) способом были записаны магнитокардиограмма (МКГ), и магнитоэнцефограмма (МЭГ) и другие МП человека. Более простого и абсолютно безвредного способа регистрации физиологических функции трудно придумать.

Хотя многие достижения современного биомагнетизма связаны с применением СКВИДов, развитие данной отрасли биофизики не определяется целиком только этим прибором. Уместно наметить, что первые МКГ [41, 89] и даже первая МЭГ были

зарегистрированы индукционными датчиками, которые сегодня используются достаточно редко. Пневмомомагнетизм и в некоторых случаях регистрации МП рыб обеспечиваются феррозондовыми датчиками. Наконец, большинство биомагнитных исследований в СССР [23, 24, 30 - 32, 58, 61 - 66] выполнено с использованием магнитометра оптической накачки (МОН). Применяются и другие методы определения МП биологических объектов [26, 39]. Таким образом, биомагнетизм, связанный с измерением МП биообъектов [60], охватывает и будет охватывать более широкий круг явлений в сравнении с теми, которые регистрируются с помощью СКВИДов.

Ортодоксальный биомагнетизм с использованием СКВИДов обязан своему развитию увлечениям физиков, среди которых можно назвать Д. Коена и С. Вильямсона (США), Т. Катилу и В. Лаиуасмаа (Финляндия), Б. Васильева и В. Введенского (СССР) и др. Означенная область исследований, названная биомагнетизмом, непрерывно расширялась, вовлекая в этот процесс новые страны и имена. Международные совещания по проблеме созывались в Бостоне (СUIA, 1976), в Гренобле (Франция, 1978), в Берлине (Западный Берлин, 1980), в Риме (Италия, 1982) и в Ванкувере (Канада, 1984). Если на первых двух совещаниях большинство докладов было посвящено МКГ (кардиомагнетизм), то позже преимущественное внимание уделяется МЭГ (нейромагнетизм).

В пределах нейромагнетизма можно с помощью СКВИДа регистрировать не только фоновую МЭГ человека (во время бодрствования и сна здорового человека, при заболевании эпилепсией, при возникновении опухоли мозга..), но и вызванные МП, возникающие в затылочной области полушария мозга при засвете противоположного глаза или в височной области при подаче звука в противоположное ухо. Зарегистрировано МП в двигательной области, возникающее перед началом произвольного движения конечности. Обнаружено МП нерва лягушки, появляющееся после его электрического раздражения.

Наибольшие надежды метод сверхчувствительной магнитометрии вызывает при определении точной локализации электрических источников МП мозга, т. е. при решении так называемой обратной задачи. Измерив интенсивность и вектор МП на поверхности черепа в нескольких точках, можно сказать, на какой глубине располагается их источник и каковы его размеры. Такую же задачу можно решить, если вживлять электроды в глубину мозга при

условии, что источником магнитных и электрических процессов является диполь, т. е. источник один и тот же. Если же, как предполагает советский нейрофизиолог А. М Гутман [20], источником МП мозга является изогнутое нервное волокно, иначе говоря, соленоид, то методы магнитометрии и электрометрии не только дублируют, но и дополняют друг друга. Заметим, что мозг является объемным проводником и потому электрические токи, возникнув в каком-то одном участке, как бы расплываются по всему мозгу, что не происходит с МП.

Эксперименты по изучению вызванных МП человека на световое, звуковое и тактильное раздражение проводятся в настоящее время наиболее интенсивно.

Обнаружено, что магнитный ответ мозга, например, на звуковой раздражитель имеет разную полярность в соседних областях коры. Это не наблюдается в электрическом ответе мозга на тот же раздражитель. Магнитные ответы в правом и левом полушарии головного мозга отличаются друг от друга по расположению и размеру электрических источников МП, что еще раз указывает на неравнозначность левого и правого полушария.

При длительном воздействии звука отмечаются не только быстрые изменения электромагнитных процессов мозга, но и медленные изменения МП во время действия звука. Уже только краткое перечисление преимуществ и дополнительных сведений, полученных магнитометрией, указывает на перспективность этого метода для нейрофизиологии.

Но существует еще одно направление исследований, где электрофизиолог не может конкурировать с магнитометрией. Речь пойдет об определении поведения магнитных включений в биологической системе. Хотя впервые природный магнетит был определен у некоторых бактерий в 1975 г. [87] биохимическим методом, широкое распространение метода определения ферромагнитных включений наблюдается после применения чувствительных магнитометров. Сюда относится пневмомагнетизм, когда определяют остаточную намагниченность искусственных ферромагнитных включений в легких человека, и направление,

которое можно назвать магниторецепцией, когда определяют остаточную намагниченность естественных ферромагнитных включений в разных тканях различных организмов. Нас будут в первую очередь интересовать такие включения, найденные в головном мозгу. Ферромагнитные частицы были обнаружены в голове домашних голубей, у мигрирующих рыб (тунец) и птиц (зарянка), у морских черепах, у дельфинов, у грызунов и у человека. У обезьян макак-резусов ферромагнитный материал обнаружен только в древних отделах головного мозга.

В отличие от ортодоксального биомагнетизма исследования магниторецепции с самого начала насыщены биологическим смыслом. Хотя опыты проводятся чаще физиками, а ведущим в этой области в настоящее время является американский геолог Д. Кишвинк [123, 124], предполагается, что магнитные включения нужны для восприятия организмом геомагнитного поля (ГМП).

О возможной физиологически роли МП биологического происхождения не говорят ведущие представители биомагнетизма: ни Д. Кoen, ни Т. Катилла, ни С. Эрне, ни Д. Л. Романи. Более того, С. Вильямсон резко отделяет биомагнетизм от магнитобиологии. Он писал: «Следует заметить, что биомагнитные поля, регистрируемые вне тела, на порядки величин слабее тех внешних полей, которые, как известно, вызывают магнитобиологические эффекты. Поэтому считается, что биомагнитные поля, возможно, являются ослабленной формой отражения состояния организма, но *сами по себе участия в его функционировании они не принимают*»<sup>2</sup> (курсив наш), а Дж. Вискво [144] опубликовал статью, где на основании расчетов утверждает, что биологическим действием может обладать только искусственное МП свыше 200 мТл. Иными словами, физики, занимающиеся биомагнетизмом, чаще всего не ставят перед собой биологических проблем.

Только один представитель физиков, Ф. Коуп [102], предполагая, что биологические системы воспринимают МП на основе эффекта Джозефсона, допускает восприятие МП биологического происхождения.

---

<sup>2</sup> Вильямсон С. Д., Кауфман Л. Биомагнетизм // J. Magn. Mater., 1981. Vol. 22. N 2. P. 131.

Наиболее ярко роль внутренних ЭМП демонстрирует утверждение известного американского нейрофизиолога У. Эйди: «Очевидно, что важнейшими элементами мозговых функций является проведение по нервным волокнам и активации синапсов. Одновременно существуют как минимум три других способа осуществления информационных процессов, которые заслуживают не меньшего внимания. Это дендро - дендритное проведение, нейронно-нейроглиальное взаимодействие через межклеточное пространство и восприятие слабых электрических и, может быть, *магнитных полей*<sup>3</sup> (курсив наш).

Не приводя высказываний многих других нейрофизиологов, свидетельствующих о важной роли полевых взаимодействий в деятельности мозга, мы хотим подчеркнуть, что идея об электромагнитной совместимости биологической системы с окружающей средой могла бы с единых позиций объяснить неблагоприятное воздействие усиленных и ослабленных (в сравнении с естественными) ЭМП на жизнедеятельность организма.

Сходство в строении нервной клетки с контуром Томсона позволило академику А. В. Леонтовичу еще в 30-х годах высказать [29] гипотезу о восприятии одним нейроном ЭМП другого. Его ученик Б. В. Краюхин [27] опубликовал (возможно первые) сообщения о регистрации МП нерва при его возбуждении. Положительно к идее о биологической значимости внутренних ЭМП относились советские академики П. П. Лазарев, В. М. Бехтерев, А. А. Ухтомский.

Сегодняшний этап развития биомагнетизма остается преимущественно уделом физиков, хотя непрерывно увеличивается число специалистов медико-биологического профиля, которые посвящают свои усилия этой интересной области исследований. Можно включить академика М. Н. Ливанова (СССР), Дж. Битти (США), Р. Хари (Финляндия) в число нейрофизиологов, активно работающих в области биомагнетизма.

Следует заметить, что публикации по биомагнетизму появляются в разрозненных изданиях преимущественно физического профиля. Авторы монографии поставили перед собой цель обобщить существующие публикации и поделиться с читателями своим

---

<sup>3</sup> Эйди У. Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям//Физиология человека, 1975. Т. 1. № 1. С. 1.

личным опытом в области исследования этого перспективного направления.

Считаем своим приятным долгом выразить признательность за внимание к биомагнитным исследованиям академику АН СССР М. Н. Ливанову. Благодарим А. В. Кориневского, В. П. Маркина, К. М. Романовского, С. Н. Синельникову, Л. В. Тихомирову, В. Д. Труша, Г. А. Элькину, В. М. Верхлютова, Т. Бальдвеха и А. Боне за участие в отдельных этапах работы.

## Принятые сокращения

ВМП- вызванное магнитное поле  
ВП- вызванный потенциал

ГМП- геомагнитное поле

Гц-герц

ИД- индукционный датчик

МКГ- магнитокардиограмма

ММГ- магнитомиограмма

МОГ- магнитоокулограмма

МОН- магнитометр оптической  
накачки

МП- магнитное поле

МРГ- магниторетинограмма

МЭГ - магнитоэнцефалограмма

МЭФ - магнитометр на эффекте  
Фарадея

СКВИД - сверхпроводящий  
квантовый интерференционный  
датчик

Тл - тесла

ФМ - феррозондовый  
магнитометр

ЭКГ - электрокардиограмма

ЭМП - электромагнитное поле

ЭЭГ - электроэнцефалограмма

## Раздел I

### **Основные подходы к изучению магнитных полей биологических объектов**

Современная биология организма базируется в основном на биохимических данных и биохимических положениях, относящихся преимущественно к мембранологии. Описание динамики определенных биохимических процессов с указанием их локализации является определенным эталоном, к которому стремятся исследователи. На этом пути иногда возникает необходимость характеризовать магнитные свойства некоторых веществ, чтобы полнее понять смысл химических процессов. Так в недрах биохимии зарождается новый раздел, который можно отнести к современному биомагнетизму. Признанная всеми регуляция многообразных биологических процессов объясняется часто теми же биохимическими процессами.

Однако, как стало известно в последнее время, в регуляторных процессах организма принимают участие электрические токи и ЭМП, которые энергию для своего существования черпают из тех же биохимических процессов. Благодаря успехам современной техники стало возможным регистрировать очень слабые МП, характеризующие определенный биологический процесс. Ясно видно, что успехи современного биомагнетизма (назовем его двумя словами, чтобы отличать от биомагнетизма, связанного с воздействием МП на биообъект) тесно коррелируют с прогрессом техники регистрации МП.

Этот бесконтактный пассивный метод регистрации некоторых физиологических функций организма дает возможность по - новому заглянуть внутрь биообъекта и оценить динамику и локализацию определенных интегральных процессов.

Современным биомагнетизмом интересуются два отряда естествоиспытателей: физики и биологи. Пока еще различаются цели и подходы у разных специалистов, но в будущем намечается слияние их интересов.

Нужно заметить, что физики больше преуспели в этой области. Если в фундаментальной работе С. В. Вонсовского, вышедшей из печати в 1971 г. [19], почти ничего не говорится о применении идей магнетизма в биологии и медицине, то в обобщающем докладе К. Шмидта-Иедемана, начитанном на Международной конференции по магнетизму в 1984 г. [139], почти половина доклада посвящена биомагнетизму. Здесь речь идет не о конкретных биомагнитных исследованиях, которые обсуждаются на соответствующих биомагнитных конференциях, а о принятии этого раздела науки в число знаменательных достижений по определенной специальности.

Перспективность этого направления отмечалась в высказываниях президента АН СССР А. П. Александрова [4] II на совместной сессии АН СССР и АМН СССР (1980 г.).

Для биологии и медицины современный биомагнетизм еще не стал любимым детищем, хотя своеобразные пророчества о скором появлении этого важного метода исследования биообъектов и о значимости МП для отдельных процессов жизнедеятельности возникали не раз на протяжении XX в.

## **Глава 1**

### **История современного биомагнетизма**

По нашим сведениям, впервые МП биологического происхождения зарегистрировал с помощью компаса английский физик Джон Деви в 1832 г. у одной из электрических рыб при ее возбуждении. В этом случае можно было намагнитить стальную иглу. Попытки в последующем намагнитить иглу, помещенную рядом с возбужденной мышцей или нервом, успехом не увенчались.

Только в двадцатых годах нашего столетия появились сообщения о возможности регистрации МП возбужденного нерва лягушки с помощью индукционного датчика. А. А. Ухтомский, оценивая цикл исследований школы А. В. Леонтовича, писал: «Смелая мысль, что передача нервных влияний совершается здесь через электрическую индукцию с нейрона на нейрон, приобретает солидный фундамент, а вместе с тем получают известное освещение и многие

непонятные до сих пор стороны работы нервной системы"<sup>1</sup>.

Ученик А.В.Леонтовича Б.В.Краухин [27], используя катушку с 200 витками, индуктивным способом отводил токи нерва лягушки. Опыты с телефоном, громкоговорителем и струнным гальванометром показали, что при индуктивном отведении можно слышать и записывать токи нерва, подобные тем, которые регистрируются контактными электродам. К сожалению, величина возникающего сигнала в этих публикациях не указывалась. Об этих работах не упоминают в современных биомагнитных публикациях, хотя данные были обнародованы и позже (1944, 1958).

Подобные результаты были опубликованы Сейпел и Морроу [140] и другими исследователями, но они не нашли всеобщего признания до той поры, пока Дж. Виксво с соавт [145] не провел добротные исследования МП нерва с помощью СКВИДа. Это направление исследований получило название цитомагнетизма [145].

Можно констатировать, что индукционный датчик, впервые примененный для регистрации МП изолированного возбужденного нерва лягушки, не принес успеха цитомагнетизму.

Другой эффект дало применение того же датчика в кардиомагнетизме для регистрации МК. 1963 год, когда была опубликована статья Макфи и Боула, можно считать годом рождения современного биомагнетизма. Годом позже появились и советские публикации из Воронежа в этой области [53]. В 1967 г. в Воронеже была защищена [42] кандидатская диссертация В.М.Провоторовым под названием "Исследование биоэлектромагнитного поля сердца и его значение в диагностике лево - и правожелудочковой и тотальной гипертрофии миокарда". Этот этап развития еще неназванного биомагнетизма характеризуется переходом к исследованиям на человеке (его можно назвать антропомагнетизмом) и ярко выраженной диагностической направленностью.

Другие направления по этому принципу можно разделить на зоомагнетизм, фитомагнетизм и бактериомагнетизм, имея в виду

---

<sup>1</sup> А. А. Ухтомский. Собр соч М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 5. С. 74.

исследования магнитных свойств животных, растений и микроорганизмов.

Назначение магнитного материала хорошо понятно только для бактерий. Блекмор [87] обнаружил первые магнитотактильные бактерии в осадках, собранных в Вуд Холле. Он заметил, что эти бактерии всегда плывут к Северному полюсу и что их направление плавания можно изменить путем изменения внешнего МП.

В последние годы естественные магнитные включения были обнаружены у различных представителей животного и растительного мира, но об этом подробнее мы будем говорить в соответствующем разделе монографии.

Основной ветвью современного биомагнетизма можно считать направление, связанное с регистрацией МП, порождаемых переменными биотоками. Почти все зарегистрированные в этом направлении биомагнитные феномены имеют аналоги в биоэлектрических явлениях. Сопоставление биоэлектрических и биомагнитных явлений с оценкой амплитуды и частоты сигнала и с указанием года первой регистрации, а также автора пионерской работы приведено в верхней части табл. 1. В середине нижней части отмечены некоторые чисто биомагнитные феномены. Заметим, что не все указанные здесь ссылки приведены в нашем списке литературы, а биомагнитные явления входят только в разряд антропомагнетизма, поэтому здесь не приведены магнитные характеристики разряда электрических рыб и характеристики МП нервного импульса.

Самый сильный сигнал из порождаемых переменными биотоками у человека дает сердце. Первая МКГ была зарегистрирована через 76 лет после регистрации первой ЭКГ. В среднем зубец R в МКГ равен 50 пТл, а в ЭКГ - 1000 мкВ. Из-за относительной большой величины сигнала и вследствие важности изучения деятельности сердца человека (особенно больного) число магнитокардиологических работ составляет значительную долю всех современных биомагнитных исследований.

Значимость этого направления увеличивается в связи с возможностью регистрации МКГ плода человека, что было впервые осуществлено через 68 лет после первой регистрации ЭКГ плода человека. На этом примере преимущества МКГ в сравнении с ЭКГ

**Таблица 1. Биоэлектрические и биомагнитные явления**  
(Катила, 1981)

Биоэлектрические явления	Амплитуда, мкВ	Биомагнитные явления	Амплитуда, пТл	Частотная полоса
Электрокардиограмма (Уоллер, 1887)	1000	Магнитокардиограмма (Боул, Макфи, 1963)	50	0,5—100
ЭКГ плода (Кремер, 1906)	5—50	МКГ плода (Караниели и др., 1974)	1—10	0,5—100
Электроэнцефалограмма (Бергер, 1924)	50	Магнитоэнцефалограмма (Коен, 1968)	1	0,5—30
Вызванные потенциалы зрительные (Уолтер и др., 1946)	10	Вызванные магнитные поля Коен, 1975	0,1	0—60
соматические (Даусон и др., 1950)		Бреннер и др., 1978		
слуховые (Дэвис и др., 1939)		Рейт и др., 1978 ВМП плода (Баум и др., 1984)		
Электромиограмма (Эдриан, 1929)	1000	Магнитомиограмма (Коен, 1972)	10	0—2000
Электроокулограмма (Дьюбуа-Раймон, 1849)	1000	Магнитоокулограмма (Карп и др., 1976)	10	0
Электроретинограмма (Холмгрен, 1865)	100	Магниторетинограмма (Айттониemi и др., 1978)	0,1	0,1—30
Магнитные включения в легких (Коен, 1973)				
Магнитоцитизмография (Виксво и др., 1974)				
Запасы железа у человека (Харрис и др., 1978)				

выявляются более наглядно, чем при исследовании взрослого человека.

Интересные результаты получены при регистрации МКГ детей разного возраста, но эти данные в таблице не приводятся.

Наиболее интенсивно в настоящее время изучается МЭГ человека как фоновая, так и вызванная различными стимулами. Первая фоновая МЭГ была зарегистрирована через 44 года после первой ЭЭГ

человека, а первые вызванные МП мозга иа соматические стимулы были осуществлены через 28 лет после первой регистрации подобного электрического сигнала. Мы видим при сравнительном анализе указанных выше явлений, как укорачиваются сроки между первыми регистрациями электрических и магнитных сигналов организма человека.

В этой связи можно указать на факт регистрации вызванного слухового МП мозга плода человека в 1984 г. Поскольку нам не удалось найти подобной публикации при использовании ЭЭГ метода, следует предполагать, что на этом примере магнитографический метод обогнал электрографический.

Продолжая анализ таблицы, мы должны отметить, что наибольший разрыв между записью электрического и магнитного сигнала приходится на регистрацию окулограммы (127 лет) и ретинограммы (113 лет).

Наконец, первые записи электро- и магнитоокулограммы человека отстают друг от друга на 43 года.

Приведенные выше факты показывают, что электрографический метод регистрации переменных биотоков различных органов человека имеет ужс солидную историю, детально разработанные методыг и подходы к их анализу. Подобные записи были сделаны и на животных.

Указанные выше замечания не относятся к нижней части таблиц, где отмечены факты, полученные только магнитометрическим методом. Здесь упоминаются искусственные магнитные включения в легких человека (и не упоминаются подобные включения в пищеварительный тракт и в кровеносное русло), возможность регистрации минутного объема сердца при использовании естественных магнитных свойств крови и естественные включения железа в печень человека. Следует отметить также естественные включения магнетита в надпочечники и носовые кости человека. Все эти факты были обнаружены в 70-х годах нашего столетия.

Для общей характеристики количественных, инструментальных и функциональных сторон биомагнитных и магнитобиологических явлений мы приводим табл. 2.

Из данных таблиц следует, что специалистов медико - биологического профиля в значительной степени интересуют интенсивности МП, занимающие около

**Таблица 2. Общая характеристика магнитобиологических и биомагнитных явлений**

Величина магнитного поля, Тл	Источники и оценки магнитных полей	Тип магнитометра	Направление исследований
10 <sup>-2</sup> 10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-4</sup> 10 <sup>-5</sup> 10 <sup>-6</sup> 10 <sup>-7</sup>	Предельно допустимый уровень на производстве Геомагнитное поле	Холловский датчик	Магнитобиология
10 <sup>-8</sup> 10 <sup>-9</sup>	Городские магнитные помехи Порог магнитобиологических реакций	Феррозондовый	
10 <sup>-10</sup>	Сигнал электрического органа рыб Ферромагнитные включения Геомагнитный шум Сердце	Индукционный	Биомагнетизм
10 <sup>-11</sup>	Мышцы скелетные Глаз	МОН	
10 <sup>-12</sup>	Фоновая активность мозга Вызванная активность мозга		
10 <sup>-13</sup> 10 <sup>-14</sup>	Сетчатка Чувствительность СКВИДа	СКВИД	

десяти порядков, начиная от предельно допустимого уровня ПМП на производстве и кончая магниторетинограммой. Более высокие интенсивности допустимы при кратковременных воздействиях в экспериментальных условиях, а более слабые, чем указаны в таблице, МП биологического происхождения могут быть зарегистрированы в очень сложных условиях эксперимента.

Можно видеть, что границы магнитобиологии с биомагнетизмом размываются на примере МП электрических рыб, где считается доказанной функциональная роль биомагнитных полей. Для других МП биологического происхождения их функциональная роль остается проблематичной, не считая естественных магнитных включений, которые, как полагают, участвуют в восприятии ГМП.

Существует более 500 публикаций по биомагнетизму, но привести их все в данной книге невозможно, Мы иногда будем ссылаться на сборники целиком, а не на отдельные статьи. Читателя можем адресовать

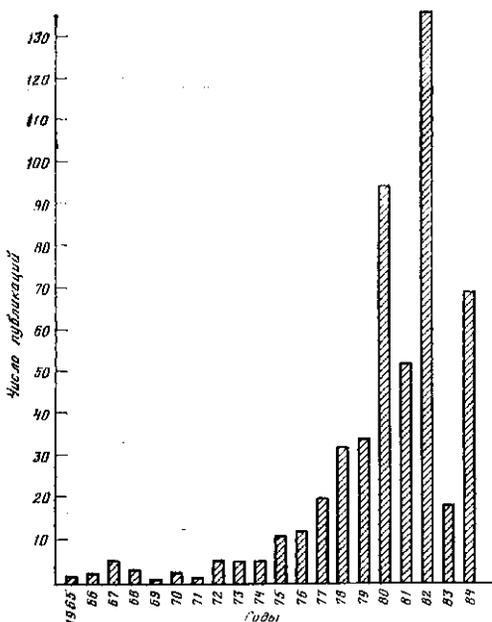


Рис. 1. Динамика публикаций по современному биомагнетизму

к советским и зарубежным реферативным журналам, а также к библиографическому указателю «Биологическое действие электромагнитных, магнитных и электрических полей», издаваемый Библиотекой биологической литературы АН СССР (с 1976 г.).

На диаграмме (рис. 1) видно, как увеличивался рост публикаций. Уместно заметить, что именно в 1970 г. Д. Коен с соавт. [96] впервые опубликовали данные о биомагнитных исследованиях с помощью СКВИДа. Д. Коен на протяжении последних 20 лет методично публикует пионерские работы по различным разделам биомагнетизма, непрерывно расширяя области применения магнитометрии. Его можно считать отцом современного биомагнетизма и по приори-

**Таблица 3. Число докладов на пяти конференциях по различным отделам биомагнетизма**

Отдел биомагнетизма	Конференция				
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я
Кардиомагнетизм	4	8	10	17	16
Нейромагнетизм	—	6	19	23	26
Пневмомагнетизм	—	6	4	9	10
Приборы	—	5	4	8	8
Теория	2	3	1	3	3
Разное	—	—	1	3	7
<b>Итого</b>	6	28	39	63	70

тетным исследованиям, и по активному участию в биомагнитных конференциях, которые являются своеобразными вехами на пути развития современного биомагнетизма.

Первую такую конференцию, названную рабочим совещанием, организовал в Бостоне (США) Д. Коен и его коллега Н. Каффин 9 - 11 августа 1976 г. На конференции обсуждали только практические и теоретические проблемы кардиомагнетизма (табл. 3), а отчеты об этой и следующей конференциях опубликованы в «Журнале электрокардиологии» за 1976 и 1979 гг. Ни в этой, ни в последующих конференциях не принимали участия первооткрыватели МКГ из США и из СССР, и только французские исследователи рассказали о результатах, полученных ИД [125, 126].

Однако остальные докладчики представили данные, полученные с помощью СКВИДов, при работе в условиях магнитозранированной камеры (Д. Коен) или в пригородных условиях, где мало промышленных помех (например, П. Карп и Т. Катилла из Финляндии).

Конференция носила международный характер и активными участниками ее стали представители только четырех стран (США, Финляндия, Франция, Канада), которые до сегодняшнего дня занимают ведущее положение в развитии биомагнетизма (табл. 4). Некоторые доклады были подготовлены интернациональным коллективом или представителями разных коллективов из одной страны.

**Таблица 4. Число докладчиков на пяти биомагнитных конференциях, представленных из разных стран**

Страна	Конференция				
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я
1. США	3	9	16	25	23
2. Финляндия	1	8	9	8	14
3. Франция	1	3	1	2	2
4. Канада	1	3	3	3	8
5. Зап. Берлин	—	—	2	2	6
6. Италия	—	1	2	6	5
7. Бельгия	—	1	2	3	2
8. ЧССР	—	1	—	1	1
9. Япония	—	—	1	6	6
10. Польша	—	—	1	1	1
11. Англия	—	—	1	1	1
12. СССР	—	—	—	3	1
13. Бразилия	—	—	1	—	—
14. Дания	—	—	—	1	—
15. Новая Зеландия	—	—	—	1	—
16. Югославия	—	—	—	—	1
Всего	6	26	39	63	70

которые вызваны ранней или неполной реполяризацией (истинное смещение  $S-T$ -сегмента). Так как кожные потенциалы вызванные токами, постоянная МКГ способна фиксировать это отличие, которое важно в клиническом отношении, так как токи поражения могут свидетельствовать об острой ишемии или тенденции к аритмии. Д. Коем описал также свой новый дифференциальный магнитометр, который чувствителен к линейным токам в непосредственной близости к нему, в то время как обычный магнитометр чувствителен к циркулирующим токам в менее ограниченном расположении.

Н. Теплей обнаружил, что регистрация МКГ в слабых окружающих постоянных магнитных полях приводит к наложению на МКГ кривой, возникающей в результате движения диамагнитного материала (главным образом крови), которая может быть использована для оценки объема удара сердца. В. Кариемы и Т. Катилла сообщили, что диагностика живого эмбриона человека может быть произведена намного раньше с помощью МКГ, чем с ЭКГ. П. Карп представил

детальные статистические анализы МКГ отклонений от 36 анатомически определенных позиций груди 41 нормального пациента и анализировал эти отклонения в элементах диполей и мультиполей сердца. Он проиллюстрировал с помощью графиков ЭВМ изменение распределения магнитных сил на груди для среднего нормального человека и для пациента с большим рубцом сердечной мышцы после инфаркта.

Е. Лепешкин анализировал МКГ 16 пациентов с инфарктом миокарда или с грудной жабой и нашел, что при переднем инфаркте МКГ может регистрировать изменяющуюся последовательность активации перегородки, расстройства интрамурального проведения или аномалии  $T$  волн, не видимые на ЭКГ. При задне-верхнем инфаркте ЭКГ более информативна.

Е. Лепешкин [126] предложил стимулировать сердце не током, а быстропеременными МП. Этот неконтактный метод не действует на кожу и не вызывает боли. Комбинация электрических и магнитных импульсов наиболее предпочтительна.

Французские исследователи в неэкранированных больничных комнатах с помощью дифференцирующего магнитометра (градиометра) зарегистрировали несколько сот нормальных и ненормальных МКГ. Освобождение от шумов достигалось здесь путем отбора 100 МКГ комплексов и автоматического их усреднения, и этот метод, следовательно, не пригоден для изучения быструх МКГ изменений.

На 2-й конференции присутствовали представители уже восьми стран, расширилась тематика, появились новые имена, но труды не были опубликованы и сообщение о конференции было озаглавлено «Прогресс в магнитокардиографии» [126].

3-я конференция по биомагнетизму, состоявшаяся в 1980 г. в Западном Берлине, демонстрирует количественный и качественный рост этой области знаний. Как показывают данные табл. 3 и 4, увеличилось число активных участников, расширилась география активно работающих групп по биомагнетизму, акцент переместился с кардиомагнетизма на нейромагнетизм [84, 143].

Нет надобности подробно описывать тематику этой и последующих конференций, поскольку она отражена в специальных трудах и желающие могут ознакомиться с ней подробно.

Следующая, 4-я, конференция по биомагнетизму проходила в г. Риме (Италия) 14 - 16 сентября 1982 г. Ей предшествовала недельная школа по биомагнетизму, которая также проходила в Италии. Труды этих двух мероприятий содержат основные современные (до 1982 г.) сведения по широким проблемам биомагнетизма [85, 110, 111].

Наконец, последняя, 5-я, конференция состоялась 27 - 31 августа 1984 г. в г. Ванкувере (Канада). Труды этой конференции недавно вышли из печати [109]. 6-я конференция по биомагнетизму будет проводиться в 1987 г. в г. Токио (Япония).

Уместно отметить, что международные биомагнитные конференции хотя и отражают основные тенденции в развитии биомагнетизма, но не включают всех материалов по этой тематике, которые разбросаны по разным изданиям, по трудам других конференций биологического или физико-технического плана. Создание полной библиографии по современному биомагнетизму является самостоятельной и трудной задачей.

Например, из трудов конференций читатель не сможет узнать о развитии биомагнетизма в ГДР, хотя из Йенского университета публикации по биомагнетизму (в основном по кардиомагнетизму) появляются с 1980 г. [79]. В ЧССР подобные публикации из Праги и Братиславы [25] появляются с 1977 г.

В Институте высшей нервной деятельности и нейрофизиологии АН СССР с 1976 г. исследуются МП человека, включая МКГ и фоновую МЭГ, с помощью магнитометра оптической накачки, созданного в Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР. Первая публикация по этому поводу появилась в 1978 г. [30]. В следующем 1979 г. были опубликованы результаты по регистрации МКГ с помощью СКВИДа из объединенного Института ядерных исследований [11, 56]. Позже появились подобные публикации из Института атомной энергии им.

Курчатова [12—15] и из Физико-технического института низких температур АН УССР [70]. В 1982 г. в Пушкине на Оке проходила конференция по биологическому действию ЭМП, где работала секция «Физические поля биологических объектов» [23, 32, 62]. В 1984 г. в Москве состоялся Первый советско-финский семинар по магнитометрии и биомагнетизму.

Таким образом, происходит координация работ по современному биомагнетизму как в пределах отдельных стран, так и в пределах отдельных регионов и на международном уровне. Однако эта координация еще не достигла требуемых организационных вершин, связанных с образованием соответствующего научного общества и изданием специализированного журнала. Думается, что эти мероприятия будут осуществлены в скором будущем.