

## Заключение

В предыдущих главах мы пытались продемонстрировать теоретическую и практическую значимость нового направления биофизики, названного современным биомагнетизмом. Красной нитью через описание этой многогранной отрасли науки проходит мысль о возможной физиологической роли биомагнитных полей.

Существуют гипотезы, которые показывают, как осуществляется ЭМ связь внутри организма: кроме уже упомянутых взглядов, следует напомнить читателю, что об эфаптической передаче информации в нервной системе упоминали Лоренто де Но, Жерар и Либбе, Эзрохи и другие исследователи. Математическое описание этих процессов дано в публикациях Чизмахчева и Маркова, но все это касается электрической компоненты биологических ЭМП [62].

Следует упомянуть, что роль ЭМ сигнализации в жизни электрических рыб считается доказанной, и сейчас ихтиологи изучают роль ЭМП в жизни неэлектрических рыб [44].

На этом основании нельзя считать гипотезу о физиологической роли биомагнитных полей совсем фантастической. Но для ее доказательства необходимы как экспериментальные данные, так и теоретические исследования различных способов рецепции. Не исключено, что эта рецепция биологических ЭМП отличается от классической рецепции внешних физических факторов, и на пути ее анализа необходимо учитывать возможность начального медленного реагирования, что было обнаружено при изучении рецепции внешних относительно сильных МП [62].

В качестве механизма биологического действия внешних искусственных МП высказывалась, правда без веских обоснований, гипотеза влияния «поля на поле» [21]. Этот подход напоминает чисто физическую проблему электромагнитной совместимости, конференции по которой включали и обсуждение вопросов биологического действия ЭМП. Такая гипотеза внешне

объясняет единым образом механизм биологического действия усиленных и ослабленных МП, но это объяснение лишь отодвигает решение проблемы. Потому что следующим этапом решения проблемы будет вычисление механизма реализации изменений, вызванных столкновением двух ЭМП: собственным биологическим и внешним космогеофизическим.

Другой ЭМ подход к выяснению механизма биологического действия ЭМП связан с измерениями магнитных свойств биообъектов, о чем мы говорили в гл. 5.

Мы полагаем, что тот, кто резко отделяет биомагнетизм от магнитобиологии, обедняет оба направления биофизики, призванные исследовать динамику фундаментальных свойств биологических систем.

Но доказательства родства названных направлений науки не обязательны для их отдельного прогресса. Биомагнетизм имеет много собственных достоинств.

По степени локальности регистрации информации с биообъектов методы биомагнетизма стоят в настоящее время посередине между снятием информации с помощью накладных электродов и регистрацией активности с помощью эндоэлектродов.

Напомним, что локальность регистрации зависит прежде всего от соотношений объемов регистрирующего датчика и регистрируемой области в биообъекте. И хотя площадь и объем датчиков для магнитометров соответственно СКВИД и МОН сейчас 5 - 7 см<sup>3</sup>, технология изготовления тонкопленочных СКВИДов позволит методом напыления изготавливать целые матрицы СКВИДов, плотность которых 20 и более датчиков на площади 1 см<sup>2</sup>. Это позволит в ближайшие годы значительно улучшить локальность метода. Объединяя возможности современной техники магнитометрии и электронно-вычислительной техники, можно предугадать появление принципиально нового метода диагностики.

Как и в методах компьютерной томографии, основанных на измерении показателей поглощения рентгеновского излучения различными по плотности тканями биообъекта, методы биомагнетизма позволят быстро оценить характер поражения, например, головного мозга, а также определить его локализацию, форму и размеры. Однако магнитометрия имеет неоспоримые преимущества в отличие от других известных методов.

1. Сохраняя способность регистрировать информацию неконтактно, для съема этой информации не требуется облучать биообъект каким-либо полем или вводить контрастные вещества.

2 Метод позволит количественно оценить электро-генез, например, новообразований в мозге, проследить электрохимическую взаимосвязь между различными областями, нейронными структурами, взаимосвязь корково-подкорковых отношений, дать пространственно-временную и количественную характеристику функционального состояния без внедрения электродов в мозг.

С помощью подобной аппаратуры в постановке задач исследований мозга на первый план выступают не вопросы уточнения локализации опухолей, а проблемы, связанные с закономерностями развития патологических состояний центральной нервной системы, включая реактивные фазные сдвиги в макро- и микроструктурах мозга, отражающие взаимоотношения патологического очага и мозга в целом.

Возможность прижизненного наблюдения за развитием изменений в веществе мозга откроет перспективы в изучении не только их течения и исхода, но и влияния на них проводимой терапии.

Перечисленные экспериментальные направления в биомагнетизме свидетельствуют о перспективности этой отрасли науки для практических целей, но она обладает и теоретической ценностью.

Реальное развитие магнитокардиографии и особенно магнитоэнцефалографии должно основываться на широком привлечении математических методов выделения и анализа сигналов и моделирования биологических систем. Необходимость использования таких методов обусловлена тем обстоятельством, что, например, достаточно типичным результатом одного только опыта с записью МЭГ (так же, как и ЭКГ) является регистрация многих сотен метров (при общепринятой записи) сложнейших кривых. Если запись ведется (или переводится в дальнейшем) в цифровой форме, то это соответствует миллионам чисел. Известно также, что задача анализа этих данных содержит весьма большое число взаимосвязанных факторов, каждый из которых подвержен изменчивости в пределах, не всегда доступных экспериментальному контролю. В случае регистрации МП биологических объектов задача

осложняется еще и тем, что независимо от используемых датчиков соотношение сигнал - шум может быть и крайне мало - много меньше того, с которым имеет дело исследователь биоэлектрических процессов, где это соотношение бывает порядка  $10^{-2}$ — $10^{-3}$ .

Представляется очевидным, что при анализе таких экспериментальных данных должен использоваться математический аппарат, заимствованный по крайней мере из таких областей, как теория оптимальной фильтрации, статистических решений, проверки гипотез, теории оценок и т.д.

С другой стороны, в настоящее время можно считать, что механизмы продуцирования МП многих биологических объектов практически неизвестны. В то же время, чтобы выйти за рамки простого накопления феноменологических данных и для существенного повышения диагностической ценности регистрации МП биообъектов, необходимо приступить к решению обратной задачи магнито- и электробиологии—определение источников (локализация, ориентация, количество) ЭМП, соответствующих какому-либо типу магнитной активности, по данным измерения характеристик этих полей. Структурная и геометрическая сложность биологических объектов, степень неоднородности электрических и магнитных свойств среды, в которой происходит распространение ЭМП от источников до регистрирующих датчиков, таковы, что единственным реальным путем при попытках решения задачи определения источников представляется построение и анализ математических моделей как для вероятных физико-химических процессов, так и для функционирования органов.

Сложность задач моделирования подобных систем анализа экспериментальных биомагнитных данных такова, что их эффективное решение возможно лишь с применением довольно мощных современных вычислительных средств.

Таким образом, на основании экспериментальных и теоретических данных можно выделить следующие основные преимущества методов магнитометрии биообъектов по сравнению с другими методами.

1. Бесконтактный съем информации с биообъектов.
2. Способность обнаружения некоторых источников электромагнитной активности у человека и животных, которые не

могут быть обнаружены измерениями потенциала поверхности тела (например, постоянное поле сердца).

3 Определение пространственного распределения этих источников в организме.

4. Меньшие искажения окружающими тканями и костью МП по сравнению с электрическим полем позволяют предположить возможность разработки методов ранней диагностики некоторых заболеваний сердца, мозга, мышц и т. д.

5. Количественная оценка магнитных включений в биологические системы и биосоединения

Магнитометрия не ограничивается биологией. Как известно, в основе большого числа фундаментальных биологических процессов лежат электрохимические закономерности. В настоящее время большое число исследований направлено не только на выяснение структурных, функциональных и биохимических свойств клеток, но также и на механизмы переноса заряда в биологических мембранах и их моделях

Магнитометры, способные измерять направленный перенос зарядов—ионные токи, создаются в США. Авторы предполагают, что прибор будет способен измерять токи поражения, или так называемые токи в кровеносных сосудах, что позволит локализовывать повреждение клеток как первого звена в нарушении клеточной стенки сосудов, а также дать точную количественную характеристику мышечных элементов разных типов сосудов.

Можно предположить, что в идеале техника магнитометрии сможет зарегистрировать любое перемещение зарядов как в потоке жидкости, отдифференцировав ламинарные и турбулентные потоки, так и в некоторых биохимических реакциях, где создаются условия для направленного движения ионов. В этой связи интересны сообщения о магнитных эффектах в некоторых биохимических реакциях, в частности о принципиальной возможности влияния МП, притом сравнительно небольшой индукции на биологические процессы, если только эти процессы включают химические радикальные реакции.

Мы надеемся, что и эта книга поможет найти новых энтузиастов, которым будут по плечу многие еще нерешенные проблемы биомагнетизма.

## Приложение

Каждый магнит имеет два полюса: северный и южный, которые по отдельности не существуют. Между полюсами двух магнитов действуют силы, причем одноименные полюсы отталкиваются, разноименные полюсы притягиваются. Магнитные силовые линии указывают направление сил, действующих в этом поле. Если силовые линии параллельны, то поле однородно. Малый по размеру пробный магнит поворачивается вдоль направления силовых линий. Магнитные силовые линии всегда замкнуты.

Напряженность МП определяется силой, которая действует на помещенный в поле пробный магнит. Так как магнитные полюсы не существуют в отдельности, то на северный и южный полюсы пробного магнита действуют противоположно направленные силы. В силу чего возникает момент пары сил. Этот момент характеризует величину напряженности в данном месте. В МП цилиндрической катушки он прямо пропорционален числу витков и силе тока и обратно пропорционален длине катушки. Направление вектора напряженности МП в каждой точке пространства совпадает с направлением силовых линий.

Единица СИ напряженности МП  $[H]$  = ампер/метр (А/м). Единица напряженности МП эрстед (Э) не принадлежит к СИ и с 1980 г. не допускается к применению.  $1 \text{ Э} = 79,6 \text{ А/м}$ ,  $1 \text{ А/м} = 4/1000 \text{ Э} = 0,01257 \text{ Э}$

Для прямолинейного проводника с током  $I$  напряженность МП на расстоянии  $r$  от него в плоскости, перпендикулярной проводнику, определяется выражением  $H = I/2\pi r$ .

Напряженность в центре витка с током  $I$  составляет

$$H = I/2r.$$

Магнитный момент  $p$  замкнутого плоского контура с током  $I$  определяется выражением  $p = IS$ , где  $S$  — вектор, численно равный площади, охватываемой контуром, и направленный по нормали к плоскости контура так, чтобы из конца вектора  $p$  ток казался протекающим против часовой стрелки.

МП можно количественно характеризовать как величиной силы, действующей на пробный магнит, так и величиной импульса напряжения, индуцируемого в пробной катушке при наложении или снятии поля.

Магнитной индукцией  $B$  называется приходящееся на один виток отношение площади под кривой напряжения, индуцированного в катушке, к сечению  $S$  катушки.

Единица СИ магнитной индукции  $[B]$  = вольт-секунда/м<sup>2</sup> (Вс/м<sup>2</sup>) = Тесла (Тл).

Магнитная индукция  $B$  — векторная величина. В вакууме ее направление совпадает с направлением напряженности МП  $H$ .  $B = \mu_0 H$ , где  $\mu_0 = 1,257 \text{ Вc/Ам}$  — магнитная постоянная.

Более мелкими единицами измерения индукции являются миллитесла, микротесла, нанотесла, пикотесла, фемтотесла, составляющие  $10^{-3}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-9}$ ,  $10^{-12}$ ,  $10^{-15}$  Тл. Для примера укажем, что индукция ГМП составляет около 50 мкТл,

а индукция МП сердца человека — около 50 пТл.

Единица магнитной индукции гаусс (Гс) не допускается к применению. 1 Гс = 10<sup>-4</sup> Тл; 1 Тл (Тл) = 10<sup>4</sup> Гс.

Магнитным потоком называется произведение магнитной индукции на площадь поперечного сечения поля. Единица СИ магнитного потока [Φ] = вольт-секунда (В·с) = вебер (Вб).

Для однородного поля  $\Phi = BS \cos \alpha$ , где  $\alpha$  — угол между направлением нормали к площади  $A$  и направлением вектора индукции. Для случая, когда индукция меняется по сечению,

$$\Phi = \int B_s dS.$$

Индукцию поля  $B$  часто называют плотностью магнитного потока, которая определяется из соотношения  $B_s = \Phi/S$ .

Ранее использовавшаяся единица магнитного потока максвелл (Мкс) с 1980 г. не допускается к применению. 1 Мкс = 10<sup>-8</sup> Вб; 1 Вб = 10<sup>8</sup> Мкс.

Если в МП поместить вещество, то индукция и магнитный поток изменятся при неизменной напряженности МП. Под действием МП магнитные диполи в веществе ориентируются в направлении поля и увеличивают магнитную индукцию и магнитный поток. Приращение индукции есть намагниченность  $J$ . Во всех веществах, кроме ферромагнетиков, намагниченность пропорциональна напряженности поля, а коэффициент пропорциональности называется магнитной восприимчивостью:  $J = \chi \mu_0 H$  (Тл). Величина, показывающая степень увеличения магнитной индукции в веществе, называется относительной магнитной проницаемостью  $\mu = B/B_0$ . Тогда  $B = \mu \mu_0 H$  где произведение  $\mu = \mu_0$  называют абсолютной проницаемостью вещества

Связь  $\chi$  с  $\mu$  выражается соотношением  $\chi = \mu - 1$ . Вещества  $\mu > 1$ ,  $\chi > 0$  (например, платина, алюминий, воздух) называют парамагнетиками, поле в них возрастает незначительно. Вещества  $\mu < 1$ ,  $\chi < 0$  (например, серебро, медь, вода) называют диамагнетиками; поле в них уменьшается в небольшой степени. Вещества  $\mu \gg 1$ ,  $\chi \gg 0$  (например, железо, кобальт, никель) называют ферромагнетиками, поле в них существенно усиливается.

В таблице дана сводка величин, описывающих МП.

## Магнитные величины

Величина	Уравнение	Единица
Напряженность поля	$H = I/N/l$	А/м
Магнитный момент	$p = IS$	Ам <sup>2</sup>
Магнитный поток	$\Phi = BS$	Вб = В·с
Магнитная индукция (плотность магнитного потока)	$B = \Phi/S$	Тл = В·с/м <sup>2</sup>
Магнитодвижущая сила	$F = HI$	А
Магнитная постоянная	$\mu = 1/\epsilon_0 c^2$	Гн/м
Индуктивность	$L = \Phi/N I$	Гн = В·с/А
Энергия поля	$W = LI^2/2$	Дж = Вт·с
Плотность энергии	$\omega = BH/2$	Дж/м <sup>3</sup>

# Литература

1. *Абалмазова М. Г. и др* Магнитные поля рыб//Рыб. хоз-во. 1981. №7. С. 37—41.
2. *Александров Е. Б., Бонч-Бруевич А. М., Ходовой В. А.* Возможности измерения малых магнитных полей методами оптической ориентации атомов//Оптика и спектроскопия, 1967. Т. 22, вып 2 С. 282—286.
3. *Александров М С* Спектральная плотность естественных флюктуаций] электромагнитного поля земли на частотах от долей Гц, до десятков кГц Препр. ИРЭ АН СССР. №25(281) М, 1979
4. *Александров А П* Наука—стране Статьи и выступления. М: Наука, 1983 219 с.
5. *Амиров Р.З* К вопросу об электрокардиопографии и маг-нитокардиографии// Тр II Всероссийского съезда терапевтов. М.- Медицина, 1966 С 477.
6. *Афанасьев Ю В* Ферризонды М • Энергия. 1969. С. 168.
7. *Афанасьев Ю В. Н. В Ситуденцов, А. П. Щелкин.* Магнитометрические преобразователи, приборы, остановки. Л.:Энергия, 1972 С. 272
8. *Бабанин В Ф* Магнитная восприимчивость почвы//Почвоведение 1982 №5 С 133—136.
9. *Бобраков В. Ф, Фодель В* Синхронный сетевой фильтр для биомагнитных исследований с применением СКВИДа. Препр. ОИЯИ, Р13-82-81. Дубна, 1982.
10. *Бондаренко С. И, Шеремет В. И.* Применение сверхпроводимости в магнитных измерениях. Л.: Энергоатомиздат, 1982. С 132.
11. *Васильев Б. В, Кольчева Е. В* Магнитокардиограф//Мед. техника; 1980 № 2 С 37.
12. *Введенский В. Л.* IV Международное совещание по биомагнетизму//Атом. энергия 1983. Т 54, № 3 С. 230—231.
13. *Введенский В. Л, Ожогин. В. И.* Сверхчувствительная магнитометрия и биомагнетизм. Обзор-препр Ин-та атомной энергии им. И. В Курчатова. М, 1980.
14. *Введенский В Л , Ожогин В И* Сверхчувствительная магнитометрия и биомагнетизм//Природа. 1981. № 7. С 23—31.
15. *Введенский В. Л и др* Физические основы генерации нейромагнитных полей //Биофизика 1985. Т. 30, вып. 1. С. 154.
16. *Виксво мл* Усовершенствованный прибор для измерения магнитных полей клеточных токов действия//Приборы для научных исследований, 1982. № 12 С. 41—46.
17. *Вильямюн С Дж, Кауфман Л., Бреннер Д* Биомагнетизм// Слабая сверхпроводимость: Квантовые интерферометры и их применения. М.: Мир, 1980. С. 197—242.
18. *Витюков А. Д.* Цезиевый двухканальный магнитометр//Атомная и молекулярная физика. Свердловск, 1969. С. 59—62.
19. *Вонсовский С. Л* Магнетизм. М.: Наука, 1971. С. 1111.
20. *Гутман А. М.* Моргенштерн В Я Возможный механизм генезиса магнитоэнцефалограммы//Биофизика, 1977. Т. 22. вып. 3. С.529-533.

21. *Дубров А.П.* Геомагнитное поле и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1974 176 с.
22. *Кармилов В. И.* К истории вопроса о биологическом и лечебном действии магнитного поля//Биологическое и лечебное действие магнитного поля и строго периодической вибрации. Пермь, 1948 С. 5—24.
23. *Козлов А. Н., Авдеев Б. В.* Исследование магнитных полей биообъектов в условиях экранированного объема//Биологическое действие электромагнитных полей: Тез. докл. Пушино, 1982. С. 149.
24. *Козлов А. Н., Синельникова С. Е., Фомин И. О.* Квантовый градиентометр для измерения МП биообъектов//Электромагнитные поля в биосфере/Ред. Н. В. Красногорская. М.: Наука. 1984. Т. 1. С. 279—285.
25. *Кнеппо П, Текель Л.* Измерение и анализ электромагнитного поля сердца//Электрическое поле сердца. М., 1983. С. 52—57.
26. *Конторский Е. И , Шалыгин А. Н.* Магнетизм биологических микрообъектов//ХУ Всесоюз. конф. по физике магнитных явлений: Тез. докл. Пермь, 1981. Ч. 1. С. 144—145.
27. *Краюхин Б. В.* О новом методе отведения нервных токов индуктивным путем // Бюл. эксперим. биологии и медицины. 1939. Т. 7, вып. 2—3. С. 171—174.
28. *Лангенберг Д. Н, Скалатино Д. Дж., Тейлор Б. Н.* Эффекты Джозефсона//физика твердого тела: Электронные свойства твердых тел/Под ред. Г. С. Жданова. М.: Наука, 1972. Вып. 8. С. 140--155.
29. *Леонтович А. В.* Нейрон как аппарат переменного тока//Биол. журн. 1933. Т. 2, вып. 2—3. С. 163—168.
30. *Ливанов М. Н. и др.* О регистрации магнитных полей человека//Докл. АН СССР. 1978. Т. 238, № 1. С. 253—256.
31. *Ливанов М. Н. и др.* Регистрация магнитокардиограмм человека квантовым градиентометром с оптической накачкой// XX Междунар. симпоз. по ЭКГ. Ялта, 1979. С. 127
32. *Лидоренко Н. С., Пивоваров О. И* Принципы системного подхода к измерению физических полей, генерируемых биосистемами чл//Биологическое действие электромагнитных полей: Тез. докл. Пушино, 1982. С. 142—143.
33. *Мансуров Г. С.* Электромагниторецепция. Препр. ИЗМИРАН. № 22 (387). М., 1982. 29 с.
34. Микрокомпьютерные медицинские системы/Под ред. У. Томпкинса и Дж. Уэбстера. М.: Мир, 1983. С. 544.
35. *Новицкий Ю. И.* Параметрические и физиологические аспекты действия постоянного магнитного поля на растения: Авто-реф. дис. д-ра биол. наук. М., 1985. 44 с.
36. *Павлович С. А.* Магниточувствительность и магнитовосприимчивость микроорганизмов. Минск: Беларусь, 1981. 172 с.
37. Патент № 4209746 (США). Magnetic field gradient measuring device/Abramov Yu., Kozlov A., Sinelnikova S.—опубл. 24.01.80.
38. Патент № 398007 (США) Method for measuring of the human body susceptibility changes/Winswo J. et al.—опубл. 14.09.76.
39. *Пирузян Л. Н. и др.* Магнитофорез и гравитационная седиментация эритроцитов//Изв. АН СССР Сер. биол. 1984. № 1. С. 18—30.

40. *Померанцев И. М., Рыжков В. М., Скороцкий Г. В.* Физические основы квантовой магнитометрии. М.: Наука, 1972. С. 448.
41. *Пресман А. С.* Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 288 с.
42. *Проворотов В. М.* Диагностическая ценность магнитокардиографии//Материалы конф. молодых ученых. Воронеж, 1966. С. 8—9.
43. *Проворотов В. М.* Исследование биоэлектромагнитного поля сердца и его значение в диагностике лево- или правожелудочковой и тотальной гипертрофии миокарда: Дис. ... канд. мед. наук. Воронеж, 1967. 196 с.
44. *Протасов В. Р., Бондарчук А. И., Ольшанский В. М.* Введение в электроэкологию. М.: Наука, 1982. 336 с.
45. *Романи Г., Уильямсон С., Кауфман Л.* Аппаратура для исследования биомагнитных полей (обзор)//Приборы для научных исследований, 1982. № 12. С. 3—40.
46. *Сафонов Ю. Д., и др.* Метод регистрации магнитного поля сердца — магнитокардиография//Бюл. эксперим. биологии и медицины. 1967. Т. 64, вып. 9. С. 111—113.
47. *Семенов Н. М., Яковлев Н. И.* Цифровые феррозондовые магнитометры. Л.: Энергия, 1978. С. 168.
48. *Скрынников Р. Г., Наумов А. П.* Парорубидиевый стабилизатор магнитного поля//Геофизическая аппаратура. 1972. № 49. С. 19—22.
49. Слабая сверхпроводимость: Квантовые интерферометры и их применение//Под ред. Б. Б. Шварца и С. Фонера. М.: Мир, 1980. С. 256.
50. *Собакин М. А.* Физические поля желудка. Новосибирск: Наука, 1978. 178 с.
51. *Степанов Н. П.* Магнитография—перспективное направление медицинской диагностики с использованием приборов на эффекте Джозефсона. М.: ЦНИИЭлектроника, 1975. 60 с.
52. *Терновой К. С. и др.* Магнитоуправляемые лекарственные вещества. Выбор магнитного микроносителя//Докл. АН БССР. 1984. № 1. С. 78—83.
53. *Тумановский М.Н., Сафонов Ю. Д., Мельников Э. А.* Клиническое значение и ближайшие перспективы развития электроники в кардиологии//Электроника и химия в кардиологии. Воронеж, 1964. С. 5—29.
54. *Травкин М. П.* Жизнь и магнитное поле//Материалы для спецкурса по магнитобиологии. Белгород, 1971. 193 с.
55. *Ухтомский А. А.* Собр. соч. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 5.
56. *Фодель В.* Сверхпроводящий магнитокардиограф//Природа. 1982. № 6. С. 107—108.
57. *Фогилев А. Н.* Методы и средства исследований магнитных полей биологических объектов//Зарубежная радиоэлектроника. 1983. № 4. С. 92—98.
58. *Фомин О. О., Козлов А. Н., Синельникова С. Е.* Регистрация магнитного поля сердца//Кардиология. 1983. Т. 23, № 10, С. 66—68.
59. *Холодов Ю. А.* Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. М.: Наука, 1966.
60. *Холодов Ю. А.* Магнетизм в биологии. М.: Наука, 1970. 97 с.
61. *Холодов Ю. А.* Мозг в электромагнитных полях. М.: Наука, 1982.
62. *Холодов Ю. А.* Магнитные поля биологических объектов// Биологическое действие электромагнитных полей: Тез. докл. Пущино, 1982, С. 141—142.

63. *Холодов Ю. А.* Методы магнитометрии в медико-биологических исследованиях//IV Национальная конф. по биомедицинской физике и технике с международным участием. София, 1984. С. 68.
64. *Холодов Ю. А., Горбач А. М.* Магнитные поля человека// II Всесоюз. конф. «Проблемы техники в медицине». Томск, 1983. С. 185—186.
65. *Холодов Ю. А. и др.* Одновременная регистрация фоновых ЭЭГ и МЭГ здорового человека//Материалы VIII Всесоюз. конф. по электрофизиологии ЦНС. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1980. С. 471—475.
66. *Холодов Ю. А., Шишло А. М.* Электромагнитные поля в нейрофизиологии. М.: Наука, 1978.
67. *Честной В. Н. и др.* Магнитное поле рыб//Рыб. хоз-во. 1977. № 7. С. 35—27.
68. *Чижевский А. Л.* Структурный анализ движущейся крови. Киев: Изд-во АН УССР, 1969. 92 с.
69. *Чичерников В. И.* Магнитные измерения. М., Изд-во МГУ, 1969.
70. *Шальгин А. Н., Норина С. Б., Кондорский Е. И.* Магнитная восприимчивость и магнитный «захват» клеток//Биофизика. 1984. Т. 29, вып. 5. С. 845—851.
71. *Щекотов А. Ю., Голявин А. М.* Следящий режекторный фильтр на частоту сети и ее гармоники. ПТЭ. 1978. № 4. С. 175—181.
72. *Эйди У. Р.* Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям// Физиология человека. 1975. Т. 1, № 1. С. 20—31.
73. Электромагнитные поля в биосфере/Под ред. Н. В. Красногорской. М.: Наука, 1984. Т. 1. 375 с.; Т. 2. 321 с.
74. *Яновский Б. М.* Земной магнетизм. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964.
75. *Acuna M. H.* The Magsat precision vector magnetometer//Johns Hopkins ATPL Technical Digest, 1980. Vol. 1. N 3. P. 210—213.
76. *Ahopelto I. et al.* AN UHF SQUID gradiometer for biomagnetic measurements//Lowell Temp. Phys. 1975. Vol. 4. P. 262—265.
77. *Aittoniemi K. et al.* Magnetic responses to pitch changes in a sequence of auditory stimuli//Proc. Third National Meeting in Biophysics and Medical Engineering in Finland. 1979. A7.
78. *Aittoniemi K. et al.* Magnetoretinography: Detection of the transient magnetic field of the eye//Proc. 12th Intern. Conf. on Medical and Biological Engineering. Jerusalem. 1979. Ch. 96.4.
79. *Albrecht G. et al.* Einsatz von ebenen Tunnel-SQUID für MKQ-Messungen//14 Symp. Tieftemperaturphysik und Kryoelektrotechnik. 1982. P. 122—126.
80. *Baker R., Mother J., Kennaugh T.* Magnetic bone in sinus of many/Nature. 1983. Vol. 301. P. 78—80.
81. *Barth D., Sutherling W., Beatty J.* Fast and slowly magnetic • phenomena in focal epileptic seizures//Science. 1984. Vol. 226, P. 855—857.
82. *Bauer E., Raskin A.* Increase of diamagnetic susceptibility on the death of living cells//Nature. 1936. Vol. 138. P. 801.

83. *Baule G. M. McFee R.* Detection of magnetic fields of the heart//*Amer. Heart J.* 1963. Vol. 66. P. 95—96.
84. *Biomagnetism/Ed. S. N. Erne, H. D. Hahlbohm, H. Scheer, Z. Trontelj. B.: Walter de Gruyter.* 1981. 512 p.
85. *Biomagnetism and interdisciplinary approach/Ed. S. J. Williamson. G.-L. Romani, L. Kaufman, I. Modena. N. Y., L.: Plenum Press Corp.* 1983. 706 p.
86. *Balkwill D., Maratea D., Blacemore R.* Ultrastructure of magnetotactic spirillum//*J. Bacteriol.* 1980. Vol. 141. P. 1399.
87. *Blakemore R. P.* Magnetotactic bacteria//*Science.* 1975. Vol. 190. P. 377—379.
88. *Bloom A.* Principles of operation of the rubidium vapor magnetometer//*Appl. Opt.* 1962. Vol. 1. P. 61—68.
89. *Blum T., Satting E., Bauer R.* Fetale Magnetoenzephalography. I. Erst mabige pranatale Registrierung eines auditirisch evo-zierten neuromagnetischen Felde//*EE(-i-EMG.* 1984. Vol. 15. P. 34—37.
90. *Brenner D., Williamson S., Kaufman L.* Visually evoked magnetic fields of human brainy//*Science.* 1975. Vol. 190. P. 480.
91. *Cohen D.* Magnetic fields around the torso: Production by electrical activity of the human heart//*Ibid.* 1967. Vol. 156. P. 652—654.
92. *Cohen D.* Magnetoencephalography: Evidence of magnetic fields produced by alpha rythm currents//*Ibid.* 1968. Vol. 161. P. 784—786.
93. *Cohen D.* Large-volume conventional magnetic shields//*Rev. Phys. Appl.* 1970. Vol. 5. P. 53—58.
94. *Cohen D.* Measurements of the magnetic fields produced by the human heart, brain and lungs//*IEEE Trans. Magn.* 1970. Vol. 11. P. 694—700.
95. *Cohen D.* Magnetic fields of the human body//*Phys. Today.* 1975. Vol. 28. P. 35—43.
96. *Cohen D., Edelsack E., Zimmerman J.* Magnetocardiograms taken inside a shielded room with a superconducting pom contact magnetometr//*Appl. Phys. Lett.* 1970. Vol. 16. P. 278—280.
97. *Cohen D., Givler E.* Magnetomyography: Magnetic fields around the human body produced by skeletal muscles//*Ibid.* 1972. Vol. 21. P. 114—116.
98. *Cohen D. et al.* Abnormal patterns and physiological variations in magnetocardiograms//*J. Electrocardiol.* 1976. Vol. 9. P. 398.
99. *Cohen D. McCaughan D.* Magnetocardiograms and their variation over the chest in normal subjects//*Amer. J. Cardiol.* 1972. Vol. 29. P. 678.
100. *Cohen D. et al* Magnitocardiography of direct currents: S-T segment and baseline shifts during experimental myocardiac intarction//*Science.* 1971. Vol. 172. P. 1329—33.
101. *Cohen D. et al.* Magnetic fields produced by stedy currents in the body//*Proc. Nat. Acad. Sci. US.* 1980. Vol. 77. P. 1447.
102. *Cope F. W.* Superconductivity—a possible mechanism for nonthermal biological effects of microwaves//*J. Microwave Power.* 1976. Vol. 11. P. 267.
103. *Dandridge A., Tventen A., Sigel G.* Optical fiber magnetic field sensors//*Electron. Lett.* 1980. Vol. 16. P. 408—409.
104. *Denham C., Blakemore R., Frankel R.* Bulk magnetic properties of magnetotactic bacteria//*IEEE Trans. Magn.* 1980. Vol. 16. P. 1006—1007.

105. *Denis B. et al.* L'enregistrement du champ magnétique cardiaque—considerations techniques et premiers résultats en milieu hospitalier//Arch. malad. coeur et vaiss. 1976. Vol. 69. P. 299—304.
106. *Ehnholm G., Ilmoniemi R., Wiik T.* A seven channel SQUID magnetometer for brain research//Physics. 1981. Vol. 107B. P. 29—30.
107. *Elberling C. et al.* Magnetic auditory responses from the human brain//Scand. Audiol. 1980. Vol. 9. P. 185—190.
108. *Fooler C., Matelin D.* L'enregistrement du magnéto cardiogramme avec un gradiomètre à bobines//Ann. cardiol. et angirol. 1978. Vol. 27. P. 71—73.
109. Fifth World Conference on Biomagnetism. Vancouver. 1984. 149 p.
110. Fourth International Workshop on Biomagnetism//Wprkshop Digest. Roma. 1982. 110 p.
111. Fourth International Workshop on Biomagnetism proc.//n Nuovo Cimento. 1983. Vol. 2D. P. 120—664.
112. *Frankel R. et al.* Magnetotactic bacteria at the geomagnetic equator//Science. 1981. Vol. 212. P. 1269—1270.
113. *Fujino K. et al.* Magnetocardiograms of patients with left ventricular overloading recorded with a second-derivative SQUID gradiometer//J. Electrocardiol. 1984. Vol. 17. P. 219.
114. *Gengerelli J., Holier N., Glasscock W.* Magnetic fields accompanying transmission of nerve impulses in the frog's sciatic// J. Psychol 1961. Vol. 52. P. 317—325.
115. *Gengerelli I., Holier N., Glasscock W.* Further observations on the magnetic fields accompanying nerve transmission and ten-tenus//Ibid. 1964. Vol. 57. P. 202—212.
116. *Geselowitz D. B.* Magnetocardiography: An overview//IEEE Trans. Bio-Med. Engr. 1979. Vol. 26. P. 497—504.
117. *Hari R. et al.* Auditory evoked transient and sustained magnetic fields of the human brain//Exp. Brain Res. 1980. Vol. 40. P. 237—240.
118. *Hukkinen K. et al.* Instantaneous fetal heart rate monitoring by electromagnetic methods//Amer. J. Obstet. and Gynecol. 1976. Vol. 125. P. 1115—1120.
119. *Kalliomaki P. et al.* Lung retention and clearance of shipyard arc welder//Intern. Arch. Occup. Environ. Health. 1978. Vol. 42. P. 83—89.
120. *Kariniemi V. et al.* The fetal magnetocardiogram//J. Perinat. Med. 1977. Vol. 2. P. 214—216.
121. *Karp P. et al.* Magneto-oculography-Detection of the DC-magnetic field of the eye//Digest of the 11th Intern. Conf. Med. Biol. Eng. Ottawa, 1976. P. 504—505.
122. *Karp P. et al.* Etude comparative des magnéto cardiogrammes normaux et pathologiques//Ann. cardiol. et angirol. 1978. Vol. 27. P. 65—70.
123. *Kirschvink I. L.* Ferromagnetic crystals (magnetite?) in human tissue//.!. Exp. Biol. 1981. Vol. 92. P. 333—338.
124. *Kirschvink J. L.* Birds, bees and magnetism: A new look at the old problem of magnetoreception//Trends Neurosci. 1982. Vol. 5. P. 160—167.
125. *Lepeschkin E.* Progress in magnetocardiography//J. Electrocardiol. 1976 Vol. 9. P. 295—296.
126. *Lepeschkin E.* Progress in magnetocardiography II//Ibid. 1979. Vol. 12. P. 1-2,

127. *Lowenstam H. A.* Magnetite in denticle capping in recent chitons (Polyplacophora)//*Geol. Soc. Amer. Bull.* 1962. Vol. 73. P. 435—438.
128. *Maugh T. H.* Magnetic navigation an attractive possibility// *Science.* 1982. Vol. 215. P. 1492—1493.
129. *Muroyama M.* Orientation of sickled erythrocytes in a magnetic field//*Nature.* 1965. Vol. 206. P. 420—422.
130. *Malay L., Mulay I.* Magnetic susceptibility: Trends in instrumentation, research and application//*Ann. Chem.* 1964. Vol. 36. p. 404—419.
131. *Odehnal M. et al.* Low-level SQUID magnetometry of the human heart in a small ferromagnetic enclosure//*Cryogenic!*. 1978. Vol. 18. P. 427—431.
132. *Okada J., Williamson S., Kaufman L.* Magnetic field of the human sensorimotor cortex//*Intern. J. Neurosci.* 1982. Vol. 17.
133. *Pauling L., Coryell C.* The magnetic properties and structure of gemoglobin, oxygemoglobin and carbonmonoxyhemoglobin// *Proc. Nat. Acad. Sci. US.* 1936. Vol. 22. P. 210.
134. *Reite M. et al.* The human magnetoencephalogram: Some EEG and related correlation//*EEG Clin. Neurophysiol.* 1976. Vol. 40. P. 59—66.
135. *Reite M. et al.* Human magnetic auditory avoked fields//*Ibid.* 1978. Vol. 45. P. 114—117.
136. *Rush S.* On the independence of magnetic and electric body surface recordings//*IEEE Trans. Bio-Med. Eng.* 1975. Vol. 22.
137. *Saarinen M. et al.* The normal magnetocardiogram. I. Morphology//*Ann. Clin. Res.* 1978. Vol. 10. P. 1—43.
138. *Saoard P., Cohen D.* Magnetic measurements of the DC of human heart: Coping with extraneous fields from other or-gans//*Digest of 12th Intern. Conf. on Medical, and Biological Engineering.* Jerusalem, 1979. P. 365.
139. *Schmidt-Jedermann K,-* Magnetism in science, business and everyday life//*IEEE Trans. Magn.* 1984. Vol. 20. P. 643—647.
140. *Seipel J., Morrow D.* The magnetic fields accompanying neu-ronal activity: A new method for the study of nervous system//,!. *Wash. Acad. Sci.* 1960. Vol. 50. P. 1—4.
141. *Semm P. et al.* Neuronal basis of the magnetic compass//,!. *Corp. Physiol. A.* 1984. Vol. 155. P. 283—288.
142. *Stratbucker R., Hyde C., Wixon S.* The magnetocardiogram: A new approach to the field surrouding the heart//*IEEE Trans. Bio-Med. Eng.* 1963. Vol. 10. P. 145—149.
143. Third Workshop on Biomagnetism//*IC SQUID-BO. B.,* 1980.
144. *Wikswow J., Barach J.* An estimate of the steady magnetic field strength required to influence nerve conduction//*IEEE Trans. Bio-Med. Eng.* 1980. Vol. 27. P. 722—723.
145. *Wikswow J., Barach J., Freeman J.* Magnetic field of a nerve impulse: First measurements//*Science.* 1980. Vol. 208. P. 53— 55.
146. *Wikswow J., Opfer I., Fairbank W.* Observation of human cardiac blood-flow by non-invasive measurement of magnetic susceptibility changes//*AIP Conf. Proc.* 1974. Vol. 18. P. 1335—1339.
147. *Williamson. S., Kaufman L.* Biomagnetism//*J. Magn. Mater. •* 1981. Vol. 22. P. 129—201.
148. *Zimmerman I. E.* SQUID instruments and shielding for low-noise level magnetic measurements//,!. *Appl. Phys.* 1977. Vol. 48. P 7Q2—710.

# Оглавление

<b>Введение</b>	3
<b>Раздел I. Основные подходы к изучению магнитных полей биологических объектов</b>	10
Глава 1. История современного биомагнетизма	11
<b>Раздел II. Инструментальное обеспечение биомагнитных исследований .</b>	23
Глава 2. Методы регистрации магнитных полей биообъектов .	23
<b>Раздел III. Результаты биомагнитных исследований</b>	69
Глава 3. Магнитные поля переменных токов .	69
Глава 4. Магнитные поля постоянных токов .	114
Глава 5. Магнитные включения и магнитные свойства биологических объектов .	120
<b>Заключение .</b>	131
<b>Приложение .</b>	136
<b>Литература .</b>	138