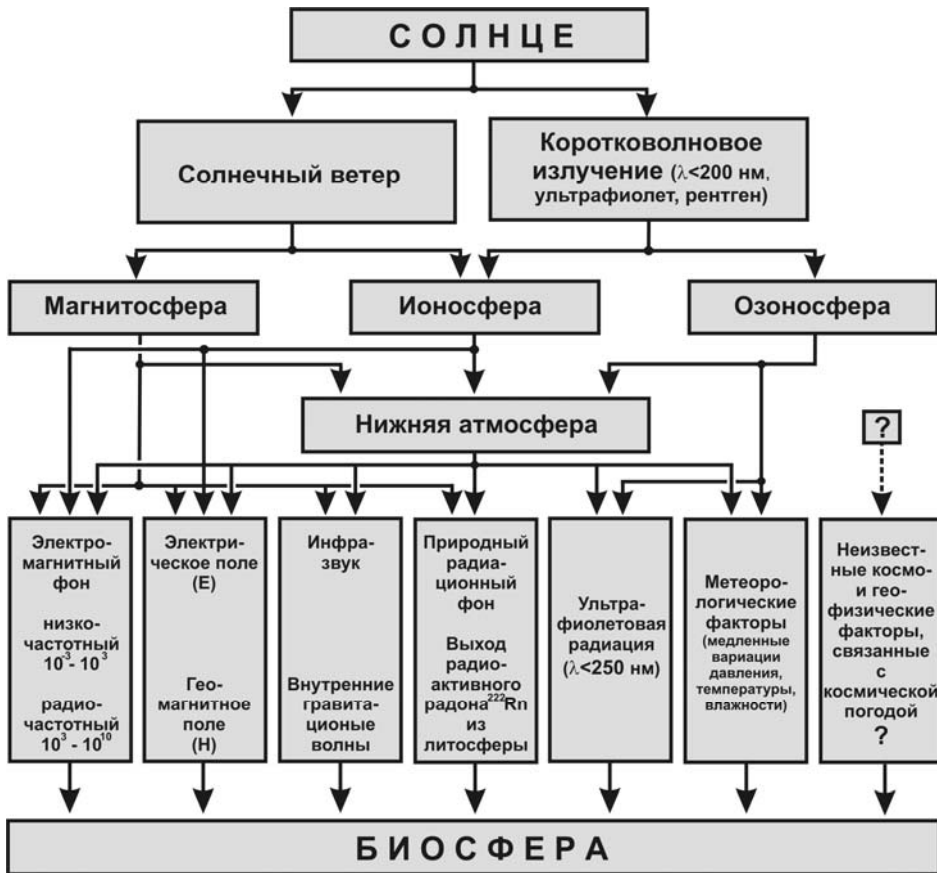


## **Глава 7. КАКОЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКТОР ЯВЛЯЕТСЯ ГЛАВНЫМ В ПЕРЕДАЧЕ ИЗМЕНЕНИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ В БИОСФЕРУ? ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА**

Вопрос, вынесенный в заглавие этого раздела, в настоящее время является одним из главных в современной гелиобиологии. Это сложный вопрос, поэтому авторы вынуждены сразу предупредить, что приводимые в этой главе материалы рассчитаны на подготовленного читателя. Из предыдущих глав читатель уже знает в том, что существует огромный массив данных, свидетельствующий о связи земных процессов с космической погодой. Список феноменов постоянно расширяется. Однако по-прежнему малопонятными остаются физические и биологические механизмы, отвечающие за реализацию такой связи. В конечном итоге суть проблемы сводится к поиску ответов на два главных вопроса: какие экологические факторы, контролируемые космической погодой, оказывают непосредственное воздействие на биологические системы и каковы биологические механизмы, определяющие разнообразие реакций живых организмов на воздействие этих факторов?

Ответ на первый вопрос в настоящее время более-менее ясен и он лежит в области исследований солнечно-земной физики. В самых общих чертах пути воздействия солнечной активности на среду обитания показаны на рисунке 7.1. Здесь выделены два основных канала воздействия – через изменения коротковолнового излучения и ионосферу (солнечная активность), а также через изменения в солнечном ветре – магнитосферу (геомагнитная активность). Уместно еще раз подчеркнуть, что в первом случае воздействие суммируется по всему солнечному диску (по всем активным областям), во втором – влияние ограничивается активными областями в узкой зональной области данного солнечного полушария с запаздыванием в 3-5 дней. Здесь не показан еще один возможный канал связи, который значительно реже обсуждается в литературе, – это космические галактические и солнечные лучи, поток которых модулируется солнечным ветром.

В среде обитания на живые организмы действует комплекс факторов. Ряд факторов, такие как электромагнитные поля крайне низких частот, проникают в лито- и гидросферу, оказывая воздействие практически на все живые организмы биосферы. Другие факторы могут оказывать действие только на ограниченных пространствах и их параметры сильно зависят от состояния атмосферы (радиочастотный электромагнитный фон, инфразвук, электрическое поле, ультрафиолетовое излучение и др.).



**Рис. 7.1.** Общая схема влияния солнечной активности на Биосферу. Показаны два основных канала воздействия: через солнечный ветер – магнитосферу и через коротковолновое излучение – ионосферу и озоносферу. Отсутствие точного знания о других источниках влияния на биосферные процессы символизирует стрелка со знаком вопроса на правой крайней части схемы и означает, что на нынешнем этапе исследований не все пути воздействия космофизических факторов раскрыты.

Ясный ответ на второй вопрос, т.е. о биологических механизмах действия слабых факторов, который по своей сути является фундаментальным биофизическим, пока еще остается открытым. Это связано, с одной стороны, со сложностью исследований влияния крайне слабых факторов на фоне сильных экспериментально неконтролируемых шумов, а с другой, - с отсутствием ясных теоретических представлений о физических механизмах воздействия таких слабых факторов. Эти обстоятельства часто являются причиной острых дискуссий, необоснованной критики, а порой откровенного недоверия к перечисленному кругу научных проблем. Тем не менее, имеющийся современный массив экспериментальных данных позволяет сделать некоторые выводы, о которых пойдет речь ниже.

## 7.1. Биологическая активность слабых электромагнитных полей

Экспериментальное обнаружение биологической активности слабых (сверхслабых) электромагнитных полей – одно из самых важных достижений современной биофизики и экологии. В настоящее время природные электромагнитные поля рассматривают в качестве главного посредника между активностью солнца и биологическими процессами. Это и не удивительно, потому что наибольшее количество корреляций биологических процессов с солнечной активностью выявлено с использованием гео- и гелиофизических индексов, которые в той или иной степени характеризуют электромагнитную обстановку окружающей

среды. Постепенно становится понятным, что вариации амплитуд электромагнитных колебаний на разных частотах тоже необходимо рассматривать как особый экологический фактор фундаментальной важности. Следует отметить, что это все еще гипотеза, но которая в настоящее время имеет под собой серьезную экспериментальную базу, поэтому данный вопрос мы рассмотрим более подробно.

Идея экспериментальной проверки биологической активности электромагнитных полей, близких по своим частотным и амплитудным характеристикам к природным, возникла практически сразу после того, как были установлены основные механизмы воздействия солнечной активности на защитные оболочки Земли (раздел 1.5). Однако в то время большинство исследователей были убеждены в том, что низкочастотные электромагнитные поля не могут вызывать какие-либо реакции со стороны живых организмов, потому что энергия таких воздействий на несколько порядков меньше энергии, приходящейся на единицу степени свободы теплового движения молекул. Поэтому вопрос о биологической активности и экологической значимости природных электромагнитных полей автоматически снимался с рассмотрения. В такой обстановке накопление экспериментальных данных о влиянии электромагнитных полей нетепловой интенсивности проходило медленно и крайне трудно. Экспериментальные данные о высокой чувствительности живых организмов к таким воздействиям встречались научной общественностью с откровенным недоверием.

Ситуация изменилась после публикаций А.С. Пресмана (Пресман А.С., 1968). Он обобщил имеющиеся на тот момент экспериментальные данные и выдвинул три принципиально важных постулата, которые стали базовыми в последующем становлении и развитии нового раздела современной биофизики – электромагнитной биологии неионизирующего излучения. Коротко их можно сформулировать следующим образом: природные и техногенные электромагнитные поля влияют на биологические процессы; внутренние электромагнитные поля живых организмов участвуют в регуляции биологических процессов; электромагнитные поля принимают участие в коммуникации между организмами. Такой подход привел к появлению концепции об информационной роли электромагнитных полей в биосфере, которая получила серьезное экспериментальное обоснование. Итак, что же сегодня известно о биологической активности слабых электромагнитных полей?

Экспериментальный массив данных о биологической активности слабых электромагнитных полей в настоящее время огромен, и авторы не имеют возможности в рамках одного раздела посвятить читателя во все тонкости этой проблематики. Эта проблема касается не только экологической и медико-биологической значимости природных электромагнитных полей, но и в большей степени электромагнитных излучений техногенного происхождения в широком диапазоне частот. Поэтому рассмотрим только отдельные аспекты электромагнитного воздействия на живые организмы, которые принципиально важны для понимания возможных путей влияния природного электромагнитного фона на биологические процессы.

Перед тем, как рассматривать вопросы биологической активности слабых электромагнитных полей, необходимо определиться в том, как следует понимать термин «слабые». Необходимо отметить, что в электромагнитной биологии четкого критерия «слабого» или «сильного» электромагнитного воздействия не существует в силу высокой чувствительности и нелинейности ответа живого организма на то или иное электромагнитное воздействие. Тем не менее, «слабыми» часто называют такие воздействия, которые не приводят к нагреву биологических тканей. Более точный критерий, который позволяет называть такие воздействия слабыми, – это величина энергии воздействия, которая по своему уровню не должна быть больше энергии, приходящейся на единицу степени свободы теплового движения простых молекул. Однако по отношению к низкочастотным магнитным полям применяют другие критерии «слабости». Очень часто «слабыми» называют такие низкочастотные магнитные поля, амплитуда которых ниже установленных предельно допустимых уровней для жилых и офисных помещений, в данном случае это диапазон ниже 100 микротесла. Для сравнения можно привести такие данные: средняя напряженность (индукция) постоянного магнитного поля Земли составляет приблизительно 50 микротесла, а амплитуда его медленных вариаций может достигать до 1 микротесла; уровень электромагнитного фона, создаваемого электротехническими устройствами в обычных помещениях, в которых проводятся эксперименты, находится в пределах от нескольких десятков до нескольких сотен нанотесла; уровень электромагнитного фона на частотах

Шумановского резонанса для электрической компоненты составляет десятые доли милливольт на метр, а для магнитной компоненты – доли-единицы нанотесла; реакции живых организмов экспериментально обнаружены для магнитных полей начиная с единиц пикотесла (*Qin C. Et al*, 2005).

Биологические эффекты электромагнитных полей крайне низких частот (менее 300 Гц), близких по своим отдельным характеристикам к природным обнаруживаются на всех уровнях организации живых систем. Этой проблеме посвящено ряд добротных обзорных работ и фундаментальных монографий (*Темурьянц Н.А. и соавт.*, 1992; *Бинге В.Н.*, 2000). Поэтому очень кратко рассмотрим основные эффекты влияния рассматриваемого фактора на организм человека и животных.

*Влияние на центральную нервную систему.* Воздействие слабых магнитных полей крайне низких частот влияют на электрическую активность мозга животных и человека, при этом энцефалографические данные показывают усвоение разных частот действующего поля (*Gavalas-Medici R.T. et al.*, 1978; *Ludwig H.W.*, 1987). Слабые низкочастотные магнитные поля угнетают развитие условных рефлексов (*Сидякин В.Г.*, 1986; *Pavlenko V.B. et al.*, 2004), и изменяют зоосоциальное поведение животных (*Сидякин В.Г. и соавт.*, 1995). Одной из причин развития торможения на уровне интегративной деятельности центральной нервной системы являются повышения в активности серотонинэргических систем (*Zecca L. Et al.*, 1995), контролируемых уровнем мелатонина в крови, который в свою очередь определяется функциональной активностью особой нейроэндокринной железой головного мозга - эпифизом (*Burch J.B. et al*, 1999; *Pfluger D. H. et al*, 1996). Эффекты действия магнитных полей крайне низких частот на поведение и условно-рефлекторную деятельность животных связывают с изменениями также и в холинэргическом медиаторном звене. В исследованиях показано, что причиной снижения холинэргической активности в таких случаях является активация опиоидной системы мозга (*Kavaliers M.*, 1986). Такие изменения в нейромедиаторных системах головного мозга, вероятно, могут быть одной из причин магнитоиндуцированного повышения алкогольного влечения у животных, находящихся в условиях стресса (*Никольская К.А. и соавт.*, 2000). Важно также то, что слабые электромагнитные поля крайне низких частот влияют на параметры межполушарной асимметрии, которая является одной из фундаментальной характеристикой интегративной деятельности головного мозга (*Мартынюк В.С. и соавт.*, 2001). Данные результаты позволяют в определенной степени объяснить наблюдаемый феномен зависимости распределения острых мозговых нарушений кровообращения в полушариях мозга от фазы цикла солнечной активности, обнаруженной *Цыганковым К.В. и соавт.* (2007) (см. главу 3). В независимых исследованиях показано влияние магнитных полей крайне низких частот на метаболические процессы в разных структурах центральной нервной системы, при этом характер этого влияния сильно зависит от индивидуально-типологических особенностей животных (*Мартынюк В.С.*, 2001). Это обуславливает разнообразие реакций в популяции животных, которое не всегда учитывается исследователями в своих модельных исследованиях.

Один из основателей советской электромагнитной биологии *Ю.А. Холодов* (1982, 1998) считает, что из трех основных структурных элементов нервной ткани - нейрон, глия, кровеносный сосуд - наиболее чувствительной к магнитным полям является глия. При этом детальное изучение самых начальных реакций мозга в течение первых секунд и минут воздействия электромагнитных полей позволило *Холодову Ю.А.* сделать важный вывод о неспецифичности таких реакций на уровне центральной нервной системы (*Холодов Ю.А.*, 1998). Этот исследователь предлагает называть такую реакцию НАРМ-реакцией, т.е. «начальной адаптационной реакцией мозга». Принципиальным моментом такой системной неспецифической реакции является то, что при НАРМ-реакции еще не наблюдается никаких изменений со стороны периферических органов и тканей.

Исследовательская группа под руководством академика РАН *Агаджаняна Н.А.* (1992) в лабораторных условиях моделировала короткопериодные магнитные пульсации с частотами 0.05 – 5 Гц 100 нТл, которые по своим характеристикам близки к пульсациям геомагнитного поля. Результаты их исследований показали, что такие МП КНЧ повышают спонтанную ритмическую активность нервных клеток мозжечка, что доказывает возможность прямого влияния МП КНЧ на функциональную активность отдельных нейронов и целых нейрональных структур.

Таким образом, краткий анализ имеющегося в настоящее время большого массива экспериментальных данных указывает на то, что в ответ на действие электромагнитных полей, близких по своим частотным и амплитудным характеристикам к природным, со стороны центральной нервной системы наблюдаются разнообразные реакции, начиная с изменений реализации программ поведения и заканчивая элементарной биохимической и биофизической организацией нервных процессов.

*Влияние на нейроэндокринную регуляцию.* Широко известно, что эндокринные железы и, в частности, система гипоталамус-гипофиз-кора надпочечников играют важную роль в неспецифических защитно-приспособительных реакциях организма на воздействие разнообразных факторов внешней среды, в том числе и на действие электромагнитных полей (Андрейчук Л.А., 1999). Поэтому не удивительно, что в исследованиях биологической активности слабых электромагнитных полей обнаруживаются разнообразные реакции со стороны данного звена нейро-эндокринной системы организма. В частности, повышается активность симпато-адреналовой системы и увеличивается накопление адреналина в эритроцитах (Темурьянц Н.А. и соавт., 1982), сдвигаются параметры ее биоритмов (Темурьянц Н.А. и соавт., 1982). Результаты многочисленных исследований показывают фазную активацию гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, реакции со стороны щитовидной железы, половых желез (Гаркави Л.Х. и соавт., 1990).

В системных механизмах воздействия электромагнитных полей на живые организмы важную роль играет эпифиз, который по последним данным, участвует в регуляции циркадианного ритма посредством специального гормона – мелатонина (Темурьянц Н.А. и соавт., 1998). Эпифиз вовлекается в регуляцию разнообразных физиологических и иммунных процессов, что во многом объясняется существованием многочисленных взаимосвязей с различными структурами мозга и эндокринными железами. Показано, что, оказывая сложное влияние на состояние гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, эпифиз взаимодействует с различными эндокринными органами, среди которых гонады, надпочечники, щитовидная и поджелудочная железы. Причем указанное влияние имеет, главным образом, сдерживающий, ингибирующий характер. Одновременно с этим мелатонин является важным и тонким модулятором активности разных звеньев иммунной системы. Анализ многочисленных литературных данных свидетельствует о том, что слабые магнитные поля с различными характеристиками вызывают принципиально одинаковые изменения в функциональной активности эпифиза, которые сводятся к снижению концентрации мелатонина в крови.

*Влияние на сердечно-сосудистую систему.* Одной из магниточувствительных систем организма является сердечно-сосудистая система, а ее функциональные изменения, скорее всего, являются результатом нарушения транспорта кислорода в тканях. Слабые магнитные поля, в зависимости от условий эксперимента, могут оказывать аритмогенное действие на функции сердца (Кузнецов А.И., 1990) или снижать показатель вариабельности сердечного ритма (Sastre A. et al, 1998). Это в обоих случаях рассматривается как неблагоприятный фактор, свидетельствующий о напряженной работе регуляторных механизмов, контролирующей работу сердца.

*Влияние на систему крови и иммунитет.* Эффекты воздействия слабых магнитных полей крайне низких частот хорошо выявляются на показателях системы крови и зависят от частоты, интенсивности и экспозиции воздействия (Темурьянц Н.А. и соавт., 1982). В первые часы воздействия, как правило, наблюдается лейкопения, т.е. происходит снижение количества лейкоцитов в крови (Мартынюк В.С., 1995). Одновременно в режиме колебаний изменяются показатели функциональной активности лейкоцитов (Темурьянц Н.А. и соавт., 1996). Действие магнитных полей также проявляется в активизации противосвертывающей системы крови (Русяев В.Ф., 1984). Важным является тот факт, что были найдены частотные «окна», в которых наблюдались более выраженные биоэффекты синусоидальных и импульсных переменных магнитных полей крайне низких частот с амплитудами 5,1; 51 и 5100 нТл. Так показатели периферической крови существенно изменялись только в результате воздействия отдельных частот: 0,02; 0,55; 5,5; 9,5 и 80 Гц (Темурьянц Н.А. и соавт., 1982).

Иммунная система также демонстрирует высокую чувствительность к действию электромагнитных факторов. Установлено, что при действии электромагнитных полей изменяются факторы гуморального естественного иммунитета (Думанский Ю.Д. и

соавт., 1992), при этом лейкоцитарное звено проявляет наиболее высокую чувствительность к этому воздействию. Хроническая экспозиция в МП КНЧ может подавлять активность некоторых клонов клеток иммунной системы и тем самым способствовать развитию разного рода иммунодефицитов и снижению защиты организма от перерождающихся клеток (*Lyle D.B. et al*, 1988). Однако есть данные и о магнитно-полевой активации иммунных процессов, когда магнитно-полевое воздействие приводило к повышению синтетического потенциала лимфоцитов и тимоцитов, т.е. магнитные поля крайне низких частот способствуют восстановлению исходно сниженных клеточных характеристик до субнормальных и даже нормальных значений. Нормализующее и «антистрессорное» влияние слабых переменных магнитных полей 8 Гц на животных обнаружено в исследованиях *Темурьянц Н.А. и соавт.* (1982, 1988).

Как известно, одним из важных клеточных элементов иммунного происхождения в разных тканях организма человека и животных являются тучные клетки, синтезирующие и секретирующие биологически активные регуляторы - гепарин, гистамин, серотонин, катехоламины. Магнитное поле вызывает увеличение количества тучных клеток и повышает их функциональную активность, что свидетельствует о важной роли тучных клеток в изменении реактивности организма на воздействие магнитных полей, на активное участие их в иммунорегуляторном цикле. Авторами были проведены специальные исследования реакции тучных клеток на действие магнитного поля частотой 8 Гц в условиях *in vitro* (*Мартынюк В.С.*, 2001). Было показано, что тучные клетки непосредственно реагируют на магнитно-полевое воздействие повышением своей функциональной активности, при этом слабая, но достоверная реакция данных клеток была обнаружена для интенсивностей магнитного поля порядка несколько десятков нанотесла. Эта реакция усиливалась с увеличением амплитуды переменного магнитного поля. На основании этих фактов был сделан вывод о том, что данные клетки и им подобные (клетки АРУД-системы) в организме человека и животных могут выступать в роли неспецифических акцепторов магнитно-полевого воздействия, вызывая комплекс неспецифических тканевых и системных реакций, которые давно описаны в литературе, но не имели единого объяснения.

*Влияние на обмен веществ.* Многочисленные исследования показывают, что воздействие переменных магнитных полей на организм животных и человека изменяет углеводный обмен (*Колодуб Ф.А.*, 1989), при этом отмечается угнетение кислородного энергетического звена и активации бескислородного - гликолитического. Основываясь на данных литературы, можно предположить, что такие метаболические сдвиги являются отражением развития гипоксии в разных тканях организма и активации анаэробных путей энергетического обмена в клетках тканей (*Сташков А.М. и соавт.*, 1998). Существенным моментом при действии магнитных полей крайне низких частот является изменение показателей липидного обмена. При многократном воздействии магнитным полем происходит уменьшение содержания липидов в крови и в печени экспериментальных животных (*Чернышева О.Н.*, 1987). Это указывает на то, что в результате развития неспецифической адаптационной реакции организма в ответ на многократное действие магнитным полем происходит переключение метаболизма с углеводного типа на липидный. Причем, на фоне количественных изменений наблюдаются и качественные сдвиги липидного состава. Одновременно с этим наблюдаются изменения со стороны системы транспорта липидов в крови, в том числе и такие, которые в зависимости от параметров электромагнитного воздействия носят анти- или наоборот про-атеросклеротический характер.

В ряде исследований показано влияние слабых магнитных полей на процессы свободнорадикального окисления липидов (*Мартынюк В.С.*, 1992). Одновременно с этим изменяется активность разных звеньев антиоксидантной системы, которая контролирует активность свободнорадикальных процессов в клетках. Наиболее чувствительным звеном этой системы является тиол-дисульфидный обмен, контролирующий количество тиоловых групп, которые активно реагируют со свободными радикалами. Подтверждением данных о влиянии магнитных полей на свободнорадикальные процессы могут служить работы, посвященные изучению влияния данного фактора на химические реакции с участием тиоловых соединений (*Павлова Р.Н. и соавт.*, 1978).

Обнаружены изменения водно-солевого баланса в разных тканях животных, находящихся в магнитном поле, в частности выявляется повышение гидратации тканей под

влиянием магнитных полей, которое зависит от времени экспозиции и типа биологической ткани. Наиболее чувствительными и реактивными являются нервная ткань и миокард.

*Неспецифичность системного ответа организма.* В настоящее время убедительно доказано, что в ответ на единичное или длительное воздействие магнитных полей, близких по своим частотным характеристикам к природным, у животных развивается неспецифическая адаптационная реакция (Темурьянц Н.А. и соавт., 1982, 1988. Гаркави Л.Х. и соавт., 1990).. При этом указанная адаптационная реакция характеризуется повышением уровня неспецифической резистентности, которая проявляется в возрастании функциональной активности лимфоцитов и повышением активности антисвертывающей системы крови. Поведенческая адаптация проявляется в усилении процессов торможения в центральной нервной системе и повышении физиологического резерва симпатoadреналовой системы. В данных исследованиях обнаружен интересный феномен «антистрессорного» действия слабого магнитного поля частотой 8 Гц, когда у нормальных животных данный фактор вызывал адаптивную активацию системы неспецифической резистентности организма, тогда как у стрессированных животных воздействие слабым магнитным полем приводило к нормализации функциональных показателей деятельности иммунной и симпатoadреналовой систем. На основании результатов исследований реакции организма человека и животных на действие низкочастотных магнитных полей предложена классификация адаптационных реакций, которая в настоящее время широко используется в физиологических исследованиях (Гаркави Л.Х. и соавт., 1990). Согласно этой классификации существует три основных типа неспецифических адаптационных реакций, которые развиваются на действие слабых, средних и сильных по интенсивности факторов – реакция активации, реакция тренировки и стресс-реакция (по Селье). В ответ на действие слабых переменных магнитных полей развивается, как правило, неспецифическая адаптационная реакция активации. При длительном и более сильном воздействии может развиваться реакция тренировки. При этом классическую стресс-реакцию по Селье на действие магнитных полей получить практически не удается.

*Индивидуальная чувствительность и реактивность организма.* В современной электромагнитной биологии остро стоит проблема индивидуальной чувствительности и гиперчувствительности к электромагнитным полям, которая пока что в основном изучается на феноменологическом уровне. В отдельных исследованиях показано, что чувствительность животных к магнитным полям коррелирует с повышенной активностью свертывающей системы, повышенным влечением к употреблению алкоголя и повышенной активностью опиоидной системы (Никольская К.А. и соавт., 2000). Однако комплексных экспериментальных исследований, посвященных данному вопросу, крайне мало. Наиболее детально проблему индивидуальной чувствительности и реактивности животных на действие магнитных полей крайне низких частот экспериментально исследовали в Таврическом национальном университете исследовательская группа под руководством Н. А. Темурьянц (Темурьянц Н.А. и соавт., 1992; Мартинюк В.С. и соавт., 2001). Индивидуально-типологические особенности животных определяли с помощью теста «открытого поля». По результатам тестирования животные были разделены по разным группам в соответствии с их поведением в «открытом поле»: низко, средне и высокоактивные. Как известно, поведение в «открытом поле» коррелирует с такими показателями, как уровень стресс-гормонов в крови, устойчивость организма к действию стресс-факторов разной природы, к фармакологическим препаратам и ксенобиотикам. Авторами было обнаружено, что у животных с разным типом поведения в «открытом поле» в ответ на действие МП частотой 8 Гц наблюдаются разные изменения со стороны функциональной активности нейтрофилов и лимфоцитов, а также симпато-адреналовой системы. У низкоактивных животных наблюдалась более сильная активация симпатоадреналовой системы и повышение возбудимости, тогда как у высокоактивных проявлялись признаки снижения возбудимости центральной нервной системы. Исследование метаболического состояния разных структур головного мозга животных в условиях воздействия магнитным полем также подтвердило зависимость реакции организма от его индивидуально-типологических характеристик (Мартинюк В.С. и соавт., 2001). Интересной особенностью реакции организма животных на действие слабых магнитных полей является ее зависимость от исходного состояния того или иного органа или функциональной системы. Если для органа или функциональной системы исходно характерен высокий уровень

активности, то в ответ на действие слабого магнитного поля, как правило, происходит снижение активности и наоборот. В результате такой реакции исследователи достаточно часто наблюдают эффект нивелирования различий между экспериментальными индивидуально-типологическими группами. В этой связи уместно отметить тот факт, что экранирование животных от воздействия фоновых электромагнитных полей приводит к обратному эффекту, т.е. к усилению их индивидуальных различий (*Пальчикова Н.А. и соавт.*, 2003).

На основании имеющегося массива данных уже сейчас ясно, что эмоциональная сфера животных с низкой активностью в «открытом поле» более чувствительна к действию слабых магнитных полей, чем у более активных животных. Таким образом, можно считать экспериментально доказанным тот факт, что в популяции организмов всегда существуют своего рода «организмы-сенситивы», демонстрирующие повышенную чувствительность и реактивность к действию слабых электромагнитных факторов. Данная проблема имеет очень важное теоретическое и практическое значение, но все еще остается плохо изученной.

*Влияние на эмбриогенез.* В магнитобиологических исследованиях периодически обращают внимание на влияние электромагнитных полей на эмбриональное развитие, так как можно ожидать, что любые незначительные изменения в развитии функциональных систем организма могут проявиться после его рождения. Подобные исследования актуальны, однако крайне трудны в постановке экспериментов, что, видимо, объясняет немногочисленность исследований в этом направлении. В отдельных исследованиях показано, что экспозиция куриных эмбрионов в магнитном поле повышает вероятность гибели эмбрионов. При этом эффективность негативного влияния магнитного поля более высокая, если воздействие осуществляется в критические фазы эмбрионального развития (*Leal J. et al*, 1986). Негативное влияние магнитных полей, по всей видимости, начинается с некоторых пороговых значений (*Juutilainen J. et al*, 1987), а влияние магнитных полей более низких (подпороговых) амплитуд остается неизученным. Ряд исследований показывает, что на стадии гастролы эмбрионы наиболее чувствительны к действию слабых магнитных полей (*Leal J. et al*, 1986). Одной из главных мишеней влияния переменных магнитных полей рассматривают сложную систему электрических токов в эндогенном электрическом поле эмбриона, которая играет важную роль в реализации программы развития организма (*McCaig C.D. et al*, 1991).

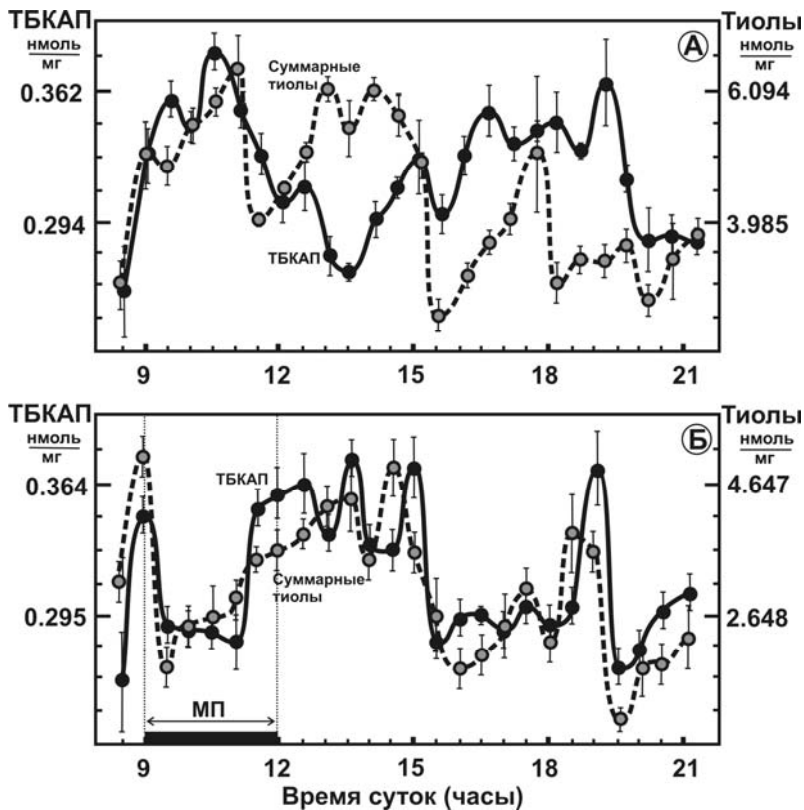
*Влияние на биологические ритмы.* Как известно, динамика биологических систем характеризуется широким спектром периодов - от микро- и внутрисуточных до многолетних биоритмов. Согласование спектра биологических процессов с периодами гео-гелиодинамики позволяет предположить наличие явления синхронизации биологических ритмов внешними датчиками времени. *Wever R.A.* (1971) одним из первых показал синхронизирующее влияние слабых переменных электромагнитных полей на суточную ритмику организма человека, находящегося в экспериментальных условиях изоляции от воздействия природных факторов внешней среды. В биоритмологических исследованиях, проведенных в Таврическом национальном университете исследовательской группой *Н.А. Темурьянц*, магнитное поле частотой 8 Гц индукцией 5 мкТл при ежедневном трехчасовом воздействии в течение 45 суток на животных приводило к сдвигу фазу инфрадианных (многосуточных) периодов разнообразных физиологических процессов. Данные факты связывают с изменениями временной организации в инфрадианном диапазоне биоритмов системных регуляторных процессов на уровне центральной и вегетативной нервной системы.

В многочисленных исследованиях показано нарушение суточного ритма секреции эпифизом гормона мелатонина. Но при десинхронозе, вызванном удалением эпифиза, периодическое воздействие магнитным полем оказывает стабилизирующее действие на временную организацию физиологических процессов (*Темурьянц Н.А. и соавт.*, 1999), что свидетельствует о наличии альтернативных механизмов влияния магнитных полей, не требующих участия эпифиза.

Воздействие магнитных полей крайне низких частот не только изменяет параметры биоритмов, но и нивелирует исходные различия в параметрах временной организации физиологических процессов у животных с разными индивидуально-типологическими особенностями. Это является доказательством того, что периодически воздействующее слабое магнитное поле является синхронизирующим фактором, в ответ на действие которого у животных формируется соответствующий биоритмологический паттерн, который



по своим параметрам становится близким у всех животных, не зависимо от первоначальных различий. Одним из наглядных примеров такого воздействия является выраженный синхронизирующий эффект магнитного поля частотой 8 Гц для ультрадианных (внутрисуточных) ритмов. На рисунке 7.2. представлена динамика продуктов перекисного окисления липидов и концентрации тиоловых групп в головном мозге мышей в контрольных условиях и при однократном воздействии слабым магнитным поле частотой 8 Гц (Мартынюк В.С., 1992). Хорошо видно, что синхронизирующий эффект сохраняется некоторое время после прекращения магнитнополевого воздействия.



**Рис. 7.2.** Синхронизирующее действие магнитного поля частотой 8 Гц 30 мкТл на ультрадианную ритмику концентрации вторичных продуктов перекисного окисления липидов (сплошная линия, левая шкала) и тиоловых групп (пунктирная линия, правая шкала) в головном мозге животных. А – контрольная группа животных, Б – в условиях воздействия магнитным полем. По горизонтальной шкале – местное время суток, по вертикальным шкалам – количество исследуемых соединений в наномолях на миллиграмм исследуемой ткани; МП – экспозиция животных в магнитном поле. (Мартынюк В.С., 1992, Украина).

**Влияние на клеточном и молекулярном уровне.** Клетка является основным элементом в строении тканей и органов, содержит набор специфических структур (органелл) – митохондрии, рибосомы, лизосомы, эндоплазматическую сеть и др., которые выполняют важные специфические функции: биоэнергетическую, белоксинтезирующую, защитную, секреторную и др.. Эти органеллы весьма чутко реагируют на различные функциональные колебания активности клетки и изменения внешней среды, подвергаются обновлению (физиологическая регенерация), а при неблагоприятных условиях в них развиваются неспецифические адаптационные изменения, а в крайних случаях – дистрофические и некротические процессы. Все это свидетельствует о том, что клеточный и субклеточный уровень исследований способен существенно расширить наше понимание структурно-адаптационных реакций на молекулярно-клеточном уровне.

Исследования показывают, что слабые переменные магнитные поля изменяют скорость созревания и дифференциации развивающихся нейронов (*Lisi A. et al*, 2005). Магнитно-полевое воздействие достоверно влияет на транскрипцию разнообразных генов (*Goodman R. et al*, 1983), при этом эффекты на этом уровне зависят от частоты магнитного поля (*Goodman R. et al*, 1989). Обработка клеточных культур низкочастотным магнитным полем приводит к появлению в цитоплазме и ядре клеток белков теплового шока, что свидетельствует об активации неспецифических механизмов клеточной защиты (*Tokalov S.V. et al*, 2004). Наблюдаемые эффекты активации синтеза белков теплового шока зависят от амплитуды воздействующего магнитного поля, повышение амплитуды которого с 0,8 мкТл до 800 мкТл эквивалентно эффекту разогрева исследуемых клеточных культур с 20°C до 45°C (*Blank M. et al*, 1995). Дальнейшие исследования показали, что к воздействию низкочастотных магнитных полей чувствительны отдельные участки ДНК, обогащенные пСТСТп-последовательностями. Эти последовательности входят в состав промоторных (регуляторных) участков генов разных белков, в том числе и белков теплового шока (*Lin H. et al*, 2001).

Обнаружено влияние слабых магнитных полей крайне низких частот на устойчивость хроматина к действию ферментов, расщепляющих ДНК (*Новиков В.В. и соавт.*, 1997). Эти изменения связаны со снижением активности белков-ингибиторов (*Новиков В.В. и соавт.*, 1997). В свою очередь это свидетельствует о магнито-индуцированных конформационных изменениях в структуре белка-ингибитора, приводящих к потере его функциональной активности. Структурные изменения ДНК-белкового комплекса обнаружены и у прокариот (*Алипов Y.D. et al*, 1996). При этом максимальные эффекты регистрировали на частотах, близких к частотам ионосферного волновода, - 8.9, 15.5 и 29.4 Гц у мутантных форм, и на частотах 8.3 и 27 Гц у бактерий с диким фенотипом. Аналогичные исследования на эукариотических клетках показали максимальные эффекты магнитных полей на частотах 9 и 16 Гц (*Алипов Y.D. et al*, 1996). Эти данные свидетельствуют о том, что биологическая эффективность магнитных полей крайне низких частот на генетическом уровне в определенной степени зависит от особенностей нуклеотидной последовательности и характера взаимодействия белков с ДНК.

Слабые магнитные поля крайне низких частот способны влиять на концентрацию некоторых регуляторных молекул и ионов, выполняющих роль внутриклеточных сигналов (*Lednev V.V. et al*, 1999), а также на продукцию свободнорадикальных форм кислорода (*Simko M. et al*, 2001).

Результаты многих экспериментальных исследований, проведенных в разное время, показывают, что одной из мишеней действия магнитных полей могут быть кальций-зависимые пути внутриклеточной регуляции (*Liboff A.R. et al*, 1987; *Леднев В.В. и соавт.*, 1996), посредством которых осуществляется передача в клетку сигналов разной природы. Малые изменения концентрации ионов кальция ( $Ca^{2+}$ ) в цитоплазме могут вызывать достаточно сильные функциональные изменения в клетке, поэтому с влиянием электромагнитных полей на  $Ca^{2+}$ -зависимые пути внутриклеточной сигнализации многие исследователи связывают разнообразные эффекты данного фактора на клеточном уровне.

Важным моментом влияния слабых магнитных полей является изменение активности ряда биологически активных веществ и фармакологических препаратов. Так, например, снижается онкостатическое действие мелатонина и тамоксифена на раковые клетки (*Ishido M. et al.*, 2001; *Harland J. et al.*, 1999), не проявляет свое биологическое действие хромогликат натрия, который используется для купирования приступов бронхиальной астмы (*Мартынюк В.С. и соавт.*, 2001). Перечень таких эффектов в настоящее время постоянно расширяется.

Известно, что на мембранном уровне организации биологических объектов реализуется целый ряд специфических биологических явлений, таких, как, транспорт ионов и метаболитов, генерация и проведение электрических импульсов и т.д., которые лежат в основе информационно-энергетических потоков между клетками и средой. Поэтому влияние на структуру и функцию биологических мембран является одним из стержневых вопросов проблемы биологического действия электромагнитных полей. Показана принципиальная возможность изменения сопряженности окисления и фосфорилирования в дыхательной цепи, интегрированной в мембрану (*Холодов Ю.А. и соавт.*, 1979). Вероятно, такие изменения могут быть связаны с изменениями гидрофобности поверхности, проницаемости и

других физико-химических свойств клеточных мембран, в том числе на уровне проявления поверхностно-активных свойств природных липидов (*Martynyuk V.S. et al*, 2004).

Важное место в понимании первичных механизмов действия магнитных полей крайне низких частот на живые организмы занимают вопросы, связанные с его непосредственным влиянием на структурно-функциональные свойства биомакромолекул. В модельных исследованиях показано, что электромагнитные поля в диапазоне частот 1 – 3000 Гц изменяют активность ряда мембранных ферментов, выполняющих разные задачи в клетке (*Blank M. et al*, 1997, 1998; *Фесенко Е.Е., Новиков В.В.*, 1997). Эти эффекты связаны с изменением пространственной структуры белков (*Новиков В.В. и соавт.*, 1999), но такие структурные изменения, по всей видимости, лучше проявляются при неспецифической нагрузке белков низкомолекулярными гидрофобными лигандами (*Martynyuk V.S. et al*, 2006), что убедительно свидетельствует о непосредственном влиянии слабых магнитных полей на структурно-функциональные свойства белков.

Результаты многих магнитобиологических исследований свидетельствуют о зависимости биологических эффектов от частотных, амплитудных и экспозиционных характеристик электромагнитного воздействия. В электромагнитной биологии давно известен «загадочный» феномен частотных и амплитудных «окон», в которых имеют место выраженные биологические эффекты. В других диапазонах ответ биологической системы может отсутствовать. К сожалению, наличие таких частотно-амплитудных «окон» не всегда подтверждается в независимых исследованиях, что часто связано с разными условиями экспериментов. Тем не менее, в последние десятилетия выяснена природа некоторых таких частотно-амплитудных зависимостей. *Adey* и соотр. одни из первых обнаружили в диапазоне крайне низких частот выраженную частотную зависимость выхода ионов кальция ( $Ca^{2+}$ ) из тканей цыпленка (*Adey W.R.*, 1981), и это послужило мощным толчком к дальнейшему исследованию роли биологически значимых ионов в первичных механизмах биологического действия низкочастотных электромагнитных полей. В настоящее время благодаря работам *Леднева В.В.* (1996), *Бинги В.Н.* (2002) и ряда других исследователей указанная частотная зависимость получила ряд альтернативных теоретических объяснений. В основе предлагаемых моделей лежит явление взаимодействия заряженных ионов с постоянной и переменной компонентами магнитного поля. Согласно теоретическим представлениям для конкретного значения постоянного магнитного поля существуют определенные комбинации частот и амплитуд переменной компоненты, когда наступает явление резонанса. В таких условиях резонанса сильно изменяются параметры взаимодействия ионов, например, с белками, которые в свою очередь изменяют свою активность и запускают (или, наоборот, тормозят) в клетке каскадные метаболические реакции, которые таким образом на многие порядки усиливают исходно крайне слабый по энергии сигнал.

К сожалению, в силу специфики данной книги, посвященной общим вопросам солнечно-биосферных связей, у авторов нет возможности для более подробного изложения современных представлений о первичных механизмах действия слабых электромагнитных полей. Поэтому тем, кто имеет желание и соответствующую подготовку, необходимую для прочтения специально литературы, мы рекомендуем ознакомиться с соответствующими публикациями, представленными в списке литературы, самостоятельно. В данных публикациях обсуждается широкий спектр механизмов, которые могут реализовываться в живых объектах – индукционные явления, ионный параметрический и стохастический резонанс, ионная интерференция, биогенный магнетит и ряд других. Однако еще на одном аспекте мы все же остановимся.

*Вода как сенсор слабых электромагнитных воздействий.* Как известно, основным веществом живых организмов является вода, содержание которой в разных биологических тканях составляет от 60 до 99 %. Вода – это не только и не столько растворитель, в котором протекают все биохимические превращения. Вода является непосредственным участником метаболических и энергетических процессов. Она является главным структурообразующим фактором на бимолекулярном уровне. Поэтому среди теоретических моделей влияния магнитных полей на биологические системы «водные» теории занимают отдельное место. Особая роль воды в реализации магнитобиологических эффектов обусловлена тем, что она образует с биологическими макромолекулами единую систему, где свойства компонентов неразрывно связаны друг с другом. Это, в свою очередь, оказывает влияние на разнообразные биологические процессы, протекающие в водной среде. При этом

уникальность роли воды проявляется в том, что она непосредственно влияет на формирование и стабилизацию нативной структуры и функционирование макромолекул биополимеров, клеточных мембран и более сложных надмолекулярных образований. Так, еще Дж. Пиккарди в середине прошлого века в ходе многолетних исследований пришел к выводу о том, что в основе биологических эффектов низкочастотных электромагнитных полей лежит их взаимодействие с водой и водными системами. По мнению этого исследователя, это вызвано динамическим метастабильным состоянием, характерным для большинства растворенных в воде макромолекулярных систем.

В настоящее время большинство гипотез основывается именно на представлениях о динамической структуре воды, меняющейся определенным образом в пространстве и во времени при воздействии на нее разных физических факторов. Согласно данным представлениям именно водная квазикристаллическая метастабильная фаза является первичным акцептором магнитно-полевого воздействия. Изменения свойств воды неминуемо должны сказываться на структуре и функции белков и биологических мембран, для которых вода является той самой внешней средой, которая определяет их структурную организацию и функциональную динамику. Вероятно, по этой причине изменяются оптические свойства белков (Новиков В.В. и соавт., 1999, Мартынюк V.S. et al., 2006) и проявление поверхностно-активных свойств природных фосфолипидов (Мартынюк V.S. et al, 2004), изменяется растворимость в воде веществ и их адсорбция (Классен В.Н., 1982; Мартынюк В.С. и соавт., 1999). Учитывая чувствительность воды и водных растворов к действию разнообразных природных факторов киевский исследователь Василук П.В. (1985) высказал предположение о том, что в основе механизмов формирования биологических ритмов могут лежать элементарные физико-химические процессы в водной фазе, активность которых модулируется природными электромагнитными факторами, связанными с космической погодой. В качестве доказательства своей правоты исследователь приводит данные по совпадению основных характеристик спектров вариаций свойств воды и водных растворов и биологических процессов. Результаты исследований по динамике электропроводности воды (Агеев И.М. и соавт., 2001) и других физико-химических показателей воды и водных растворов (Ормений I. et al, 1990), а также результаты сопоставления динамики физических параметров водных растворов электролитов и показателей функциональной активности головного мозга (Макарова И., 2000) могут служить подтверждением правоты таких представлений. На наш взгляд гипотеза о том, что вода в живых системах является одним из главных акцепторов электромагнитного воздействия, является достаточно интересной и требует всесторонней скрупулезной проверки. Тем не менее, авторы вынуждены констатировать, что по этому вопросу уже многие десятилетия ведутся острые дискуссии, в которых представлен весь спектр мнений – от полного отрицания реальности влияния слабых электромагнитных полей на свойства воды, до безоговорочного принятия всех фактов, в том числе и явно противоречащих здравому смыслу. Последнее обстоятельство не способствует серьезному восприятию данной проблемы научной общественностью и тормозит развитие исследований, результаты которых могут быть крайне неожиданными и очень важными для понимания фундаментальных основ живой природы.

Таким образом, современный массив экспериментальных данных позволяет сделать следующие обобщения относительно биологической активности слабых электромагнитных полей крайне низких частот. Эффекты воздействия низкочастотных магнитных полей обнаруживаются на всех уровнях организации живых организмов. При этом наиболее чувствительными физиологическими системами к данному фактору являются нервная, нейроэндокринная, иммунная, диффузная эндокринная (APUD-система) и сердечнососудистая системы.

Главные особенности влияния низкочастотных магнитных полей, как неповреждающего фактора, на уровне целостного организма заключаются в следующем. Во-первых, изменения физиологических и метаболических показателей, в подавляющем большинстве случаев, происходят в рамках физиологической нормы реакции на обычные слабые или умеренные раздражители. Эти изменения нелинейно зависят от частотно-амплитудных и пространственно-временных экспозиционных характеристик электромагнитных полей. Во-вторых, комплекс функциональных изменений, вызванных действием слабых электромагнитных полей, свидетельствует об активации систем неспецифической адаптации организма, это приводит к повышению его устойчивости к действию других факторов. В-

третьих, воздействие низкочастотных электромагнитных полей носит выраженный синхронизирующий характер в широком диапазоне периодов биологических ритмов, что, по-видимому, является главным моментом в системных механизмах «анистрессорного» действия данного фактора. В-четвертых, общий характер адаптивного ответа организма на действие низкочастотных электромагнитных полей зависит от исходного функционального состояния организма и его индивидуально-типологических (конституциональных) особенностей.

Читатель, видимо, уже догадался, что, основываясь на приведенных выше закономерностях, невозможно дать однозначный ответ на вопрос о том, являются ли слабые природные низкочастотные электромагнитные воздействия полезным или вредным экологическим фактором. Все зависит от конкретных условий, а именно от физиологического состояния биообъекта (норма или патология), конституции организма, времени воздействия, частотно-амплитудных характеристик электромагнитного поля и т.д. Вероятно, правильным ответом на поставленный вопрос будет следующий: природные электромагнитные поля являются обязательным экологическим фактором, который постоянно влияет на живые организмы, поддерживая их адаптационный потенциал и оказывая синхронизирующее воздействие. В условиях патологии слабые электромагнитные поля становятся фактором, который может либо оказывать стабилизирующее (анистрессорное) действие, либо выступать как сенсibilизатор патологического процесса. Даже такое упрощенное представление позволяет понять, почему в популяции организмов часто наблюдают разную реакцию на изменение космической погоды.

В заключение данного раздела необходимо заметить, что вариации природного электромагнитного фона не ограничиваются только диапазоном низких частот. Космическая погода также достаточно сильно влияет на интенсивность электромагнитных излучений в радиочастотном диапазоне (см. раздел 1.4). Это влияние усиливается в связи техногенной электромагнитной накачкой ионосферного волновода в радиочастотном диапазоне, при этом электромагнитные излучения в радиочастотном диапазоне модулируются по амплитуде частотами ионосферного волновода (*Жбанков Г.А. и соавт.*, 1997; *Заботин Н.А. и соавт.*, 1999). Еще совсем недавно считалось, что поток радиоизлучения Солнца и его вариации настолько малы, что не могут оказывать никакого воздействия на живые организмы. Однако в последние десятилетия надежно показана сверхчувствительность живых организмов к воздействию электромагнитных волн миллиметрового диапазона нетепловой интенсивности (менее  $10 \text{ мВт} \cdot \text{см}^2$ ), при этом имеют место выраженные резонансные эффекты (*Бецкий О.В. и соавт.*, 2004). Ряд исследователей отмечает, что минимальные пороговые значения интенсивности электромагнитных волн миллиметрового диапазона, при которых регистрируется какая-либо реакция живого организма, лежат в пределах  $10^{-19} - 10^{-20} \text{ Вт} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{Гц}^{-1}$  (*Сутько С.П. и соавт.*, 1994). Такие невероятно низкие пороговые уровни не всегда обнаруживаются в независимых исследованиях и по этому поводу идут ожесточенные споры. Но, несмотря на то, что в этом деле много остается неясного, большинство исследователей разделяют мнение о том, что открытие высокой биологической активности электромагнитных излучений крайне высоких частот позволяет по-новому осмыслить некоторые биофизические принципы организации и регулирования биологических процессов, а также разрабатывать принципиально новые медицинские технологии лечения заболеваний разной этиологии.

В специальных исследованиях обнаружено радиоизлучение Солнца в миллиметровом диапазоне крайне мало и оно представлено сплошным спектром, его интенсивность по порядку величин близка к пороговым уровням реакции живых систем и естественным образом зависит солнечной активности. Миллиметровые волны сильно экранируются атмосферой и их интенсивность существенно зависит от влажности. Поэтому данный электромагнитный диапазон, вероятно, не следует рассматривать в качестве главного фактора-посредника влияния космической погоды на биосферные процессы. Более того, на вопрос, обладает ли такое природное широкополосное миллиметровое излучение биологической активностью, достоверного ответа пока нет. Есть только теоретические предположения о том, что такое влияние тоже в принципе возможно (*Яшин А.А.*, 2007). Справедливости ради следует отметить, что подобные вопросы и предположения справедливы и для других радиочастотных диапазонов природного электромагнитного фона. Ведь биологическая активность сверхвысокочастотных излучений для отдельных частот в

сантиметровом и дециметровом диапазонах, которые по своей интенсивности относят к нетепловым, но, которые, тем не менее, на много порядков превышают уровни природных, тоже экспериментально установлена. Авторы выражают надежду, что в ближайшем будущем исследователи получат ответы на эти вопросы.

## 7.2. Биологическая активность инфразвука

В начале этого раздела мы уже отмечали, что помимо электромагнитных вариаций в качестве возможных посредников солнечной активности рассматривают и ряд других факторов, среди которых есть и инфразвук. Читателю, вероятно, стоит напомнить, что инфразвуком называют упругие акустические колебания, неслышимые человеческим ухом, с частотой ниже 16-25 Гц. Нижняя граница инфразвука неопределенна, но многие исследователи за нижний частотный порог принимают колебания порядка  $10^{-3}$  Гц, колебания с более низкими частотами рассматривают как атмосферные гравитационные волны. Инфразвук вездесущ, он содержится в шуме атмосферы, леса, моря, водопада, а с развитием техносферы он является одним из важных экологических факторов техногенного происхождения. Вариации атмосферного давления в определенной степени тоже можно рассматривать как инфразвуковые колебания. Атмосферное давление - это давление, оказываемое атмосферой на все находящиеся в ней предметы. На земной поверхности атмосферное давление изменяется от места к месту и во времени. Особенно важны изменения атмосферного давления, связанные с возникновением, развитием и разрушением медленно движущихся областей высокого давления и относительно быстро перемещающихся огромных вихрей, в которых господствует пониженное давление.

Источником инфразвуковых колебаний в природе являются различные геофизические процессы, в том числе и связанные с космической погодой (см. раздел 2.4.), турбулентные ветровые потоки в атмосфере, приземный ветер, грозовые разряды (гром) и другие явления. Сейсмические процессы в земной коре также являются мощными источниками инфразвуковых вибраций. Сейчас надежно установлено, что сейсмические колебания в определенной степени синхронизируются вариациями космической погоды (Негода А.А., Сорока С.А., 2001). Все сильные геомагнитные бури ( $K_p > 8$ ) сопровождаются инфразвуковыми сигналами, максимальная амплитуда которых может достигать 1 Па, а частоты инфразвуковых колебаний сосредоточены в диапазоне 0.05 – 0.01 Гц.

Для инфразвука характерно малое поглощение в различных средах вследствие чего инфразвуковые волны в воздухе, воде и в земной коре могут распространяться на очень большие расстояния. Инфразвуковые волны возникают и над поверхностью моря при сильном ветре в результате вихреобразования за гребнями волн. Для инфразвука характерно малое поглощение, поэтому он распространяется на большие расстояния, а поскольку скорость его распространения значительно превышает скорость перемещения области шторма, то инфразвуковые колебания могут служить для живых организмов сигналом о приближающемся шторме или атмосферном фронте. Некоторые животные проявляют высокую чувствительность по отношению к инфразвуковым воздействиям. Так, например, широко известен факт, что по краю «колокола» у медуз расположены кроме примитивных глаз еще и органы равновесия, которые «слышат» инфразвуки с частотой 8 - 13 Гц. Это является одним из объяснений того, что шторм бушует еще за сотни километров от берега, а разные морские обитатели уже «слышат» его и заблаговременно уходят на глубину.

В урбанизированной среде источниками инфразвука могут быть практически все инженерно-технические устройства - компрессоры, двигатели, движущийся транспорт, промышленные кондиционеры, вентиляторы, электротехническая аппаратура и т.д. Поэтому в инфразвуковом диапазоне акустических колебаний экологическая обстановка сильно напоминает ситуацию для электромагнитного диапазона, когда природные вариации электромагнитного фона «утопают» в электромагнитных полях техногенного происхождения.

Исследования биологического действия инфразвука показали, что человеческий организм к нему высокочувствителен. Воздействие его происходит не только через слуховой анализатор, но и через механорецепторы кожи. Возникающие под воздействием инфразвука, нервные импульсы нарушают согласованную работу различных отделов нервной системы, что может проявляться головокружением, болями в животе, тошнотой, затрудненным

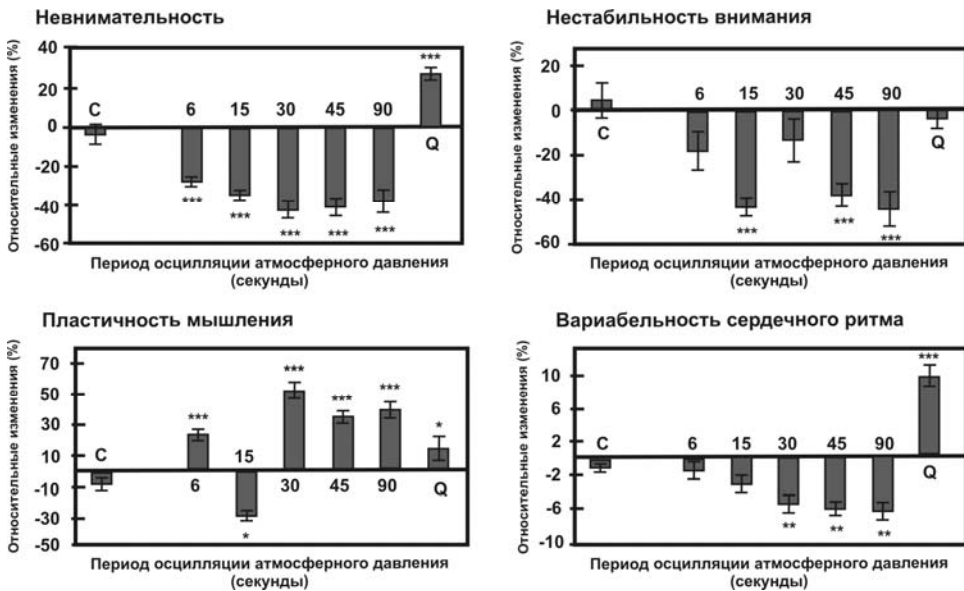
дыханием, чувством страха, при более интенсивном и продолжительном воздействии – кашлем, удушьем, нарушением психики. Инфразвуковые колебания даже небольшой интенсивности у человека вызывают тошноту и звон в ушах, уменьшают остроту зрения. Инфразвук средней интенсивности может быть причиной расстройства пищеварения, сердечно-сосудистой, дыхательной систем. Воздействие инфразвука сопровождается весьма разнообразными нарушениями психики с самыми неожиданными последствиями – у человека может возникать целый спектр ощущений – «таинственный трепет», «дрожь в суставах», «странное ощущение в животе», «участившееся сердцебиение», «ужасное беспокойство», «внезапное воспоминание об утрате», «ощущение призраков» и т.п.

Инфразвук высокой интенсивности (более 120 дБ), из-за резонансного совпадения частот колебаний внутренних органов и инфразвука, приводит к нарушению работы практически всех внутренних органов, возможен даже смертельный исход из-за остановки сердца или крайне сильных нарушений работы других органов и систем организма. При инфразвуковом воздействии важным моментом является зависимость биологического эффекта от частоты. Такую зависимость связывают с явлением резонанса. Например, легкие человека работают с частотой 0,3-0,5 Гц, сердце бьется чуть чаще, с частотой около 1 Гц, резонансная частота сердца – 5-7 Гц. Резонансные частоты активности мозга, желудка, печени лежат в диапазоне 4-9 Гц. Колебания электрической активности мозга зависят от вида деятельности в данный момент. Например, дельта-ритм спящего человека – 0,3-4 Гц, а альфа-ритм бодрствующего человека – 9-13 Гц.

Следует отметить, что все, о чем говорилось выше, касается очень сильных инфразвуковых колебаний, которые, как правило, имеют техногенное происхождение. Однако на живые организмы постоянно действует крайне слабый инфразвук природного происхождения, интенсивность которого на три-шесть и более порядков меньше. Следует отметить, что исследования биологической активности инфразвука таких интенсивностей практически не проводятся. К сожалению, авторы должны отметить, что по проблеме инфразвукового воздействия в последнее время возникло много околонаучных спекуляций, особенно по части психофизиологических реакций человека на данный фактор. Это в первую очередь связано с малым количеством объективной информации в научных и научно-популярных изданиях по данному вопросу. На этом фоне приятным исключением являются исследования, проводимые в Институт физики Национальной академии наук Украины, которые вносят некоторую ясность в данный вопрос. Исследовательская группа под руководством *Дидык Л.А.* показала, что слабые (порядка 50-70 Па) сверхнизкочастотные флуктуации атмосферного давления, которые можно рассматривать как инфразвук крайне низких частот, способны влиять на умственную деятельность человека и на характеристики его сердечной деятельности (*Delyukov A. A., Didyk L., 1999; Didyk L. et al., 2007*). В большинстве случаев, колебания атмосферного давления вызывали увеличение полной величины вариабельности сердечного ритма, что говорит о снижении напряжения регуляторных систем организма и общем успокоении. Происходило усиление терморегуляторных и вазомоторных процессов. В спектре вариабельности сердечного ритма возникала полоса, которая свидетельствовала о навязывании частоты флуктуаций давления процессам регуляции сердечной деятельности. Индексы симпатической и парасимпатической регуляции оказались очень чувствительными к такому физическому воздействию. Одновременно с этим направленность физиологических изменений зависела от исходного состояния субъекта, что характерно и для биологических эффектов электромагнитных полей (см. раздел 7.1).

Особый интерес представляют результаты исследования частотной зависимости инфразвукового воздействия (рис. 7.3). Хорошо видно, что величина и направление физиологических изменений зависит от частоты флуктуаций атмосферного давления, которую контролировали в эксперименте.

В настоящее время имеется ряд теоретических представлений о том, каким же образом слабый инфразвук воздействует на живые организмы. Вне сомнения, инфразвуковые колебания воспринимаются механорецепторами слухового анализатора человека, о чем свидетельствуют исследования все той же киевской группы (*Didyk L. et al., 2007*). Подобный механизм восприятия, который предполагает участие специализированных механорецепторов, реализуется и у других живых организмов.



**Рис. 7.3** Относительные изменения психофизиологических показателей при разных частотах флуктуаций атмосферного давления. По горизонтальной оси – период флуктуаций, по вертикальной оси – относительные изменения в процентах, С – контрольные эксперименты, в которых вариации атмосферного давления были на фоновом уровне; Q – квазихаотические колебания. Звездочками обозначено достоверное влияние исследуемого фактора. (Delyukov A. A., Didyk L., 1999, Украина).

Однако, вероятно, возможны и другие механизмы передачи акустического сигнала в живой организм. В частности, считается, что механизм электроакустической генерации инфразвука может быть связан с различием подвижностей масс катионов и анионов в водной среде под действием внешнего электромагнитного поля. Суммарный эффект их движения оказывается нескомпенсированным, что вызывает движение ионов и растворителя (т.е. воды) как единого целого. Таким образом, реализуется акустоэлектрический механизм преобразования электромагнитных сигналов в инфразвуковые колебания. Справедливо и обратное, т.е. воздействие инфразвуковых колебаний вызывает смещение неравномерно распределенных в пространстве зарядов (что особенно характерно для живых организмов), что влечет за собой генерацию электромагнитных колебаний в диапазоне крайне низких частот. Как показывают расчеты, такой механизм может реализоваться в границах раздела воздух-электролит на площадях порядка  $10^3$  км<sup>2</sup> и более (Ляхов Г.А., Суязов Н.В., 1998). Ясно, что такие условия могут быть соблюдены только на морских просторах. Поэтому вопрос о том, можно ли объяснить первичные механизмы воздействия инфразвуковых колебаний на отдельно взятый живой организм на основе известных акустоэлектрических явлений остается открытым.

В заключение необходимо отметить, что проблема биологической активности крайне слабого инфразвука является чрезвычайно важной и интересной с теоретической и практических точек зрения, однако из-за отсутствия специально поставленных экспериментов вопрос о роли инфразвука, как посредника влияния космической погоды по-прежнему остается открытым и, вероятно, в этой междисциплинарной области знаний нас ждут интересные научные открытия.

### 7.3. Биологическая активность сверхнизких доз ионизирующей радиации

Одним из экологических факторов, который в определенной степени связан с космической погодой, является природный радиоактивный фон. В данном случае нам интересны вариации радиоактивного фона, которые связаны с солнечными и галактическими космическими лучами, а также с выходом радиоактивного радона из горных пород. На долю



этого радиоактивного элемента приходится примерно 50% от суммарной дозы естественного радиационного фона, получаемого человеком, при этом 90% энергии распада приходится на альфа-распад, остальные 10% - на бета- и гамма-распад. Несмотря на то, что средний пробег космических лучей составляет одну десятую толщины атмосферы и вероятность достижения ими поверхности Земли крайне низкая, они порождают вторичное излучение, которое может достигать поверхности Земли и оказывать воздействие на живые организмы. Известно, что в зависимости от географического района и высоты над уровнем моря амплитуда временных вариаций природного радиационного фона может достигать десятков процентов от среднефонового уровня. Могут ли такие крайне слабые фоновые уровни и их вариации оказывать влияние на протекание биологических процессов? Еще совсем недавно можно было бы услышать однозначный ответ о том, что такие флуктуации не могут оказывать никакого заметного влияния на живые организмы в силу низкого уровня природного фона и слабости его вариаций. Но так ли это?

Общезвестно известно, что ионизирующая радиация являются повреждающим фактором, который губительно влияет на живые организмы. Однако в настоящее время многими исследователями надежно установлено, что малые дозы ионизирующей радиации могут благотворно (!) влиять на протекание биологических процессов, а природный радиационный фон – важный экологический фактор, необходимый для нормальной жизнедеятельности организмов. Таким образом, на первый взгляд мы имеем некоторое противоречие. С одной стороны хорошо известны опасности, связанные с облучением большими дозами. Это и преждевременная смерть людей, и лучевая болезнь, и другие тяжелые заболевания, а также поражения наследственности, уже коснувшиеся многих миллионов людей. С другой стороны – благотворное воздействие сверхмалых доз. В этой связи в 80-е годы в биологию было введено специальное понятие – «радиационный гормезис», которое означает, что если большие дозы радиации оказывают неблагоприятные эффекты на живые организмы - угнетают деление клеток, рост и развитие, то малые дозы стимулируют практически все физиологические процессы, а отсутствие воздействия ионизирующей радиации оказывает угнетающее действие на биологические процессы. Сторонники идеи радиационного гормезиса не без оснований считают, что ионизирующая радиация является естественным, постоянно действующим на организм фактором, без которого нормальное существование невозможно. как невозможно жизнь без гравитации, магнитного поля или кислорода. Один из активных сторонников радиационного гормезиса известный радиобиолог *А.М.Кузин* предложил гипотезу, объясняющую различные эффекты больших и малых доз облучения. Большие дозы облучения влияют на радиочувствительные ткани, в то время как малые дозы изменяют регуляторные функции радиоустойчивых тканей. Большие дозы вызывают в клетках патологические эффекты, поскольку кванты энергии разрушают ДНК и этот процесс усиливается биологически активными веществами клетки. Малые дозы модулируют свойства мембран и стимулируют работу разнообразных клеточных структур, не затрагивая генетический аппарат. Следует отметить, что исследования в этой области естественного крайне трудны, мало понятны реальные биологические механизмы такого воздействия. Однако с уверенностью можно констатировать, что существование такого парадоксального явления как радиационный гормезис подтверждено в разных лабораториях и на различных объектах.

Каким же образом крайне слабый поток ионизирующей радиации может оказывать стимулирующее воздействие? Для ответа на данный вопрос необходимо кратко рассмотреть механизм действия данного фактора на живые объекты. В настоящее время разделяют два пути влияния: прямой и непрямой. Под прямым воздействием подразумевают непосредственное взаимодействие ионизирующего излучением с биологическими молекулами (мишенями – белками, нуклеиновыми кислотами, липидами), в результате которого происходит повреждение биологических структур. При крайне малых дозах облучения такое взаимодействие бывает достаточно редко, поэтому более существенный вклад вносят механизмы непрямого действия. Под непрямым действием подразумевают повреждение биологических молекул свободнорадикальными продуктами – молекулами, которые имеют неспаренный электрон и которые по этой причине характеризуются крайне высокой химической активностью. Учитывая тот факт, что вода является основным веществом живых систем (в некоторых клетках вода составляет до 90% и более), радиолиз воды является наиболее биологически значимым процессом. При радиолизе воды молекула ионизируется, теряя электрон:  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^+ + \text{e}^-$ . Диссоциация ионизированной молекулы приводит к образованию двух радикалов:  $\text{H}_2\text{O}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{H}\cdot$  и  $\text{OH}\cdot$ , время жизни которых

составляет  $10^{-5}$  с. За это время они рекомбинируют друг с другом или реагируют с биологическими молекулами. Параллельно с этим, свободные электроны могут взаимодействовать с другими молекулами воды с образованием гидратированного электрона ( $H_2Oe^-$ ), который в присутствии кислорода обеспечивает образование других свободнорадикальных продуктов, относящихся к группе активных форм кислорода.

Считается, что небольшие количества образующихся свободных радикалов стимулируют антиоксидантную и репарационные системы клеток и таким образом повышают адаптационный потенциал как отдельных клеток, так и организма в целом, оказывая, тем самым, стимулирующее действие. Такое объяснение вполне укладывается в рамки современных представлений о неспецифических адаптационных процессах как в отдельных клетках, так и на уровне целого организма. Но тогда почему угнетается жизнедеятельность организмов при снижении радиационного фона ниже природных уровней? Ведь согласно вышеприведенных теоретических представлений о биологических механизмах малых доз ионизирующей радиации такого не должно происходить. Тем не менее, результаты специально поставленных экспериментов (Кузин А.М., 1995) свидетельствуют об обратном – уровни радиационного излучения ниже природных являются неблагоприятными для живых систем! Получается, что живые системы нуждаются в постоянном образовании свободных радикалов! А если это так, то какой в этом биологический смысл? Общепринятой точки зрения на этот счет пока не существует, но на наш взгляд наиболее разумное объяснение предлагает российский исследователь *Воейков В.В.* (*Воейков В.Л.*, 2003). Согласно его представлениям процессы с участием свободных кислородных радикалов в жидкой среде живых организмов непрерывно генерируют в системе электрон-возбужденные состояния. Такие электрон-возбужденные состояния возникают вследствие рекомбинации радикалов. Эта энергия высокой плотности диссипирует в жидкой среде не хаотично, а упорядочено во времени и пространстве, и не монотонно, и несмотря на то, что ее общее количество мало по сравнению с другими источниками химической или метаболической энергии, она играет фундаментальную биоэнергетическую и регуляторную роль (*Воейков В.Л.*, 2003). Основываясь на этих идеях, напрашивается логический вывод о том, что природный радиационный фон является всего рода постоянно действующим и крайне важным фактором, осуществляющим своеобразную «энергетическую накачку» жидкой (водной) среды, необходимую для нормальной работы молекулярных машин - белков. Более того, становится понятной физическая природа радиационного гормезиса: снижение уровня радиационного воздействия на живые системы ниже некоего оптимального приводит к остановке работы молекулярных машин - белков, а высокие уровни ионизирующей радиации – разрушают конструкцию белков и других молекулярных структур клетки.

Таким образом, приведенные выше факты позволяют рассматривать вариации природного радиоактивного фона, контролируемые космической погодой, как один из важных потенциальных посредников в солнечно-биосферных связях, который осуществляет необходимый всем живым существам своеобразный стимулирующий «радиационный массаж» в ритме Солнца. Но это только гипотеза, которая требует серьезной теоретической и экспериментальной проверки.

#### **7.4. Биологическая активность сверхмалых доз – путь к новой биологической парадигме?**

Из предыдущих глав и разделов читатель, вероятно, хорошо уяснил, что экологические факторы, контролируемые космической погодой, являются крайне слабыми по своим энергетическим характеристикам. Поэтому всегда возникает сомнение в том, могут ли вообще такие слабые воздействия воспринимать живые организмы, а если да, то каким образом такие воздействия воспринимаются организмом. Ведь для некоторых физических факторов, контролируемых космической погодой, таких как низкочастотные электромагнитные поля или ионизирующая радиация вообще не существует специфических рецепторных систем. Какова природа сложных зависимостей биологических эффектов от частоты и амплитуды воздействий? Вероятно, получить дополнительные ответы на подобные вопросы поможет всестороннее изучение недавно открытого феномена биологической активности сверхмалых доз.

Общеизвестно, что величина биологической реакции на действие химического или физического фактора зависит от дозы, т.е. силы воздействия. Для химических факторов сила воздействия как правило определяется концентрацией действующего вещества, а для физических факторов – величиной поглощенной энергии. С уменьшением дозы измеряемый биологический эффект снижается и при некотором ее значении экспериментально не обнаруживается. На этом биологически важном принципе построены практически все известные модели воздействия разнообразных химических и физических факторов на живые организмы. На основе таких моделей «доза-эффект» рассчитывают предельно допустимые уровни концентрации веществ (ПДК) и предельно допустимые уровни энергетического воздействия (ПДУ) на живые организмы, в первую очередь на человека. В настоящее время установленные ПДК и ПДУ являются крайне важными экологическими характеристиками в системе безопасности жизнедеятельности человека. Если уровень воздействия по всей абсолютной величине ниже предельно допустимых значений, то считается, что рассматриваемое воздействие крайне мало и не оказывает заметного влияния на организм человека. Естественно, каждый вид живых организмов по своему чувствителен (или наоборот устойчив) к тому или иному физическому или химическому фактору, поэтому для каждого из видов можно экспериментально установить свои «персональные» пределы чувствительности. Эти пределы от вида к виду могут порой различаться на несколько порядков. Тем не менее, все подобные исследования основываются на теоретических представлениях о монотонной и непрерывной зависимости «доза-эффект». Теоретические модели, построенные на таких представлениях, подтверждаются экспериментально и позволяют во многих случаях достаточно хорошо качественно и количественно прогнозировать биологические эффекты. Поэтому можно с уверенностью говорить, что одной из основ современной экспериментальной биологии, экологии и медицины является выше указанная парадигма «доза-эффект».

Как известно, путь к познанию законов Мироздания усеян неожиданными и загадочными явлениями, всестороннее изучение которых приводит к кардинальному пересмотру ранее существующих доминирующих представлений - парадигм. Это справедливо и для парадигмы «доза-эффект». В 1983 г. сотрудники Института биохимической физики вместе с коллегами из Института психологии, изучая влияние антиоксидантов на электрическую активность изолированного нейрона виноградной улитки, получили весьма неожиданный результат. Первоначальная доза препарата ( $10^{-3}$ М) была не только активной для нейрона, но и довольно токсичной, поэтому пришлось перейти на менее концентрированный раствор. Доза на четыре порядка ниже первоначальной оказалась не только менее токсичной, но и более эффективной. Дальнейшее уменьшение концентрации привело к росту эффекта, он достигал максимума (при  $10^{-15}$ М), затем снижался до уровня (при  $10^{-17}$ М), практически совпадающего с контрольными результатами (*Бурлакова Е.Б. и соавт.*, 1985, 1986, 1999). Аналогичные закономерности впоследствии были зарегистрированы в экспериментах с другими веществами на разнообразных клеточных и животных моделях. Результаты многолетних исследований показывали, что уровень биологической организации, на котором проявляется действие сверхмалых доз (СМД) биологически активных веществ, также весьма разнообразен – от макромолекул, клеток, органов и тканей до животных, растительных организмов и даже популяций. Однако такой СМД-эффект наблюдался не для любого биологически активного вещества и не для любого биологического объекта.

Что же понимать под сверхмалыми дозами? В настоящее время пока не существует общепринятого определения сверхмалых доз, впрочем, как и полного всеобщего признания данного феномена. Уж слишком много тут неясностей, неожиданностей и методических тонкостей. Тем не менее, при всех имеющихся различиях в определении границы, разделяющей сверхмалые дозы от обычно применяемых, общая точка зрения состоит в том, что сверхмалыми дозами следует считать такие дозы, биологическая эффективность которых не может быть объяснена в рамках существующих парадигм, а ее объяснение требует разработки принципиально новых концепций. Для химических веществ сверхмалыми дозами предлагается считать концентрации ниже  $10^{-12}$ - $10^{-13}$  М. Для сверхмалых доз физических факторов не найдено единого определения границ, которые, вне сомнения являются разными для каждого физического воздействия. Так, например, для ионизирующей радиации Научный комитет по атомной энергии ООН рекомендует называть «малыми» дозы менее 200 мГр (20-рентген), а малыми мощностями – 1.5 мГр/мин. Однако отдельные исследователи считают сверхмалыми дозами такие воздействия, когда при снижении дозы

радиационного воздействия меняется знак ответа живых организмов, т.е. переход от угнетения жизнедеятельности биологического объекта к стимулированию. Что касается границы сверхмалых доз электромагнитных полей, то в данном случае можно условно принять такой уровень энергетического воздействия, когда тепловые эффекты (т.е. разогрев тканей) не происходит. В литературе такое воздействие часто называют «информационным».

Сверхмалые дозы биологически активных веществ и физические факторы низкой интенсивности обнаруживают много общего, что касается как формальных признаков (дозовые зависимости), так и показателей биологической активности. Природа этого феномена может быть связана с общностью первичных механизмов действия. К числу характерных для СМД-эффектов свойств следует отнести:

- немонотонную, полимодальную зависимость «доза–эффект». В большинстве случаев максимумы активности наблюдаются в определенных интервалах доз, разделенных между собой так называемой - «мертвой зоной»;

- изменение чувствительности (как правило, увеличение) биообъекта к действию разнообразных агентов как эндогенных, так и экзогенных (последние могут быть как той же, что в случае воздействия СМД, так и иной природы);

- проявление кинетических парадоксов, а именно возможность уловить СМД-эффект биологически активных веществ, когда в клетке или в организме имеется то же вещество в дозах на несколько порядков выше, а также влияние на рецептор вещества в дозах на порядки более низких, чем константы диссоциации комплекса лиганд-рецептор;

- зависимость «знака» эффекта от начальных характеристик объекта;

- «расслоение» свойств биологически активного вещества по мере уменьшения его концентраций, при котором еще сохраняется активность, но исчезают побочные эффекты;

- для физических факторов усиление эффекта с понижением их интенсивности в определенных интервалах мощности и доз.

Таким образом, если обобщить накопленный в последние десятилетия экспериментальный материал, то основной вывод таков: зависимости «доза – биологический эффект» подлежат уточнению. Если раньше полагали, что эти зависимости имеют вид, показанный на рис. 7.4. А; то на самом деле зависимости могут выглядеть так, как показано на рис. 7.4 Б. Здесь имеются особенности, которые принято определять как «насыщение», «привыкание», «окна чувствительности», «изменение знака эффекта» и т.д.

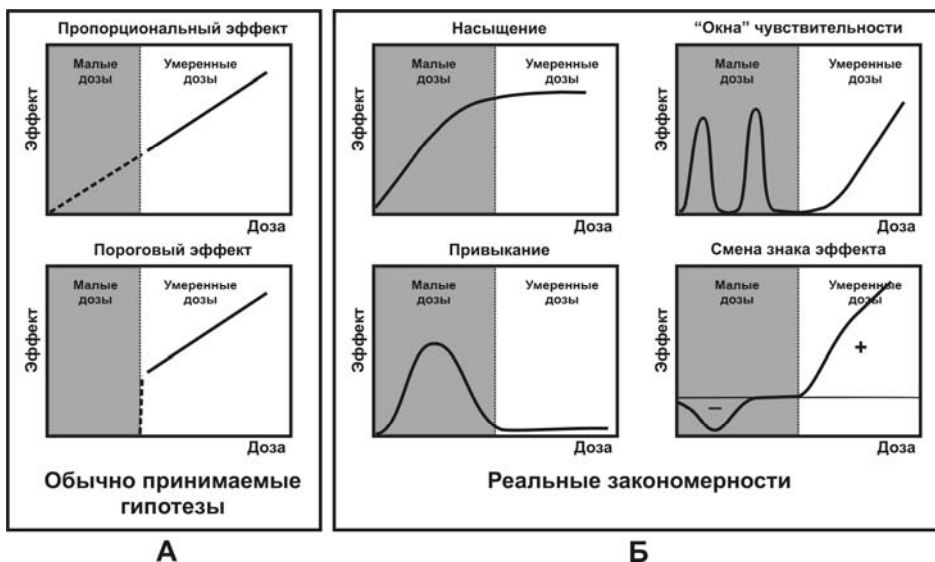


Рис. 7.4. Современные модели зависимости «доза-эффект» без учета (А) и с учетом (Б) СМД-эффектов (Golovin Yu. L., 2004).

Для физических факторов такие зависимости могут иметь еще более сложную форму, потому что для них приходится дополнительно учитывать их амплитудно-частотные и поляризационные характеристики, которые играют важную роль в первичных механизмах действия на живые организмы.

Подводя итог, авторы акцентируют внимание читателя на том, что, в настоящее время биологическая эффективность сверхслабых воздействий экспериментально доказана и поэтому совершенно нет оснований отрицать биологическую значимость слабых экологических факторов, контролируемых космической погодой. Первичные механизмы воздействия могут быть разными, однако уже сейчас ясно, что эффекты сверхмалых доз, в том числе полимодальные, могут быть объяснены на основании развиваемых представлений о существовании в клетках разноуровневых высокоэффективных кооперативных систем первичного восприятия, проведения и усиления сигнала с обратной положительной и отрицательной связью в одной или нескольких каскадных реакциях (Гуревич К.Г., 2001). Биофизика сверхмалых доз становится новым научным направлением, которое существенно изменит наши представления об организации и регуляции биологических процессов и их взаимосвязи с внешней средой.

### 7.5. Z-фактор Чижевского?

Исследования солнечно-биосферных связей является одним из ярких примеров сложной междисциплинарной проблемы, поэтому не удивительно, что многочисленные и бесспорные факты корреляций биологических и физико-химических процессов на Земле с космической погодой порой трудно объяснить с позиций тех или иных научных концепций. В свое время для объяснения подобных феноменов *А.Л. Чижевский* предложил использовать так называемый Z-фактор. Это некое неизвестное излучение Солнца, которое оказывает глобальное влияние на биосферу и социум. Такая гипотеза была вполне разумной, если вспомнить, что научные взгляды *А.Л. Чижевского* формировались в начале 20-го столетия, когда новые открытия в области физики неоднократно приводили к пересмотру сложившихся представлений об устройстве Мироздания. Однако и в настоящее время в ряде случаев Z-фактор по-прежнему используют для объяснения солнечно-биосферных связей. На рисунке 7.1 авторы также оставили место для неизвестных гипотетических экологических факторов, которые контролируются солнечной активностью. Правомерен ли такой подход в наше время? Все ли виды излучения, испускаемые Солнцем или другими космическими объектами сейчас известны?

Утвердительно ответить на данный вопрос можно только в рамках общепринятых теоретических моделей. Однако, модель – это всегда упрощенное представление реальных неисчерпаемо более сложных явлений. Поэтому бесспорным является право исследователей постулировать существование неизвестного солнечного или космического излучения (фактора), оказывающего фундаментальное влияние на живые и неживые объекты. Тем не менее, подобными вещами не следует злоупотреблять!

В настоящее время на роль неизвестных видов излучений, претендующих на роль Z-фактора, предлагают реликтовые нейтрино, «микрелептонный газ», «торсионные поля», «темную энергию» и т.п., вплоть до особых «тонкоматериальных» сущностей «параллельных» миров. Все умозрительные построения такого рода, увы!, - не продвигают нас ни на шаг в понимании проблемы гелиобиологических связей. Внимательное ознакомление с подобными гипотезами показывает, что эти построения имеют низкую эвристическую ценность. Подобные концепции, к сожалению, не способствуют пониманию гелиобиологических связей! При этом приносится в жертву очень важный научный принцип – не вводить без крайней надобности новых сущностей. В действительности стоит задуматься над вопросом о том, а стоит ли вводить новые загадочные факторы, когда еще мало известно о биологических и физико-химических механизмах влияния факторов, которые давно хорошо известны - слабые электромагнитные и акустические поля, сверхмалые дозы ионизирующей и неионизирующей радиации. А не является ли тем самым загадочным Z-фактором, влияющим на живые организмы, обычная комбинация природных электромагнитных полей, ионизирующей радиации, акустических воздействий и других факторов? Учитывая высокую чувствительность живых организмов к данным факторам и выраженную нелинейность реакций на каждый из них в отдельности, можно вполне ожидать

огромное разнообразие биологических феноменов в ответ на такие комбинированные воздействия. Действительно, в мониторинговых наблюдениях периодически обнаруживаются неожиданные корреляции биологических процессов с солнечной активностью, которые пока не могут быть объяснены в рамках современных научных парадигм. Однако в данном случае главным является то, что предположения о комбинированном действии факторов могут быть теоретически и экспериментально верифицированы. Следует отметить, что в настоящее время исследования слабых комбинированных воздействий на живые системы настолько малочисленны, что пока рано делать какие-либо серьезные обобщения. Авторы убеждены, что развитие данного направления исследований откроет новые горизонты в понимании фундаментальных биологических явлений, в том числе и солнечно-биосферных связей.