

Биологические науки

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ИХ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИВОТНЫМИ
В СИСТЕМЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
ОРИЕНТАЦИИ И СВЯЗИ**

Еськов Е.К.

*Российский государственный
аграрный заочный университет*

Природные электрические и электромагнитные поля (ЭП и ЭМП) действовали на Земле задолго до появления на ней жизни. В процессе ее зарождения и эволюции природные ЭП и ЭМП, взаимодействуя с биоэлектрическими процессами, оказывали влияние на состояние и функционирование организмов. Это побуждало развитие механизмов восприятия и использования ЭП и ЭМП, а также способствовало приобретению средств защиты от их повреждающего воздействия.

Биологические эффекты ЭМП, с одной стороны, детерминируются их параметрами, а с другой - физико-химическими свойствами биообъектов. Многообразие их свойств, соответствующих различным уровням организации, порождает высокую вариабельность реагирования различных организмов на сходные параметры электромагнитного воздействия. С отличиями свойств клеток, тканей и органов у одного и того же организма сопряжено дифференцированное реагирование его различных структур на одинаковые ЭМП. Повышению вариабельности реагирования способствуют изменения физиологического состояния организма.

Эффекты постоянных магнитных полей (МП) связаны с магнитной восприимчивостью биологических структур, диамагнитными свойствами белковых макромолекул и изменением свойств воды. Способность некоторых организмов ориентироваться в МП сопряжена с биогенным накоплением в их теле магнетита. Связанное с ним явление магнитотронизма основано на рецепции магнитных моментов больших кристаллов или их цепочек. Эти и им подобные структуры могут обеспечивать восприятие слабых флуктуаций МП.

Переменные ЭМП обладают различной эффективностью в зависимости от частоты, интенсивности и длительности действия. С частотой ЭМП связана глубина проникновения и соответственно уменьшение амплитуды колебаний. В области сверхвысоких частот проникновение волны в ткань составляет примерно 0,1 часть ее длины, уменьшаясь с повышением частоты. Эта зависимость нарушается в области рентгеновского и гамма-излучений, пронизывающих мягкие ткани. Преобразование энергии ультра- и сверхвысокочастотных колебаний в тепло может породить необратимые повреждения организмов или отдельных их органов. Вероятность поражающего влияния ЭМП возрастает с увеличением интенсивности и продолжительности воздействия.

Нетепловые эффекты ЭМП, по-видимому, связаны с динамическими перестройками, которые происходят в межклеточной и внутриклеточной жидкости.

Эти перестройки могут влиять на процессы мембранного транспорта. Отличие свойств различных структур организма порождает их неадекватное реагирование на ЭМП, что порождает нарушение гомеостаза. Этому способствуют патологические изменения в отдельных органах и системах. ЭМП могут выступать также в роли помех регуляторным процессам, которые реализуются посредством биотоков. Восприятие низкочастотных ЭП основано на раздражении наведенными токами, протекающими при контакте с токопроводящими поверхностями.

Использование ЭП в ориентации и связи, обнаруженное у филогенетически отдаленных групп организмов - рыб и насекомых, имеет во многом конвергентное сходство. Это выражается в приобретении в процессе эволюции неродственными организмами сходных приспособлений к среде обитания. Ее сходство при наличии соответствующих морфофизиологических предпосылок способствовало совпадению направлений отбора. Необходимость ориентации в условиях, исключающих использование зрения (у рыб, обитающих в мутной воде или ведущих ночной образ жизни; у пчел, поселяющихся в укрытиях, защищающих от света) при наличии структур, способных генерировать и воспринимать ЭП, побуждала развитие электролокации. Для генерации ЭП рыбы исходно располагали электрическими органами, а пчелы - электризующимися покровами тела.

Ориентация рыб в ЭП связана с их очень высокой чувствительностью к току. Электрофизиологическим методом установлено, что органы боковой линии у обычного сома (*Silurus glanis*) реагируют на низкочастотные синусоидальные колебания (до 25 Гц) при плотности тока 10^{-10} А/мм². Этого достаточно для обнаружения сомом своих жертв по биоэлектрическим процессам, сопутствующим двигательным актам и другим процессам жизнедеятельности.

Пространственная ориентация рыб в процессе дальних периодических миграций, возможно, также связана с использованием электрорецепции. В качестве ориентира могут использоваться теллурические токи. Их напряженность составляет около 90 мВ/км, а градиент полей этих токов в пересчете на длину тела рыбы равняется сотым долям микровольта на 1 см, что достаточно для их восприятия электрорецепторами.

Использование ЭП у наземных животных установлено в системе внутривидовых коммуникаций пчел рода *Apis*. Они, обнаружив источник корма, информируют о нем членов семьи в процессе исполнения стереотипных движений (танцев). Движения пчел-танцовщиц (сигнальщиц) зависят от расстояния до источника корма и направления к нему. При этом пчела-сигнальщица совершает маятникообразные движения брюшком с частотой около 14 Гц. Этому соответствует частота ЭП, генерируемого сигнальщицей. Наличие заряда на теле пчелы-танцовщицы (он выше, чем у пассивных пчел в десятки раз) и колебания брюшка порождают изменения напряженности ЭП. Благодаря этому пчелы-танцовщицы обнаруживаются мобилизуемыми ими пчелами и обеспечивают

ся соблюдение дистанции, необходимой для обеспечения надежной связи.

Многие насекомые определяют приближение ненастной погоды по интенсификации атмосфериков (разряды облаков). Наводимые ими токи раздражают насекомых при прикосновениях к токопроводящим поверхностям. Адаптация к этому в эволюции наземных насекомых выражается в приобретении ими инстинкта миграции перед грозой в места, обеспечивающие экранирование от ЭП атмосфериков. Их существенное ослабление обеспечивается кроной деревьев и кустарников, что используется многими одиночно живущими видами насекомых. Пчел и других социальных насекомых увеличение напряженности ЭП, порождаемое приближением грозового фронта,

стимулирует возвращаться в свои гнезда. Вероятно, по этому же сигналу муравьи перед грозой закрывают входные отверстия.

Механизмы восприятия ЭП развивались на основе углубления мультифункциональности механорецепторов. У рыб для этого использовалась боковая линия, у пчел - быстроадаптирующиеся трихоидные сенсиллы, которые у тех и других выполняют роль акустических рецепторов. К специфическим показателям сходства их функционирования относится возникновение в указанных механорецепторах рыб (Брун, Ильинский, 1984) и пчел (Еськов, 1975, 1997) электрических колебаний, совпадающих с механическим воздействием.

Физико-математические науки

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА СПЕКТРАЛЬНОЙ ФОРМЫ

Сафронов О.Ф.

«МАТИ» – Российский Государственный
Университет им. К.Э. Циолковского,
Москва

В гидроакустической станции (ГАС) давление в точке расположения пьезоэлектрического датчика преобразуются в напряжение, которое усиливается, фильтруется, преобразуется в цифровую форму и через каналы связи поступает в вычислительный комплекс. Наблюдаемые ГАС сигналы представляют дискретные отсчеты суммы сигнала и помехи в точке расположения преобразователей ГАС:

$$\underline{U}_{t,n} = a \cdot \underline{S}_{t,n}^1(\underline{p}) + \underline{N}_{t,n};$$

$$t = 1, 2, \dots, Nt; n = 1, 2, \dots, Ngas; l = 1, 2, \dots, L,$$

где $\underline{U}_{t,n}$ - вектор отсчетов наблюдаемого сигнала в t -й временной отсчет от n -й ГАС;

$\underline{S}_{t,n}^1(\underline{p})$ - вектор отсчетов сигнала источника 1-

го класса в t -й временной отсчет от n -й ГАС;

\underline{p} - вектор параметров источника, подлежащий оцениванию (координаты, время события, мощность и т.д.);

$\underline{N}_{t,n}$ - вектор отсчета помехи в t -й временной отсчет от n -й ГАС;

$Ngas$ - число ГАС, участвующих в наблюдении;

L - число классов источников;

a - индикатор, значение которого равно 1, если сигнал есть; и 0, если сигнала нет;

$Nt = \text{floor}\{(Tend - Tbeg) \cdot Fd\}$ - число временных отсчетов в интервале наблюдения;

Fd — частота дискретизации наблюдаемого сигнала;

$\text{floor}\{\}$ — обозначает целую часть числа.

Размерность векторов $\underline{U}, \underline{S}, \underline{N}$ равна числу приемных каналов в ГАС.

Сигналы заданных классов источников, помехи и условия распространения являются квазистационарными случайными процессами. Под квазистационарностью случайного процесса понимается возможность разбиения всего интервала наблюдения на временные интервалы, в которых процесс можно считать стационарным. Так как рассматриваемые процессы являются квазистационарными, то обработку сигналов целесообразно осуществлять в спектральной области. Обработка в спектральной области имеет следующие преимущества: при соответствующем выборе времени спектрального анализа частотные составляющие спектра не коррелированы; при соответствующем выборе времени спектрального анализа частотные составляющие спектра имеют асимптотически нормальное распределение; вследствие некоррелированности и нормальности спектральных отсчетов упрощается синтез алгоритмов обработки сигналов; использование быстрых процедур спектрального анализа и некоррелированности спектральных отсчетов уменьшают требования к вычислительным ресурсам.

Переход в спектральную форму производится следующим образом. Весь интервал наблюдения $[1 \dots N_t]$ разбивается на $Kfft$ интервалов.

$$Kfft = \text{floor}\{N_t / Nfft_n\},$$

где $Nfft_n = 2m$ - число временных отсчетов используемых для преобразования в спектральную форму в n -й ГАС.

В каждом интервале рассчитывается по алгоритму быстрого преобразования Фурье (БПФ) периодограмма наблюдаемого сигнала:

$$\underline{Sp}_{f,k,n} = \sum_{t=0}^{Nfft-1} \underline{U}_{t+(k-1) \cdot Nfft_n} \cdot e^{-j \frac{2\pi f t}{Nfft_n}};$$

$$k = 1 \dots Kfft; f = Fmin \dots Fmax; n = 1, 2, \dots, Ngas,$$

где $\underline{Sp}_{f,k,n}$ - вектор значений периодограммы наблюдаемого сигнала в k -м интервале времени в f -м спектральном отсчете n -й ГАС;

$Fmin, Fmax$ - минимальный и максимальный спектральные отсчеты периодограмм, соответствующие