

УДК 557.3

Эффекты влияния электромагнитных полей в области "шумановских резонансов" на активность гидробионтов

А.В. Муравейко¹, И.А. Степанюк², В.М. Муравейко³, Н.С. Фролова²

¹ Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО)

² Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ)

³ Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация. В лабораторных условиях изучены реакции гидробионтов на переменные ЭМ-поля крайне низких частот, возбуждаемые естественными гидрометеорологическими процессами. Установлен устойчивый максимум чувствительности у большинства исследованных гидробионтов в области основной моды "шумановских резонансов" (7-8 Гц), что предположительно связано с механизмом получения прогностической информации о приближении биологически опасных гидрометеорологических процессов. В результате статистического анализа распределения по частотам фоновой импульсной активности в нервных волокнах и нейронах продолговатого мозга, связанных с ампулами Лоренцини баренцевоморских звездчатых скатов *Raja radiata* Donovan, выявлено совпадение основных мод распределения с первыми модами энергетического спектра ЭМ-поля резонатора Земля – ионосфера. Данный факт подтверждает предположение о роли этого поля как наиболее стабильного по частоте внешнего синхронизатора внутренней биоритмики гидробионтов.

Abstract. Reactions of marine organisms to variable electromagnetic (EM) fields with extremely low frequencies excited by natural hydrometeorological processes have been studied in vitro. The steady maximum of sensibility of the majority of the studied marine organisms in the area of the main mode of Schumann resonances (7-8 Hz) has been defined. It is presumably due to obtaining the forecasting information about biologically dangerous hydrometeorological process approaching. During the statistical analysis of the background impulse activity distribution in the myelencephalon nerve fibers and neurons connected with ampullae of Lorenzini in the Barents Sea thorny skates *Raja radiata* Donovan, the coincidence of the main distribution modes with the first ones in the energetic spectrum of the Earth – ionosphere resonator EM field has been revealed. This proves the assumption of the role of this field as an external synchronizer of internal biorhythm system in marine organisms which is most stable by frequency.

Ключевые слова: гидробионты, ритмика, электромагнитные поля

Key words: marine organisms, rhythm system, electromagnetic fields

1. Введение

Проблема изучения механизма получения информации о гидрометеорологических процессах в среде обитания и при оценке хода времени у гидробионтов является актуальной и обусловлена чрезвычайно ограниченными возможностями указанных биообъектов. Многие гидробионты обычно обитают вне зоны проникновения солнечных лучей, тем самым суточные вариации освещённости для них практически не имеют значения. Важная информация о гидрометеорологических условиях на поверхности моря не может восприниматься ими "напрямую". Например, штормовые условия на поверхности практически не сопровождаются адекватными, т.е. реально воспринимаемыми гидробионтами, вариациями гидростатического давления уже на глубинах 50-70 м.

Роль таких факторов, как ориентация во времени и пространстве и получение информации об опасных гидрометеорологических условиях, для задач выживаемости гидробионтов представляется наиболее значительной. Без "биологических часов" существование этих биообъектов оказалось бы чрезвычайно сложным из-за полной десинхронизации всей подводной экосистемы. Возможны иные механизмы регулирования, однако в силу принципа Оккама настройка на ход времени является предпочтительной.

В статьях (Степанюк, Муравейко, 1989; 2002) было обосновано предположение о том, что наиболее вероятным из внешних источников синхронизации является ЭМ-поле резонатора Земля – ионосфера преимущественно в области частот 6-8 Гц. Во-первых, поле таких частот проникает в

проводящую морскую среду на сравнительно большие глубины (толщина скин-слоя составляет более 100 м); во-вторых, у многих исследуемых гидробионтов наблюдается максимум электро- или магниточувствительности преимущественно в данной частотной области. Кроме того, ЭМ-поле резонатора Земля – ионосфера существует с древнейших времен и настройка гидробионтов на это поле представляется как бы вполне естественной.

Индукция магнитной составляющей поля резонатора в невозмущённом состоянии составляет не более 1-2 нТл, а при геофизических возмущённых условиях может достигать 10-15 нТл (Степанюк, 2002). Чувствительность отдельных систем биообъектов в ходе прямых экспериментов наблюдалась на уровне 0,2-0,4 нТл (Темурьянц и др., 1992).

Вышеизложенные косвенные обоснования свидетельствуют о разумности высказанного предположения. Но, на наш взгляд, наиболее веским подтверждением данной гипотезы являются эквивалентные ЭМ-полю резонатора частотные максимумы в импульсной фоновой активности нервных волокон.

Предчувствие биологически опасных гидрометеорологических процессов (преимущественно штормовых условий) возможно также только на основе восприятия физических предвестников. Единственно реальным из них в настоящее время являются специфические возмущения естественных ЭМ-полей в области крайне низких частот, включающих основную моду "шумановских резонансов". Гипотезы по поводу реакции на изменения атмосферного давления либо на инфразвуковой "голос моря" из штормовых зон, которые в атмосфере могут тоже рассматриваться как предвестники, применительно к гидробионтам не выдерживают никакой критики.

2. Материалы и методики

Для экспериментального изучения частотного распределения импульсной фоновой активности использовались баренцевоморские звёздчатые скаты *Raja radiata* Donovan.

Во время опытов исследуемое животное жёстко фиксировалось в экспериментальном аквариуме и через его жабры пропускалась проточная морская вода температурой 2-4 °С. Регистрировалась импульсная активность одиночных нервных волокон, связанных с ампулами Лоренцини, и электрорецептивных нейронов продолговатого мозга. Биопотенциалы отводились с помощью стеклянных микроэлектродов, заполненных 3М КСl. Через повторитель с высокоомным входом потенциалы подавались на усилитель, контролировались на экране осциллографа и регистрировались при помощи скоростного самописца (Степанюк, Муравейко, 2002).

Избирательность настройки организма животных на частоты резонатора Земля – ионосфера выявлялась посредством статистического анализа фоновой (в невозбуждённом состоянии) электрической импульсной активности. Текущие (мгновенные) значения частот импульсной активности определялись как обратные величины промежуткам времени между соседними импульсами. Анализируемые ряды данных создавались объединением серий обработанных записей, полученных при подсоединении к различным нейронам и волокнам. Проверка однородности совокупных рядов и их обработка проводились по стандартным методикам (Темурьянц и др., 1992).

Изучались также реакции на ЭМ-поля крайне низких частот у сомовых рыб. Регистрировалась их двигательная активность в продольном бассейне длиной примерно 2 м. Характеристикой активности являлись перемещения рыб за фиксированные промежутки времени.

Изменчивость ЭМ-полей в области "шумановских резонансов" изучалась с использованием высокочувствительных феррозондовых и индукционных магнитометров как в полевых условиях в различных географических точках (Степанюк, 2002), так и в условиях промышленного города при узкополосной фильтрации.

3. Результаты исследования и их обсуждение

В ходе анализа обобщённых результатов изучения импульсной фоновой активности (рис. 1а, б) выявляется, что её распределение по частотам существенно отличается от нормального закона и, как для нервных волокон, связанных с ампулами Лоренцини, так и для электрорецептивных нейронов мозга имеет полимодальный характер. При этом проявляются характерные максимумы в совокупности данных по нервным волокнам на частотах 7-9 и 11-13 Гц (рис. 1а), нейронам – 3-4 и 7-8 Гц (рис. 1б).

На рис. 2 в качестве иллюстрации приведён широко известный энергетический спектр ЭМ-поля в резонаторе Земля – ионосфера. Сравнение с данными, представленными рис. 1, показывает, что у исследованных гидробионтов наблюдаются моды, совпадающие преимущественно с первыми тремя модами резонатора.

Несомненно, что на фоновую импульсную активность влияет значительное количество факторов. Отдельные записи обычно выглядят как весьма хаотические последовательности импульсов.

Тем интереснее тот факт, что при предпринятом статистическом анализе полученных данных выявляются указанные закономерности. Это позволяет полагать, что определённая "настройка" исследованных животных действительно имеет место. Таким образом, глобальное электромагнитное поле резонатора, проникающее на достаточно большие глубины, может являться тем информационным полем, которое обеспечивает биоритмику животных и получение ими биологически важной геофизической информации посредством непрерывного отслеживания характеристик этого поля.

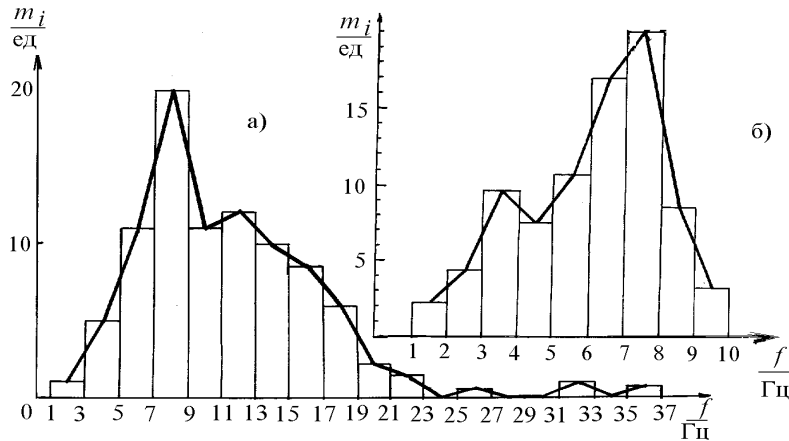


Рис. 1. Распределение по частотам фоновой активности нейронов и нервных волокон баренцевоморского звёздчатого ската *Raja radiata* Donovan: *a* – активность нервных волокон; *б* – активность нейронов продолговатого мозга, связанных с электрорецепторами

Это весьма нетривиальный результат, поскольку свидетельствует о том, что у рыб существует некоторая сигнальная основа, аналогичная системе ритмов у человека, выявляемых на электроэнцефалограммах. Было бы чрезвычайно интересно изучить всестороннюю взаимосвязь геофизических факторов (ЭМ-полей, солёности, температуры, освещённости и др.), воздействующих на гидробионтов.

Опасные гидрометеорологические условия, в частности штормовые зоны в море, проявляются как существенное (до 10-15 нТл) возрастание ЭМ-поля в области частот "шумановских резонансов". При этом речь идет о "ближней зоне" циклона как источника поля, поскольку здесь регистрируются преимущественно индукционные составляющие.

На рис. 3 приведены фрагменты регистрации выпрямленной части сигналов от приближающегося циклона (траектория движения проходит по акватории Балтийского моря). На фоне монотонно возрастающей индукции наблюдаются дополнительные квазипериодические возмущения, обусловленные модулирующей ролью внутренних гравитационных волн, возбуждаемых в атмосферных фронтах.

Такие ЭМ-поля могут быть наиболее надёжными предвестниками приближения циклона и, предположительно, единственным источником информации для гидробионтов.

Для дополнительной проверки возможностей предчувствия нами изучалась поведенческая активность гидробионтов как в разных гидрометеорологических ситуациях (циклоны, антициклоны), так и при лабораторном моделировании ЭМ-поля приближающегося циклона. При этом предварительно определялись частотные характеристики электро- и магниточувствительности.

В качестве примера на рис. 4 приведена характеристика магниточувствительности для карповых рыб. На ней однозначно выделяются основные максимумы: область "шумановских резонансов" и область физиологических показателей (частоты дыхания и частоты сердечных сокращений). Наличие первого из названных максимумов чувствительности, никак не обусловленного физиологическими потребностями, на наш взгляд, предопределяет механизм получения гидробионтами прогностической информации об опасных изменениях условий среды обитания.

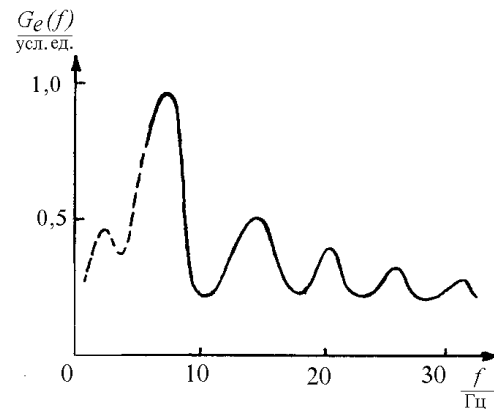


Рис. 2. Спектр ЭМ-поля в резонаторе Земля – ионосфера

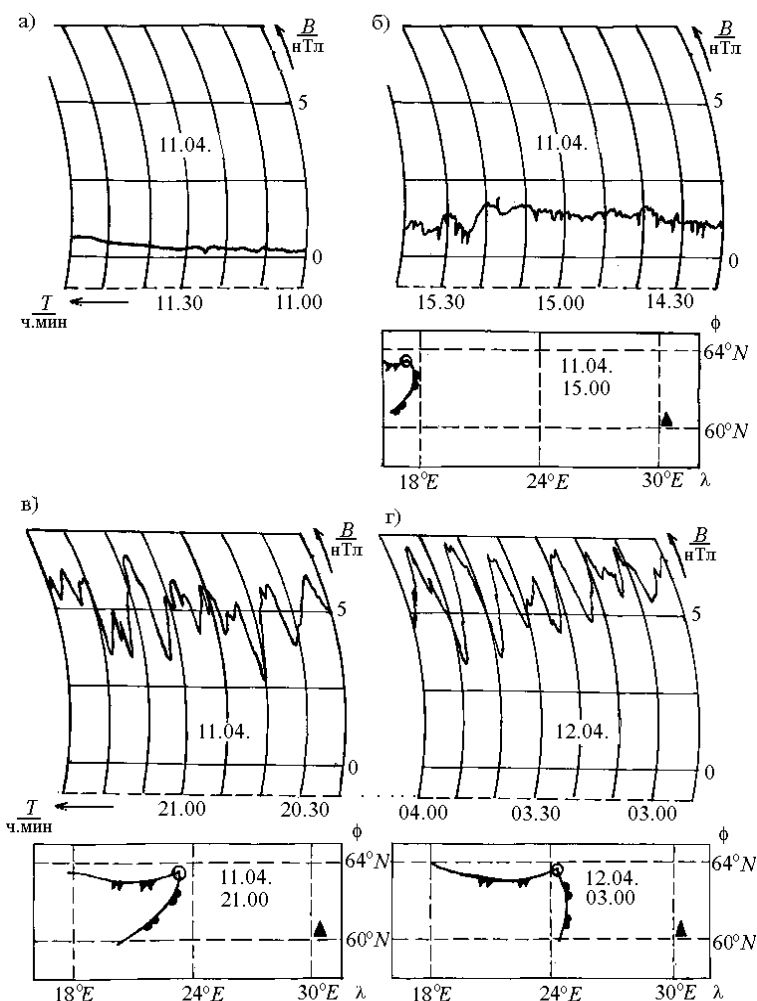


Рис. 3. Фрагменты регистрации сигналов при приближении циклона (треугольником обозначен пункт наблюдений)

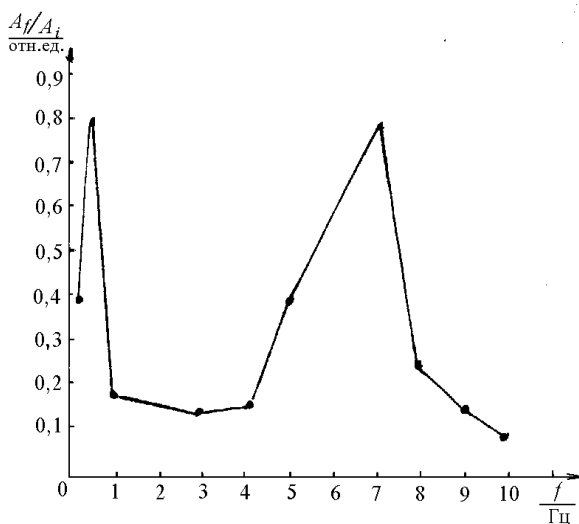


Рис. 4. Частотная характеристика магниточувствительности карповых рыб

Кроме карповых рыб, нами выделены подобные максимумы магниточувствительности у гидробионтов, как снабжённых специальными электрорецептивными органами (скатов *Raja radiata*), так и не имеющих подобных органов (трески, форели и др.). Возникающая "универсальность" позволяет

предположить, что выявленная "настройка" гидробионтов является необходимой для обеспечения их жизнедеятельности, поскольку в природе весьма редко наблюдается подобная "расточительность".

Реакция на циклон у гидробионтов примерно соответствует их реакции на иные виды геомагнитных возмущений (Зимин, 2000; Степанюк, Баландина, 2004). По сравнению с условиями "хорошей погоды" их поведенческая активность в зоне циклона уменьшается не менее чем в 1,5-2 раза. При этом столь же значительно уменьшаются величины спектральной плотности активности на характерных ультрадианных ритмах.

Известно, что у отдельных видов сомовых (японского карликового сомика, туркестанского сомика) меняется поведение при ожидании таких явлений, как шторм, цунами, землетрясение и др.

Установлен факт электрочувствительности сомов *Ictalurus nebulosus* Les, выявлен максимум их чувствительности в области частот 7-8 Гц (рис. 5).

В наших исследованиях для изучения влияния электромагнитных полей на двигательную активность (ДА) гидробионтов в качестве подопытных биологических систем использовались наиболее доступные из сомовых (для исследования сомовые) – небольшие стаи золотистых сомовиков (*Corydoras aeneus*). Эксперименты выполнялись по схеме "контроль – опыт – контроль". ДА определялась как разность между дисперсией в ходе опыта и дисперсией в ходе контроля. Обработка данных велась по правилам метрологии (Селиванов и др., 1987). При частотах 4-8 Гц регистрируется значительное повышение активности (рис. 6).

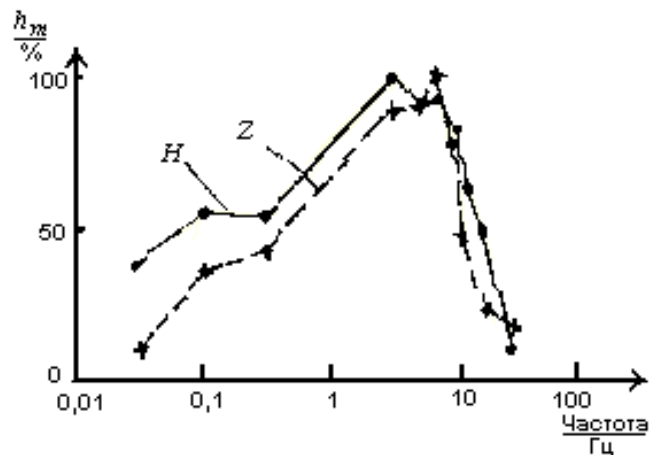


Рис. 5. Характеристики электрочувствительности сомовиков:
H – реакция на горизонтальное электрическое поле от рецепторов левой половины тела;
Z – реакция на вертикальное электрическое поле от рецепторов правой половины тела (Peters, Buwalda, 1972)

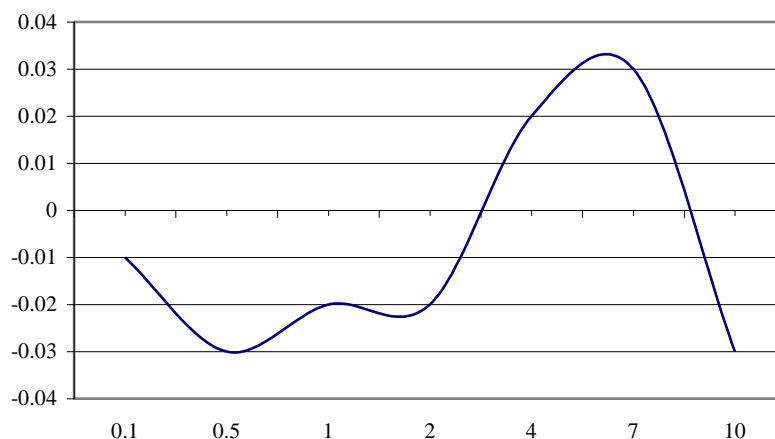


Рис. 6. Интенсивность реакции сомовиков *Corydoras aeneus* на воздействие переменным электрическим полем различных частот: по оси ординат – интенсивность реакции, измеряемая в относительных единицах (по отношению к среднему значению); по оси абсцисс – частота (в Гц)

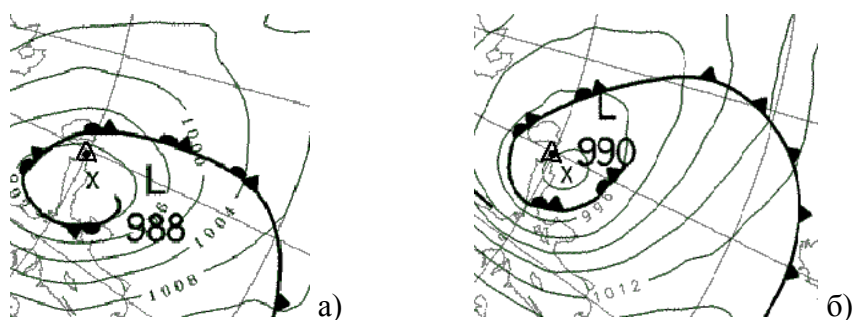


Рис. 7. Характеристики поведения сомиков (σ) при прохождении циклона с системой атмосферных фронтов (а, б): 1 – дисперсия поведения D ; 2 – H -показатель Херста ($\times 100$); 3 – усреднённый суточный ход активности; треугольник с точкой на синоптических картах – пункт наблюдений

Характерное возрастание активности сомиков наблюдалось также при приближении циклонов и отдельных фронтов к пункту наблюдений (рис. 7).

О слабой опережающей реакции свидетельствуют значения H -показателя, причём "спад поведения в хаос" (H менее 0,5) предшествует возрастанию дисперсии (рис. 7б). По отношению к самим событиям этого нельзя утверждать, возможно, потому, что сроки событий определяются по синоптическим картам, поступающим с интервалом не менее шести часов, да и положения фронтов на данных картах указываются с большими погрешностями. На рис. 7 представлены фрагменты приземных карт: а – за 20.04.2007, 16 часов МСК; б – за 21.04.2007, 04 часа МСК. При этом прохождение любого циклона неизменно воздействует на гидробионтов и вызывает определенные реакции, однако степень и силу воздействия можно определить только с помощью приборов.

В ходе полусуточного эксперимента (рис. 8) выявляются аналогичные виды реакций на прохождение фронта окклюзии. Анализ значений показателя Херста показывает два "спада в хаос", и первый из них получается опережающим по отношению к дисперсии примерно на 400 минут. Является ли это реакцией предчувствия рыб, пока однозначно утверждать нельзя. Реакция, наблюдаемая по дисперсии, как и по предыдущим данным, проявляется непосредственно на прохождение фронта, естественно, в пределах погрешности определения его положения на карте.

В реакциях на экстремальные тропосферные процессы, на наш взгляд, также присутствует восприятие искажений ЭЭМП. Однако здесь такие искажения выражены преимущественно в более высокочастотной области (7-8 Гц). Наличие максимума электрочувствительности у некоторых видов сомиков (Peters, Buwalda, 1972) ещё ничего не означает, поскольку в аквариальных условиях индуцирование высоких ЭДС исключено. Приходится предполагать наличие повышенной магниточувствительности в этой частотной области. Такие исследования пока не проводились.

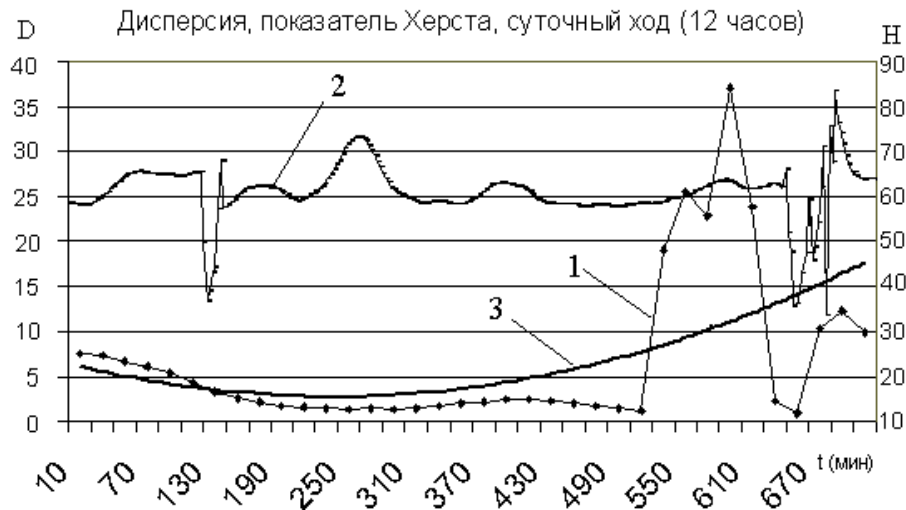


Рис. 8. Характеристики реакции рыб на приближение и прохождение фронтальной системы: 1 – дисперсия поведения; 2 – показатель Херста ($\times 100$); 3 – кривая усреднённого суточного хода активности

4. Заключение

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что естественные электромагнитные поля в области частот "шумановских резонансов", возбуждаемые при многих опасных гидрометеорологических процессах, способны восприниматься гидробионтами. Это позволяет данным биообъектам заблаговременно получать информацию о приближении опасных процессов, способных влиять на их жизнедеятельность, а также регулировать свою биоритмику.

Литература

- Peters R.S., Buwalda R.J.A.** Frequency response of the electroreceptors ("small pit organs") of the catfish, *Ictalurus nebulosus* Les. *J. comp. Physiol.*, N 79, p. 29-38, 1972.
- Зимин А.В.** Электромагнитные поля при гидрометеорологических процессах и оценка их влияния на отдельные виды гидробионтов. *Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. СПб., РГГМУ*, 19 с., 2000.
- Селиванов М.Н., Фридман А.Э., Кудряшова Ж.Ф.** Качество измерений. Метрологическая справочная книга. *Л., Лениздат*, 295 с., 1987.
- Степанюк И.А.** Электромагнитные поля при аэро- и гидрофизических процессах. *СПб., РГГМУ*, 214 с., 2002.
- Степанюк И.А., Баландина Н.Л.** Изменчивость активности гидробионтов в условиях геомагнитных возмущений. *Биологические эффекты солнечной активности. Тезисы докладов семинара, Пуцшино-на-Оке. М., ИКИ РАН*, с. 23-25, 2004.
- Степанюк И.А., Муравейко В.М.** Переменное естественное электромагнитное поле резонатора Земля – ионосфера как фактор биорегуляции морских животных. *Физиология морских животных. Сборник научных работ. Апатиты, КФ АН СССР*, с. 89-90, 1989.
- Степанюк И.А., Муравейко В.М.** ЭМ-поле резонатора Земля – ионосфера как синхронизатор внутренней ритмики гидробионтов. *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия "Биология. Химия"*, т. 15(54), № 1, с. 73-76, 2002.
- Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г.** Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире. *Киев, Наукова думка*, 187 с., 1992.