

**Гурбатов Сергей Николаевич**

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского.

E-mail: gyrb@rf.unn.ru.

603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, 23, тел.: (831)4656305.

Профессор, д.ф.-м.н.

**Gurbatov Sergey Nikolaevich**

Nizhniy Novgorod State University.

E-mail: gyrb@rf.unn.ru.

23, Gagarin's avenue, N. Novgorod, 603950, Russia, Phone: (831)4656305.

Professor, Doctor of Sc.

**Демин Игорь Юрьевич**

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского.

E-mail: demin@rf.unn.ru.

603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, 23, тел.: (831)4656305.

Доцент, к.ф.-м.н.

**Demin Igor Yurievich**

Nizhniy Novgorod State University.

E-mail: demin@rf.unn.ru.

23, Gagarin's avenue, N. Novgorod, 603950, Russia, Phone: (831)4656305.

Assistant professor, Cand. of Sc.

**Прончатов-Рубцов Николай Васильевич**

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского.

E-mail: nikvas@rf.unn.ru.

603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, 23, тел.: (831)4656305.

Доцент, к.ф.-м.н.

**Pronchatov-Rubtsov Nikolay Vasilievich**

Nizhniy Novgorod State University.

E-mail: nikvas@rf.unn.ru.

23, Gagarin's avenue, N. Novgorod, 603950, Russia, Phone: (831)4656305.

Assistant professor, Cand. of Sc.

УДК 577.354

**А.В. Зимин, А.А. Родионов, Н.Е. Покровская****ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ  
ГИДРОБИОНТОВ**

*Исследовались особенности восприятия гидробионтами (длиннопалыми раками, карповыми рыбами) вариаций электромагнитных полей на частотах от 0,01 до 100 Гц. Установлены частотные характеристики электро- и магниточувствительности у исследованных гидробионтов. Подтверждается гипотеза о предчувствии принципиально различными видами организмов приближения опасных явлений погоды посредством восприятия электромагнитных полей, распространяющихся на частотах 7-8 Гц.*

*Крайне низкочастотные электромагнитные поля; гидробионты; экологический фактор; предупреждения об опасных явлениях погоды.*

A.V. Zimin, A.A. Rodionov, N.E. Pokrovskaya

## FEATURES OF PERCEPTION OF NATURAL ELECTROMAGNETIC FIELDS VARIOUS KINDS HYDROBIONTY

*The Article describes the experiment about influence electromagnetic fields on of sea inhabitants. Experiences were conducted within the range of from 0.01 to 100 Hz. Experiments were spent with *Astacus Leptodactylus Esch*, *Cyprinus carpio*. Sensitivity maximum exists on frequency 7-8 Hz for all sea inhabitants. Possibly, this frequency gives information for of sea inhabitants about change of the weather.*

*The extremely low-frequency electromagnetic fields; hydrobionty; the ecological factor; warnings of the dangerous phenomena of weather.*

**Введение.** При экологическом мониторинге водной среды в настоящее время наибольшее внимание уделяется, как правило, гидрофизическим и химическим факторам и практически не учитываются электрофизические факторы. Хотя в последние годы установлено [1], что естественные электромагнитные поля (ЕЭМП) в крайне низкочастотном (КНЧ) диапазоне воспринимаются некоторыми видами гидробионтов и имеют для них большое информационное значение. Предположительная область [2,3] использования водными организмами ЕЭМП может быть представлена следующим образом:

а) восприятие полей биологического происхождения для внутривидовой и межвидовой коммуникации, поиска добычи и избегания хищников;

б) восприятие полей геофизического происхождения (основной максимум которых наблюдается на частотах 7-8 Гц) для пространственной ориентации, а также получения оперативной и прогностической информации о биологически опасных гидрометеорологических процессах.

В настоящее время сложно судить об универсальности восприятия различными гидробионтами электромагнитных полей на определенных частотах. Для подтверждения предположения об экологической роли ЕЭМП требуется провести эксперименты, расширять число видов исследуемых гидробионтов.

Все эксперименты по воздействию КНЧ ЭМП [4], проводились с рыбами. Поэтому в качестве первого объекта исследования были выбраны длиннопалые раки (*Astacus Leptodactylus Esch*) отряда десятиногих (Decapoda). Следует подчеркнуть, что они являются прибрежными эвригалинными гидробионтами, следовательно, можно ожидать наличия у них механизма предчувствия приближения циклонов, которые для прибрежных условий являются биологически опасными явлениями.

В ранее выполнявшихся экспериментах с карповыми (*Cyprinus Carpio*) [5] было исследовано восприятие ЭМП в широком частотном диапазоне и обнаружена их высокая магниточувствительность в диапазонах 0.01-0.001 Гц, 0.5-1 Гц, 6-8 Гц. Причем, чисто биологическими потребностями водных организмов последний из описанных максимумов чувствительности никак не обусловлен. Выдвинуто предположение, что ЕЭМП в этом диапазоне частот обеспечивают биоритмику гидробионтов и получение ими биологически важной геофизической информации. Однако ранее не изучались их "поведенческие реакции" на это воздействие, представляет интерес выявление реакции карповых рыб непосредственно на магнитные поля, сопутствующие реальной циклонической ситуации.

Целью работы являлось изучение особенностей восприятия КНЧ ЕЭМП двумя принципиально различающимися и обитающими в разных условиях видами

гидробионтов: длиннопалыми раками (*Astacus leptodactylus* Esch), карповыми рыбами (*Cyprinus carpio*).

**Методика экспериментов.** Для выполнения экспериментов был разработан и смонтирован ряд специальных установок, позволяющих создавать искусственные электрические и магнитные поля в экспериментальных бассейнах и садках как в лабораторных условиях, так и в условиях естественных водоемов, с возможностью наблюдать поведенческие реакции гидробионтов.

Электрическое поле (ЭП) создавалось в садке или экспериментальном бассейне с помощью листовых электродов, на которые подавалось напряжение с генератора синусоидальных сигналов низких частот или источника постоянного тока. В зависимости от программы экспериментов с помощью магазина сопротивлений изменялось напряжение, подаваемое на электроды. Расчет параметров создаваемого между электродами поля производился по показаниям мультиметра и расстоянию между электродами. Путем изменения расположения электродов в установке задавались различные конфигурации поля, влияющего на исследуемых гидробионтов: неоднородное, однородное и комбинированное.

Исследование воздействия переменных магнитных полей (МП) на водные организмы производилось в тех же садках и бассейнах; вместо электродов источниками поля служили кольца Гельмгольца или соленоид. Параметры создаваемого поля рассчитывались по формулам из работы [3]. Характеристики генерируемых полей (форма сигнала, наличие помех) контролировались по показаниям осциллографа.

Изучались следующие характеристики: *“Порог адекватной реакции”* (исследовался только у ракообразных) *“Поведенческая реакция”* *“Поведенческая активность”*.

**Результаты экспериментов с ракообразными.** Эксперименты проводились в аквариуме размером 1,2×0,54 м, разделенном сетками на три секции. В ходе экспериментов по определению порога *“адекватной реакции”* у ракообразных на электрическое поле было проведено 104 серии опытов и 42 серии опытов по определению порога *“поведенческой реакции”* в воде различной солености (0, 2, 4, 6 ‰). Опыты проводились при напряженности поля 1,8; 2,2; 3,2; 4,2; 6,2 В/м.

По результатам обработки данных было обнаружено, что чувствительность раков максимальна в КНЧ-диапазоне от 0,1 до 10 Гц, причем независимо от солености воды. Во всех опытах (рис. 1) прослеживаются два экстремума: в диапазоне 0,15-0,2 Гц (частоты, характерные для внутреннего биологического ритма дыхания) и в диапазоне 7-8 Гц (частоты, соответствующее центральной моде *“шумановских”* резонансов, свойственных естественному электромагнитному полю Земли [6]).

С увеличением солености от 0 до 2 ‰ чувствительность раков к электрическому полю возрастает примерно в 1,5 раза во всем спектре частот. При дальнейшем повышении солености напряженность поля, вызывающая *“адекватную реакцию”*, плавно уменьшается; соответственно, возрастает чувствительность гидробионтов к полям. Кроме того, сравнивая реакции ракообразных в пресной и соленой воде, можно отметить сдвиг абсолютного максимума реакции с 0,15 и 7 Гц до 0,2 и 8 Гц соответственно. На отмеченных частотах и на частоте наиболее вероятных антропогенных воздействий (50 Гц) было проведено определение *«поведенческой реакции»* ракообразных.

С увеличением солености от 0 до 2 ‰ чувствительность раков к электрическому полю возрастает примерно в 1,5 раза во всем спектре частот. При дальнейшем повышении солености напряженность поля, вызывающая *“адекватную реакцию”*, плавно уменьшается; соответственно, возрастает чувствительность гидро-

бионтов к полям. Кроме того, сравнивая реакции ракообразных в пресной и соленой воде, можно отметить сдвиг абсолютного максимума реакции с 0,15 и 7 Гц до 0,2 и 8 Гц соответственно. На отмеченных частотах и на частоте наиболее вероятных антропогенных воздействий (50 Гц) было проведено определение «поведенческой реакции» ракообразных.

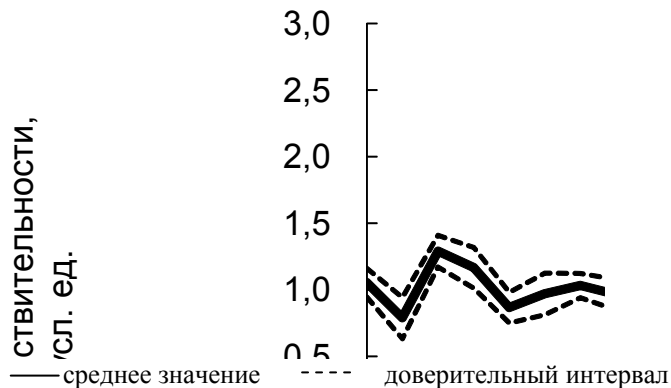


Рис. 1. Реакция ракообразных на переменное электрическое поле в пресной воде

При воздействии на раков электрического поля с частотой 0,15 Гц при  $E > 2$  В/м наблюдались четкая реакция “избегания” зоны с повышенной напряженностью поля. Причем, после отключения воздействия поля при  $E > 3$  В/м наблюдалось длительное (более 0,5 ч) последствие, то есть раки не заходили в зону, где ранее наблюдалась максимальная напряженность поля.

При воздействии на раков поля с частотой 7 Гц реакция “избегания” воздействия наблюдалась при  $E > 0,6$  В/м. При отключении воздействия поля с  $E > 1$  В/м наблюдалась реакция последствия.

При воздействии на раков электрическим полем с частотой 50 Гц реакция “избегания” наблюдалась при  $E > 5,5$  В/м. Полученное значение позволило определить величину предельно допустимого порога электромагнитного загрязнения акватории для данного вида гидробионтов на промышленной частоте.

Сравнение полученных в экспериментах данных по напряженности поля при различных частотах, вызывающих порог “адекватной реакции”, с аналогичными данными по порогу “поведенческих реакций” выявило, что на частотах 0,15 и 50 Гц последние в 1,5 раза ниже, а на частоте 7 Гц порог “поведенческой реакции” в 3 раза ниже, чем у “адекватных”.

Проведенный анализ позволяет говорить о том, что выявленная привязка максимума чувствительности раков к “геофизической” частоте, повторяющая аналогичные экстремумы чувствительности у рыб [4], свидетельствует в пользу ранее высказывавшегося предположения, что электромагнитное поле Земли на частотах 7-8 Гц является важным регулирующим фактором для гидробионтов.

**Результаты экспериментов с карповыми рыбами.** Эксперименты по выявлению “поведенческих реакций” при воздействии магнитным полем проводились в аквариуме длиной 1,5 м, шириной 0,3 м и разделенном внешними отметками на 4 секции. Время одного опыта по определению “поведенческой реакции” составляло 6 ч. Значения поведенческой активности определялись как изменения расположения рыб за интервал 20 с, дискретность определений “поведенческой

реакции” составляла 1 мин. Параллельно фиксировались ЕЭМП и вариации МПЗ по данным магнитной обсерватории Нурмоярви (Финляндия), поступающие в реальном режиме времени в сеть Internet. Это позволяло проводить эксперименты по воздействию моночастотными МП в спокойных геомагнитных условиях.

Для исследования были выбраны частоты 0,7 и 7 Гц, которые соответствуют физиологическому и геофизическому максимумам чувствительности, а также частоты 0,3 и 10 Гц, на которых не оказывают значимого влияния на активность гидробионтов. Индукция магнитного поля задавалась 50, 100, 150 нТл. Всего было проведено 15 экспериментов: по три на каждой из выбранных частот и три по определению фоновой активности рыб при различной напряженности ЕЭМП (при разной синоптической обстановке).

Эти эксперименты показали, что в неоднородном поле на этих частотах формировалась реакция “избегания” зоны с повышенной напряженностью поля. На рис. 2 приведен пример такой реакции гидробионтов при включенном воздействии переменного магнитного поля на геофизической частоте 7 Гц при индукции 50 нТл. Столбцы диаграммы имеют то же логическое значение, что и на рис. 2, однако воздействие магнитным полем максимально в крайней левой секции аквариума. Даже после прекращения воздействия поля рыбы с неохотой возвращаются в область аквариума, где наблюдалась максимальная напряженность поля. Повышенные величины напряженности магнитного поля приводило к увеличению интенсивности реакции “избегания” и увеличению продолжительности последствия поля.

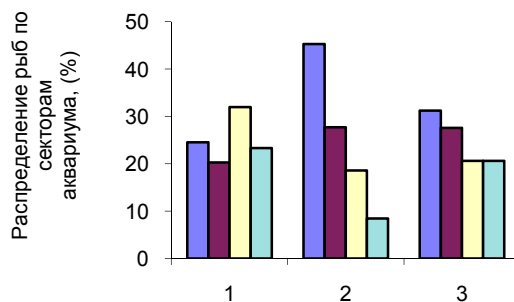


Рис. 2. Реакция «избегания» карповыми магнитного поля на частоте 7 Гц  
1 – фон; 2 – действие поля (max в правой секции);  
3 – последствие воздействия поля

При воздействии магнитным полем с частотой 0,3 и 10 Гц реакция карповых рыб оказалась практически безразличной. Не проявилось каких-либо закономерностей и при повышении индукции поля с 50 до 150 нТл.

Избегание зоны повышенной напряженности МП на “активных” частотах можно рассматривать, как свидетельство дискомфорта таких ситуаций для карповых рыб. Применительно к частотам 7-8 Гц такое избегание повышенной напряженности можно рассматривать как стремление рыб “затаиться” на повышенных глубинах, спасаясь от надвигающейся опасной гидрометеорологической ситуации.

Для подтверждения этого вывода (стремление “затаиться”) сопоставлялась двигательная активность рыб в условиях спокойного фона ЕЭМП (антициклональная ситуация) и высокого уровня ЕЭМП (циклональная ситуация). Сравнивались функции спектральной плотности “поведенческой активности” рыб. Использо-

лись карты синоптической обстановки во время проведения экспериментов для сравнения со значениями функции спектральной плотности.

Из синоптической карты следует, что в районе Санкт-Петербурга находится центр циклонического образования. При этом индукция магнитной составляющей ЕЭМП – около 10 нТл. Двигательная активность рыб в это время характеризуется двумя слабовыраженными максимумами функции спектральной плотности с периодами около 5 и 15 мин. В условиях же слабоградиентного барического поля, когда синоптическая обстановка в районе Санкт-Петербурга характеризуется периферией антициклона, индукция магнитной составляющей ЕЭМП – около 1 нТл. Периоды, характеризующие максимум двигательной активности рыб, сохраняются (5 и 15 мин), однако они становятся более четко выраженными. Отсюда можно сделать вывод, что ЕЭМП, соответствующие прохождению циклона, подавляют биоритмику рыб примерно в 2 раза.

Восприятие электромагнитных полей подтверждает предположение о предчувствии рыбами приближения циклона.

**Заключение.** Обобщая результаты выполненных экспериментов по воздействию электромагнитных полей на гидробионтов, можно отметить, что:

- частотные характеристики чувствительности к электромагнитным полям столь разных видов как карповые и ракообразные, как и у ранее исследовавшихся гидробионтов содержат максимум в области основной моды “шумановских” резонансов (7-8 Гц); что подтверждает универсальность “настройки” гидробионтов на этот диапазон;

- “поведенческие реакции” на воздействие неоднородным полем позволили выделить у исследовавшихся гидробионтов следующие биологически “активные” частоты, на которых формируется реакция “избегания” зоны с повышенной напряженностью поля:

- у ракообразных – 0,15-0,2 Гц и 7-8 Гц (при воздействии электрическим полем), причем при воздействии комбинированными полями (переменное+постоянное) диапазон “активных” частот претерпевает изменения;

- у карповых рыб – 0,7 Гц и 7 Гц (при воздействии магнитным полем);

- воздействие поля на биологически “активных” частотах формирует реакцию подавления двигательной активности у изучавшихся гидробионтов.

Описанные результаты показывают, что ЕЭМП, возбуждаемые при опасных гидрометеорологических процессах, могут служить для гидробионтов источником информации об этих процессах и должны рассматриваться как важный экологический фактор.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Степанюк И.А. Электромагнитные поля при аэро- и гидрофизических процессах. – СПб.: Изд-во РГМУ, 2002. – 214 с.
2. Протасов В.Р., Бондарчук А.И., Ольшанский В.М. Введение в электроэкологию. – М.: Наука, 1982. – 336 с.
3. Степанюк И.А., Зимин А.В., Бутов Д.М. Воздействие электромагнитных полей на гидробионтов // Рациональное использование прибрежной зоны северных морей: Материалы докладов I Межд. семинара, Кандалакша, 28 июля 1996 г. – СПб.: Изд-во РГГМИ, – 1996. – С. 43-46.
4. Муравейко В.М., Электросенсорные системы животных. Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1988. – 106 с.
5. Степанюк И.А., Андриященко А.Н., Зимин А.В., Чекмарев В.К. Электромагнитные факторы управления поведением гидробионтов в системах аквакультуры // Рациональное использо-

- вание прибрежной зоны северных морей: материалы докладов. II Международный семинар, Кандалакша, 3-5 августа 1997 г. – СПб. Изд-во РГГМИ, – 1998. – С. 207-211.
6. *Зимин А.В.* Воздействие электромагнитных полей на гидробионтов // Экология и проблемы защиты окружающей среды: Тез. докладов IV Всероссийской студенческой конференции. Красноярск, 24-25 апреля, 1997 г. Красноярск: Изд-во КрГУ, 1997. – С. 43.

**Зимин Алексей Вадимович**

Учреждение Российской академии наук Санкт-Петербургский научный центр РАН.

E-mail: zimin2@mail.ru.

199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д.5, тел.: (812)3283906.

Сектор прикладных поисковых программ, н.с., доцент, к.ф.-м.н.

**Zimin Alexey Vadimovich**

Saint-Petersburg research center of Russian Academy of sciences.

E-mail: zimin2@mail.ru.

5, Universitetskaya, Saint-Peterburg, 199034, Russia, Phone: (812)3283906.

Sector of applied search programs, the scientific employee, assistant professor, Cand. Sc.

**Родионов Анатолий Александрович**

Учреждение Российской академии наук Санкт-Петербургский филиал Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН

E-mail: sppp@spbrc.nw.ru.

199053, г. Санкт-Петербург, В.О., 1-ая линия, д.3 0, тел.: (812)3285759.

директор, засл. деят. науки РФ, проф. д.т.н.

**Rodionov Anatoly Alexandrovich**

Saint-Petersburg Department of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology

E-mail: sppp@spbrc.nw.ru.

30, 1-st Line, V.I., Saint-Peterburg, 199053, Russia, Phone: (812)3285759.

Director, the honoured worker of a science of the Russian Federation, professor, Dr. Sc.

**Покровская Наталья Евгеньевна**

Учреждение Российской академии наук Санкт-Петербургский научный центр РАН.

E-mail: spb100@mail.ru.

199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 5, тел.: (812)3283906.

Сектор прикладных поисковых программ, н.с.

**Pokrovskaya Nataliya Evgenievna**

Saint-Petersburg research center of Russian Academy of sciences.

E-mail: spb100@mail.ru.

5, Universitetskaya, Saint-Peterburg, 199034, Russia, Phone: (812)3283906.

Sector of applied search programs, the scientific employee.

УДК 681.883

**В.Т. Коваль, П.А. Волков, С.Б. Наумов**

**МЕХАНИКА КРОВООБРАЩЕНИЯ В ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ  
ДИАГНОСТИКЕ**

*Новые перспективы совершенствования лечебно-профилактического процесса видятся в сотрудничестве врачей и инженеров, математиков и программистов, представителей различных научных направлений.*

*Кровяное давление; волна давления; пульсирующий кровоток; эхокардиография.*