

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2018.41.211-214

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ СЕРЫХ ТЮЛЕНЕЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

А.П. Яковлев¹, В.Ф. Григорьев²

¹Мурманский морской биологический институт, г. Мурманск, Россия

²ФГБНУ "Полярный геофизический институт", г. Мурманск, Россия

Аннотация. Проведенные эксперименты показали, что при воздействии на серого тюленя искусственного электромагнитного поля на частотах Шумановских резонансов резко возрастает его двигательная активность, индекс активности и среднее количество кругов совершенное животным значительно выше, а время затраченное на совершение одного круга значительно ниже, относительно экспериментов с плацебо-контролем и фоновыми наблюдениями. Отмечено практически полное избегание животным выходов на помост при его экспозиции в искусственном электромагнитном поле. Подобное поведение можно объяснить тревожным реагированием животного, в ответ на его экспозицию в искусственном электромагнитном поле. Анализ полученных результатов может свидетельствовать о том, что естественные электромагнитные поля в области частот «Шумановских резонансов», возбуждаемые при многих опасных гидрометеорологических процессах, способны восприниматься серыми тюленями. Это позволяет им заблаговременно получать информацию о приближении опасных процессов, способных влиять на их жизнедеятельность, а также регулировать свою биоритмику.

Введение

Нормальные условия жизнедеятельности предполагают наличие обычного для организмов геомагнитного поля. Значительное снижение величины локального магнитного поля (МП) безразлично для организмов [1]. Исследования поведения живых организмов показали, что они способны воспринимать слабые электромагнитные поля, в частности магнитное поле Земли. В тоже время, наличие органа ответственного за магниторецепцию, доказано лишь у некоторых видов [2, 3].

Природные электромагнитные поля не только чрезвычайно малы по сравнению с техническими помехами, но и кажутся слишком слабыми для того, чтобы воздействовать на биохимические процессы в организме. Тем не менее, проблема возможного действия слабого магнитного поля достаточно актуальна [4]. Большинство эффективных для воздействия на живой организм частот электромагнитного поля находятся в интервале 0,01—60 Гц, так как именно в этом интервале частот находятся ритмы функционирования головного мозга, нервной системы, сердца и других систем организма [5].

Современные исследования в магнитобиологии установили, что геомагнитное поле следует рассматривать как фактор окружающей среды, имеющий потенциальную значимость для различных таксономических групп, независимо от типа физических механизмов биологического действия низкоинтенсивного электромагнитного поля [6]. Надежно установлено, что такие эффекты, как безошибочная ориентация многих видов животных во время их сезонных миграций, обусловлены взаимодействием геомагнитного поля с магнитосомами [7, 8]. В научной литературе было обосновано предположение о том, что наиболее вероятным из внешних источников синхронизации со средой обитания для гидробионтов является электромагнитное поле резонанса Земля – ионосфера, преимущественно в области частот 6-8 Гц. Ионосфера существует с древнейших времен и настройка гидробионтов на это поле представляется вполне естественной [9]. Амплитуда вариаций геомагнитного поля во время бурь составляет порядка 1 мкТл в полярных областях Земли и порядка 0,1 мкТл на средних и низких широтах, при величине геомагнитного поля в 30 - 50 мкТл [10, 11].

На базе биофизического исследовательского комплекса, созданного на базе Мурманского морского биологического института и Полярного геофизического института, было разработано устройство для исследования влияния искусственного электромагнитного поля на водные биологические объекты, с целью выявления биологических магнитных эффектов у представителей настоящих тюленей [12].

Цель исследований – выявление магнитных биологических эффектов, возникающих при экспозиции серых тюленей в искусственных электромагнитных полях на частотах Шумановских резонансов.

Объект и методы исследования

В качестве объекта для проведения экспериментальных исследований, была выбрана половозрелая самка (возраст 12 лет) серого тюленя (*Halichoerus grypus* Fabricius, 1791). Животное было транспортировано из

открытого вольерного аквакомплекса ММБИ, расположенного на акватории Кольского залива в биофизический исследовательский комплекс ММБИ-ППИ в городе Мурманск.

Биофизический исследовательский комплекс состоит из: помещения с чашей бассейна; изолированной аппаратной, имеющей отдельный вход, в которой установлено экспериментальное оборудование; двух подсобных помещений, в которых располагается система фильтрации воды и другое вспомогательное оборудование.

Источник электромагнитного поля включал в себя: задающий генератор с возможностью установить несущую частоту в диапазоне 0,01–36 Гц; излучающую антенну, огибающую чашу бассейна по периметру с образованием горизонтальной рамки. Напряженность искусственного электромагнитного поля синусоидальной формы, подаваемого на излучающую антенну, составляла 45–50 А/м.

Данные полученные в ходе проведения эксперимента были получены при помощи «метода сплошного протоколирования» и «метода регистрации отдельных поведенческих проявлений» [13]. В качестве регистрируемых поведенческих проявлений, при анализе видеоматериала, использовались следующие формы поведения: плавание под водой (апноэ), плавание на поверхности, отдых на помосте, несвойственные формы поведения (при наличии). Так же производилась регистрация частоты выполнения определенных движений за фиксированный промежуток времени (плавание по круговой траектории).

В качестве количественной оценки двигательной активности животного использовался «индекс активности», а также количественные показатели – среднее число кругов под водой и среднее время, которое затрачивает тюлень на совершение одного круга [14].

Для выявления биологических эффектов, возникающих при экспозиции серых тюленей в искусственных электромагнитных полях на частотах Шумановских резонансов и при длительной экспозиции, была проведена серия из 5 экспериментов по воздействию искусственных электромагнитных полей с частотой 8 Гц на серого тюленя, длительностью 7 часов каждый. Фоновые наблюдения и эксперимент с плацебо-контролем продолжались по 4 часа, в трехкратной повторности. Для оценки динамики и характера изменений количественных показателей двигательной активности животного во время экспозиции животного в электромагнитном поле и после прекращения его воздействия, проводились наблюдения непосредственно до воздействия электромагнитного поля и сразу же после экспозиции.

При обработке полученных данных применена описательная статистика. Для оценки достоверности различий между полученными массивами данных использовался U-критерий Манна – Уитни. Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с помощью программного обеспечения Microsoft Excel (Microsoft, USA) и Statistica 6.0 (StatSoft, USA).

Результаты и обсуждение

Нами было рассчитано процентное соотношение времени проведенного тюленем под водой, на поверхности и на помосте, от общего бюджета времени наблюдения для каждой серии экспериментов (рис. 1). Оказалось, что при фоновых наблюдениях и в экспериментах с плацебо-контролем, фиксируются довольно частые выходы тюленя на помост, а время, проведенное им на помосте, достигает 2,12% от общего времени наблюдения в эксперименте с плацебо-контролем и 2,34% при фоновых наблюдениях. Напротив, при экспозиции животного в электромагнитном поле с частотой 8 Гц, общее время, проведенное им на помосте, составило всего 0,17% от общего времени наблюдения.

По всей видимости, такая картина может быть связана с тем, что ластоногие на суше менее подвижны, чем в воде. Обычно, тюлени реагируют на приближение наземного хищника или человека путем ухода в воду. Такая реакция животных говорит о том, что водная среда является для ластоногих более безопасной, относительно наземной, в воде они имеют больше шансов уйти от опасности, или неблагоприятного внешнего фактора [15].

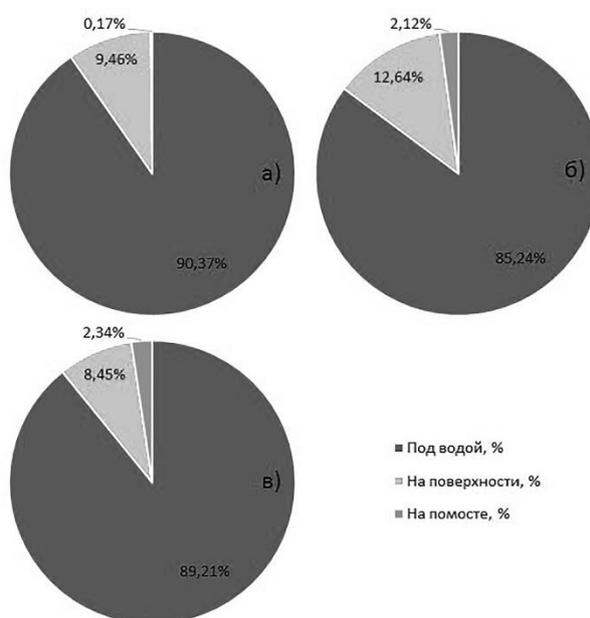


Рисунок 1. Процентное соотношение времени проведенного тюленем под водой, на поверхности и на помосте, от общего бюджета времени наблюдения. а) – эксперименты с генерацией электромагнитного поля частотой 8 Гц; б) – эксперименты с плацебо-контролем; в) – фоновые наблюдения.

Время, проведенное тюленем под водой и на поверхности, незначительно варьировало в экспериментах с генерацией электромагнитного поля и при плацебо-контроле, а также при фоновых наблюдениях (см. рис. 1). Количественная оценка двигательной активности необходима для получения объективных данных при определении влияния различных факторов на поведение тюленей. Для более полного представления о количественных характеристиках уровня двигательной активности тюленей было введено понятие «индекс активности» – отношение проявления активности к числу регистрации отсутствия двигательной активности [14].

В табл. 1 приведена динамика изменения «индекса активности» и количественных параметров двигательной активности тюленя. В период наблюдения «до воздействия электромагнитного поля» индекс активности составил 2,2, среднее число кругов за 1 минуту, совершаемых тюленем, составило $4,1 \pm 0,2$, а среднее время, за которое совершался один круг, составило $10,7 \pm 0,5$ секунды. Во время экспозиции тюленя в электромагнитном поле с частотой 8 Гц индекс активности вырос более чем в 3 раза и составил 6,7, среднее число кругов за 1 минуту выросло до $7,6 \pm 0,4$, а среднее время на один круг сократилось до $6,8 \pm 0,3$ секунды. Рост индекса активности и увеличение числа кругов, при сокращении времени на их совершение, говорит о достаточно резком повышении двигательной активности, животное значительно интенсивней передвигалось по периметру бассейна. Подобное явление можно связать с тревожным реагированием или возникшим беспокойством животного, на фоне воздействия электромагнитного поля.

Таблица 1. Индекс активности и количественные показатели двигательной активности серого тюленя до, во время и после экспозиции в электромагнитном поле, во время фоновых наблюдений и экспериментов с плацебо-контролем.

	Число наблюдений	Время, %		Индекс активности	Среднее число кругов за 1 минуту	Среднее время на 1 круг, с
		Зависание на поверхности и в толще воды	Движение по круговым траекториям			
До воздействия ЭМП	134	31,63	68,37	2,2	$4,1 \pm 0,2$	$10,7 \pm 0,5$
Во время экспозиции в ЭМП	156	13,06	86,94	6,7	$7,6 \pm 0,4$	$6,8 \pm 0,3$
После воздействия ЭМП	183	27,39	72,61	2,7	$4,6 \pm 0,3$	$9,5 \pm 0,7$
Плацебо-контроль	165	38,24	61,76	1,6	$4,6 \pm 0,2$	$11,5 \pm 0,5$
Фоновые наблюдения	181	45,80	54,20	1,2	$2,9 \pm 0,3$	$11,3 \pm 0,8$

В период «после воздействия электромагнитного поля» наблюдалось достаточно резкое снижение индекса активности, практически до первоначального уровня, так же снизилось среднее количество кругов, совершаемых тюленем за 1 минуту, и увеличилось время, затрачиваемое на их совершение. Такая динамика индекса активности и количественных параметров двигательной активности свидетельствует о достаточно интенсивном характере влияния экспозиции в электромагнитном поле с частотой 8 Гц на серого тюленя. При этом изменения в поведении наблюдаются именно во время экспозиции, достаточно резко угасая после прекращения воздействия электромагнитного поля.

Сравнение распределений значений индекса активности и среднего количества кругов, совершаемых тюленем за 1 минуту, для периодов «До воздействия электромагнитного поля» - «Во время воздействия электромагнитного поля», «Во время воздействия электромагнитного поля» - «После воздействия электромагнитного поля» и «До воздействия электромагнитного поля» - «После воздействия электромагнитного поля», по U -критерию Манна – Уитни в экспериментах с генерацией электромагнитного поля с частотой 8 Гц, выявило достоверные различия ($U_{кр}=4$; $U_{ЭМП}=0$) всех полученных данных, при $p < 0,05$.

В экспериментах с плацебо-контролем и при фоновых наблюдениях индекс активности находился на низком уровне и составил 1,6 и 1,2, соответственно, что сопоставимо с индексом активности животного во время наблюдений в период «До воздействия электромагнитного поля». Среднее число кругов за 1 минуту и время, затрачиваемое на их совершение, так же находятся в сопоставимых диапазонах, исключая период воздействия электромагнитного поля на серого тюленя и период после воздействия (см. табл. 1).

При оценке достоверности различий распределений значений индексов активности и среднего числа кругов, совершаемых тюленем за 1 минуту, в экспериментах с воздействием электромагнитного поля с частотой 8 Гц, плацебо-контроле и при фоновых наблюдениях по U -критерию Манна – Уитни, достоверно различаются данные полученные в экспериментах с воздействием электромагнитного поля и плацебо-контролем ($U_{кр}=1$; $U_{ЭМП}=0$) и экспериментах с воздействием электромагнитного поля и фоновыми наблюдениями ($U_{кр}=1$; $U_{ЭМП}=0$), при $p < 0,05$. В экспериментах с плацебо-контролем и при фоновых

наблюдениях достоверных различий распределений полученных данных не обнаружено ($U_{кр}=0$; $U_{Эмп}=0,5$), при $p < 0,05$.

Таким образом, количественные характеристики двигательной активности и индекс активности дают более детальную картину поведения животного в период наблюдения за ним, как во время экспериментов, так и во время фоновых наблюдений.

Выводы

Проведенные эксперименты выявили следующие биологические магнитные эффекты, возникающие в ответ на экспозицию серого тюленя в искусственном электромагнитном поле с частотой 8 Гц:

– отмечено практически полное избегание животным выходов на помост, а общее время, проведенное тюленем на нем за весь период наблюдений составляет 0,17%, что практически в 14 раз меньше, чем в экспериментах с плацебо-контролем и при фоновых наблюдениях.

– индекс активности и среднее количество кругов, совершенное тюленем значительно выше, а время, затраченное на совершение одного круга значительно ниже при экспозиции животного в электромагнитном поле с частотой 8 Гц, чем при фоновых наблюдениях, экспериментах с плацебо-контролем и наблюдениях непосредственно «До воздействия электромагнитного поля».

Литература

1. Бинги В.Н. 2012. Два типа магнитных биологических эффектов: индивидуальный и групповой. *Биофизика*. 57(2): 338-345.
2. Jungerman R.L., Rosenblum B. 1980. Magnetic induction for the sensing of magnetic fields- An analysis. *Journal of Theoretical Biology*. 87: 25.
3. Бинги В.Н., Миляев В.А., Чернавский Д.С., Рубин А.Б. 2006. Парадокс магнитобиологии: анализ и перспективы решения. *Биофизика*. 51(3): 553-559.
4. Бреус Т.К., Бинги В. Н., Петрукович А. А. 2016. Магнитный фактор солнечно-земных связей и его влияние на человека: физические проблемы и перспективы. *Успехи физических наук*. 186(5): 568-576. doi: 10.3367/ufnr.201512037693
5. Хабарова О.В. 2002. Биоэффективные частоты и их связь с собственными частотами живых организмов. *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*. 5: 56-66.
6. Киршвинк Дж., Джонс Д., Мак-Фадден Б. 1989. *Биогенный магнетит и магниторецепция. Новое о биомагнетизме*: В 2-х томах, Т.1. Москва, изд-во Мир: 352 с.
7. Walker M.M., Dennis T.E., Kirschvink J.L. 2002. The magnetic sense and its use in long-distanse navigation by animals. *Current Opinion in Neurobiology*. 12: 735-744.
8. Zapka M., Heyers D., Hein C.M., Engels S., Schneider N.L., Hans J., Weiler S., Dreyer D., Kishkinev D., Wild J.M., Mouritsen H. 2009. Visual but not trigeminal mediation of magnetic compass information in a migratory bird. *Nature*. 461: 1274–1277.
9. Муравейко А.В., Степанюк И.А., Муравейко В.М., Фролова Н.С. 2013. Эффекты влияния электромагнитных полей в области "шумановских резонансов" на активность гидробионтов. *Вестник МГТУ*. 16(4): 764-770.
10. Паркинсон У. 1986. *Введение в геомагнетизм*. Москва, изд-во Мир: 525 с.
11. Цветков Ю.П., Зайцев А.Н., Одинцов В.И., Хао Ч.К., Тхоа Н.Т.К. 1998. Сопоставление магнитных вариаций в экваториальной зоне и полярной шапке для магнитной бури 13 марта 1989 г. *Геомагнетизм и аэрономия*. 38(2): 74-84.
12. Терещенко Е.Д., Григорьев В.Ф. 2016. Устройство для исследования влияния искусственного электромагнитного поля на водные биологические объекты: Патент на полезную модель № 166414 Рос. Федерация, МПК51 G 01 R 1/00 (2006/01). Заявка № 2016125093; приоритет изобретения 22.06.2016; Срок действия патента 22.06.2026, опубл. 27.11.2016, Бюл. № 33.
13. Попов С.В., Ильченко О.Г. 1990. *Методические рекомендации по этологическим наблюдениям за млекопитающими в неволе*. Москва, изд-во Московского Зоопарк: 77 с.
14. Кавцевич Н.Н., Михайлюк А.Л., Березина И.А., Юрко А.С. 2007. Экспериментальное изучение поведения тюленей. В кн.: *Экспериментальные исследования морских млекопитающих в условиях Кольского залива*. Под ред. Г.Г. Матишова. Апатиты, изд-во КНЦ РАН: 194-230.
15. Peter L. Tyack 2002. *Behavior*. Encyclopedia of marine mammals. William F. Perrin, Bernd Würsig, J.G.M. Thewissen (eds.). California, Academic Press San Diego: 87-94.