

УДК 57.045

А. П. Яковлев, А. Л. Михайлюк, В. Ф. Григорьев

Оценка изменений параметров поведения серого тюленя при воздействии на него электромагнитных полей экстремально низких частот в диапазоне 0,01–36 Гц

A. P. Yakovlev, A. L. Mikhailyuk, V. F. Grigor'ev

Evaluation of changes in the behavior of the grey seal exposed to the electromagnetic field of extremely low frequencies (0.01–36 Hz)

Аннотация. Представлены первичные результаты исследований влияния низкочастотных электромагнитных полей (ЭМП) на поведение серого тюленя. Определены частотные характеристики ЭМП, при воздействии которых изменения в поведении животного наиболее отклоняются от фоновых показателей. Разработана методика проведения эксперимента и предложены критерии оценки изменений в поведении серых тюленей в ответ на воздействие электромагнитных полей с экстремально низкими частотными характеристиками.

Abstract. The paper presents the initial results of researching influence of low frequency electromagnetic field on the behavior of the grey seal. The authors have defined the frequency characteristics of the electromagnetic field which being exposed cause the changes in the behavior of the animal (the greatest deviation from the background values). The methodology of the experiment has been worked out and the criteria of evaluation of changes in the grey seal behavior in response to the electromagnetic field exposure with extremely low frequency characteristics have been proposed.

Ключевые слова: серые тюлени, электромагнитное поле, поведение, воздействие.
Key words: grey seals, electromagnetic field, behavior, influence.

Введение

Магнитные поля, в том числе и геомагнитное поле, являются важным абиотическим фактором, оказывающим различное влияние на поведение и состояние живых объектов. Интерес к ЭМП с низкими и сверхнизкими частотными характеристиками обусловлен тем, что эти частоты попадают в диапазон собственных колебаний биотоков, генерируемых в организмах животных. Большинство эффективных для воздействия на живой организм частот ЭМП находятся в интервале 0–60 Гц, поскольку оказывают влияние на процессы, происходящие на клеточном и молекулярном уровнях, совпадают с собственными ритмами функционирования головного мозга, нервной системы, сердца и других систем организма. На сегодняшний день доказан и подробно описан механизм магниторецепции у представителей птиц [1], рыб [2], рептилий [3] и ряда других животных [4], обнаружены магнитотаксисы у бактерий [5]. Ряд исследований достоверно установили влияние магнитных полей на физиологические процессы: селективный перенос ионов через мембраны [6], ориентацию полюсов клеток при митотическом и мейотическом делении [7], магнитоориентированность делящейся зиготы на разных стадиях эмбриогенеза у разных видов животных [8], обострение кардио- и нейропатологий у человека в период магнитных бурь [9].

Отдельный интерес для исследования влияния магнитных полей на физиологические процессы представляют ластоногие, обитающие в Арктическом регионе. Из-за близости к северному магнитному полюсу интенсивность глобальных магнитных бурь и естественных колебаний геомагнитного поля в этом регионе на порядок превосходит показатели экваториальных областей. Для Арктики также характерны локальные суббури и пульсации [10].

Таким образом, арктические ластоногие подвержены воздействию мощных электромагнитных полей с различными пространственно-временными и частотно-амплитудными характеристиками. Одной из первых ответных реакций организма животного на возникающие изменения параметров абиотических факторов, в том числе и электромагнитного поля, является изменения в его поведении.

Изучение влияния магнитных полей на поведение ластоногих связано с рядом трудностей. Труднодоступность мест обитания ластоногих и их образ жизни исключают возможность проведения данных исследований в естественной среде. Оборудование, способное генерировать электромагнитные поля, близкие по характеристикам геомагнитному полю, недоступно большинству исследователей физиологии ластоногих и требует для эксплуатации специфических инженерно-физических знаний и навыков. Совместно со специалистами Полярного геофизического института КНЦ РАН был создан экспериментальный стенд для изучения влияния низкочастотных электромагнитных полей (нчЭМП) на поведение настоящих тюленей.

Вопрос о магниторецепции и магнитонавигации у настоящих тюленей, обитающих в Арктике, до сих пор остается дискуссионным. С одной стороны, например, анализ траектории миграции гренландского тюленя в открытых водах Баренцева моря [11] показывает наличие протяженных прямых участков пути при фактическом отсутствии визуальных ориентиров, что позволяет логично предположить наличие магнитонавигационной системы у этих животных. С другой стороны, ряд эпизодических исследований, представленных в научной литературе, отражает лишь воздействие магнитных полей на отдельные физиологические или поведенческие показатели [12–15]. Стоит отметить, что полномасштабных и комплексных работ, касающихся изучения магниторецепции ластоногих или степени воздействия ЭМП на их физиологию и поведение, в современной научной литературе не представлено.

Последовательное комплексное изучение влияния ЭМП на физиологию и поведение арктических ластоногих позволит ответить на ряд вопросов, связанных:

1) с обнаружением у настоящих тюленей магниторецепции: способны ли настоящие тюлени воспринимать ЭМП и каковы механизмы этого восприятия;

2) миграцией ластоногих: используют ли ластоногие магнитонавигацию; и если да, то возможно ли корректировать их маршруты миграции искусственно сгенерированными магнитными полями;

3) креплением на ластоногих устройств спутникового позиционирования и сбора физиологических данных: как электромагнитные сигналы и наводки от этих устройств будут влиять на физиологию и поведение исследуемых ластоногих; насколько электромагнитные поля от этих устройств изменяют естественное поведение животных;

4) эксплуатацией биотехнических систем двойного назначения, в которых главным рабочим элементом являются ластоногие, вблизи источников сильных электромагнитных полей и магнитных аномалий: насколько надежна и отказоустойчива в данных условиях биосистема; какое оборудование и меры следует интегрировать в биосистему, чтобы нивелировать воздействие магнитных полей на рабочий элемент.

Цель данных исследований – получение первичных данных о возможности выявления изменений в поведении настоящих тюленей при воздействии на их организм ЭМП с различными частотными характеристиками.

Объект и методы исследования

Объект исследования – половозрелая самка серого тюленя (*Halichoerus grypus* Fabricius, 1791) в возрасте девяти лет. Животное было отловлено в 2005 г., содержалось в условиях открытого вольерного аквакомплекса ММБИ (Кольский залив), которые фактически идентичны естественным. В подобных условиях содержания данный тюлень имеет минимальные физиологические отклонения от своих диких сородичей.

Исследования проводились в аквариальной, оборудованной бассейном (объем чаши 35 м³) (рис. 1). Центральная часть бассейна была оснащена деревянным помостом (120 × 60 см), расположенным на уровне среза воды. По периметру борта чаши располагалась излучающая нЧЭМП антенна, подключенная к задающему генератору, установленному в аппаратной.

Температурный режим в аквариальной был установлен в пределах 16 ± 2 °С, продолжительность светового периода составляла девять часов. Бассейн был заполнен пресной водой. Кормление животного осуществлялось два раза в день, в утреннее и вечернее время. На протяжении всего периода исследования тюлень получал одинаковое по весу и составу количество корма.

Искусственное магнитное поле генерировалось с помощью разработанного сотрудниками ПГИ КНЦ РАН экспериментального источника ЭМП с возможностью генерации поля напряженностью, в 1,5–2 раза превышающей напряженность геомагнитного поля. Состав источника ЭМП включает задающий генератор с перестраиваемой несущей частотой в диапазоне от 0,01 до 36 Гц и излучающую антенну, огибающую бассейн по периметру с образованием горизонтальной рамки (рис. 1).

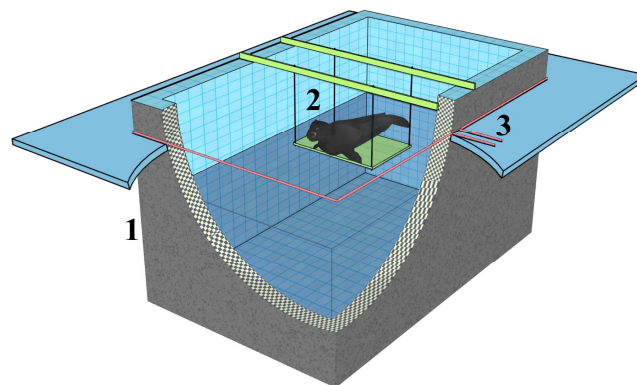


Рис. 1. План-схема бассейна аквариальной с излучающей нЧЭМП антенной: 1 – чаша бассейна; 2 – помост; 3 – излучающая нЧЭМП антенна

Наблюдение за испытуемым животным осуществлялось посредством камеры наружного наблюдения (корпусной видеокamеры WAT-137LH с объективом TG2Z3514FCSComputar 1/3", 3,5–8,0 мм, APD-DD, 77–35°, в термокожухе SVS26). Видеоматериал записывался с помощью TV-тюнера kWorld, установленного на персональный компьютер. Видеонаблюдение велось в течение трех часов (с 13.00 до 16.00) на протяжении 26 дней.

Задающий ЭМП генератор, система видеонаблюдения и другое исследовательское оборудование располагалось в отдельном помещении, контакт животного с человеком во время проведения экспериментов был исключен.

Экспериментальные данные были получены с использованием следующих методов: сплошного протоколирования (непрерывная и максимально полная запись всех действий животного) и регистрации отдельных поведенческих проявлений (во время наблюдения фиксируются все случаи проявления изучаемых действий) [16]. Продолжительность воздействия на животное нчЭМП составляла 20 минут в течение второго часа наблюдения, воздействие осуществлялось каждый день, кроме дней фоновых наблюдений. Фоновые значения – усредненный результат за четыре дня наблюдений. При обработке видеоматериала учитывались следующие поведенческие проявления: нахождение животного под водой, нахождение животного на поверхности, выход на помост, специфические позы и движения (при наличии).

Была проведена серия экспериментов по воздействию на тюленя электромагнитного поля (частоты 0,01; 0,1; 1; 2–36 Гц с шагом в 2 Гц). Повышение частоты ЭМП происходило последовательно, от 0,01 до 36 Гц. Период наблюдения за животным составлял три часа и был разбит на три временных отрезка (по одному часу). Первый час наблюдения был фоновым (до воздействия ЭМП). Непосредственное воздействие на животное нчЭМП осуществлялось со второго часа наблюдения. Третий час отражал динамику в поведении животного после окончания воздействия искусственно генерируемого электромагнитного поля, т. е. животное возвращалось в зону с естественными характеристиками магнитных полей.

Результаты и обсуждение

В литературных источниках практически отсутствуют данные, касающиеся оценки влияния низкочастотных электромагнитных полей на представителей отряда ластоногих (*Pinnipedia*). Наиболее целесообразным и простым в использовании неинвазивным методом изучения реакции организма животного в ответ на изменения условий среды является метод наблюдения. Акты всплытия-погружения физиологически закреплены в общей картине поведения ластоногих, поскольку продиктованы необходимостью дыхания животных. Основным критерием оценки изменения поведения тюленя был выбран показатель частоты всплытий в минуту как наиболее стабильный и легко регистрируемый акт поведения, отражающий активность животного в данный промежуток времени. На рис. 2 представлены данные, отражающие усредненное количество всплытий в минуту в течение каждого из трех временных отрезков.

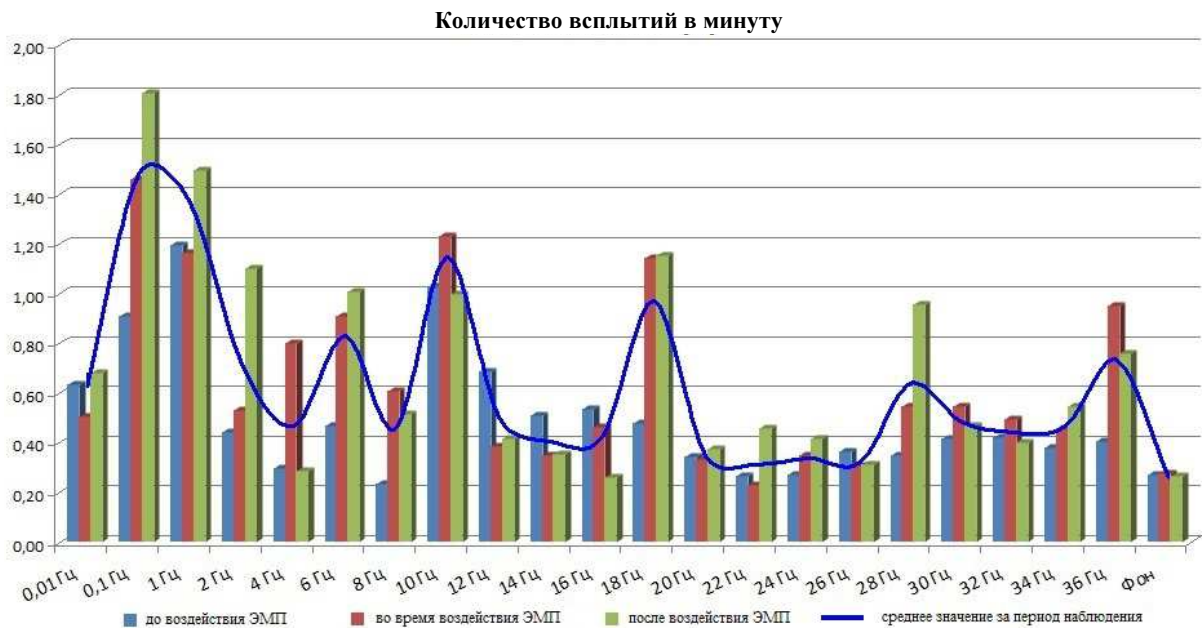


Рис. 2. Усредненные значения всплытий, совершаемых тюленем за одну минуту

До воздействия ЭМП параметр частоты всплытий в минуту значительно варьировал, достигая максимальных значений в экспериментах с генерируемыми частотами 1 и 10 Гц (1,19 и 1,03 актов в минуту соответственно). Минимальные показатели отмечались при фоновых наблюдениях (0,27 акта в минуту) и в экспериментах с частотами 22 и 24 Гц (0,26 и 0,27 акта в минуту соответственно).

Во время воздействия низкочастотного ЭМП количество всплытий значительно изменялось от эксперимента к эксперименту и носило волнообразный характер (рис. 2). Максимальные значения наблюдались при частотах 0,1; 10 и 18 Гц (1,46; 1,23 и 1,14 акта в минуту соответственно). Минимальное количество всплытий было зафиксировано при генерации частот 22–26 Гц (0,23–0,35 акта/мин), а также при фоновых наблюдениях (0,28 акта/мин).

Третий час наблюдений характеризовался тремя основными типами изменений в поведении тюленя. Первый тип – количество актов всплытий за минуту возрастало до уровня, что и при воздействии низкочастотных ЭМП. Второй – количество всплытий увеличивалось в 1,5–2,5 раза по сравнению с периодом воздействия (0,01–2; 18; 28 Гц). Третий – количество актов всплытия в минуту снижалось в 0,5–1,5 раза по сравнению с периодом воздействия нчЭМП (4, 8, 16, 36 Гц). Во время фоновых наблюдений данный показатель находился практически на одном уровне до, во время и после воздействия нчЭМП.

Важно отметить, что именно в течение периода воздействия на подопытное животное электромагнитных полей, имеющих частоты 4–12; 16–18; 32–36 Гц, отмечались нехарактерные поведенческие акты: увеличение числа выходов на помост; тюлень, опираясь на хвост, вытягивал голову над водой; животное топорило вибриссы и совершало движения челюстями, напоминающими укусы. В отсутствие генерации искусственного нчЭМП подобных поведенческих актов не зарегистрировано.

Ниже приведены ритмограммы, отражающие количество актов всплытия-погружения и их продолжительность, для каждого из трех часов наблюдения при воздействии на тюленя электромагнитных полей, имеющих частоты 2, 18 и 36 Гц, а также фоновая ритмограмма. Подробное рассмотрение влияния именно этих частот обусловлено ростом активности животного на протяжении второго и третьего часа наблюдения более чем в два раза по сравнению с первым часом наблюдения, а также значительным отклонением рассчитанных показателей от фоновых. Детальное рассмотрение ритмограмм позволяет выделить периоды отдыха и активности животного, а также интенсивность процесса перехода из одного состояния в другое.

В эксперименте с генерируемым ЭМП частотой 2 Гц (рис. 3) в течение первого часа наблюдения поведение животного характеризовалось равномерным чередованием длительных (30–50 секунд на поверхности и 100–250 секунд под водой) и кратковременных (3–7 секунд на поверхности и под водой) актов всплытия-погружения. За час животное совершило 27 актов всплытия. После включения ЭМП поведенческая картина стала меняться. Участились кратковременные всплытия, время нахождения под водой сократилось, общее количество актов всплытия выросло до 33. Наблюдалось постепенное повышение активности тюленя. В течение третьего часа наблюдения животное совершило 62 всплытия, т. е. его активность выросла в два раза. Отмечались длительные периоды отдыха под водой, достигавшие 4 минут 18 секунд, чередовавшиеся с кратковременными всплытиями (1–5 секунд), сопровождающимися активным плаванием.

В эксперименте с генерируемым ЭМП частотой 18 Гц (рис. 4) в начале первого часа наблюдений животное продолжительное время (до 8 минут 01 секунды) находилось под водой, совершая непродолжительные всплытия для дыхания длительностью от 2 до 32 секунд. Всего в течение первого часа было совершено 29 всплытий, что свидетельствует о спокойном, размеренном поведении тюленя. Во время второго часа наблюдений происходило воздействие на животное ЭМП частотой 18 Гц; его активность резко выросла. Всего зарегистрировано 75 актов всплытий. Подавляющее число всплытий длилось от 1 до 5 секунд. Длительность погружений в основном не превышала 1 минуты 30 секунд, однако к завершению часа были отмечены периоды отдыха животного под водой длительностью 4–8 минут. Третий час наблюдений характеризовался двумя промежутками времени с длительными периодами отдыха под водой, чередующимися с кратковременными всплытиями. Однако между ними активность животного возросла. Всего было зафиксировано 64 акта всплытия.

В эксперименте с генерируемым ЭМП частотой 36 Гц (рис. 5) на протяжении первого часа наблюдений фиксировались длительные (от 1 до 5 минут) периоды нахождения под водой, чередующиеся с всплытиями по 50–100 секунд. Зарегистрировано 26 всплытий, что свидетельствует о невысокой активности животного. После включения ЭМП во втором часе наблюдения характер поведения изменился в сторону повышения активности. Зафиксировано 66 актов всплытий. В течение третьего часа зафиксировано 44 всплытия. Периоды длительных всплытий и погружений чередовались с активным плаванием тюленя.

При анализе фоновых наблюдений (рис. 6) фиксировались длительные акты погружений (от 160 до 370 секунд) и кратковременные всплытия (20–50 секунд), чередовавшиеся в каждом часе наблюдений с непродолжительными периодами повышенной активности животного с кратковременными всплытиями и погружениями длительностью 1–7 секунд. За первый час наблюдений зафиксировано 14 всплытий, за второй – 18 и за третий час – 15. Низкая двигательная активность и продолжительные апноэ в течение всего периода наблюдения характеризуют поведение животного как спокойное.

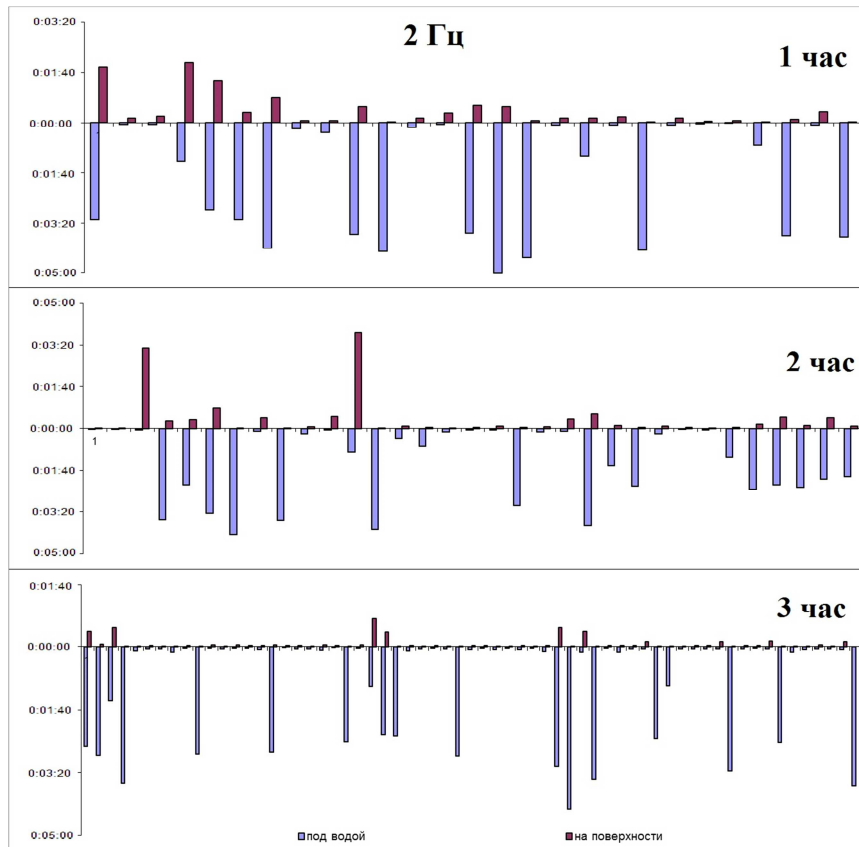


Рис. 3. Ритмограмма всплывтий-погружений тюленя в течение трех часов наблюдения при воздействии на него ЭМП частотой 2 Гц

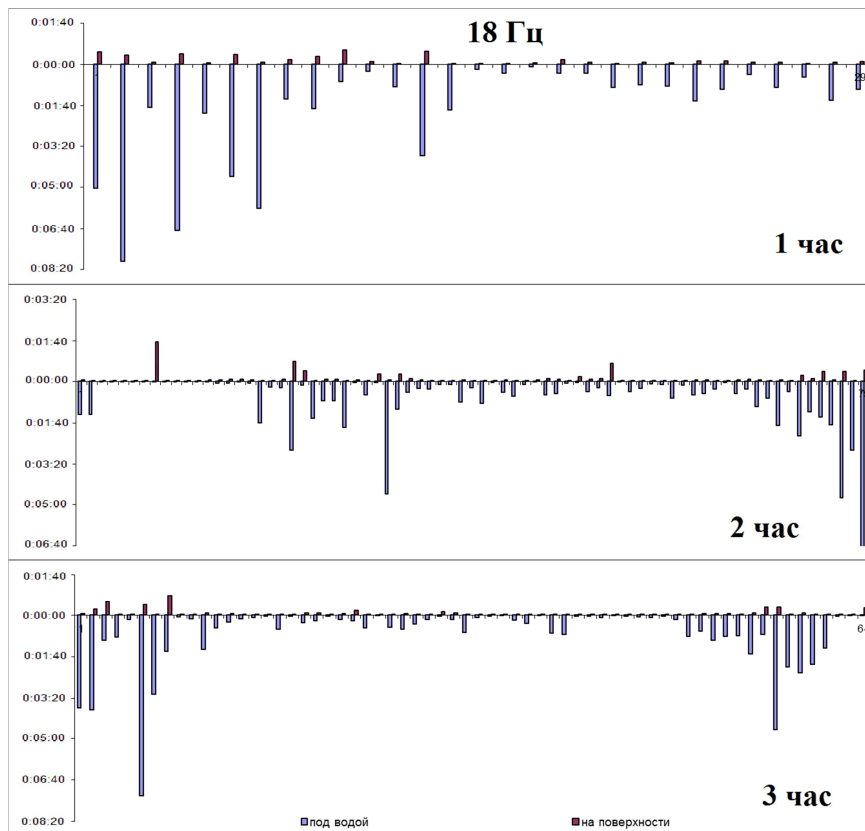


Рис. 4. Ритмограмма всплывтий-погружений тюленя в течение трех часов наблюдения при воздействии на него ЭМП частотой 18 Гц

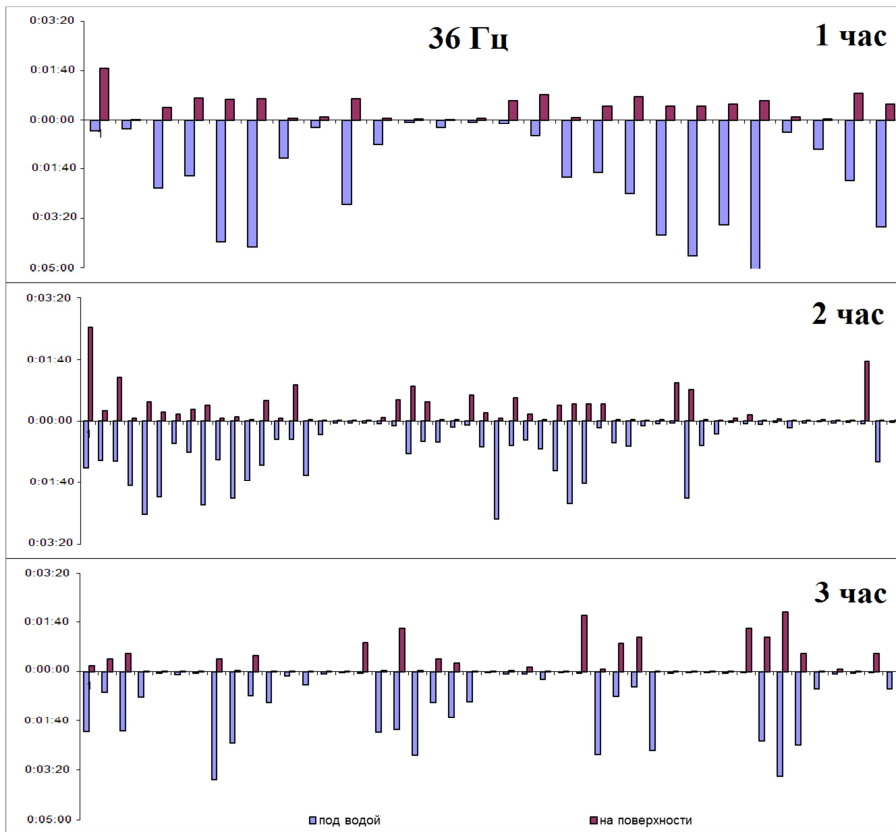


Рис. 5. Ритмограмма всплытий-погружений тюленя в течение трех часов наблюдения при воздействии на него ЭМП частотой 36 Гц

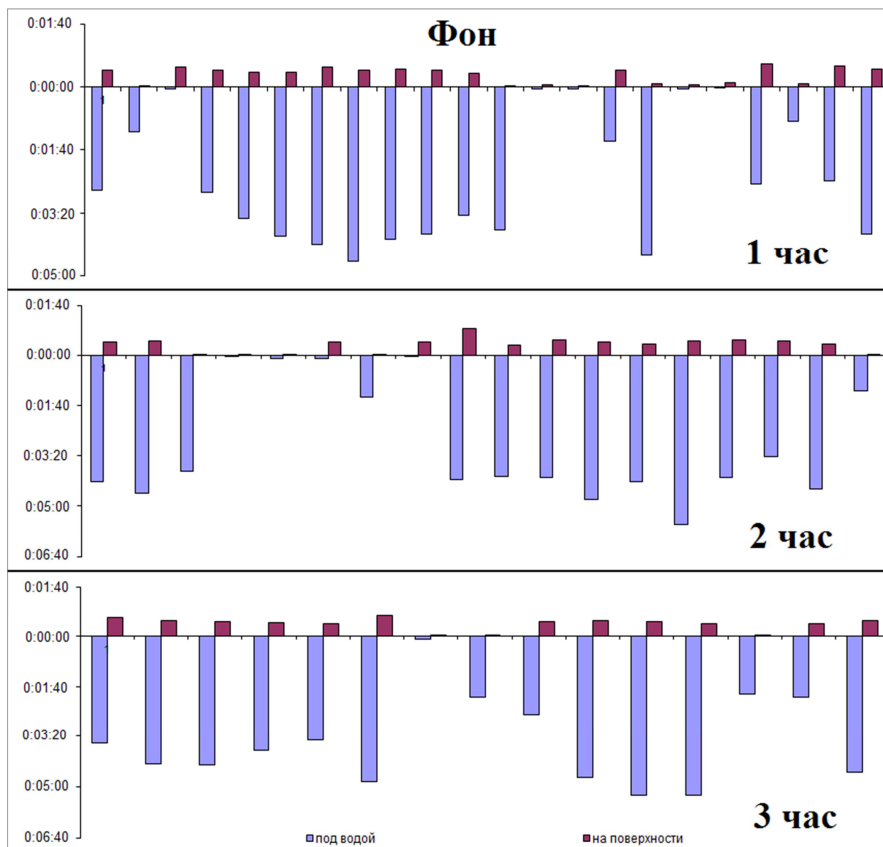


Рис. 6. Ритмограмма всплытий-погружений тюленя в течение трех часов наблюдения при отсутствии воздействия на него искусственно генерируемых ЭМП (фоновые наблюдения)

Заключение

Наблюдение неспецифических поведенческих актов и данные о количестве актов всплытий в минуту позволили выделить ряд частот (2–8; 16–20; 34–36 Гц), при воздействии которых наблюдались значительные отклонения рассчитанных показателей от их фоновых значений.

Следует отметить, что при детальном рассмотрении активности животного в течение 3-часового периода наблюдения отчетливо прослеживается следующая модель поведения: период до воздействия ЭМП характеризуется относительно равномерным числом актов всплытий-погружений и низкой активностью животного; во время воздействия ЭМП активность животного возрастает, среднее время его нахождения на поверхности увеличивается; в период после окончания воздействия ЭМП наблюдается постепенное затухание активности тюленя, уменьшение числа актов всплытий, намечается тенденция к стабилизации поведенческих реакций. Напротив, при рассмотрении фоновой ритмограммы на протяжении трех часов наблюдается стабильно низкая двигательная активность животного, не сопровождающаяся резкими увеличениями количества актов всплытий.

Рассчитанное среднее время, проведенное животным под водой, на поверхности и на помосте, значительно варьирует как в большую, так и в меньшую сторону относительно фоновых значений. По-видимому, это может быть связано как с особенностями поведения конкретного животного в данный промежуток времени, так и с угнетающим или возбуждающим эффектом воздействия низкочастотных электромагнитных полей на организм животного.

Проведенные эксперименты показали, что при генерации ЭМП с частотными характеристиками 2–8; 16–20; 34–36 Гц наблюдаются рост возбуждения животного и появление неспецифических поведенческих актов.

Для более детального понимания процессов, происходящих при воздействии на особь серого тюленя низкочастотных электромагнитных полей, необходимо продолжить исследования в данном направлении.

Библиографический список

1. Wiltschko R., Wiltschko W. Avian navigation: from historical to modern concepts // *Animal Behaviour*. 2003. V. 65. P. 257–272.
2. Walker M. M., Kirschvink J. L., Dizon A. E. Magnetoreception and magnetite biomineralization in fish / J. Kirschvink, McFadden (eds.), *ibid*, 1985. P. 417–437.
3. Cain S. D., Boles L. C., Wang J. H., Lohmann K. J. Magnetic orientation and navigation in marine turtles, lobsters, and molluscs: concepts and conundrums // *Integrative and Comparative Biology: Oxford Journals*. 2005. V. 45. Iss. 3. P. 539–546.
4. Муравейко В. М. Электросенсорные системы животных. Апатиты : Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1988. 110 с.
5. Stolz J. F., Chang S-B. R., Kirschvink J. S. Magnetotactic bacteria and single-domain magnetite in hemipelagic sediments // *Nature*. 1986. V. 321. P. 849–851.
6. Liboff A. R., McLeod B. R. Kinetics of channelized membrane ions in magnetic fields // *Bioelectromagnetics*. 1988. V. 8. P. 39–51.
7. The influence of a magnetic field on chromosome sets and cell division / M. T. Tsoneva, P. R. Penchev, G. B. Karev, S. S. Gishin // *Genetika*. 1975. V. 11, N 3. P. 153–160.
8. Embryological changes induced by weak, extremely low frequency electromagnetic fields / J. M. R. Delgado, J. Leal, J. L. Monteagudo, M.G. Gracia // *J. Anatomy*. 1982. V. 134. P. 533–551.
9. Стерликова И. В. Роль геомагнитных пульсаций с частотным диапазоном, близким к биоритмам, в статистике сердечно-сосудистых и нервных заболеваний: деп. в ВИИМИ, 1990. № Д-18353. 24 с.
10. Паркинсон У. Введение в геомагнетизм. М. : Мир, 1986. 525 с.
11. Моисеев Д. В., Духно Г. Н. Геоинформационный анализ передвижений арктических ластоногих со спутниковыми метками // *Дистанционные методы в зоологии : мат. науч. конф., 28–29 ноября 2011 г., М., 2011. С. 54.*
12. Влияние стресса и магнитного поля на сердечную деятельность гренландского тюленя *pagophilus groenlandicus* / Г. Г. Матишов, В. М. Муравейко, А. С. Гладких, А. В. Муравейко // *Доклады Академии наук*. 2004. Т. 397, № 4. С. 558–562.
13. Kirschvink J. L., Dizon A. E., Westphal J. A. Evidence from strandings for geomagnetic sensitivity in Cetaceans // *J. Experimental Biology*. 1986. V. 120. P. 1–24.
14. Kirschvink J. L. Geomagnetic sensitivity in cetaceans: an update with the U.S. live stranding records / J.A. Thomas, R. Kastelein (eds.), *Sensory Abilities of Cetaceans*, Plenum Press, New York, 1990. P. 639–649.
15. Behavioural evidence of magnetoreception in dolphins: detection of experimental magnetic fields / D. Kremers, L. J. Marulanda, M. Hausberger, A. Lemasson // *Naturwissenschaften*. 2014. V. 101. Iss. 11. P. 907–918.
16. Попов С. В., Ильченко О. Г. Методические рекомендации по этологическим наблюдениям за млекопитающими в неволе. М. : Изд-во Моск. зоопарка, 1990. 77 с.

References

1. Wiltschko R., Wiltschko W. Avian navigation: from historical to modern concepts // *Animal Behaviour*. 2003. V. 65. P. 257–272.
2. Walker M. M., Kirschvink J. L., Dizon A. E. Magnetoreception and magnetite biomineralization in fish / J. Kirschvink, McFadden (eds.), *ibid*, 1985. P. 417–437.
3. Cain S. D., Boles L. C., Wang J. H., Lohmann K. J. Magnetic orientation and navigation in marine turtles, lobsters, and molluscs: concepts and conundrums // *Integrative and Comparative Biology: Oxford Journals*. 2005. V. 45. Iss. 3. P. 539–546.
4. Muraveyko V. M. Elektrosensornye sistemy zhivotnyh [Electrosensory systems of animals]. Apatity : Izd-vo Kolskogo filiala AN SSSR, 1988. 110 p.
5. Stolz J. F., Chang S-B. R., Kirschvink J. S. Magnetotactic bacteria and single-domain magnetite in hemipelagic sediments // *Nature*. 1986. V. 321. P. 849–851.
6. Liboff A. R., McLeod B. R. Kinetics of channelized membrane ions in magnetic fields // *Bioelectromagnetics*. 1988. V. 8. P. 39–51.
7. The influence of a magnetic field on chromosome sets and cell division / M. T. Tsoneva, P. R. Penchev, G. B. Karev, S. S. Gishin // *Genetika*. 1975. V. 11, N 3. P. 153–160.
8. Embryological changes induced by weak, extremely low frequency electromagnetic fields / J. M. R. Delgado, J. Leal, J. L. Monteagudo, M.G. Gracia // *J. Anatomy*. 1982. V. 134. P. 533–551.
9. Sterlikova I. V. Rol geomagnitnyh pulsatsiy s chastotnym diapazonom, blizkim k bioritmam, v statistike serdechno-sosudistyh i nervnyh zabolevaniy [The role of geomagnetic pulsations with a frequency range close to the biorhythms, in the statistics of cardiovascular and neurological diseases] : dep. v VIIMI, 1990. N D-18353. 24 p.
10. Parkinson U. Vvedenie v geomagnetism [Introduction to geomagnetism]. M. : Mir, 1986. 525 p.
11. Moiseev D. V., Duhno G. N. Geoinformatsionnyi analiz peredvizheniy arkticheskikh lastonogih so sputnikovymi metkami [Geoinformation analysis of movements of the Arctic pinnipeds with satellite tags] // *Distsionnye metody v zoologii : mat. nauch. konf., 28–29 noyabrya 2011 g., M., 2011. P. 54.*
12. Vliyanie stressa i magnitnogo polya na serdechnuyu deyatelnost grenlandskogo tyulenyu pagophilus groenlandicus [Impact of stress and magnetic field on cardiac function of harp seal pagophilus groenlandicus] / G. G. Matishov, V. M. Muraveyko, A. S. Gladkih, A. V. Muraveyko // *Doklady Akademii nauk*. 2004. V. 397, N 4. P. 558–562.
13. Kirschvink J. L., Dizon A. E., Westphal J. A. Evidence from strandings for geomagnetic sensitivity in Cetaceans // *J. Experimental Biology*. 1986. V. 120. P. 1–24.
14. Kirschvink J. L. Geomagnetic sensitivity in cetaceans: an update with the U.S. live stranding records / J.A. Thomas, R. Kastelein (eds.), *Sensory Abilities of Cetaceans*, Plenum Press, New York, 1990. P. 639–649.
15. Behavioural evidence of magnetoreception in dolphins: detection of experimental magnetic fields / D. Kremers, L. J. Marulanda, M. Hausberger, A. Lemasson // *Naturwissenschaften*. 2014. V. 101. Iss. 11. P. 907–918.
16. Popov S. V., Il'chenko O. G. Metodicheskie rekomendatsii po etologicheskim nablyudeniyam za mlekopitayuschimi v nevole [Guidelines on ethological observations of mammals in captivity]. M. : Izd-vo Mosk. zooparka, 1990. 77 p.

Сведения об авторах

Яковлев Андрей Петрович – Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, мл. науч. сотрудник; e-mail: xloroplast@mail.ru

Yakovlev A. P. – Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Junior Researcher; e-mail: xloroplast@mail.ru

Михайлюк Александр Леонидович – Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, канд. биол. наук, зав. лабораторией; e-mail: sasha-mihailyuk@yandex.ru

Mikhailyuk A. L. – Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Cand. of Biol. Sci., Head of Laboratory; e-mail: sasha-mihailyuk@yandex.ru

Григорьев Валерий Федосеевич – Полярный геофизический институт, помощник директора; e-mail: valgri@pgi.ru

Grigor'ev V. F. – Polar Geophysical Institute, Assistant Director; e-mail: valgri@pgi.ru