

УДК 57.045
DOI: 10.7868/S25000640180410

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЧАСТОТАХ ШУМАНОВСКОГО РЕЗОНАНСА НА ДВИГАТЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ СЕРОГО ТЮЛЕНЯ

© 2018 г. А.П. Яковлев¹, Д.Г. Ишкулов¹, А.А. Зайцев¹,
А.Р. Трошичев¹, В.Ф. Григорьев²

Аннотация. Наиболее вероятным из внешних источников синхронизации со средой обитания для гидробионтов является электромагнитное поле резонатора Земля – ионосфера, преимущественно в области частот 6–8 Гц. Цель данного исследования – выявление магнитных биологических эффектов, возникающих при экспозиции серых тюленей в искусственных электромагнитных полях на частотах шумановского резонанса. Экспериментальные данные получены с использованием метода сплошного протоколирования и метода регистрации отдельных поведенческих проявлений. Были проведены эксперименты по воздействию на серого тюленя искусственного электромагнитного поля с частотой 8 Гц, фоновые наблюдения и эксперименты с плацебо-контролем. В качестве оценочных параметров двигательной активности тюленя были выбраны показатели: количество всплытий за 1 минуту, индекс активности, среднее число кругов под водой и среднее время, которое затрачивает тюлень на совершение одного круга. При воздействии на серого тюленя искусственного электромагнитного поля на частотах шумановского резонанса резко возрастает его двигательная активность, количество всплытий за 1 минуту увеличивается в 5–6 раз, индекс активности и среднее количество кругов, совершенных 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 шумановского резонанса, 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.

Ключевые слова: серый тюлень, шумановский резонанс, воздействие, двигательная активность, поведение, электромагнитное поле.

THE INFLUENCE OF ARTIFICIAL ELECTROMAGNETIC FIELDS AT FREQUENCIES OF SCHUMANN RESONANCE ON THE PHYSICAL ACTIVITY OF THE GREY SEAL

A.P. Yakovlev¹, D.G. Ishkulov¹, A.A. Zaitsev¹, A.R. Troshichev¹, V.F. Grigoriev²

Abstract. The most probable external source of synchronization with the habitat for hydrobionts is the electromagnetic field of the Earth – ionosphere resonator, mainly in the frequency range of 6–8 Hz. The aim of the study is to identify the magnetic biological effects arising from the exposure of gray seals in artificial electromagnetic fields at the Schumann resonance frequencies. Experimental data was obtained using continuous

¹ Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук (Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russian Federation), Российская Федерация, 183010, г. Мурманск, ул. Владимирская, 17, e-mail: mmbi@mmbi.info

² Полярный геофизический институт (Polar Geophysical Institute, Murmansk, Russian Federation), Российская Федерация, 183010, г. Мурманск, ул. Халтурина, 15, e-mail: general@pgi.ru

journaling method and method of recording individual behavioral display. Experiments on the effects of the electromagnetic field with a frequency of 8 Hz on gray seals were carried out, as well as surveillance without impact and experiments with placebo-control. The number of ascents in 1 minute, the activity index, the average number of circles under water and the mean time that seals spend on the running one circle were selected as the estimated parameters of seal's physical activity indicators. Experiments showed that when a gray seal is being exposed to electromagnetic field at frequencies of Schumann resonances, its physical activity sharply increases, the number of emersions per 1 minute increases by 5–6 times, the activity index and the average number of circles performed by the animal is much higher, and the time spent on the running one circle is much lesser, when compared to experiments with placebo-control and surveillance with no impact. It was noted that animals almost completely avoided climbing onto the platform when they were exposed to a magnetic field. This behavior may explain the alarming reaction of animals, in response to their exposure to an artificial electromagnetic field. Analysis of the obtained results may indicate that the natural electromagnetic fields in the frequency range of Schumann resonances, excited by many dangerous hydrometeorological processes, can be perceived by gray seals. This allows them to receive information in advance about the approach of dangerous processes that can affect their livelihoods, as well as regulate their biorhythmic.

Keywords: grey seal, Schumann resonances, impact, physical activity, behavior, electromagnetic field.

ВВЕДЕНИЕ

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

Природные электромагнитные поля не только чрезвычайно малы по сравнению с техногенными, 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 располагаются в интервале 0,01–60 Гц, так как именно в этом интервале находятся ритмы функционирования головного мозга, нервной системы, сердца и других систем организма [5].

Физические механизмы биологического действия низкоинтенсивного электромагнитного поля на сегодня не установлены. Наиболее часто обсуждают те из них, которые опираются на: а) возможное присутствие в тканях магнитных наночастиц (магнитосом); б) вовлеченность в метаболизм реакций с участием спин-коррелированных пар свободных радикалов; в) долгоживущие вращательные состояния дипольных белковых молекул; г) метастабильные состояния жидкой воды [1]. Влияние

сигнала электромагнитного поля на биологический объект происходит, вероятно, на нескольких уровнях, каждому из которых соответствует свой механизм. Трансформирование состояния биофизической мишени вызывает колебание концентрации биохимических интермедиатов, которые в свою очередь влекут изменения на уровне систем и далее на уровне поведения организма [6].

Исследования в магнитобиологии показали, 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 [7]. Надежно установлено, что такие эффекты, как безошибочная ориентация многих видов животных во время их сезонных миграций, обусловлены взаимодействием геомагнитного поля с магнитосомами [8; 9]. В научной литературе было обосновано предположение о том, что наиболее вероятным из внешних источников синхронизации со средой обитания для гидробионтов является электромагнитное поле резонатора Земля – ионосфера, преимущественно в области частот 6–8 Гц. Ионосфера существует с древнейших времен, и настройка гидробионтов на это поле представляется вполне естественной [10].

Живые организмы, в частности представители морских млекопитающих, обитающих в Арктическом регионе, подвергаются воздействию мощных электромагнитных полей и магнитных бурь. Интенсивность глобальных магнитных бурь и естественных колебаний геомагнитного поля в этом регионе на порядок превосходит показатели экваториаль-

ных областей [11]. Амплитуда вариаций геомагнитного поля во время бурь составляет приблизительно 1 мкТл в полярных областях Земли и около 0,1 мкТл на средних и низких широтах при величине геомагнитного поля в 30–50 мкТл [12].

На базе биофизического исследовательского комплекса, созданного на базе Мурманского морского биологического института Кольского научного центра РАН (ММБИ) и Полярного геофизического института (ПГИ, Мурманск), было разработано устройство для исследования влияния искусственного электромагнитного поля на водные биологические объекты с целью выявления магнитных биологических эффектов у представителей настоящих тюленей [13].

Цель данного исследования – выявление магнитных биологических эффектов, возникающих при экспозиции серых тюленей в искусственных электромагнитных полях на частотах шумановского резонанса.

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 в акватории Кольского залива, в биофизический исследовательский комплекс ММБИ – ПГИ в г. Мурманск, после чего прошло период адаптации к новым условиям в течение 14 суток. Серого тюленя содержали в пресной воде, температурный и световой режимы в помещении на всем протяжении проведения экспериментов оставались неизменными. Состав и количество корма были постоянными в течение всего периода содержания животного в биофизическом комплексе.

Биофизический исследовательский комплекс состоит из: помещения с бассейном (рис. 1); изолированной аппаратной, имеющей отдельный вход, в которой установлено экспериментальное оборудование (задающий искусственное электромагнитное поле генератор, система видеонаблюдения); двух подсобных помещений, в которых располагается система фильтрации воды и другое вспомогательное оборудование. Для обеспечения комфортных условий содержания тюленя в бассейне был смонтирован помост. По периметру бассейна в шумо- и виброизоляционном кожухе была установлена антенна из медной проволоки, излучающая искус-

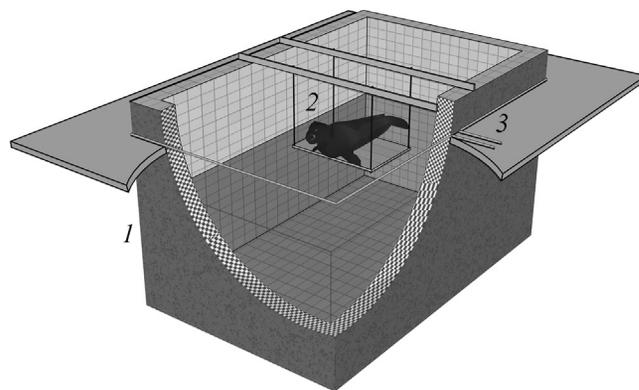


Рис. 1. План-схема аквариальной: 1 – бассейн; 2 – помост; 3 – излучающая электромагнитное поле антенна.

Fig. 1. Outline diagram of aquarian's basin: 1 – basin bowl; 2 – platform; 3 – electromagnetic fields-emitting antenna.

ственное электромагнитное поле, которая подключалась к задающему генератору. Благодаря наличию изолированной от основного помещения с бассейном аппаратной удалось исключить контакт тюленя с человеком и влияние работы исследовательского оборудования на животное во время проведения экспериментов.

Источник электромагнитного поля включал в себя: задающий генератор с возможностью установления несущей частоты в диапазоне 0,01–36 Гц; излучающую антенну, огибающую бассейн по периметру с образованием горизонтальной рамки (рис. 1). Напряженность искусственного электромагнитного поля синусоидальной формы, подаваемого на излучающую антенну, составляла 45–50 А/м. Магнитострикционный эффект при протекании синусоидального тока по обмотке, генерирующей искусственное электромагнитное поле в замкнутом контуре вокруг бассейна с экспериментальным животным, не контролировался.

Экспериментальные данные были получены при помощи метода сплошного протоколирования и метода регистрации отдельных поведенческих проявлений [14]. Видеорегистрацию хода эксперимента осуществляли при помощи видеокамеры наружного наблюдения и TV-тюнера, подключенного к персональному компьютеру. В качестве регистрируемых поведенческих проявлений при анализе видеоматериала использовали следующие формы поведения: плавание под водой (апноэ), плавание на поверхности, отдых на помосте, несвойственные формы поведения (при наличии). Также производили регистрацию частоты выполнения определенных движений за фиксированный промежуток времени (плавание по круговой траектории).

Для снижения вклада систематических изменений, вызванных, например, физиологическими ритмами или приобретением навыка в процессе тестирования, организуют так называемую имитацию воздействия, мнимую экспозицию, или плацебо-контроль, суть которых состоит в том, что часть опытов проводят в отсутствие экспозиции [1]. С целью исключить подобные явления нами были осуществлены фоновые наблюдения, а также эксперименты с плацебо-контролем, во время проведения которых задающий генератор и вспомогательное оборудование были включены, при этом искусственное электромагнитное поле не генерировалось. Оценочным параметром двигательной активности тюленя был выбран показатель количества всплытий за 1 минуту.

В качестве дополнительной количественной оценки двигательной активности животного использовали индекс активности, а также количественные показатели – среднее число кругов под водой и среднее время, которое затрачивает тюлень на совершение одного круга [15].

На первом этапе исследований нами были проведены эксперименты по кратковременной (20 минут) экспозиции животного в электромагнитном поле в диапазоне частот 0,01–36 Гц. Это позволило выделить интервалы частот (2–8 Гц, 16–20 Гц, 34–36 Гц), при воздействии которых в поведении и двигательной активности серого тюленя наблюдались значительные отклонения от фоновых показателей [16]. На втором этапе исследований были проведены эксперименты по воздействию на серого тюленя искусственных электромагнитных полей с различной продолжительностью экспозиции (1–4 часа), на частотах, при которых отклонения в поведении и двигательной активности были наиболее значительными при кратковременной экспозиции [17].

Для выявления биологических эффектов, возникающих при более длительной экспозиции, была проведена серия из 5 экспериментов по воздействию искусственных электромагнитных полей с частотой 8 Гц, 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 в электромагнитном поле и после прекращения его воздействия проводили наблюдения непосредственно до воздействия электромагнитного поля и сразу же после экспозиции.

Магнитным биологическим эффектом называют закономерное изменение какой-либо величины, характеризующей состояние организма, при изменении магнитных условий его пребывания. Если есть массивы измерений в условиях обычного и измененного электромагнитного поля, то, применяя, например, статистический анализ, можно вычислить вероятность того, что гипотеза о неслучайном различии массивов верна. Величину эффекта часто определяют как разность средних значений по выборочным распределениям в контроле и в опыте. При таком определении величина эффекта имеет физическую размерность [1].

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассчитанный показатель количества всплытий в минуту является средним значением от числа всплытий, совершаемых животным за определенный промежуток времени наблюдения. Нахождение тюленя на поверхности воды связано с физиологически необходимым актом дыхания, и поскольку подобные поведенческие проявления являются постоянными, они наиболее полно отражают двигательную активность животного в данный промежуток времени. Высокая двигательная активность животного характеризуется повышением потребления кислорода. Существует прямая зависимость увеличения потребления кислорода от роста интенсивности протекания физиологических процессов в организме животного [18].

На рисунке 2 показано среднее количество всплытий за минуту в серии 7-часовых экспериментов с генерируемым электромагнитным полем с частотой 8 Гц. Двигательная активность тюленя начала расти сразу после включения электромагнитного поля, в течение первого часа наблюдений. На протяжении последующих двух часов воздействия активность животного продолжила расти. Животное активно плавало по периметру бассейна, совершая кратковременные всплытия для дыхания продолжительностью 1–2 секунды. В течение четвертого часа экспозиции животное стало совершать более длительные всплытия, находясь

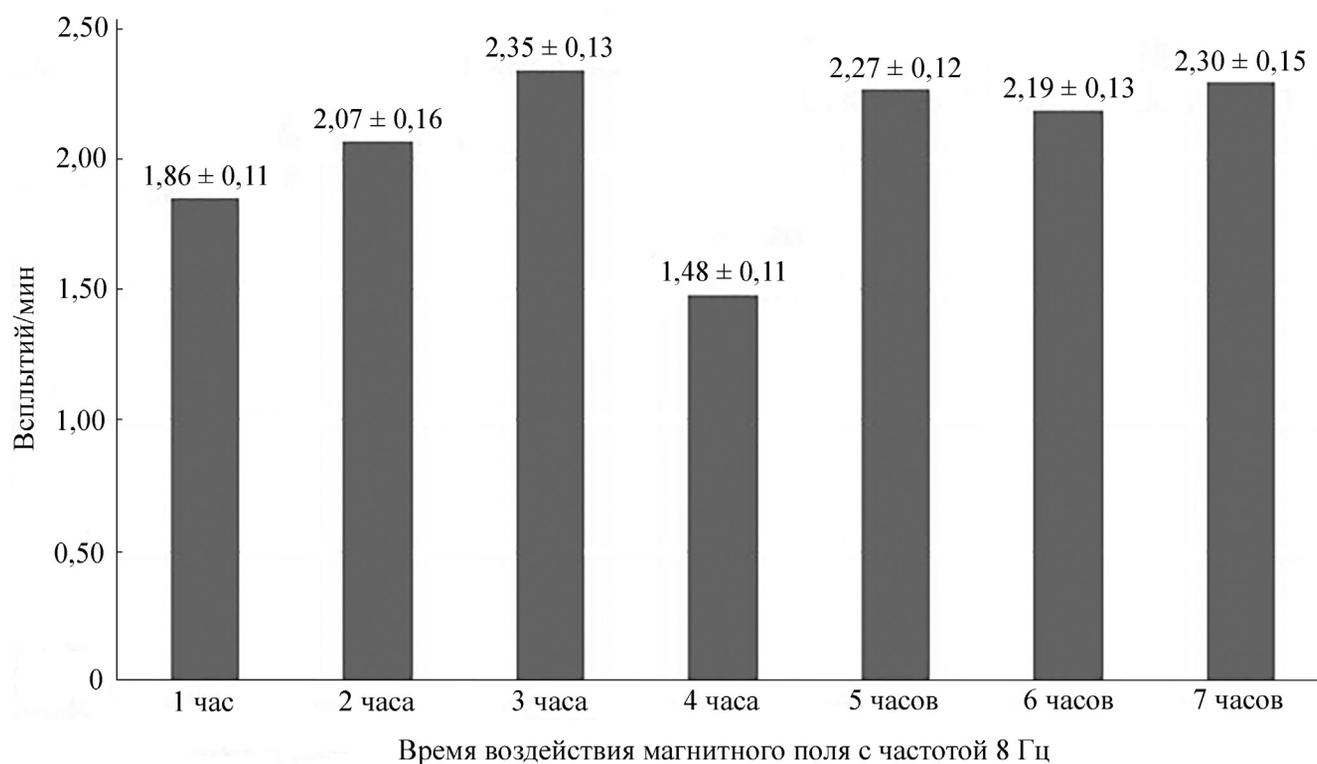


Рис. 2. Среднее количество всплытий, совершаемых животным за 1 минуту в экспериментах с генерируемым электромагнитным полем с частотой 8 Гц.

Fig. 2. Mean number of animal's surfacing per minute in experiments with electromagnetic fields frequency of 8 Hz.

на поверхности 7–10 секунд, интервал между всплытиями сократился, скорость движения и показатель всплытий за 1 минуту снизились. Двигательная активность животного уменьшилась почти в 1,5 раза, по всей видимости, это обусловлено физическим утомлением по причине практически безостановочного активного плавания в течение трех часов экспозиции. Однако начиная с пятого часа экспозиции и до конца воздействия электромагнитного поля двигательная активность вновь стала постепенно возрастать. Оценка по U -критерию Манна – Уитни полученных значений количества всплытий за 1 минуту для каждого из 7 часов воздействия в 5 проведенных экспериментах показала достоверные различия этих значений, при $p < 0,05$.

Для снижения вклада систематических изменений, вызванных, например, физиологическими ритмами, приобретением навыка у животного в процессе тестирования или возможным влиянием шумов, возникающих при работе исследовательского оборудования, были проведены эксперименты с плацебо-контролем. Плацебо-контроль показал, что при работающем оборудовании, но отсутствии генерации электромагнитного поля тюлень не проявляет

такой активности, как в экспериментах с генерацией электромагнитного поля (рис. 3). Количество всплытий за минуту в течение 4 часов наблюдения незначительно колеблется, при этом находится на низком уровне (0,22–0,30 всплытий/мин).

Фоновые наблюдения (рис. 4) показали, что двигательная активность серого тюленя в отсутствие генерации электромагнитного поля, а также при выключенном исследовательском оборудовании находится на стабильно низком уровне, количество всплытий незначительно варьируется и составляет от 0,27 до 0,31 всплытий/мин.

Сравнение по U -критерию Манна – Уитни полученных значений количества всплытий за 1 минуту в экспериментах с воздействием электромагнитного поля с частотой 8 Гц с материалом экспериментов с плацебо-контролем и во время фоновых наблюдений выявило достоверные различия ($U_{\text{критическое}} = 1$; $U_{\text{эмпирическое}} = 0$) всех данных, при $p < 0,05$. Аналогичное сравнение результатов экспериментов с плацебо-контролем с данными, полученными в течение фоновых наблюдений, достоверных различий для параметра всплытий за 1 минуту не показало ($U_{\text{кр}} = 0$; $U_{\text{эмп}} = 1,5$), при $p < 0,05$.

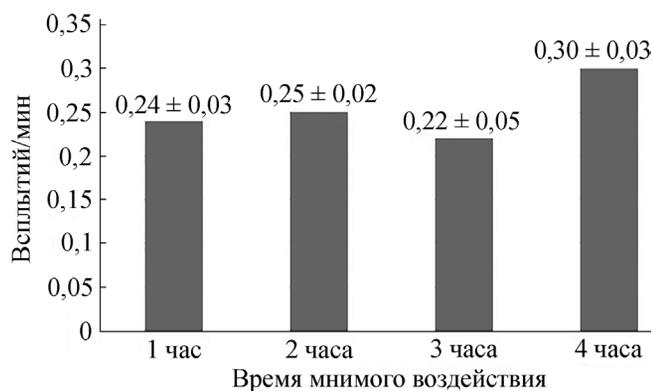


Рис. 3. Среднее количество всплытий, совершаемых животным за 1 минуту в экспериментах с плацебо-контролем.

Fig. 3. Mean number of animal's surfacing per minute in experiments with placebo-control.

Следует отметить, что количество всплытий за 1 минуту в эксперименте с плацебо-контролем и при фоновых наблюдениях находится в диапазоне значений от 0,22 до 0,35, что может характеризовать двигательную активность тюленя как спокойную или размеренную. Во время проведения этих наблюдений животное медленно плавало по круговым траекториям, довольно часто выходило на помост, могло длительное время находиться на поверхности воды без движения. Такая картина поведения характерна для серых тюленей в отсутствие стрессогенных факторов и других событий, например, таких, как появление человека в их поле зрения, способных вызвать резкое изменение поведения, а как следствие, и двигательной активности животного.

Нами было рассчитано процентное отношение времени, проведенного тюленем под водой, на поверхности и на помосте, к общему времени наблю-

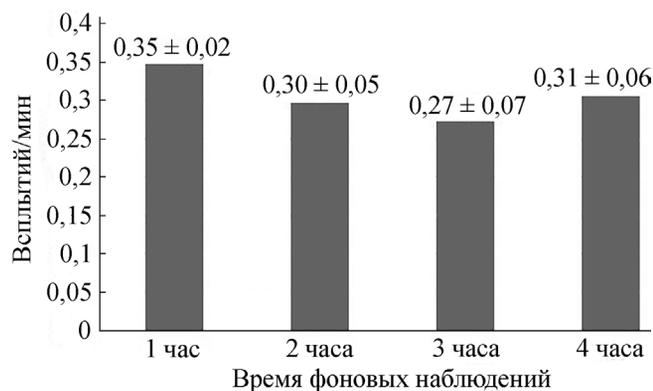


Рис. 4. Среднее количество всплытий, совершаемых животным за 1 минуту во время проведения фоновых наблюдений.

Fig. 4. Mean number of animal's surfacing per minute during surveillance without impact.

дения для каждой серии экспериментов (рис. 5). 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 уходом 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 [19].

Время, проведенное тюленем под водой и на поверхности, незначительно варьировалось в экспериментах с генерацией электромагнитного поля и при плацебо-контроле, а также при фоновых наблюдениях (рис. 5). Процентное соотношение времени, проведенного под водой и на поверхности, не в полной мере отражает реальную картину двигательной активности животного. 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 ее отсутствию [15]. Для количественной оценки двигательной активности был проведен учет частоты выполнения определенных движений за фиксированный промежуток времени (движение по круговым траекториям) и времени зависания на поверхности и в толще воды.

В экспериментах с воздействием на тюленя электромагнитного поля с частотой 8 Гц были проведены наблюдения непосредственно перед экспозицией, во время и после нее, что позволило проследить динамику изменения индекса активности и количественных параметров двигательной активности, а также сравнить полученные результаты с данными фоновых наблюдений и экспериментов с плацебо-контролем (табл. 1).

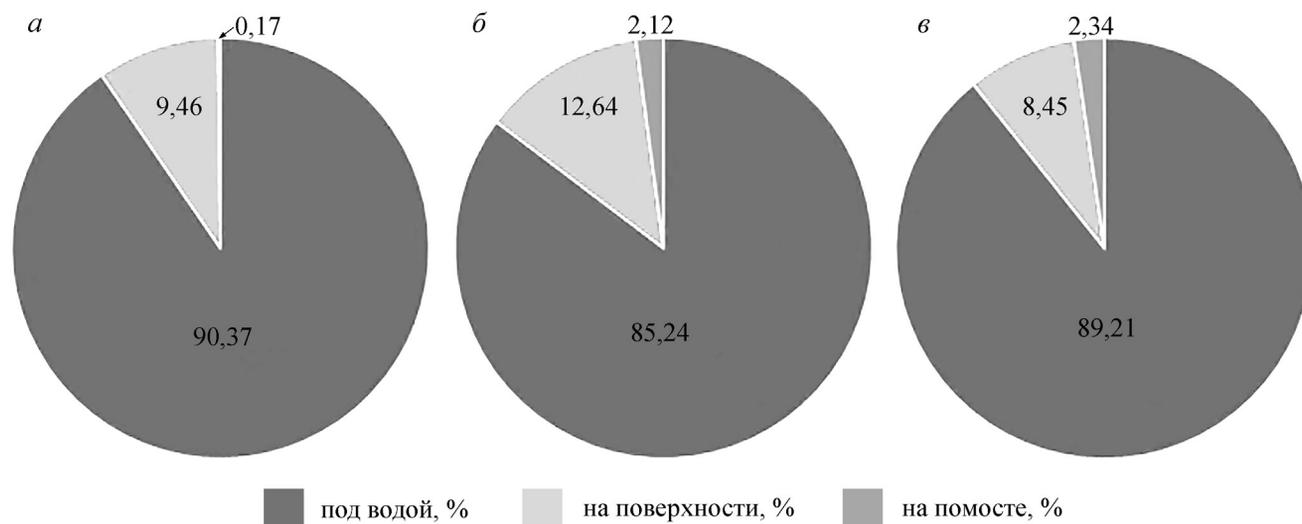


Рис. 5. Процентное отношение времени, проведенного тюленем под водой, на поверхности и на помосте, к общему времени наблюдения: а – эксперименты с генерацией электромагнитного поля с частотой 8 Гц; б – эксперименты с плацебо-контролем; в – фоновые наблюдения.

Fig. 5. Time percentage of seal being underwater, on surface and on platform from total sum of observation time: а – in experiments with electromagnetic fields frequency of 8 Hz; б – in experiments with placebo-control; в – during surveillance without impact.

В период наблюдения до воздействия электромагнитного поля индекс активности и среднее число кругов, совершаемых тюленем за 1 минуту, имели достаточно низкие значения. Во время экспозиции тюленя в электромагнитном поле с частотой 8 Гц индекс активности вырос более чем в 3 раза, среднее число кругов за 1 минуту возросло практически в 2 раза. Рост индекса активности и увеличение числа кругов при сокращении времени на их совершение говорит о резком повышении двигательной активности, что можно связать с возникшим на фоне воздействия электромагнитного поля беспокойством животного и тревожным реагированием на это воздействие.

В период после воздействия электромагнитного поля наблюдалось резкое снижение индекса активности практически до первоначального уровня, также уменьшилось среднее количество кругов, совершаемых тюленем за 1 минуту, и увеличилось время, затрачиваемое на их выполнение. 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, резко угасая после прекращения воздействия электромагнитного поля.

Сравнение распределений значений индекса активности и среднего количества кругов, совер-

шаемых 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, также находятся в сопоставимых диапазонах, исключая период воздействия электромагнитного поля и период после воздействия (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, при плацебо-контроле и при фоновых наблюдениях, по U -критерию Манна – Уитни достоверно различаются данные, полученные в экспериментах с воздействием электромагнитного поля и с плацебо-контролем ($U_{кр} = 1$;

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
Table 1. Activity index and quantitative indicators of grey seal's physical activity before, during and after exposure to electromagnetic fields, during surveillance without impact and in experiments with placebo-control

	Число наблюдений Number of observations	Время, % Time, %		Индекс активности Activity index	Среднее число кругов за 1 минуту / Average number of laps per 1 minute	Среднее время на 1 круг, The average time for 1 round, a second
		Зависание на поверхности и в толще воды / Hovering on the surface and in the water column	Движение по круговым траекториям / Circular motion			
До воздействия электромагнитного поля Before the impact of electromagnetic fields	134	31,63	68,37	2,2	4,1 ± 0,2	10,7 ± 0,5
Во время экспозиции в электромагнитном поле During exposure to the electromagnetic field	156	13,06	86,94	6,7	7,6 ± 0,4	6,8 ± 0,3
После воздействия электромагнитного поля After exposure to electromagnetic field	183	27,39	72,61	2,7	4,6 ± 0,3	9,5 ± 0,7
Плацебо-контроль Placebo-control	165	38,24	61,76	1,6	4,6 ± 0,2	11,5 ± 0,5
Фоновые наблюдения Surveillance without impact	181	45,80	54,20	1,2	2,9 ± 0,3	11,3 ± 0,8

$U_{\text{Эмп}} = 0$), и в экспериментах с воздействием электромагнитного поля и при фоновых наблюдениях ($U_{\text{Кр}} = 1$; $U_{\text{Эмп}} = 0$), при $p < 0,05$. В экспериментах с плацебо-контролем и при фоновых наблюдениях достоверных различий распределений полученных данных не обнаружено ($U_{\text{Кр}} = 0$; $U_{\text{Эмп}} = 0,5$), 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 магнитные биологические эффекты, возникающие в ответ на экспозицию серого тюленя в искусственном электромагнитном поле с частотой 8 Гц:

– наблюдается рост количества всплывтий за 1 минуту в 5–6 раз относительно экспериментов с плацебо-контролем и фоновыми наблюдениями;

– отмечено практически полное избегание животным выходов на помост, а общее время, проведенное тюленем на нем, за весь период наблюдений составляет 0,17 %, что 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 выполнение одного круга, значительно ниже, чем при фоновых наблюдениях, в экспериментах с плацебо-контролем и при наблюдениях непосредственно до воздействия электромагнитного поля.

Проведенные эксперименты показали, что при воздействии на серого тюленя искусственного электромагнитного поля на частотах шумановского резонанса резко возрастает его двигательная активность. Подобное поведение можно объяснить тревожным реагированием животного в ответ на экспозицию в электромагнитном поле.

Полученные результаты могут свидетельствовать о том, что естественные электромагнитные поля в области частот шумановского резонанса,

возбуждаемые при многих опасных гидрометеорологических процессах и магнитных бурях, способны вызывать у серых тюленей изменения в поведении и двигательной активности, то есть создают магнитные биологические эффекты. Био-

логическая роль подобных эффектов состоит в том, что позволяет ластоногим избегать опасных процессов, способных влиять на их жизнедеятельность, а также позволяет им регулировать свою биоритмику.

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(1): 25–32.
3. Бинги В.Н., Милаев 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.2015.12.037693
5. Хабарова О.В. 2002. Биоэффективные частоты и их связь с собственными частотами живых организмов. *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*. 5–6: 56–66.
6. Бинги В.Н. 2016. Первичный физический механизм биологических эффектов слабых магнитных полей. *Биофизика*. 61(1): 201–208.
7. *Биогенный магнетит и магниторецепция. Новое о биомagnetизме. Т. 1*. 1989. М., Мир: 352 с.
8. Walker M.M., Dennis T.E., Kirschvink J.L. 2002. The magnetic sense and its use in long-distance navigation by animals. *Current Opinion in Neurobiology*. 12(6): 735–744.
9. 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(7268): 1274–1277. doi: 10.1038/nature08528
10. 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.
11. Паркинсон У. 1986. *Введение в геомагнетизм*. М., Мир: 525 с.
12. 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.
13. Терещенко Е.Д., Григорьев В.Ф. 2016. *Устройство для исследования влияния искусственного электромагнитного поля на водные биологические объекты: Патент на полезную модель № 166414 Российской Федерации, МПК51 G 01 R 1/00 (2006/01)*. Заявитель и патентообладатель ФГБНУ Полярный геофизический институт, № заявки 2016125093. Заявл. 22.06.2016, опубл. 27.11.2016. Бюл. № 33.
14. Попов С.В., Ильченко О.Г. 1990. *Методические рекомендации по этологическим наблюдениям за млекопитающими в неволе*. М., Московский зоопарк: 77 с.
15. 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.
16. Яковлев А.П., Михайлюк А.Л., Григорьев В.Ф. 2016. Оценка изменений параметров поведения серого тюленя при воздействии на него электромагнитных полей экстремально низких частот в диапазоне 0,01–36 Гц. *Вестник МГТУ*. 19(1/2): 345–352. doi: 10.21443/1560-9278-2016-1/2-345-352
17. Яковлев А.П., Григорьев В.Ф. 2017. Изменение двигательной активности серого тюленя при воздействии на него магнитного поля частотой 2, 18 и 36 Гц в течение 1–4 часов. *Вестник МГТУ*. 20(2): 503–510. doi: 10.21443/1560-9278-2017-20-2-503-510
18. *Начала физиологии*. 2002. СПб., Лань: 1088 с.
19. Tyack P.L. 2002. Behavior. In: *Encyclopedia of marine mammals*. W.F. Perrin, B. Würsig, J.G.M. Thewissen (eds). California, Academic Press San Diego: 87–94.

REFERENCES

1. Binhi V.N. 2012. Two types of magnetic biological effects: Individual and batch effects. *Biophysics*. 57(2): 237–243. doi: 10.1134/S0006350912020066
2. Jungerman R.L., Rosenblum B. 1980. Magnetic induction for the sensing of magnetic fields - An analysis. *Journal of Theoretical Biology*. 87(1): 25–32.
3. Binhi V.N., Milyaev V.A., Chernavskii D.S., Rubin A.B. 2006. The paradox of magnetobiology: Analysis and prospects for solution. *Biophysics*. 51(3): 497–503. doi: 10.1134/S0006350906030250
4. Breus T.K., Binhi V.N., Petrukovich A.A. 2016. Magnetic factor of the solar terrestrial relations and its impact on the human body: physical problems and prospects for research. *Phys. Usp.* 59(5): 502–510. doi: 10.3367/UFNe.2015.12.037693
5. Khabarova O.V. 2002. [Bioeffective frequencies and their relationship with natural frequencies of living organisms]. *Biomeditsinskie tekhnologii i radioelektronika*. 5–6: 56–66. (In Russian).
6. Binhi V.N. 2016. Primary physical mechanism of the biological effects of weak magnetic fields. *Biophysics*. 61(1): 170–176. doi: 10.1134/S000635091601005X
7. *Biogennyi magnetit i magnitoretseptsiia. Novoe o biomagnetizme. T. 1. [Magnetite biomineralization and magnetoreception in organisms: A new biomagnetism]*. Moscow, Mir: 352 p. (In Russian).
8. Walker M.M., Dennis T.E., Kirschvink J.L. 2002. The magnetic sense and its use in long-distance navigation by animals. *Current Opinion in Neurobiology*. 12(6): 735–744.
9. 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(7268): 1274–1277. doi: 10.1038/nature08528
10. Muraveiko A.V., Stepanyuk I.A., Muraveiko V.M., Frolova N.S. 2013. [The effects of electromagnetic fields on the activity of marine organisms in the Schumann resonance area]. *Vestnik MGTU*. 16(4): 764–770. (In Russian).
11. Parkinson W.D. 1986. *Vvedenie v geomagnetism*. [Introduction to geomagnetism]. Moscow, Mir: 525 p. (In Russian).
12. Tsvetkov Yu.P., Zaitsev A.N., Odintsov V.I., Chyong Kuang Hao, Nguyen Thi Kim Thoa. 1998. Comparison of magnetic variations in the equatorial zone and the polar cap for the magnetic storm of March 13, 1989. *Geomagnetism and Aeronomy*. 38(2): 192–200.
13. Tereshchenko E.D., Grigor'ev V.F. 2016. *Ustroystvo dlya issledovaniya vliyaniya iskusstvennogo elektromagnitnogo polya na vodnye biologicheskie ob'ekty: Patent na poleznuyu model' № 166414 Rossiyskoy Federatsii, MPK51 G 01 R 1/00 (2006/01)*. [A device to study the effects of artificial electromagnetic fields on water biological objects: the Patent for useful model No 166414, Russian Federation, МПК51 G 01 R 1/00 (2006/01)]. Applicants and rights holders State University Polar Geophysical Institute, application number 2016125093. The date of application 22 June 2016, published 27 November 2016. (In Russian).
14. Popov S.V., Il'chenko O.G. 1990. *Metodicheskie rekomendatsii po etologicheskim nablyudeniya za mlekopitayushchimi v nevole*. [Methodological recommendations on ethological observations of mammals in captivity]. Moscow, Moscow Zoo: 77 p. (In Russian).
15. Kavtsevich N.N., Mikhailiuk A.L., Berezina I.A., Yurko A.S. 2007. [Experimental study of the behavior of seals]. In: *Ekspperimental'nye issledovaniya morskikh mlekopitayushchikh v usloviyakh Kol'skogo zaliva*. [Experimental studies of marine mammals in the Kola Bay]. G.G. Matishov (ed.). Apatity, Kola Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences: 194–230 (In Russian).
16. Yakovlev A.P., Mikhailyuk A.L., Grigor'ev V.F. 2016. [Evaluation of changes in the behavior of the grey seal exposed to the electromagnetic field of extremely low frequencies (0.01–36 Hz)]. *Vestnik MGTU*. 19(1/2): 345–352. (In Russian). doi: 10.21443/1560-9278-2016-1/2-345-352
17. Yakovlev A.P., Grigoriev V.F. 2017. [Change of physical activity of the grey seal when exposed to the magnetic field with frequencies of 2, 18 and 36 Hz for 1–4 hours]. *Vestnik MGTU*. 20(2): 503–510. (In Russian). doi: 10.21443/1560-9278-2017-20-2-503-510
18. *Nachala fiziologii* [Beginning of physiology]. Saint-Petersburg, Lan': 1088 p. (In Russian).
19. Tyack P.L. 2002. Behavior. In: *Encyclopedia of marine mammals*. W.F. Perrin, B. Würsig, J.G.M. Thewissen (eds). California, Academic Press San Diego: 87–94.

Поступила 06.03.2018