

КРАТКИЕ
СООБЩЕНИЯ

УДК 597.554.3.591.132

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МАГНИТНОГО ФОНА НА ПИЩЕВОЕ
ПОВЕДЕНИЕ КАРАСЯ *Carassius auratus gibelio*

© 2022 г. **В. В. Кузьмина^а**, **Е. А. Куливацкая^а**, **В. В. Крылов^а** *

^аИнститут биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук,
пос. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., Россия

*e-mail: kryloff@ibiw.ru

Поступила в редакцию 25.01.2021 г.

После доработки 22.11.2021 г.

Принята к публикации 02.12.2021 г.

Впервые показано влияние снижения индукции постоянного магнитного фона на пищевое поведение серебряного карася *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782). Данное воздействие приводило к увеличению времени выхода рыб из стартовой камеры и латентного времени питания, а также к снижению количества съедаемого корма.

Ключевые слова: гипомагнитные условия, магнитное поле, время питания, пищевое поведение

DOI: 10.31857/S0320965222030111

Пищевое поведение рыб определяется множеством абиотических и биотических факторов, которые модулируют сигналы нейроэндокринной системы (Volkoff, 2016). Однако вероятность влияния магнитных воздействий на пищевое поведение оценивалась в единичных работах. Известно, в частности, что увеличение индукции магнитного поля в местах кормления американского хвостокла (*Dasyatis americana* Hildebrand & Schroeder) и усатой акулы-няньки (*Ginglymostoma cirratum* Bonnaterre) за счет постоянных магнитов значительно снижает вероятность питания здесь представителей этих видов (O'Connell et al., 2010). Кроме того, в нескольких публикациях описаны условно-рефлекторные реакции у пластиножаберных (Meयर et al., 2005; Newton, Kajiura, 2017) и костистых (Walker, 1984; Naugh, Walker, 1998) рыб на изменения магнитного фона, выработанные посредством пищевого подкрепления. Авторам не удалось найти данные о влиянии магнитных воздействий на пищевое поведение костистых рыб. Оценка этого показателя необходима для понимания вклада магнитных полей естественного и антропогенного происхождения в общее состояние популяций. Также информация об изменениях в поведении рыб в ответ на магнитные воздействия дополнит представления о реакции биологических объектов на данный фактор. Поскольку биота постоянно находится в геомагнитном поле напряженностью порядка 50 мкТл в умеренных широтах, одним из способов исследования значимости магнитного фона для организма служит оценка поведенческих показателей при понижении ин-

дукции этого поля до значений близких к нулевым. В настоящей работе авторы исследовали влияния снижения индукции постоянного магнитного фона на показатели пищевого поведения серебряного карася *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782).

Работу проводили в ноябре–декабре 2020 г. В качестве объекта исследования использовали молодь серебряного карася (масса 5.5 ± 0.1 г, длина 6.2 ± 0.3 см). До начала опыта рыб содержали в 200-литровых аквариумах с проточной водой (температура 18–20°C, pH 7.0–7.3, общая жесткость 4.6 ммоль/л). Режим освещения 8 ч “свет” (450 лк), 16 ч “темнота” (0.08 лк). Рыб кормили ежедневно, используя корм с преобладанием белковых компонентов (17.3% белка, 1.7% жира и 0.1% углеводов в расчете на сырую массу) *ad libitum*. Затем 24 экз. рыб разбивали на четыре группы (по 6 экз. в каждой) и пересаживали в непроточные аквариумы объемом 40 л (площадь дна 30 × 60 см) с принудительной аэрацией для адаптации к условиям эксперимента. Температурные условия и режим освещения в непроточных аквариумах оставались теми же. Воду в аквариумах меняли раз в неделю. В течение 20 сут адаптации карасей кормили личинками хирономид *Chironomus* sp., которых помещали на дно непроточных аквариумов возле передней стенки. Затем, чтобы рыбы привыкли к экспериментальным условиям и выработали стойкий рефлекс на поиск корма и потребление пищи, в течение 7 сут до экспериментов проводили их обучение, которое представляло собой все экспериментальные процеду-

ры за исключением экспозиции в действующем факторе.

Обучение и последующие опыты проводили для рыб индивидуально — раз в сутки с 10 до 12 ч. Для этого использовали отдельный аквариум, оборудованный стартовой камерой (10 × 5 × 6 см) с перфорированными прозрачными пластиковыми стенками. Каждую рыбу поочередно помещали в установленную возле задней стенки аквариума стартовую камеру с подвижной передней стенкой. На дно аквариума около передней стенки выкладывали 15 замороженных личинок хирономид (средняя индивидуальная масса 30.0 мг). После подъема передней стенки стартовой камеры рыба могла покинуть ее для поиска и потребления пищи. С помощью секундомера регистрировали время выхода из стартовой камеры после поднятия передней стенки (t_1 , с) и латентное время питания (t_2 , с), т.е. период, в течение которого рыба приближалась к корму. Также учитывали число съеденных личинок хирономид за 3 мин наблюдения (R , экз.). Тестирование каждой особи занимало ~5 мин.

После 7 сут обучения параметр t_2 у рыб стал стабильным, что позволило приступить к опытам. Экспериментальный аквариум со стартовой камерой был размещен в системе из трех пар взаимно ортогональных колец Гельмгольца (диаметр 0.5 м), подключенных к трем источникам питания АКПП-1103 (Manson Eng. Indust. Ltd., Китай). Перед началом эксперимента с помощью трехкомпонентного магнитометра НВ0302А (НПО “ЭНТ”, г. Санкт-Петербург) определяли напряженность и направление вектора геомагнитного поля в месте проведения экспериментов (средние значения интенсивности и наклона 52.4 мкТл и 71.69° соответственно). Оси системы колец Гельмгольца располагали по направлению трех компонент геомагнитного поля. Для понижения индукции постоянного магнитного фона на обмотку каждой пары колец Гельмгольца подавали ток такой силы, чтобы генерируемое магнитное поле было равным по силе и направленным противоположно трем компонентам геомагнитного поля. При этом в центре системы колец Гельмгольца, что соответствовало центральной зоне экспериментального аквариума, генерируемое постоянное магнитное поле компенсировало геомагнитное поле до значений 0 ± 100 нТл. Ввиду гетерогенности генерируемого магнитного поля, максимальные значения индукции в зонах расположения стартовой камерой и корма достигали 12.1 мкТл. Величину ослабления геомагнитного поля в системе колец Гельмгольца контролировали ежедневно при помощи магнитометра НВ0302А (НПО “ЭНТ”).

Рыб (24 экз.) разделяли случайным образом на две группы: контрольную и опытную по 12 экз. в

каждой. В течение 12 сут подряд проводили ежедневное тестирование. При этом для рыб опытной группы индукция постоянного магнитного фона была понижена до внесения особи в стартовую камеру и оставалась таковой до окончания тестирования. Для рыб контрольной группы геомагнитное поле во время тестирования оставалось немодифицированным. На протяжении опыта рыбы не получали другой корм, кроме хирономид в экспериментальном аквариуме.

Для проведения анализа использовали средние показатели для каждых суток наблюдений в контрольном и экспериментальном вариантах. Поскольку все данные имели нормальное распределение (тест Шапиро—Уилка), значимость различий оценивали с использованием критерия Стьюдента.

Показатели t_1 и t_2 в целом имели близкую динамику. При снижении индукции постоянного магнитного фона у рыб увеличивалось время выхода из стартовой камеры (рис. 1а) и латентное время питания (рис. 1б) в первые сутки эксперимента по сравнению с контролем. Причем для t_2 различия были значимы с 1-х по 10-е сутки эксперимента. К окончанию поведенческих тестов (11-е и 12-е сутки эксперимента) оба показателя в опыте незначимо отличались от контроля (рис. 1а, 1б). Рацион рыб при снижении индукции постоянного магнитного фона отличался от такового в контроле в течение первых пяти суток эксперимента. Начиная с шестых суток, различия в количестве съеденных хирономид между контролем и опытом стали незначимы (рис. 1в).

Таким образом, полученные данные указывают на то, что ослабление магнитного фона может повлиять на пищевое поведение карасей. Причем, с течением времени, рыбы, по-видимому, привыкают к этому фактору, и на 11-е и 12-е сут опытов их пищевое поведение при изменении индукции постоянного магнитного фона близко к контрольному.

В литературе крайне мало сведений о влиянии магнитных полей на пищевое поведение рыб и других животных. Известно, что электромагнитное поле с частотой 36 ГГц и плотностью потока энергии 100 мкВт/см² приводило к заметному увеличению латентного времени питания мучного хрущака (*Tenebrio molitor* Linnaeus). Отличия от контроля были статистически незначимы, однако направленность эффекта совпадала с реакцией карасей в нашем эксперименте (Шейман, Крещенко, 2009). По данным (Wanet et al., 2021), снижение индукции постоянного магнитного фона приводит к изменениям пищевого поведения у нимф пятого возраста бурой рисовой цикадки (*Nilaparvata lugens* Stal), заключающимся в сокращении потребления пищи, что также согласуется с результатами нашей работы. В этих опытах ис-

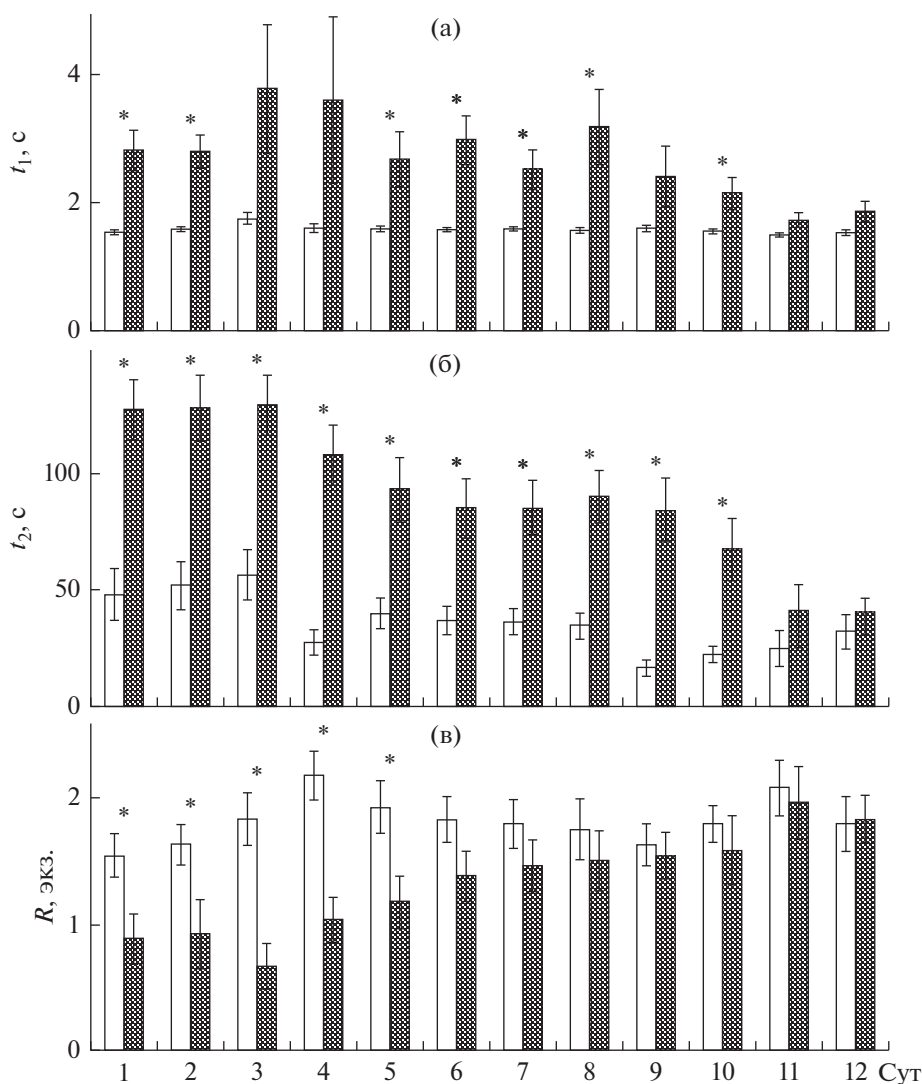


Рис. 1. Изменения параметров пищевого поведения молоди карася в течение 12 сут в условиях снижения индукции магнитного фона (■) и в контроле (□): а – время выхода рыб из стартовой камеры (t_1), б – латентное время питания (t_2), в – число потребленных личинок хирономид за 3 мин наблюдения (R). Данные представлены как среднее значение и ошибка среднего; * – значимые различия между контролем и опытом ($p < 0.05$).

следователи зарегистрировали изменения экспрессии генов нейропептидов, связанных с аппетитом, во время экспозиции *N. lugens* в условиях снижения индукции постоянного магнитного фона (Wan et al., 2021). Снижение потребляемой пищи и концентрации лептина в сыворотке крови после экспозиции в различных магнитных полях также зарегистрировано у крыс (Ziomber et al., 2009). Наши данные являются первым описанием изменений пищевого поведения костистых рыб в ответ на магнитные воздействия.

Эффекты влияния магнитных полей на пищевое поведение и потребление корма у карасей в наших экспериментах сходны с эффектами, полученными на других видах. Это указывает на общебиологический характер магнитного воздей-

ствия. Механизмы, отвечающие за влияние изменений магнитного фона на пищевое поведение рыб и других животных, могут быть связаны с молекулярными биофизическими мишенями (Binhi, Prato, 2017). Для выяснения этих вопросов необходимы дополнительные исследования.

Выводы. В экспериментах с карасями показано, что снижение индукции постоянного магнитного фона приводит к увеличению времени выхода рыб из стартовой камеры и латентного времени питания, а также к снижению количества съеданного корма. Полученные результаты раскрывают значимость магнитного окружения для костистых рыб, и необходимость учета этого фактора в дальнейших исследованиях.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 121051100104-6). Оценка влияния магнитного окружения на отдельные показатели поведения карповых рыб выполнена для сравнительного анализа в рамках проекта № 20-04-00175, поддержанного РФФИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Шейман И.М., Крещенко Н.Д. 2009. Влияние слабого электромагнитного излучения на разные формы поведения у мучного хрущака *Tenebrio molitor* // Журн. высш. нерв. деят. Т. 59. № 4. С. 488.
- Binhi V.N., Prato F.S. 2017. Biological effects of the hypomagnetic field: an analytical review of experiments and theories // PLoS ONE. V. 12. № 6. e0179340. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179340>
- Haugh C., Walker M. 1998. Magnetic discrimination learning in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // J. Navig. V. 51. № 1. P. 35. <https://doi.org/10.1017/S0373463397007595>
- Meyer C.G., Holland K.N., Papastamatiou Y.P. 2005. Sharks can detect changes in the geomagnetic field // J. R. Soc. Interface. V. 2. P. 129. <https://doi.org/10.1098/rsif.2004.0021>
- Newton K.C., Kajiura S.M. 2017. Magnetic field discrimination, learning, and memory in the yellow stingray (*Urobatis jamaicensis*) // Anim. Cogn. V. 20. P. 603. <https://doi.org/10.1007/s10071-017-1084-8>
- O'Connell C.P., Abel D.C., Rice P.H. et al. 2010. Responses of the southern stingray (*Dasyatis americana*) and the nurse shark (*Ginglymostoma cirratum*) to permanent magnets // Mar. Freshw. Behav. Physiol. V. 43. № 1. P. 63. <https://doi.org/10.1080/10236241003672230>
- Volkoff H. 2016. The neuroendocrine regulation of food intake in fish: a review of current knowledge // Frontiers Neurosci. V. 10. e540. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00540>
- Walker M.M. 1984. Learned magnetic field discrimination in yellowfin tuna, *Thunnus albacores* // J. Comp. Physiol. A. V. 155. P. 673.
- Wan G.-J., Jiang S.-L., Zhang M. et al. 2021. Geomagnetic field absence reduces adult body weight of a migratory insect by disrupting feeding behavior and appetite regulation // Insect Sci. V. 28. P. 251. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12765>
- Ziomber A., Juszcak K., Kaszuba-Zwoinska J. et al. 2009. Magnetically induced vagus nerve stimulation and feeding behavior in rats // J. Physiol. Pharmacol. V. 60. № 3. P. 71.

Influence of Changes in the Magnetic Background on the Eating Behavior of *Carassius auratus gibelio*

V. V. Kuz'mina¹, E. A. Kulivatskaya¹, and V. V. Krylov¹, *

¹*Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast, Russia*

*e-mail: kryloff@ibiw.ru

The influence of a decrease in the induction of a static magnetic background on the feeding behavior of the goldfish *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782) has been shown for the first time. This treatment increased the time of fish exit from the starting chamber and the latent time of feeding, and a decrease in the amount of food consumed.

Keywords: hypomagnetic conditions, magnetic field, feeding time, eating behavior