

УДК 57.034:574.24:57.04

УЛЬТРАДИАННЫЕ РИТМЫ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА СВЯЗАНЫ С ОСОБЕННОСТЯМИ ПОВЕДЕНИЯ У ЗЕЛЕНУШКИ (*Chloris chloris*, Fringillidae, Aves)

© 2021 г. М. Е. Диатропов^{1,*}, А. С. Опаев¹, член-корреспондент РАН А. В. Суров¹

Поступило 09.03.2021 г.

После доработки 24.03.2021 г.

Принято к публикации 24.03.2021 г.

Ранее у самцов зеленушки нами выявлены ультрадианные ритмы температуры тела, которые группируются в нескольких частотных диапазонах (3–6, 8–10, 12–20, 40–60 мин). При этом выделялась группа птиц, у которых доминируют 3–7-минутные ритмы – у них низкий коэффициент отношения средней спектральной плотности гармоник в диапазоне 12–20 мин к аналогичному показателю для 3–7 мин. В настоящей работе мы проверяли гипотезу о связи ритмов температуры тела с активностью нервной системы, а именно – с поведением и темпераментом. Проведено две серии поведенческих тестов – для оценки уровня агрессивности ($n = 12$ самцов) и реакции на новизну ($n = 17$). Оказалось, что особи, у которых преобладают ритмы в диапазоне 3–7 мин, менее агрессивны и медленнее привыкают к новым условиям. Таким образом, установлена связь между особенностями поведения, темпераментом и ультрадианными ритмами температуры тела у зеленушек.

Ключевые слова: ультрадианные ритмы, температура тела, темперамент, зеленушка

DOI: 10.31857/S2686738921040089

Цикличность характерна для многих процессов в живой природе. Часто она совпадает с цикличностью в проявлении абиотических факторов – например, сезонностью или чередованием темного и светлого времени суток. Но известны и ультрадианные ритмы с периодом менее 24 ч. Они изучены хуже, их функциональное значение менее понятно [1]. Проявления ультрадианной ритмики могут затрагивать, например, уровень гормонов в крови, двигательную активность, сердцебиение [2–4], а также температуру тела.

Ранее мы изучали температуру тела у зеленушки (*Chloris chloris*) [5]. У этого вида ночью температура на 4–5°C ниже, чем днем (рис. 1а). Днем выявлены ультрадианные ритмы с амплитудой не более 0.3–0.5°C (рис. 1б). У большинства самцов такие ритмы группируются в нескольких частотных диапазонах, их периоды составляют около 40–60, 16–20, 11–13, 6–8 и 3–5 мин. Амплитуда ритмов имеет индивидуальную изменчивость. В частности, некоторые самцы выделялись выраженными 3–7-минутными ритмами (красная линия на рис. 1б).

Динамика температуры тела в диапазоне около 3–20 мин как у животных, так и у человека определяется, вероятно, тонусом вегетативной нервной системы: блокада как симпатических, так и парасимпатических влияний приводит к исчезновению колебаний [6]. Одним из эффективных физиологических методов для оценки регуляторных влияний вегетативной нервной системы, в частности на сердце, является вариабельность сердечного ритма [7]. Этот метод применяется не только при исследовании деятельности сердечно-сосудистой системы, но и для оценки адаптационных возможностей всего организма, отражающегося в балансе симпатических/парасимпатических реакций. Важным показателем в методике оценки вариабельности сердечного ритма является соотношение высоко- и низкочастотных ритмических изменений временных интервалов между сердечными сокращениями. Мы предположили, что аналогичный прием анализа ритмических изменений температуры тела, но в более низкочастотном диапазоне периодов, может быть информативен для оценки баланса автономной нервной системы, лабильность которой связана с понятием силы процессов возбуждения и торможения центральной нервной системы. Следовательно, индивидуальные характеристики ритмики температуры тела могут быть связаны с темпераментом животных и/или их поведением. В

¹ ФГБУН “Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН”, Москва, Россия

*e-mail: diatrom@inbox.ru

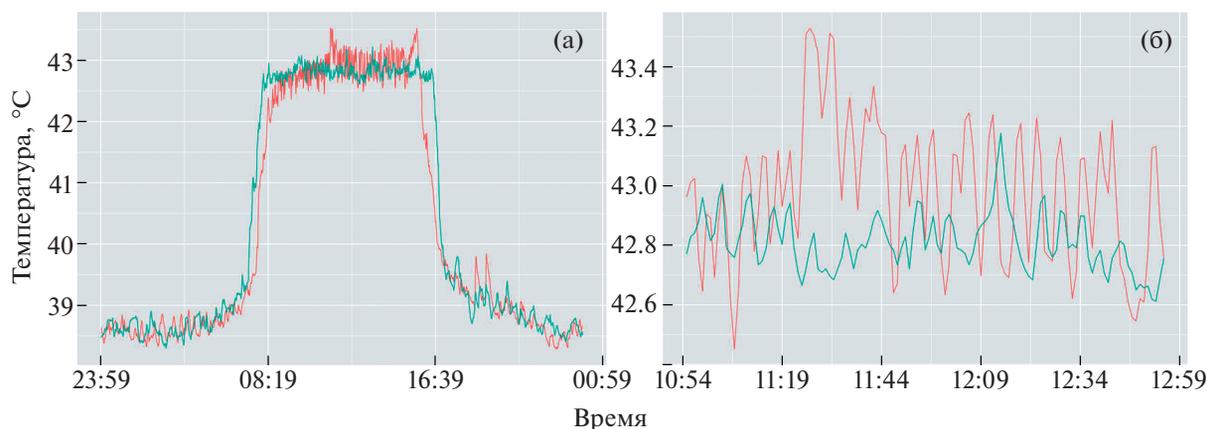


Рис. 1. Динамика температуры тела зеленушек в течение суток (а) и за два дневных часа тех же суток (б). Приведены данные для двух самцов — с коротким (красная линия) и протяженным (синяя линия) желтым полем на рулевом пере.

данной работе мы соотнесли особенности поведения самцов зеленушки, имеющих разную выраженность ультрадианных ритмов изменения температуры тела в диапазоне 3–20 мин.

Зеленушек отловили в сентябре–октябре 2019 и 2020 г. в с. Ярустово (Рязанская обл.). Птиц содержали до весны следующего года в индивидуальных клетках в помещении. Зимой 2019–2020 гг. мы содержали 12 самцов, а зимой 2020–2021 гг. — 17 самцов. С целью стандартизации зимой 2020–2021 гг. исследование проводили на птицах в возрасте до года. Динамику температуры тела регистрировали в декабре: в 2019 г. изучены 9 самцов, а в 2020 г. — 14 самцов. Температуру тела регистрировали с помощью датчиков ДТН4-28 (“ЭМБИ РЕСЕРЧ”), которые имплантировали в брюшную полость на 20–40 дней. В качестве анестетика при операции использовали золетил (Virbac Sante Animale), который вводили внутримышечно из расчета 3–7 мг/кг. Датчик позволял регистрировать температуру тела каждую минуту и накапливать данные за весь период эксперимента. Спектральная плотность мощности ритмов определялась методом быстрого преобразования Фурье в программе Statistica 7.0. Далее вычисляли среднюю спектральную плотность в диапазонах периодов 12–20 и 3–7 мин, и находили их отношение (далее: отношение 12–20/3–7 мин). Этот показатель отражает выраженность амплитуды ритмов с периодами 12–20 мин по отношению к ритмам с периодами 3–7 мин.

Для оценки поведенческих особенностей разных самцов мы использовали два подхода: прямой и непрямой. В качестве непрямого метода использовали окраску оперения, которая у птиц может отражать особенности поведения и темперамента, например, уровень агрессивности или смелость ↔ трусливость [8, 9]. Мы использовали протяженность (в % от общей длины) желтого по-

ля второго с краю рулевого пера. Это перо двухцветное — его дистальная часть черная, а основание желтое. Ранее было показано, что данный признак индивидуален (стабильно различается между особями) и вероятно связан с физиологическими и/или генетическими особенностями птиц [10].

Для прямой оценки поведения проведено две серии опытов. Зимой 2019–2020 гг. изучали агрессивное поведение птиц, а зимой 2020–2021 гг. — отношение к новому предмету.

Для изучения агрессивного поведения в каждую из шести клеток посадили по два самца. “Пары” подбирались таким образом, чтобы входящие в них птицы были контрастны по протяженности желтой части рулевого пера и относились к одной возрастной когорте.

По истечении 2–3 нед в каждой клетке выявился более агрессивный доминант и подчиненный. Все подчиненные зеленушки потеряли большую часть оперения затылочной области (оно было выщипано доминантом). Доминантом во всех случаях стал самец с большей протяженностью желтой части пера. Медиана отношения 12–20/3–7 мин была больше у доминантов: 2.6 (2.3–2.9, $n = 4$) против 2.2 (1.0–2.4, $n = 5$) у подчиненных (различия достоверны по критерию Манна–Уитни: $W = 18.5$, $p = 0.049$).

Отношение к новизне изучали на 17 самцах. Опыты проводили по методике [8]. В 10 ч утра птиц лишали корма. Через 3.5 ч в клетку помещали новую кормушку яркого цвета. Отмечали время, по истечении которого птица начинала клевать из нее семена, что служило показателем отношения птицы к новизне. Если самец не подходил к кормушке в течение 30 мин, опыт прекращали. С каждым из самцов эксперимент повторяли два раза, с интервалом около 10 дней. В первой серии экспериментов кормушка была

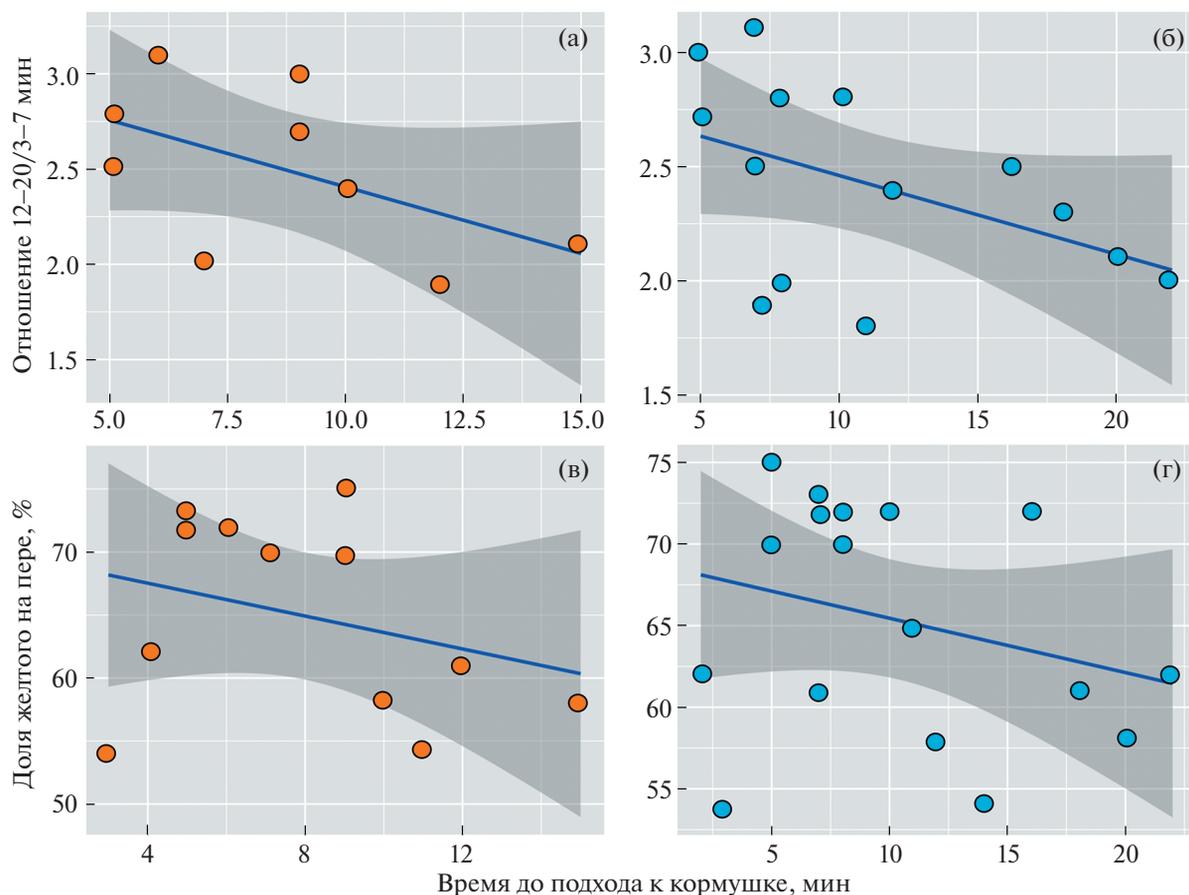


Рис. 2. Время подхода к оранжевой кормушке (а, в) в первой серии опытов, и к голубой кормушке (б, г) во второй серии опытов в зависимости от отношения 12–20/3–7 мин (вверху) и доли желтого цвета от общей длины 4-го рулевого пера (%) (внизу).

оранжевого цвета, а во второй — ярко-голубого. В опытах с оранжевой кормушкой в течение 30 мин к ней подошли 12 самцов из 17. К голубой кормушке подошли все 17 птиц. Время подхода к одной и другой кормушке коррелировало: коэффициент корреляции Спирмена $R = 0.65$, $p = 0.023$, $n = 12$. Значит, данный опыт выявляет индивидуальные особенности поведения.

Для выявления связи между отношением 12–20/3–7 мин и временем подхода к кормушке использовали обобщенные линейные модели со смешанными эффектами (GLMM). В этом анализе использовали случайный фактор: массу тела самца, измеренную ранним утром в день первого эксперимента. Это было сделано потому, что упитанность/истощенность птиц может влиять на пищевую мотивацию и результаты опыта. Время подхода к оранжевой кормушке достоверно не зависело от отношения 12–20/3–7 мин (GLMM: $DF = 7$, $t = -1.69$, $p = 0.135$, $n = 9$). А время подхода к голубой зависело (GLMM: $DF = 12$, $t = -1.81$, $p = 0.005$, $n = 14$). При этом сам характер зависимости был схож в обоих экспериментах (рис. 2а–2б).

Время подхода к оранжевой (GLMM: $DF = 10$, $t = -0.99$, $p = 0.027$, $n = 12$) и голубой (GLMM: $DF = 15$, $t = -1.13$, $p = 0.004$, $n = 17$) кормушкам достоверно зависело от протяженности желтого поля пера (рис. 2в–г).

Проведенные опыты показали, что птицы с меньшей протяженностью желтого цвета на рулевом пере (1) были подчиненными при парных ссаживаниях и (2) были более боязливы (дольше подходили к незнакомой кормушке). По данным за оба года исследования, протяженность желтого на хвосте коррелировала с отношением 12–20/3–7 мин: коэффициент корреляции Спирмена $R = 0.69$, $p < 0.001$, $n = 23$ (рис. 3). Значит, у подчиненных и боязливых птиц (мало желтого) ультрадианные ритмы температуры тела с периодичностью 3–7 мин были выражены сильнее (пример: рис. 1б).

Интересно, что доза анестетика (золетил), необходимая для обездвиживания птиц с высоким показателем доли желтого в хвосте (70–80%), была в 1.5–2 раза больше, чем для птиц с маленькой долей желтого. Это дополнительно подтверждает

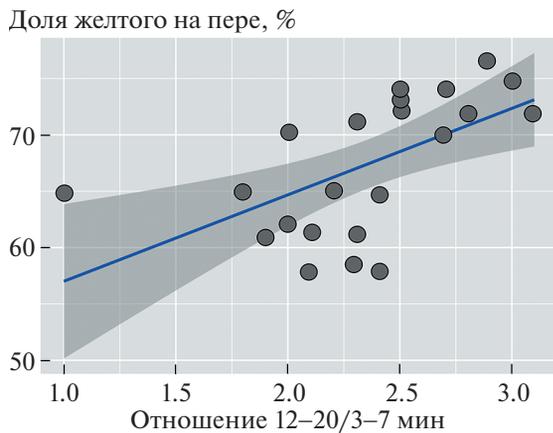


Рис. 3. Взаимосвязь отношения 12–20/3–7 мин и доли желтого цвета от общей длины 4-го рулевого пера (%).

различие в реактивности нервной системы у зеленушек с разной степенью развития желтого цвета на рулевых перьях.

Подобные данные есть и в литературе. У птенцов сипухи (*Tyto alba*) выявлена зависимость размера черных пятен оперения от продолжительности и выраженности около 4-часовых ультрадианных ритмов чередования активности/покоя [1]. Этот факт авторы связывают с различными стратегиями поведения, свойственными многим животным: проактивные и реактивные [11]. Результаты наших исследований показывают, что самцов зеленушек с маленькой площадью желтого в хвосте и выраженными 3–7-минутными колебаниями температуры можно отнести к реактивным особям, более “трусливым” и менее агрессивным.

Выявленная нами закономерность — преобладание высокочастотных колебаний в динамике ежеминутных изменений температуры тела у менее эмоционально-устойчивых особей — вероятно, определяется эндогенными причинами, связанными с особенностями функционирования вегетативной нервной системы. Однако ранее нами было показано, что на динамику изменения температуры тела влияет экзогенный фактор внешней среды [5]. В частности, установлена связь колебаний температуры тела в диапазоне 4–16 мин с R_{c5} пульсациями геомагнитного поля [12]. В нашей работе менее агрессивные птицы и боязливые в отношении новых объектов, имели более выраженные короткопериодические колебания температуры тела и, вероятно, большую чувствительность к геомагнитному полю, в отличие от особей, проявляющих склонность к доминированию и более уверенному поведению.

В данной работе мы продемонстрировали возможность оценки состояния автономной нервной системы по выраженности спектральной плотности гармоник изменения температуры те-

ла разного диапазона периодов. Этот прием может быть также применен в области исследования индивидуальных психофизиологических реакций, уровня стрессорной нагрузки и других биологических параметров, имеющих отражение в балансе симпатического/парасимпатического звена вегетативной нервной системы.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках темы Государственного задания ИПЭЭ РАН 0089-2021-0004 “Экологические и эволюционные аспекты поведения и коммуникации животных”.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

При работе с экспериментальными животными руководствовались Европейской Конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или других научных целей (Страсбург, 1986 г.). На проведение экспериментальной работы было получено положительное заключение этической комиссии ИПЭЭ РАН № 14 от 15.01.2018 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Scriba M.F., Henry I., Vyssotski A.L., Mueller J.C., Rattenborg N.C., Roulin A.* // Journal of Biological Rhythms. 2017. V. 3. № 5. P. 456–468.
2. *Gerkema M.P., Daan S., Wilbrink M., Hop M.W., van der Leest F.* // Journal of Biological Rhythms. 1993. V. 8. Iss. 2. P. 151–171.
3. *Kimura F., Tsai C.W.* // Journal of Physiology. 1984. V. 353. Iss. 1. P. 305–315.
4. *Tornatzky W., Cole J.C., Miczek K.A.* // Physiology and Behavior. 1998. V. 63. Iss. 5. P. 845–853.
5. *Диатроптов М.Е., Панчелюга В.А., Панчелюга М.С., Суров А.В.* // Доклады Российской академии Наук. Науки о жизни. 2020. Т. 494. № 1. С. 472–476.
6. *Braulke L.J., Heldmaier G.* // Cryobiology. 2010. V. 60. № 2. P. 198–203.
7. *Баевский П.М.* // Успехи физиологических наук. 2006. Т. 37. № 3. С. 42–57.
8. *Mateos-Gonzalez F., Senar J.C.* // Animal Behaviour. 2012. V. 83. Iss. 1. P. 229–232.
9. *Williams L.J., King A.J., Mettke-Hofmann C.* // Animal Behaviour. 2012. V. 84. Iss. 1. P. 159–165.
10. *Karu U., Saks L., Hõrak P.* // Physiological and Biochemical Zoology. 2007. V. 80. № 6. P. 663–670.
11. *Koolhaas J.M., Korte S.M., De Boer S.F., Van Der Vegt B.J., Van Reenen C.G., Hopster H., De Jong I.C., Ruis M.A.W., Blokhuis H.J.* // Neuroscience and Biobehavioral Reviews. 1999. V. 23. Iss. 7. P. 925–935.
12. *Диатроптов М.Е., Ягова Н.В., Петровский Д.В., Суров А.В.* // Бюлл. эксп. биол. и мед. 2021. Т. 171. № 5. С. 639–634.

**ULTRADIAN RHYTHMS OF BODY TEMPERATURE
ARE RELATED TO TEMPERAMENT IN GREENFINCH
(CHLORIS CHLORIS, FRINGILLIDAE, AVES)**

M. E. Diatropov^{a,#}, A. S. Ораев^a, and Corresponding Member of the RAS A. V. Surov^a

^a*A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation*

[#]*e-mail: diatrom@inbox.ru*

Earlier, in males Greenfinch, we have described several rhythms of body temperature with periods of 3–6, 8–10, 12–20, and 40–60 min. There was individual variation in such rhythmicity. Rhythms with a period of 3–7 min were more characteristic for some males but not for the others. These males had small values of ratio of harmonic spectral density in the range of 12–20 min to harmonic spectral density in the range of 3–7 min. Here, we hypothesized that ultradian rhythmicity in body temperature fluctuations relates to nervous system activity in general, and to temperament in particular. We found that some males were more aggressive and approached the novel feeder quicker (they were bolder), while others were less aggressive and shyer. We found that rhythms with a period of 3–7 min were much more expressed in non-aggressive and shy males. Thus, in Greenfinch the body temperature rhythmicity was related to temperament.

Keywords: ultradian rhythms, body temperature, temperament, Greenfinch