

УДК 57.034:574.24:57.04

СВЯЗЬ УЛЬТРАДИАННЫХ РИТМОВ АКТИВНОСТИ В ДИАПАЗОНЕ 6–20 МИН МЕЖДУ ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ РАЗНЫХ КЛАССОВ ТЕМЛОКРОВНЫХ ЖИВОТНЫХ

Диатромтов М. Е.^{1,2}

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

²*ФГБНУ Научно-исследовательский институт ревматологии им. В. А. Насоновой, Москва, Россия*

E-mail: diatrom@inbox.ru

Проведено исследование связанности изменений спектральной плотности мощности динамики внутрибрюшной температуры тела между группой самцов лабораторных мышей и зеленушками (*Chloris chloris*). Коэффициенты кросс-корреляции спектров мощности, рассчитанных для одновременных рядов данных статистически выше, чем при анализе смещенных по оси времени данных температуры тела мышей, относительно птиц. Также установлена связь моментов пробуждения и выхода из ночного убежища поползней (*Sitta europaea*) в естественных условиях с моментами максимальных приростов температуры тела у лабораторных мышей, находящихся в условиях постоянного искусственного освещения. Эти факты указывают на наличие внешнего квазиритмического фактора среды, влияющего на активность животных, принадлежащих к разным классам. Таким образом, величина ежеминутных приростов температуры тела по группе лабораторных мышей является маркером внешнего фактора среды, в том числе вызывающего пробуждение и начало активности птиц.

Ключевые слова: ультрадианные ритмы, синхронизаторы, гелиогеофизические факторы, млекопитающие, птицы.

ВВЕДЕНИЕ

Периодические изменения уровня активности присущи животным разных классов [1–5]. У грызунов наиболее четко прослеживаются 2–6 часовые ритмы активности на первый взгляд связанные с процессом поиска/переваривания пищи [6, 7]. При этом для более мелких животных и видов, использующих низкокалорийную пищу характерны более высокочастотные ритмы активности. Эти ритмы имеют адаптивное значение и существуют механизмы их генерации на уровне нервной системы организма [8, 9].

Ультрадианные ритмы температуры тела у грызунов в диапазоне периодов 2–6 часов отражают цикл активность/покой. Однако выраженная ритмичность изменения температуры тела наблюдается и в диапазоне 6–20 мин [10]. Эти ритмы характерны для представителей разных классов (птицы и млекопитающие) и одинаковы по периоду у видов, отличающихся уровнем обмена веществ [11]. Следовательно, либо эндогенная периодичность в этом диапазоне периодов была сформирована у общего предка и по какой-то причине не изменялась в процессе

дальнейшей эволюции, либо существует внешний фактор, определяющий данные колебания.

Факт связи геомагнитных параметров среды с активностью автономной нервной системы установлена несколькими коллективами авторов [12–14]. Основным оцениваемым параметром в данных работах это вариабельность сердечного ритма, отражающая активность симпатических и парасимпатических влияний на работу сердца. Ультранизкая ритмика температуры тела также формируется за счет изменения баланса тонуса симпатической и парасимпатической автономной нервной системы [15]. Для экспериментальной работы ритмы температуры «теплового ядра» животного значительно более удобный для длительной регистрации параметр, чем вариабельность сердечного ритма.

Другой формой ритмической активности является цикл сон/бодрствование. Для птиц характерен однократный период сна в течение суток (монофазный), а для грызунов – полифазный. В период сна температура тела птицы составляет около 38 °С, а при пробуждении резко повышается до 41–42 °С, что позволяет регистрировать время пробуждения с точностью до 1 мин. Представляется интересным связан ли момент пробуждения птицы с периодами наибольших ежеминутных приращений температуры тела в группе мышей, отражающих преобладание в этот момент тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы. Факт связи этих процессов у животных, принадлежащих к разным классам и имеющих разные адаптационные стратегии, по нашему мнению, будет дополнительным фактом, указывающим на существование внешнего квазиритмического фактора среды, влияющего на активность живых организмов.

Цель – оценить взаимосвязанность ритмов активности между представителями разных классов теплокровных животных (птицы и млекопитающие).

С этой целью:

- 1) Проанализировать связанность изменений спектральной плотности мощности температуры тела у обыкновенных зеленушек (*Chloris chloris*) в условиях неволи и лабораторных мышей.
- 2) Оценить статистическую значимость совпадений между моментами пробуждения вольных поползней (*Sitta europaea*) с моментами наибольших ежеминутных приростов температуры тела в группе лабораторных мышей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты по сопоставлению спектров динамики температуры тела разных групп животных: Было проведено две серии исследования (Таблица). Сравниваемые между собой группы состояли из самцов лабораторных мышей линии C57Bl/6 и обыкновенных зеленушек (*Chloris chloris*). Птицы были отловлены за 1–2 мес до начала эксперимента. Все экспериментальные животные содержались в индивидуальных клетках при естественном освещении или искусственном постоянном освещении интенсивностью 700–800 лк и цветовой температурой 4200 К.

Таблица

Характеристика эксперимента по сопоставлению спектров мощности температуры тела между двумя экспериментальными группами животных

Период исслед.	Группа 1				Группа 2			
	Вид	n	Освещ.	Место	Вид	n	Освещ.	Место
26.03 – 07.04 2020	Мышь C57Bl/ 6	8	Естест.	Рязанск. обл.	<i>Chloris chloris</i>	4	Естест.	Москва
20.07 – 06.08 2021	Мышь C57Bl/ 6	9	Пост.	Рязанск. обл.	<i>Chloris chloris</i>	9	Естест.	Рязанск. обл.

Эксперименты по сопоставлению моментов пробуждения и начала активности птиц и динамики температуры тела мышей. Исследование динамики температуры тела у лабораторных мышей линии C57Bl/6 проводили в группе животных (n=12), живущих в индивидуальных пластиковых клетках (40x14,5x24 см). Доступ к воде и пище был свободным. Запаса воды и пищи хватало на 20 сут, что позволяло не тревожить животных. Животные содержались в условиях постоянного неяркого освещения, вызывающего преобладание ультрадианных ритмов активности, а циркадианный ритм снижает свою амплитуду и приобретает характер «свободнотекущего» с периодом около 25 часов.

Регистрацию моментов пробуждения и выхода из ночлежного дупла проводили у 8 самцов обыкновенного поползня (*Sitta europaea*), в Битцевском лесопарке г. Москвы, находящемся в 2 км от места содержания группы лабораторных мышей. Исследования проводили в ноябре-декабре 2021 г. Температуру воздуха в верхней части дупла, где ночует поползень, регистрировали датчиком ДТН4-28 (ООО «ЭМБИ РЕСЕРЧ»/ LLC EMBI RESEARCH, Новосибирск).

Во всех экспериментах температуру тела измеряли с частотой 1 раз в минуту при помощи имплантированных в брюшную полость датчиков ДТН4-28/TL4-28 (ООО «ЭМБИ РЕСЕРЧ»/ LLC EMBI RESEARCH, Новосибирск). Внутривентриальное внедрение датчиков проводили не позже, чем за 2 недели до проведения эксперимента, используя в качестве анестетика Золетил («Virbac Sante Animale», Франция), вводимого внутримышечно в дозе 5–7 мг/кг. Процедура эксперимента одобрена комиссией по биоэтике ИПЭЭ РАН протокол № 14 от 15.01.2018.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программного пакета Statistica 7. Спектральный анализ проводили методом быстрого преобразования Фурье. С целью выявления синхронности изменения спектров температуры тела мышей и птиц рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена. Для оценки статистической значимости частоты совпадения моментов выходов из дупла птиц относительно максимальных приростов температуры тела мышей применяли z-тест для двух выборочных долей. Оценку статистической значимости различий между

показателями проводили непараметрическим методом Манна-Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на то, что спектры динамики температуры тела у птиц и мелких млекопитающих имеют определенные сходные периоды [10, 11], можно заметить, что в разные дни наблюдается преобладание определенных гармоник. С целью проверки достоверности этого наблюдения мы рассчитывали коэффициент кросс-корреляции между спектрами мощности температуры тела в диапазоне 6–20 мин в группах самцов лабораторных мышей и обыкновенной зеленушки (*Chloris chloris*). В качестве исходного временного ряда использовали показатель ежеминутного изменения температуры тела, т.к. такой прием дифференцирования динамики температуры по времени приводит к нивелированию суточного тренда и увеличению выраженности ритмов высокочастотного диапазона. Фурье анализу подвергались медианные значения изменения температуры тела по группе животных. Индивидуальный анализ временных рядов более информативен, однако исходя из нашего предположения о наличии внешнего фактора, синхронизирующего данные ритмы, мы опирались на медианное значение по группе, отражающее суммарную коллективную реакцию животных на фактор/факторы среды. На рисунке 1 представлены коэффициенты кросс-корреляции спектров мощности рассчитанных для каждых суток между группами животных. В период 26 марта – 13 апреля 2020 г. исследовалась динамика температуры тела у группы лабораторных мышей и обыкновенных зеленушек, находившихся при естественном освещении, но разнесенных на 240 км в юго-восточном. Медианное значение коэффициента кросс-корреляции составило 0,11 (0,08; 0,20), тогда как при расчете коэффициента корреляции между смещенными по времени на 1 сут показателями он составил 0,01 (-0,06; 0,11) (Рис.1, серия 1). Между показателями коэффициента кросс-корреляции спектров мощности температуры тела мышей и зеленушек, рассчитанных без смещения и со смещением по времени, установлено статистически значимое различие ($p=0,005$; $z=2,81$). Аналогичная закономерность наблюдалась в период 20 июля – 6 августа 2021г при сопоставлении спектров мощности температуры тела у мышей, находящихся в условиях постоянного неяркого освещения и зеленушек при естественном освещении (Рис. 1, серия 2). В этот временной период коэффициенты кросс-корреляции спектров мощности температуры тела мышей и зеленушек рассчитанных без смещения и со смещением по времени составили 0,13 (0,10; 0,24) и 0,08 (-0,06; 0,13) соответственно и имели статистическую значимость различий ($p=0,002$; $z=3,03$). В сумме за 37 дней эксперимента статистически значимых положительных коэффициентов корреляции между спектрами температуры тела мышей и зеленушек зарегистрировано 43 % (16 из 37), тогда как при расчете данного показателя со смещением по времени на 1 сут 20 % (15 из 74). Таким образом, связь между спектрами мощности температуры тела мышей и птиц более

значимая при расчете одновременных рядов данных, чем при смещении по времени.

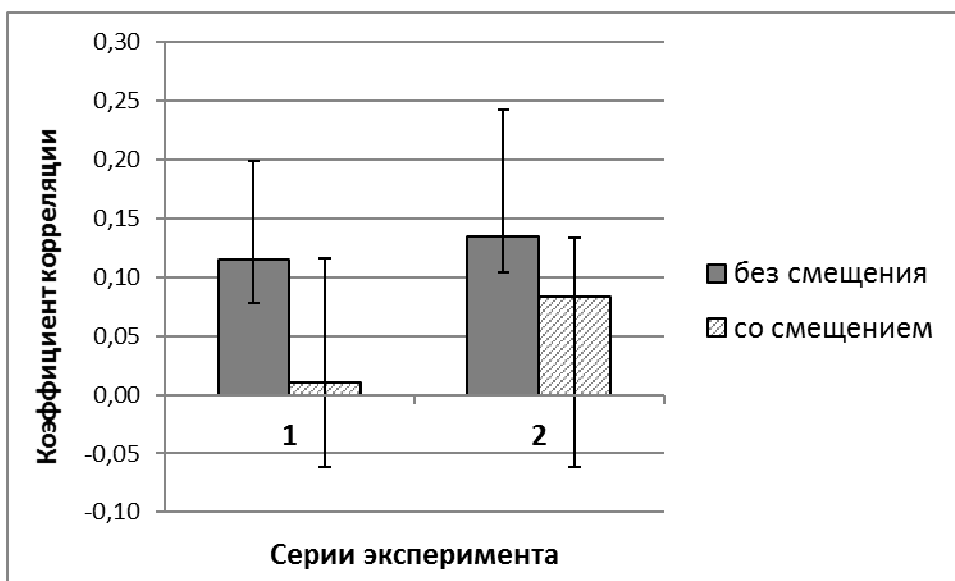


Рис. 1. Коэффициенты кросс-корреляции спектральной мощности температуры тела в диапазоне 6-20мин между двумя группами животных (Серия 1: мыши и зеленушки 26.03 – 7.04 2020; Серия 2: мыши и зеленушки 20.07 – 6. 08 2021), **ряд1: без смещения** – рассчитанных для одновременных событий и **ряд2: со смещением** – для рядов, сдвинутых относительно друг друга по времени на 1 сут.

На рисунке 2 представлены примеры динамики температуры воздуха в верхней части дупла. С точность до 1 мин можно зарегистрировать моменты резкого увеличения температуры воздуха, определяющегося пробуждением птицы и точку начала резкого снижения температуры воздуха, обусловленного покиданием птицей дупла. Моменты пробуждения достоверно регистрируются не всегда, в данном примере у птицы № 2 и № 4 нельзя выделить точной минуты резкого начала увеличения температуры от ночного уровня. В анализ были включены только четко регистрируемые моменты пробуждения (165 из 376 случаев). Выход же поползня из дупла зарегистрирован во всех 376 случаях. На рисунке 3 представлена динамика медианного значения величины ежеминутного изменения температуры тела по группе лабораторных мышей. Можно заметить преимущественное совпадение моментов пробуждения и выхода поползней из дупла с максимальными приращениями температуры тела лабораторных мышей.

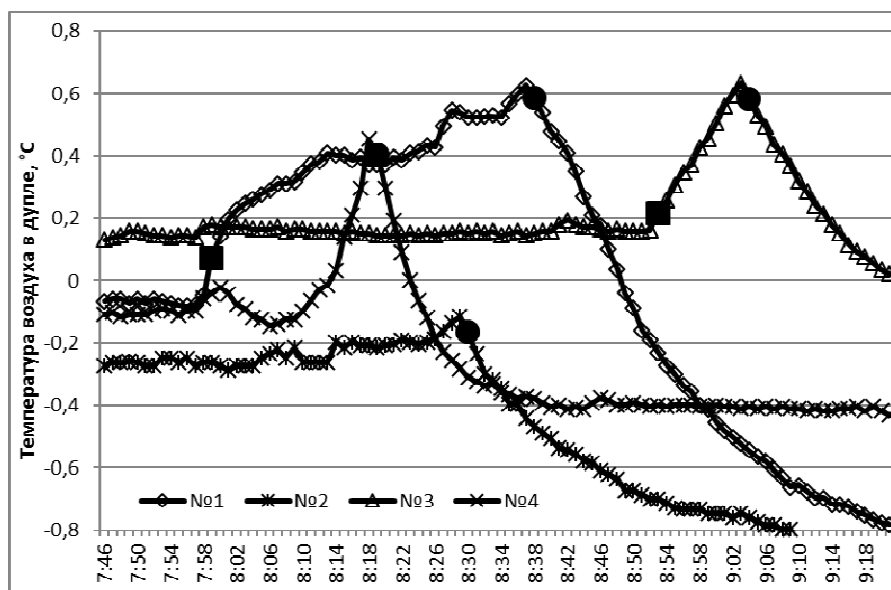


Рис. 2. Примеры динамики температуры воздуха в верхней части дупла, где ночует самец поползня. На рисунке приведены данные по 4 особям за 18. 12. 2021. Моменты пробуждения выделены крупным квадратом, а выхода из дупла – кругом.

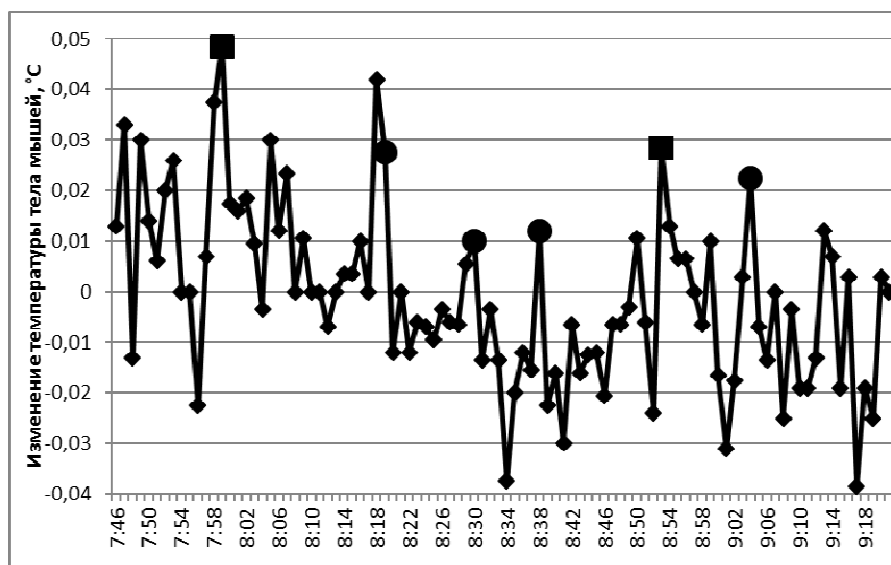


Рис. 3. Медианное значение величины ежеминутного изменения температуры тела в группе лабораторных мышей (n=13). Выделены точки, соответствующие у поползней моментам пробуждения (квадрат) и выхода из дупла (круг). Проиллюстрирован тот же временной период, что и на рис. 1.

Распределение методом наложенных эпох моментов выхода из дупла вольных поползней относительно экстремумов ежеминутного приращения температуры тела по группе лабораторных мышей представлено на рисунке 4. Максимальное число моментов пробуждения поползней (76 случаев) зарегистрировано в период максимальных показателей прироста температуры тела мышей, тогда как за 2–3 мин до и после этого момента только, в среднем, по 20 событий. По критерию для оценки двух выборочных долей вероятность случайного совпадения в данном случае составляет менее 0,001 %.



Рис. 4. Распределение методом наложенных эпох числа случаев утреннего выхода поползней из дупла относительно момента регистрации максимальных приростов температуры тела в группе лабораторных мышей (n=12).

По причине значительно меньшего числа случаев зарегистрированных пробуждений, чем выходов из дупла, с целью сопоставления данных с динамикой температуры тела мышей мы выполнили распределение методом наложенных эпох данных ежеминутного изменения температуры тела по группе мышей относительно моментов пробуждения поползней (Рис. 5). Оказалось, что в период пробуждения поползней наблюдаются наибольшие ежеминутные увеличения температуры тела мышей. Показатели изменения температуры тела в момент 0 статистически значимо различаются с таковыми за 2–3 мин до и после исследуемого события ($p < 0.0001$).

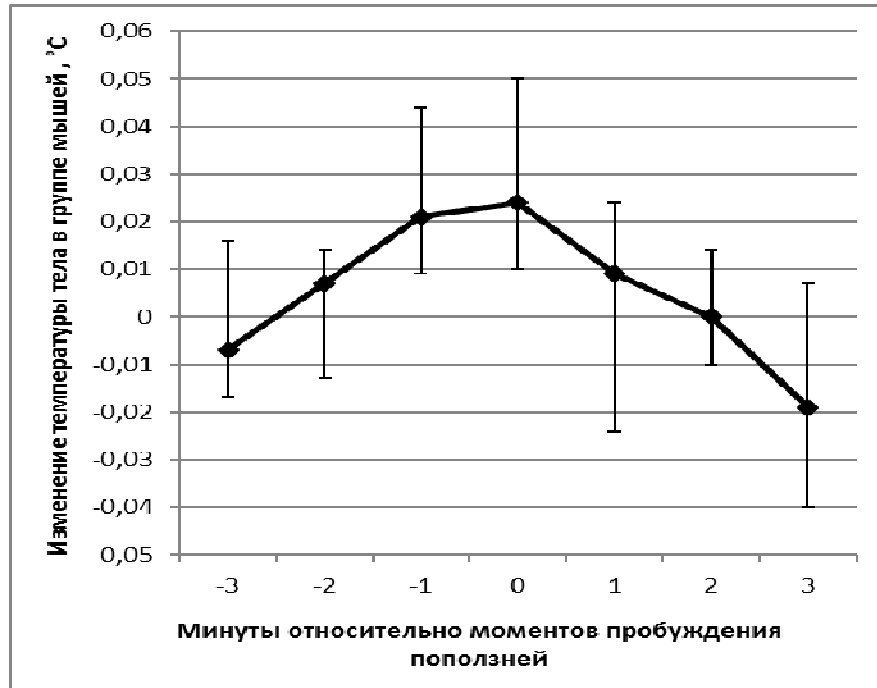


Рис. 5. Распределение методом наложенных эпох динамики ежеминутных изменений температуры тела лабораторных мышей (отклонение медианного значения по группе (n=12) от среднего уровня на анализируемом временном отрезке) относительно моментов пробуждения поползней, определяемых по резкому увеличению температуры воздуха в дупле относительно ночного уровня (n=165). Представлены медианы и интерквартильный размах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показано что, связь между спектрами мощности температуры тела мышей и птиц более значимая при расчете одновременных рядов данных, чем при смещении по времени данных температуры тела птиц, относительно мышей. Этот факт указывает на одновременное изменение формы спектров мощности температуры тела птиц и млекопитающих. Учитывая принципиально разные стратегии адаптаций у исследованных видов животных и в том числе формы суточной активности, наличие синхронных изменений преобладающих периодов в динамике температуры тела указывает на существование внешнего квазиритмического фактора среды, определяющего эти колебания.

Моменты пробуждения и выхода поползней из ночного убежища наблюдаются преимущественно в период максимальных ежеминутных приращений температуры тела у лабораторных мышей. Следовательно, существует прямая связь между увеличением температуры тела у мышей, отражающим преобладание симпатических влияний в этот момент времени, и пробуждением птиц и их

принятием решения о выходе из дупла. Получается, что увеличение ежеминутных приростов температуры тела по группе лабораторных мышей является маркером внешнего фактора среды, вызывающего пробуждение и начало активности птиц.

Таким фактором могут являться квазиритмические колебания геомагнитного поля, что показано в ряде работ [16–21]. Однако нужно учитывать, что аналогичный спектр наблюдается в различных гелиогеофизических процессах [22]. Поэтому для установления природы этого фактора необходимы эксперименты по экранированию или искусственному воздействию предполагаемым физическим фактором. Метод регистрации динамики внутрибрюшной температуры тела у лабораторных животных является информативным, удобным и экономичным для такого рода исследований.

Список литературы

1. Кузнецов А. Е. Синхронизация биосинтетической активности микробных продуцентов ритмики космофизического происхождения / А. Е. Кузнецов // Биофизика. – 1992. – Т. 37, № 4. – С. 772–784.
2. Nepomnyashchikh V. A. Correlations in the Rhythmic Organization of Singing in the Great Reed Warbler (*Acrocephalus arundinaceus*, Sylviidae, Aves) / V. A. Nepomnyashchikh, A. S. Orlov // Doklady Biological Sciences. – 2004. – Vol. 454, № 2. – P. 43–45.
3. Непомнящих В. А. Увеличение изменчивости поведения животных вследствие автокорреляций / В. А. Непомнящих // Журнал общей биологии. – 2012. – Т. 73, № 4. – С. 243–252.
4. Goh G. H. Episodic ultradian events-ultradian rhythms / G. H. Goh, S. K. Maloney, P. J. Mark, D. Blache // Biology (Basel). – 2019. – Vol. 8, № 1.
5. Diatropov M. E. The phenomenon of synchronous food intake in starlings (*Sturnus vulgaris*) under the conditions of isolation from each other / M. E. Diatropov, M. V. Rutovskaya, A. V. Surov // Doklady Biological Sciences. – 2020. – Vol. 492. – P. 99–102.
6. Ермаков Л. Н. Спектр ритмов активности, как показатель таксономических и экологических различий / Л. Н. Ермаков // Журнал общей биологии. – 1984. – Т. 45, № 2. – С. 301–306.
7. Ермаков Л. Н. Организация ритмов активности грызунов / Л. Н. Ермаков. – Новосибирск: Наука, 1984. – 180 с.
8. Blum I. D. A highly tunable dopaminergic oscillator generates ultradian rhythms of behavioral arousal / I. D. Blum, L. Zhu, L. Moquin, M. V. Kokoeva, A. Gratton, B. Giros, K.-F. Storch // Elife. – 2014. – Vol. 3.
9. Bourguignon C. Control of rest: activity by a dopaminergic ultradian oscillator and the circadian clock / C. Bourguignon, K. F. Storch // Frontiers in Neurology. – 2017. – V. 8. – P. 614.
10. Diatropov M. E. Body temperature dynamics in small mammals and birds in 10–120-min Period Range / M. E. Diatropov, V. A. Panchelyuga, M. S. Panchelyuga // Bulletin of Experimental Biology and Medicine. – 2020. – V. 169. – P. 765–770.
11. Diatropov M. E. Circadian rhythms of body temperature in mammals and birds with different metabolism levels / M. E. Diatropov, V. A. Panchelyuga, M. S. Panchelyuga, A. V. Surov // Doklady Biological Sciences. – 2020. – Vol. 494. – P. 228–231.
12. Cornelissen G. Non-photoc solar associations of heart rate variability and myocardial infarction / G. Cornelissen, F. Halberg, T. K. Breus, E. V. Syutkina, R. M. Baevskii, A. Weydahl, Y. Watanabe, K. Otsuka, J. Siegelova, B. Fiser, E. E. Bakken // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – 2002. – Vol. 64. – P. 707–728.
13. Alabdulgade A. Human heart rhythm sensitivity to earth local magnetic field fluctuations / A. Alabdulgade, R. Maccratty, M. Atkinson, A. Vainoras, K. Berškieñė, V. Mauricienė, Z. Navickas, R. Šmidtaitė, M. Landauskas, A. Daunoravičienė // Journal of Vibroengineering. – 2015. – Vol. 17, № 6. – P. 3271–3278.
14. Зенченко Т. А. Соотношение динамики минутных колебаний пульса и биохимических показателей крови здоровых лиц с геомагнитными пульсациями Pc5-6 / Т. А. Зенченко,

- A. A. Медведева, Н. Н. Потоплицина, О. И. Паршукова, Е. Р. Бойко // Биофизика. – 2015. – Т. 60, № 2. – С. 385–394.
15. Braulke L. J. Torpor and ultradian rhythms require an intact signalling of the sympathetic nervous system / L. J. Braulke, G. Heldmaier // Cryobiology. – 2010. – Vol. 60, № 2. – P. 198–203.
 16. Бреус Т. К. Магнитный фактор солнечно-земных связей и его влияние на человека: физические проблемы и перспективы / Т. К. Бреус, В. Н. Бинги, А. А. Петрукович // Успехи физических наук. – 2016. – Т. 186, № 5. – С. 568–576.
 17. Saroka K. S. Similar spectral power densities within the Schumann resonance and a large population of quantitative electroencephalographic profiles: supportive evidence for Koenig and Pobachenko / K. S. Saroka, D. E. Vares, M. A. Persinger // PLoS One. – 2016. 11:e0146595.
 18. Timofejeva I. Identification of a group's physiological synchronization with Earth's magnetic field / I. Timofejeva, R. McCraty, M. Atkinson, R. Joffe, A. Vainoras, A. Alabdulgader, M. Ragulskis // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2017. – Vol. 14, № 9. – P. 998.
 19. Григорьев П. Е. Вариации индексов космической погоды и инфрадианные ритмы физиологических процессов у животных / П. Е. Григорьев, В. С. Мартынюк // Ученые записки Таврического национального университета им В.И. Вернадского. Серия «Биология» – 2003. – Т. 16 (55), № 4. – С. 43–49.
 20. Martynyuk V. S. Extremely low magnetic fields as a factor of modulation and synchronization of infradian biorhythms in animals / V. S. Martynyuk, N. A. Temuryants // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. – 2010. – Vol. 46, № 7. – P. 820–829.
 21. McCraty R. Synchronization of human autonomic nervous system rhythms with geomagnetic activity in human subjects / R. McCraty, M. Atkinson, V. Stolc, A. A. Alabdulgader, A. Vainoras, M. Ragulskis // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2017. – Vol. 14, № 7. – P. 770.
 22. Panchelyuga V. A. Local fractal analysis of noise-like time series by the all-permutations method for 1–115 min periods / V. A. Panchelyuga, M. S. Panchelyuga // Biophysics. – 2015. – Vol. 60, № 2. – P. 317–330.

RELATIONSHIP OF ULTRADIAN RHYTHMS OF ACTIVITY IN THE RANGE OF 6–20 MIN BETWEEN REPRESENTATIVES OF DIFFERENT CLASSES OF TEMPERATURE ANIMALS

Diatroptov M. E.^{1,2}

¹*Institute of Ecology and Evolution A.N. Severtsov Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

²*V. A. Nasonova Research Institute of Rheumatology, Moscow, Russian Federation*
E-mail: diatrom@inbox.ru

The interrelation of the rhythms of activity between representatives of different classes of warm-blooded animals (birds and mammals) was investigated. We analyzed the relationship of changes in the spectral power density of body temperature in common greenfinches (*Chloris chloris*) in captivity and laboratory mice. The statistical significance of the coincidences between the moments of awakening and the onset of activity of free nuthatches (*Sitta europaea*) with the moments of the greatest every minute increase in body temperature in a group of laboratory mice was evaluated.

In all experiments, body temperature was measured at a frequency of 1 time per minute using DTN4-28 / TL4-28 sensors implanted into the abdominal cavity (EMBI

RESERCH LLC, Novosibirsk). Intraperitoneal insertion of sensors was carried out no later than 2 weeks before the experiment, using Zoletil (Virbac Sante Animale, France) as an anesthetic, administered intramuscularly at a dose of 5–7 mg/kg. Air temperatures in the upper part of the hollow were recorded with a similar sensor.

With an accuracy of up to 1 min, it is possible to register the moments of a sharp increase in air temperature, which is determined by the awakening of the bird, and the point of the beginning of a sharp decrease in air temperature, due to the bird leaving the hollow. The moments of awakening are not always reliably recorded. The analysis included only clearly recorded moments of awakening (165 out of 376 cases). The nuthatch emerged from the hollow tree in all 376 cases. One can notice the predominant coincidence of the moments of awakening and emergence of nuthatches from the hollow with the maximum increments in body temperature of laboratory mice.

The distribution by the method of superimposed epochs of the moments of emergence from the hollow of free nuthatches relative to the extrema of the every minute increment of body temperature in a group of laboratory mice was carried out. The maximum number of moments of nuthatch awakening (76 cases) was recorded during the period of maximum growth in body temperature in mice, while 2–3 minutes before and after this moment only, on average, 20 events each. According to the criterion for evaluating two sample fractions, the probability of an accidental coincidence in this case is less than 0.001 %.

We performed the distribution by the method of superimposed epochs of the data of every minute changes in body temperature over a group of mice relative to the moments of awakening of nuthatches. It turned out that during the period of awakening of nuthatches, the greatest every minute increases in body temperature of mice are observed. Indicators of changes in body temperature at time 0 are statistically significantly different from those for 2–3 minutes before and after the event under study ($p < 0.0001$).

The work shows that the relationship between the power spectra of the body temperature of mice and birds is more significant when calculating the simultaneous data series than with a time shift of the data on the body temperature of birds relative to mice. This fact indicates a simultaneous change in the shape of the power spectra of body temperature in birds and mammals. Considering the fundamentally different adaptation strategies in the studied animal species, including the forms of daily activity, the presence of synchronous changes in the prevailing periods in the dynamics of body temperature indicates the existence of an external quasi-rhythmic environmental factor that determines these fluctuations.

The moments of awakening and emergence of nuthatches from the nocturnal shelter are observed mainly during the period of maximum every minute increments in body temperature in laboratory mice. Consequently, there is a direct relationship between an increase in body temperature in mice, reflecting the predominance of sympathetic influences at this point in time, and the awakening of birds and their decision to leave the hollow. It turns out that an increase in every minute increase in body temperature in a group of laboratory mice is a marker of an external environmental factor that causes the awakening and the beginning of bird activity.

Such a factor may be quasi-rhythmic oscillations of the geomagnetic field, as shown in a number of works [16–21]. However, it should be taken into account that a similar spectrum is observed in various heliogeophysical processes [22]. Therefore, to establish the nature of this factor, experiments on shielding or artificial action by the putative physical factor are necessary. The method of recording the dynamics of intra-abdominal body temperature in laboratory animals is informative, convenient and economical for this kind of research.

Keywords: ultradian rhythms, synchronizers, heliogeophysical factors, mammals, birds.

References

1. Kuznetsov A. E. Synchronization of biosynthetic activity of microbial producers of rhythmic of cosmophysical origin. *Biophysics*, **37**(4), 772 (1992).
2. Nepomnyashchikh V. A., Opaev A. S. Correlations in the rhythmic organization of singing in the great reed warbler (*Acrocephalus arundinaceus*, Sylviidae, Aves). *Doklady Biological Sciences*, **454**(2), 43 (2014).
3. Nepomnyashchikh V. A. An increase in animal behavior variability due to autocorrelation. *Journal of General Biology*, **73**(4), 243 (2012).
4. Goh G. H., Maloney S. K., Mark P. J., Blache D. Episodic ultradian events-ultradian rhythms. *Biology (Basel)*, **8**(1), (2019).
5. Diatropov M. E., Rutovskaya M. V., Surov A. V. The phenomenon of synchronous food intake in starlings (*Sturnus vulgaris*) under the conditions of isolation from each other. *Doklady Biological Sciences*, **492**, 99 (2020).
6. Erdakov L. N. The spectrum of activity rhythms as an indicator of taxonomic and ecological differences. *Journal of General Biology*, **45**(2), 301 (1984).
7. Erdakov L.N. *Organization of the rhythms of rodent activity* (Nauka, Novosibirsk, 1984) 180 pp.
8. Blum I.D., Zhu L., Moquin L., Zhu L., Moquin L., Kokoeva M.V., Gratton A., Giros B, Storch K.-F. A highly tunable dopaminergic oscillator generates ultradian rhythms of behavioral arousal. *Elife*, **3**, (2014).
9. Bourguignon C., Storch K.F. Control of rest: activity by a dopaminergic ultradian oscillator and the circadian clock. *Frontiers in Neurology*, **8**, 614 (2017).
10. Diatropov M. E., Panchelyuga V.A., Panchelyuga M.S. Body temperature dynamics in small mammals and birds in 10-120-min period range. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, **169**, 765 (2020).
11. Diatropov M. E., Panchelyuga V. A., Panchelyuga M. S., Surov A. V. Circadian rhythms of body temperature in mammals and birds with different metabolism levels. *Doklady Biological Sciences*, **494**, 228 (2020).
12. Cornelissen G., Halberg F., Breus T. K., Syutkina E. V., Baevskii R. M., Weydahl A., Watanabe Y., Otsuka K., Siegelova J., Fiser B., Bakken E. E. Non-photic solar associations of heart rate variability and myocardial infarction. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **64**, 707 (2002).
13. Alabdulgade A., Maccraty R., Atkinson M., Vainoras A., Berškienė K., Mauricienė V., Navickas Z., Šmidtaitė R., Landauskas M., Daunoravičienė A. Human heart rhythm sensitivity to earth local magnetic field fluctuations. *Journal of Vibroengineering*, **17**(6), 3271 (2015).
14. Zenchenko T. A., Medvedeva A. A., Potolitsina N. N., Parshukova O. I., Boiko E. R. Correlation of the dynamics of minute-scale heart rate oscillations and biochemical parameters of the blood in healthy subjects to Pc5–6 geomagnetic pulsations. *Biophysics*, **60**(2), 309 (2015).
15. Bräulke L. J., Heldmaier G. Torpor and ultradian rhythms require an intact signalling of the sympathetic nervous system. *Cryobiology*, **60**(2), 309 (2010).
16. Breus T. K., Binh V. N., Petrukovich A. A., Magnetic factor of the solar terrestrial relations and its impact on the human body: physical problems and prospects for research. *Physics-Uspekhi*, **186**(5), 502 (2016).

17. Saroka K. S., Vares D. E., Persinger M. A. Similar spectral power densities within the Schumann resonance and a large population of quantitative electroencephalographic profiles: supportive evidence for Koenig and Pobachenko. *PLoS One*, 11:e0146595 (2016).
18. Timofejeva I., McCraty R., Atkinson M., Joffe R., Vainoras A., Alabdulgader A., Ragulskis M. Identification of a group's physiological synchronization with Earth's magnetic field. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **14**(9), 998 (2017).
19. Grigoriev P. E., Martynyuk V. S. Variations in space weather indices and infrared rhythms of physiological processes in animals. *Scientific notes of the V. I. Vernadsky. Series "Biology"* **16-55**(4), 43 (2003).
20. Martynyuk V. S., Temuryants N. A. Extremely low magnetic fields as a factor of modulation and synchronization of infradian biorhythms in animals. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, **46**(7), 820 (2010).
21. McCraty R., Atkinson M., Stolc V., Alabdulgader A. A., Vainoras A., Ragulskis M. Synchronization of human autonomic nervous system rhythms with geomagnetic activity in human subjects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **14**(7), 770 (2017).
22. Panchelyuga V. A., Panchelyuga M. S. Local fractal analysis of noise-like time series by the all-permutations method for 1–115 min periods. *Biophysics*, **60**(2), 317 (2015).