

УДК 57.034

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ “СПОНТАННАЯ” АКТИВНОСТЬ ЖИВОТНЫХ МОЖЕТ БЫТЬ СОПРЯЖЕНА С ФЛУКТУАЦИЯМИ СКОРОСТИ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА ПРИРОДНОГО ИЗОТОПА КАЛИЯ-40

© 2023 г. М. Е. Диатропов^{1,*}, член-корреспондент РАН А. В. Суров¹

Поступило 27.10.2022 г.

После доработки 30.11.2022 г.

Принято к публикации 05.12.2022 г.

Проведено сопоставление ритмики температуры тела лабораторных мышей C57Bl/6 и обыкновенных зеленушек (*Chloris chloris*), а также моментов приема пищи обыкновенными скворцами (*Sturnus vulgaris*) с интенсивностью флуктуаций радиоактивного распада ^{40}K . Установлено, что изменения температуры тела у зеленушек и мышей положительно коррелируют с интенсивностью флуктуаций радиоактивного распада ^{40}K . Методом наложенных эпох показано, что повышение температуры тела у мышей, отражающее фазу начала активности в цикле сон/бодрствование, а также прием пищи скворцами наблюдаются при увеличении интенсивности радиоактивного распада ^{40}K . Таким образом, активность животных в ультрадианном диапазоне периодов может быть связана с внешним квазиритмическим физическим воздействием, а не определяется только эндогенными процессами. Учитывая крайне малую дозу естественного облучения организма от ^{40}K , биотропным может являться фактор, вызывающий регистрируемые колебания радиоактивности.

Ключевые слова: ритмы активности, ультрадианные ритмы, температура тела, макрофлуктуации, радиоактивный распад

DOI: 10.31857/S2686738922700135, **EDN:** NBFHFP

Периодичность активности наблюдается у всех животных [1, 2]. Она не ограничивается только необходимостью в регулярном поиске пищи. Помимо хорошо изученных 1–6-часовых ритмов активность/покой у грызунов, которые эволюционно, возможно, и сформировались благодаря потребности периодического насыщения [3, 4], 4–120-минутная ритмическая организация наблюдается в песенной активности птиц [5, 6], двигательной активности насекомых [1], активности автономной нервной системы человека [7, 8], метаболических процессах [9]. Принято считать эти ритмы эндогенными и, вероятно, сформировавшимися для временной упорядоченности метаболических процессов в организме. Однако ряд авторов указывают на наличие связи между квазиритмическими колебаниями гелио-геофизических процессов и активностью животных [10, 11].

Ранее нами был установлен феномен преимущественно синхронного приема пищи скворцами, находящимися на расстоянии 100 км друг от

друга [12]. Этот факт может указывать на наличие внешнего фактора (раздражителя), активизирующего птицу и побуждающего к действию — прыганию с жердочки и приему пищи. Моменты возбуждения и активизации всегда имеют отражение в динамике температуры тела, ультрадианные ритмы которой связаны с изменением баланса тонуса симпатического и парасимпатического отдела вегетативной нервной системы [13]. Нами была показана связь между динамикой температуры тела не только двух изолированных между собой групп мышей, но и однонаправленные изменения параметров ультрадианных ритмов температуры тела у мышей и зеленушек (*Chloris chloris*) [14], что также указывает на существование прямого внешнего влияния на хроноструктуру активности млекопитающих и птиц. Более того, было выявлено совпадение преобладающих гармоник динамики температуры тела мелких млекопитающих и птиц с периодами собственных колебаний Земли, характерных как для многих геофизических параметров, так и для флуктуаций радиоактивного распада [14, 15]. Флуктуации скорости счета при регистрации альфа-, бета- и гамма- радиоактивности широко известны, причем они определяются не только случайными процессами, но и подвержены влиянию факторов

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

*e-mail: diatrom@inbox.ru

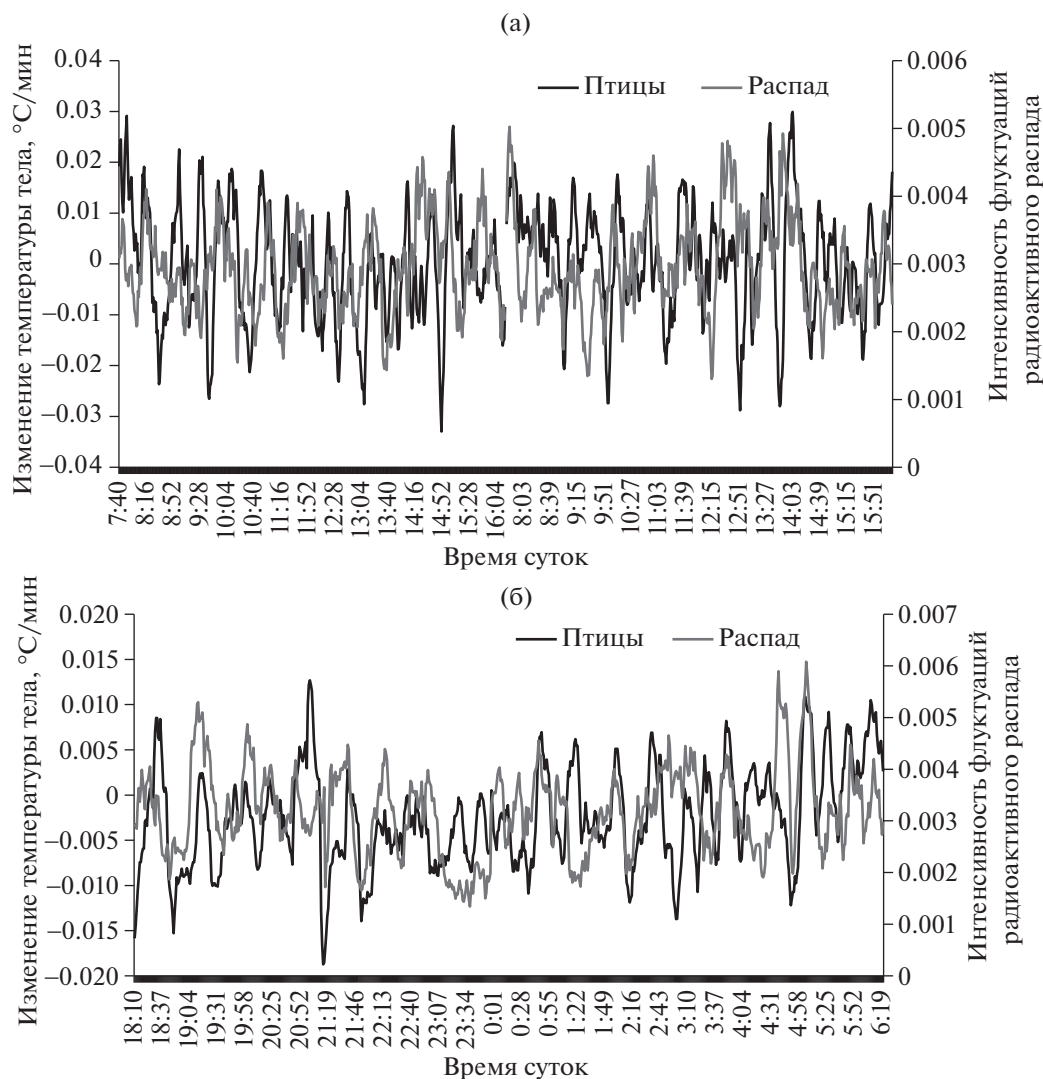


Рис. 1. Пример динамики ежеминутных изменений температуры тела по группе зеленушек ($n = 10$) и интенсивности флуктуаций радиоактивного распада ^{40}K : а – в дневное время, за период 20 и 21 октября 2022 г. ($r = 0.10$, $p = 0.001$). б – в ночное время, за период с 21 по 22 октября 2022 г. ($r = 0.12$, $p = 0.001$).

внешней среды [16, 17]. Общедоступным для исследования радиоактивным элементом является естественный изотоп калия-40. Именно ^{40}K вносит основной вклад в естественное внутреннее облучение организма [18]. Нужно отметить, что вклад изотопа углерода-14 в суммарную дозу внутреннего облучения также существенен. Также организм подвергается внешнему естественному облучению от первичных и рождающихся в атмосфере вторичных космических лучей. Поток атмосферных гамма-квантов имеет квазиритмический характер, и, возможно, оказывает ощутимое биотропное действие, в том числе на вариабельность частоты сокращения сердца [19].

Целью настоящей работы является оценка связи динамики температуры тела лабораторных мышей и обыкновенных зеленушек, и моментов

принятия пищи обыкновенными скворцами с интенсивностью флуктуаций радиоактивного распада природного изотопа ^{40}K .

Исследование проведено на самцах лабораторных мышей линии C57Bl/6, весом 26–29 г ($n = 18$), самцах обыкновенной зеленушки ($n = 10$) и обыкновенных скворцах ($n = 5$). Мышей содержали по две особи в каждой клетке, а птиц в индивидуальных клетках. Птицы находились в условиях естественного освещения. Мышей содержали в условиях искусственного постоянного неяркого освещения интенсивностью около 200–400 лк от источника с цветовой температурой 4200 К. Птиц кормили ежедневно около 7:00, а мышей не беспокоили в течение 20 сут.

Динамику внутрибрюшинной температуры тела регистрировали с частотой 1 раз в минуту при

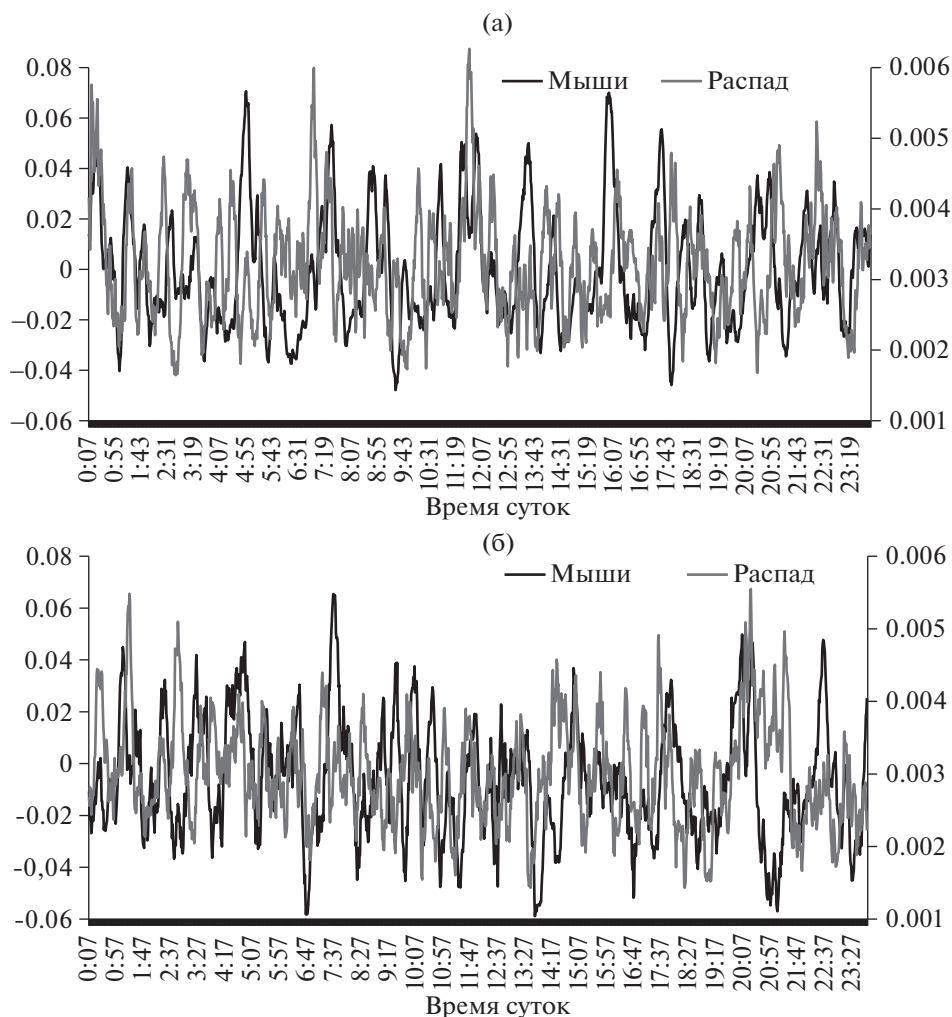


Рис. 2. Пример динамики ежеминутных изменений температуры тела по группе лабораторных мышей и интенсивности флуктуаций радиоактивного распада ^{40}K : а – 19 октября 2022 г. ($r = 0.13$, $p = 0.001$). б – 20 октября 2022 г. ($r = 0.11$, $p = 0.001$).

помощи имплантированных внутрибрюшинно датчиков ДТНЗ-28 (“ЭМБИ РЕСЕРЧ”, Новосибирск). Для наркоза использовали золетил (“Virbac Sante Animale”, Франция), вводимый внутримышечно в дозе 7–10 мг/кг. Процедура эксперимента одобрена комиссией по биоэтике ИПЭЭ РАН, протокол № 14 от 15.01.2018. Моменты принятия пищи скворцами регистрировали по резкому снижению внутрибрюшной температуры тела, вызванному большой порцией холодной пищи [12].

Интенсивность радиоактивного распада ^{40}K , входящего в состав калийных удобрений (сульфат калия ОАО “Буйский химический завод”) измерялась с помощью сцинтилляционного детектора Atom Fast 77100 (НПП “КБ Радар”, Москва), основой которого является кристалл йодида цезия (CsI) размером $7 \times 7 \times 100$ мм. С целью изоляции системы от атмосферных гамма-квантов пакеты с

сульфатом калия вместе с детектором были помещены в свинцовый короб $15 \times 15 \times 15$ см и толщиной стенки 20 мм. Такой экран ослаблял фоновые значения скорости счета более чем в 15 раз. Датчик, расположенный в центре короба, обкладывали равномерно со всех сторон 4 кг сульфата калия. В среднем такая установка регистрировала около 2000 событий в минуту (14 мкР/ч). Показатель интенсивности флуктуаций радиоактивного распада рассчитывали как модуль ежеминутных изменений скорости счета, сглаженный путем усреднения скользящим окном в 10 мин. Динамику ежеминутных изменений температуры тела также усредняли скользящим средним с 10-минутным окном.

В суточном ритме температуры тела птиц на рассвете регистрируется ее повышение на несколько градусов, а на закате – резкое снижение. Эти два момента, определяющиеся суточным

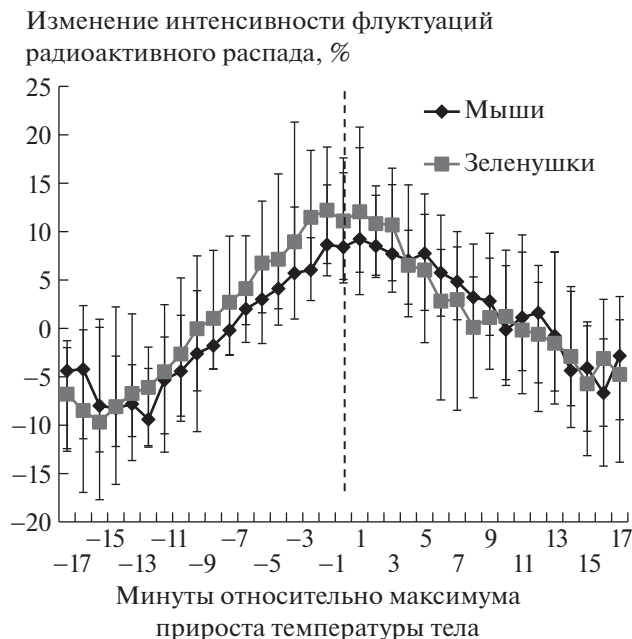


Рис. 3. Распределение методом наложенных эпох показателя интенсивности флуктуаций радиоактивного распада ^{40}K относительно максимумов ежеминутных приращений температуры тела мышей и зеленушек. Представлены медианное значение и интерквартильный размах отклонений от среднего уровня флуктуаций радиоактивного распада, рассчитанные по усредненному ежесуточному интервалу за весь период наблюдений (1–23 октября 2022 г.).

ритмом освещенности, мы исключили из анализа (с 6:20 до 7:40 и с 16:15 до 18:10). Раздельно анализировали дневные часы (с 7:40 до 16:15) и ночные часы (с 18:10 до 6:20).

Динамика ежеминутных изменений температуры тела по группе зеленушек имела положительную корреляцию с показателем интенсивности флуктуаций радиоактивного распада ^{40}K как в дневные (рис. 1а), так и в ночные (рис. 1б) часы. За период исследований (с 1 по 23 октября 2022 г.) коэффициент корреляции между этими параметрами для ночи составлял от 0.05 до 0.23, а для дня от 0.09 до 0.35 при этом во все дни наблюдений корреляционная связь была статистически значимой.

Динамика ежеминутных изменений температуры тела по группе мышей положительно коррелировала с интенсивностью флуктуаций радиоактивного распада за исключением 3 и 18 октября 2022 г. За период исследований коэффициент корреляции между этими параметрами составлял от 0.03 до 0.21, в среднем $r = 0.11$ при $p = 0.001$. На рис. 2 представлены характерные примеры сопоставления динамики исследуемых показателей именно с этой степенью связи. Видно, что не все повышения интенсивности радиоактивного рас-

пада сопровождаются повышением температуры тела, но почти все повышения температуры тела наблюдаются на фоне увеличения интенсивности флуктуаций радиоактивного распада. Лучшие показатели этой связи у птиц, вероятно, связаны с тем, что они реагируют на каждое изменение интенсивности исследуемого физического фактора, а мыши в зависимости от фазы активность/покой отвечают не на все увеличения этого фактора, а только на те, которые приходится на период окончания фазы сна.

Поэтому наиболее убедительным приемом, позволяющим установить связь между отдельными событиями, в данном случае моментов увеличения активности, с динамикой параметра внешней среды является метод наложения эпох. Этот метод выявляет временную связь явлений, а также обеспечивает возможность охарактеризовать величину исследуемого параметра как до, так и после анализируемого события. Было проведено распределение показателя интенсивности радиоактивного распада относительно точек максимума выраженных ($>0.02^\circ\text{C}/\text{мин}$) повышений температуры тела лабораторных мышей и зеленушек (рис. 3) и моментов приема пищи скворцов (рис. 4). В период максимальных ежеминутных приростов температуры тела по группе мышей или зеленушек наблюдается достоверное увеличение интенсивности флуктуаций радиоактивного распада относительно среднего уровня ($p = 0.0001$, t -критерий Стьюдента). Моменты приема пищи скворцами приходятся на увеличение радиоактивности от источника ^{40}K . Показатели в точке ноль, соответствующей моменту приема пищи, статистически значимо выше, чем средний уровень ($p = 0.001$, t -критерий Стьюдента).

Таким образом, нами установлена связь динамики температуры тела и моментов приема пищи с увеличением интенсивности радиоактивного распада природного изотопа ^{40}K . Этот факт указывает на то, что зачастую считающаяся “спонтанной” ритмическая активность животных может быть вызвана внешним активизирующим воздействием. По нашим оценкам интенсивность облучения организма от калия-40 крайне незначительна. Также обращает на себя внимание факт мгновенности регистрируемого эффекта, а не его некоторого запоздания, обусловленного развитием каскада вторичных повреждающих агентов, как в случае реакции на радиационное воздействие. Вероятно, биотропное действие оказывает либо сам пока еще не установленный фактор, вызывающий увеличение флуктуаций радиоактивного распада, или его мишени в организме, в частности, изменение свойств водных растворов [20] или механизмов энергетического обеспечения клеток, имеющие аналогичный спектр ритмов в 10–90-минутном диапазоне периодов [9].

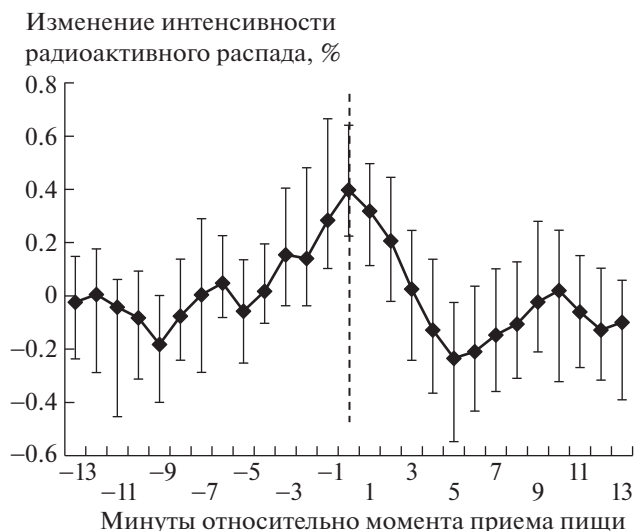


Рис. 4. Распределение методом наложенных эпох интенсивности радиоактивного распада ^{40}K относительно моментов приема пищи скворцами. Представлены медианное значение и интерквартильный размах отклонений от среднего уровня флуктуаций радиоактивного распада, рассчитанные по усредненным ежесуточным интервалам за весь период наблюдений (1–23 октября 2022 г.).

Основной результат представленной работы — это обнаружение физического параметра, коррелирующего с активностью животных в ультрадианном диапазоне периодов, которая считалась полностью эндогенной. В рамках настоящей работы мы не можем утверждать, что именно радиоактивность имеет такие колебания. Возможно, физический фактор действует на элементы регистрационного устройства. Требуется дальнейшие усилия физиков, чтобы установить причины регистрируемых колебаний радиоактивности ^{40}K .

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Непомнящих В.А.* Увеличение изменчивости поведения животных вследствие автокорреляций // Журн. общ. биологии. 2012. Т. 73. № 4. С. 243–252.
2. *Goh G.H., Maloney S.K., Mark P.J., et al.* Episodic ultradian events-ultradian rhythms // Biology (Basel). 2019. V. 8. № 1. ID 15.
3. *Blum I.D., Zhu L., Moquin L., et al.* A highly tunable dopaminergic oscillator generates ultradian rhythms of behavioral arousal // Elife. 2014. V. 3. ID e05105.
4. *Bourguignon C., Storch K.F.* Control of rest:activity by a dopaminergic ultradian oscillator and the circadian clock // Front. Neurol. 2017. V. 8. ID 614.
5. *Непомнящих В.А., Онаев А.С.* Корреляции в ритмической организации пения у дроздовидной камышевки (*Acrocephalus arundinaceus*, Sylviidae, Aves) // Доклады Академии Наук. 2014. Т. 454. № 2. С. 241–243.
6. *Диатроптов М.Е., Сузов А.В.* Периодическая “спонтанная” активность животных определяется квазиритмическим фактором внешней среды? // Доклады Академии Наук, Науки о жизни. 2021. Т. 497. № 1. С. 148–151.
7. *Зенченко Т.А., Медведева А.А., Хорсева Н.И., и др.* Синхронизация показателей сердечного ритма человека и вариаций геомагнитного поля в диапазоне частот 0.5–3 мГц // Геофизические процессы и биосфера. 2013. Т. 12. № 4. С. 74–84.
8. *McCraty R., Atkinson M., Stolc V., et al.* Synchronization of human autonomic nervous system rhythms with geomagnetic activity in human subjects // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2017. V. 14. № 7. P. 770.
9. *Бродский В.Я.* Околочасовые метаболические ритмы (Обзор) // Биохимия. 2014. Т. 7. № 6. С. 619–632.
10. *Мартынюк В.С.* Внутрисуточные гео- и гелиофизически значимые периоды в интегральном ритме двигательной активности животных // Биофизика. 1998. Т. 43. № 5. С. 789–796.
11. *Мартынюк В.С., Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А.* Биологические ритмы и электромагнитные поля среды обитания // Геофизические процессы и биосфера. 2006. Т. 5. № 1. С. 5–23.
12. *Диатроптов М.Е., Рutowская М.В., Сузов А.В.* Феномен синхронного приема пищи у обыкновенных скворцов (*Sturnus vulgaris*) в условиях изоляции друг от друга // Доклады Академии Наук, Науки о жизни. 2020. Т. 492. № 1. С. 267–271.
13. *Braulke L.J., Heldmaier G.* Torpor and ultradian rhythms require an intact signalling of the sympathetic nervous system // Cryobiology. 2010. V. 60. № 2. P. 198–203.
14. *Диатроптов М.Е., Панчелюга В.А., Панчелюга М.С.* Динамика температуры тела у мелких млекопитающих и птиц в 10–120-минутном диапазоне периодов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2020. Т. 169. № 6. С. 706–711.
15. *Панчелюга В.А., Панчелюга М.С.* Локальный фрактальный анализ шумоподобных временных рядов методом всех сочетаний в диапазоне периодов 1–115 мин // Биофизика. 2015. Т. 60. № 2. С. 395–410.
16. *Бауров Ю.А., Соболев Ю.Г., Рябов Ю.В., и др.* Экспериментальные исследования скорости β -распада радиоактивных элементов // Ядерная физика. 2007. Т. 70. № 11. С. 1875–1885.
17. *Пархомов А.Г.* // Космос. Земля. Человек. Новые грани науки. 2009. М.: Наука. 272 с.

18. Леенсон И.А. Радиоактивность внутри нас // Химия и жизнь. 2009. № 7. С. 36–38.
19. Салихов Н.М., Пак Г.Д., Крякунова О.Н., Самойленко Т.В. Влияние геомагнитных возмущений на флуктуации гамма-излучений приземной атмосферы и их биотропное действие на организм человека // Известия национальной академии наук республики Казахстан. Серия физико-математическая. 2014. № 4. С. 135–140.
20. Дроздов А.В., Нагорская Т.П. Квазипериодический характер межмолекулярных взаимодействий в воде // Биофизика. 2014. Т. 59. № 6. С. 973–985.

FLUCTUATIONS IN THE RATE OF RADIOACTIVE DECAY OF THE NATURAL POTASSIUM-40 ISOTOPE CAN POTENTIALLY AFFECT THE PERIODIC “SPONTANEOUS” ACTIVITY OF ANIMALS

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

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

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

The body temperature rhythms in laboratory mice C57Bl/6 and common greenfinches (*Chloris chloris*) and the moments of feeding by common starlings (*Sturnus vulgaris*) have been compared with the intensity of fluctuations of ⁴⁰K radioactive decay. It was found that body temperature changes in greenfinches and mice positively correlate with the intensity of fluctuations of ⁴⁰K radioactive decay. The method of superimposed epochs shows that the increase of body temperature in mice, reflecting the phase of the beginning of sleep/wake cycle activity, as well as food intake by starlings are observed at an increase in the intensity of ⁴⁰K radioactive decay. Thus, animal activity in the ultradian range of periods may be related to external quasi-rhythmic physical influences, rather than determined only by endogenous processes. Given the extremely low dose of natural ⁴⁰K exposure, a factor that can cause observed radioactivity fluctuations may be biotropic.

Keywords: activity rhythms, ultradian rhythms, body temperature, macrofluctuations, radioactive decay