

## СВЯЗЬ МОМЕНТОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА У ЖИВОТНЫХ В ПЕРИОД ЗИМНЕЙ СПЯЧКИ С ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ФЛУКТУАЦИЙ ВТОРИЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

© 2022 г. М.Е. Диатроптов\*, А.И. Ануфриев\*\*, М.В. Рутовская\*

\*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, 119071, Ленинский просп., 33

\*\*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, просп. Ленина, 41

E-mail: diatrom@inbox.ru

Поступила в редакцию 26.10.2021 г.

После доработки 11.11.2021 г.

Принята к публикации 31.01.2022 г.

Сопоставлены моменты кратковременной нормотермии в период зимней спячки между ежами, находящимися в Московской области, и сусликами в Якутске. Метод наложенных эпох показал, что несмотря на расстояние между местами наблюдений примерно в 5000 км и систематическую удаленность животных, между моментами восстановления температуры тела ежей и сусликов наблюдается связь: максимальное число кратковременных восстановлений температуры тела у ежей наблюдается в те же дни, когда пробуждаются суслики. Во внутрисуточной динамике пробуждений установлен четырехчасовой биоритм: максимальное число эпизодов начала восстановления температуры тела как у ежей, так и у сусликов регистрируется по местному солнечному времени в интервалы времени 0–1, 4–5, 8–9, 12–13, 16–17 и 20–21 ч. Показана связь моментов восстановления температуры тела с интенсивностью флуктуаций вторичного космического излучения, регистрируемого нейтронным монитором. С выраженностью флуктуаций нейтронного счета коррелирует и интенсивность шумов кремниевого транзистора и температурных датчиков, которые имеют малые размеры, чтобы на них непосредственно влияли крайне низкие вариации космических лучей. Мы полагаем, что величина флуктуаций скорости счета нейтронного монитора является только маркером пока невыявленного биотропного агента.

*Ключевые слова:* гибернация, спонтанные пробуждения, внешние синхронизаторы, флуктуации скорости счета нейтронного монитора, млекопитающие.

DOI: 10.31857/S0006302922030218, EDN: ASIGTP

Принято считать, что наиболее вероятным синхронизатором как инфраничных (период 3–30 сут) так и ультрацичных (период < 23 ч) биологических ритмов являются квазиритмические колебания геомагнитного поля [1–6]. Нами также показана связь геомагнитных пульсаций Pс5 с ритмикой температуры тела на частотах 1.6, 2.3 и 3.1 мГц [7]. Однако дальнейшие эксперименты по пассивному экранированию с использованием пермаллового экрана, ослабляющего общее магнитное поле Земли в 35 раз, а в исследуемом диапазоне не менее чем в 5 раз, не привело к каким-либо изменениям характеристик ритмики температуры тела в диапазоне 4–20 мин и степени их синхронизации между опытной и контрольной группой лабораторных мышей [8]. В качестве альтернативного фактора, связанного с колебаниями температуры тела экспериментальных живот-

ных, была предложена динамика изменения скорости счета нейтронного монитора (НМ), которая не хуже, чем геомагнитное поле, синхронизована с исследуемым биологическим показателем [8]. Нужно отметить, что также возможным биотропным фактором, связанным с крупномасштабными Pс5-пульсациями геомагнитного поля, является напряженность электрического поля атмосферы, анализ которой мы пока не проводили.

Ранее нами у лабораторных крыс было проведено сопоставление параметров 100–400-минутных колебаний температуры тела, отражающих в этом диапазоне периодов ритмику активность/покой, с динамикой флуктуаций вторичного космического излучения у поверхности Земли, оцениваемого по показателю интенсивности счета НМ [9]. Сравнение спектров мощности, рассчитанных методом быстрого преобразования Фурье, для одновременных и сдвинутых по вре-

*Сокращение:* НМ – нейтронный монитор.

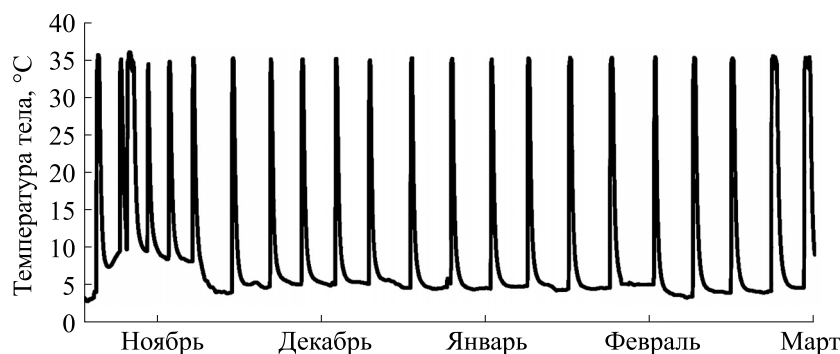


Рис. 1. Пример динамики температуры тела ежа в течение спячки зимой 2019–2020 гг.

мени колебаний температуры тела и интенсивности флуктуаций скорости счета НМ показало их взаимосвязанность только при одновременных измерениях. Следовательно, гипотеза о случайном совпадении этого физического фактора с биологическим параметром не состоятельна. Наблюдали совпадение не только спектральных характеристик исследуемого биологического и физического параметра, но и их фазы, что подтверждает предположение о стимулирующем влиянии увеличения интенсивности флуктуаций нейтронного счета на активность животных. Однако этот факт не доказывает прямого действия интенсивности флуктуаций НМ на организм. Интенсивность флуктуаций НМ можно рассматривать только как маркер реального биотропного квазиритмического фактора внешней среды.

Установлена связь и параметров инфраничных биологических ритмов с интенсивностью флуктуаций вторичного космического излучения [10]. Наблюдается статистически значимая положительная корреляционная связь между среднесуточной величиной ежеминутных изменений температуры тела мелких млекопитающих и уровнем флуктуаций показателя НМ. Также положительная корреляция выявлена между среднесуточной величиной ежеминутных изменений скорости счета НМ и среднесуточной двигательной активности животных и уровнем глюкокортикоидных гормонов. Причем, в ноябре-декабре разных лет проявляется преимущественно четырехсуточный ритм как анализируемых биологических параметров, так и флуктуаций НМ, а июле — трехсуточный. Факт одновременного изменения или нарушения периода в динамике биологического и физического параметра также указывает на их связанность.

Исходя из вышеперечисленных работ, в диапазоне периодов от 4 мин до 4 сут выявлена связь динамики ряда биологических процессов, обусловленных увеличением симпатических воздействий автономной нервной системы, с интенсивностью флуктуаций скорости счета НМ.

Изменение баланса тонуса симпатического/парасимпатического отделов вегетативной нервной системы вовлечено в механизм выхода из состояния гибернации [11, 12]. При входе в состояние оцепенения у животных наблюдается преобладание тонуса парасимпатической нервной системы, а при выходе — симпатической. В период зимней спячки на фоне температуры тела, близкой к нулю, облигатные гибернаторы периодически пробуждаются на короткие интервалы времени (рис. 1). Для состояния гибернации характерно снижение всех жизненных функций организма и в том числе: активности коры головного мозга, метаболизма, синтеза гормонов [13, 14]. Снижение перечисленных функций в период гибернации позволяет с меньшим количеством помех изучать активирующее влияние факторов внешней среды на нервную систему организма. Период между двумя последовательными кратковременными пробуждениями не постоянен и зависит от вида животного, интенсивности метаболизма, температуры среды, жировых запасов, начала или окончания всего периода гибернации, индивидуальных особенностей и др. [15]. Животное в состоянии гибернации можно рассматривать как детектор к внешним активирующим воздействиям, однако его чувствительность к ним не постоянна и помимо уже перечисленных факторов зависит от временного интервала от последнего пробуждения. Иными словами гибернирующий еж или суслик это детектор, но с постоянно изменяющейся чувствительностью. Тем не менее, группу животных в состоянии гибернации уже можно рассматривать как некий детектор биотропных факторов среды с усредненной и относительно постоянной чувствительностью.

Цель работы — установить возможную связь кратковременных моментов пробуждения животных в период их зимней спячки с интенсивностью флуктуаций вторичных космических лучей.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования были белогрудые ежи (*Erinaceus roumanicus*) и суслики (арктические (*Spermophilus parryi*) и длиннохвостые (*Spermophilus undulatus*)). Данные по динамике температуры тела при спячке были получены у 32 ежей (26 самцов и 6 самок) в том числе: зимой 2017–2018 г. ( $n = 7$ ), 2018–2019 г. ( $n = 7$ ), 2019–2020 г. ( $n = 14$ ), 2020–2021 г. ( $n = 4$ ). Температурные кривые у сусликов были получены от 25 животных на протяжении периода с 2005 по 2020 гг.

Белогрудые ежи были отловлены летом в Спасском районе Рязанской области. Масса их тела в сентябре колебалась от 880 до 1520 г. Ежей кормили куриным фаршем, смешанным с сырым яйцом. Животные зимовали в условиях, максимально приближенных к естественным. В открытой вольере, разделенной на сектора, были подготовлены искусственные норы для спячки. Нора представляла собой земляную яму около 40 см в глубину, сверху прикрытую пластиковым ящиком, с длиной сторон 90 см. Внутри все плотно заполнено сеном, с боков прикопано, сверху укрыто лапником и, впоследствии, снегом.

Длиннохвостые суслики были отловлены в окрестностях г. Якутска в радиусе 100 км. Арктических сусликов отлавливали в с. Батагай (Верхоянский хребет), в окрестностях животноводческой фермы Ютях. До начала сезона зимней спячки сусликов содержали в помещении вивария ИБПК СО РАН, на территории Ботанического сада в черте г. Якутска, в индивидуальных клетках-террариумах. Сусликов кормили вдоволь: зерно, комбикорм, семена подсолнечника, овощи. В середине сентября животных переводили в подвальное помещение вивария с укороченным световым днем и температурой среды, близкой к наблюдаемой в соответствующий сезон в почве, на глубине месторасположения зимовальных нор сусликов. С конца декабря температура в зимовальном подвале понижалась до значений ниже нуля, и на протяжении сезона спячки поддерживалась на уровне минус 3–5°C. Зимой 2018–2019 г. суслики зимовали в мерзлотной шахте института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН на глубине 16 м.

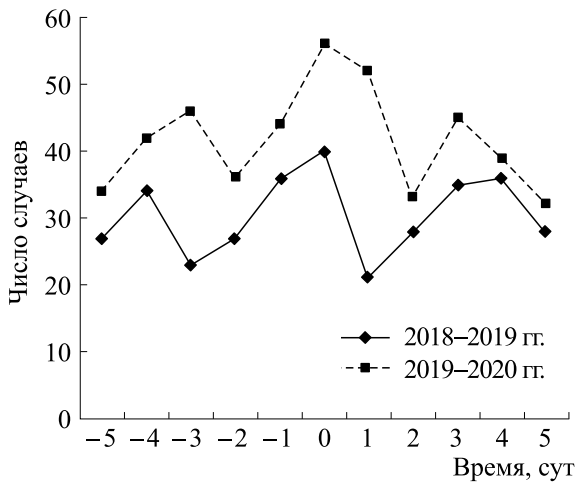
Температуру тела ежей измеряли внутрибрюшинно при помощи датчиков ДТНЗ-28 («ЭМБИ РЕСЕРЧ», Новосибирск), запрограммированных на ее измерение с частотой 1 раз в 20 мин. Операцию по внутрибрюшинному введению датчиков проводили за месяц до начала зимней спячки. В качестве анестетика использовали золетил («Vigbac Sante Animale», Франция) внутримышечно в дозе 15 мг/кг массы тела. Температуру среды контролировали таким же датчиком, установленным в искусственной норе без животного.

Наблюдения за температурой тела длиннохвостых и арктических сусликов проводили с использованием термохронов – температурных накопителей DS-1922 L, которые хирургически имплантировали в брюшную полость зверькам [15]. Для единообразия экспериментов использовали только молодых самцов обоих видов.

Для оценки величины флуктуаций космических лучей использовали данные станции нейтронного мониторинга ИЗМИРАНа (г. Троицк, Московской области; <http://cr0.izmiran.ru/mosc>), расположенной в 90 км от места исследования спячки ежей (база «Черноголовка»). Величиной флуктуации вторичных космических лучей считали усредненный за одни сутки показатель модуля ежеминутных изменений скорости нейтронного счета, скорректированного на величину атмосферного давления. Аналогичное значение получается при вычислении отношения величины ежеминутных изменений скорости счета НМ к общему некорректированному на атмосферное давление потоку.

При исследовании динамики шумовых сигналов использовали кремниевый транзистор П701А, обладающий высоким уровнем фликкер-шума. Шумовой сигнал после усиления операционным усилителем поступал на двухполупериодный выпрямитель и частотный фильтр, формирующий полосу пропускания от 0.1 до 1 Гц. Выпрямленное напряжение, пропорциональное амплитуде шума в указанной полосе частот регулировало длительность межимпульсных интервалов, поступающих на входы компьютерного регистратора. Для преобразования амплитуды в частоту регистрируемых компьютером импульсов использовали варикап. Устройство находилось в шкафу-термостате при температуре 31°C. Данные любезно предоставлены А.Г. Пархомовым.

Полученные данные статистически обрабатывали в программе Statistica 7.0 (StatSoft Inc., США). С целью выявления подобия динамик исследуемых биологических и физических параметров рассчитывали коэффициент их корреляции по Спирмену ( $r$ ). Также был применен метод наложенных эпох, позволяющий выявлять связь между негармоническими процессами, когда значения показателей одного процесса накладываются относительно определенных моментов другого процесса. Спектры мощности колебаний вычисляли методом быстрого преобразования Фурье. Статистическая значимость различий числа случаев восстановления температуры тела животных в определенный день периода по сравнению со средним уровнем, или между соседними значениями оценивали по непараметрическому критерию:  $\chi$ -тесту для оценки двух выборочных долей (SigmaStat). Результаты расчетов считали статистически значимым при  $p < 0.05$ .



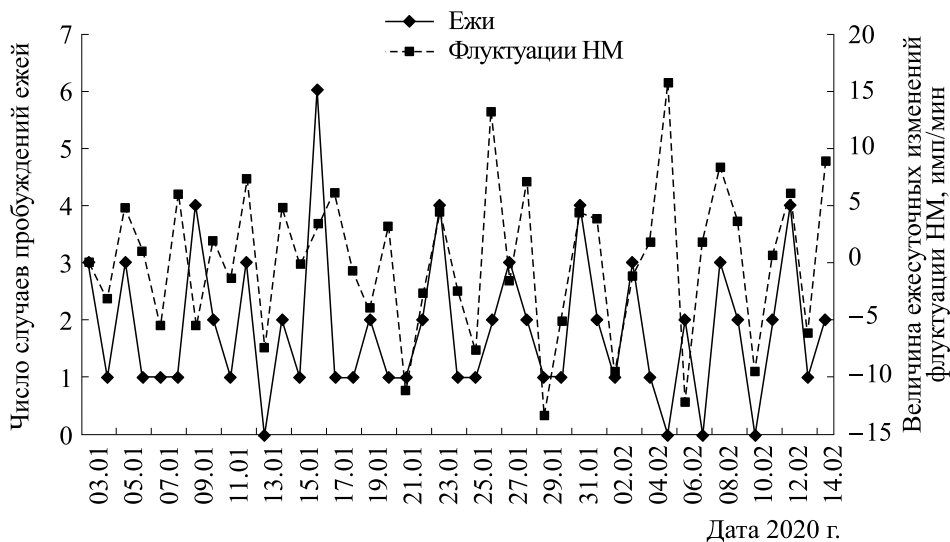
**Рис. 2.** Распределение методом наложенных эпох числа случаев восстановления температуры тела ежей (Московская обл.) относительно календарных дат пробуждения сусликов (Якутия) в период зимней спячки 2018–2019 и 2019–2020 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ

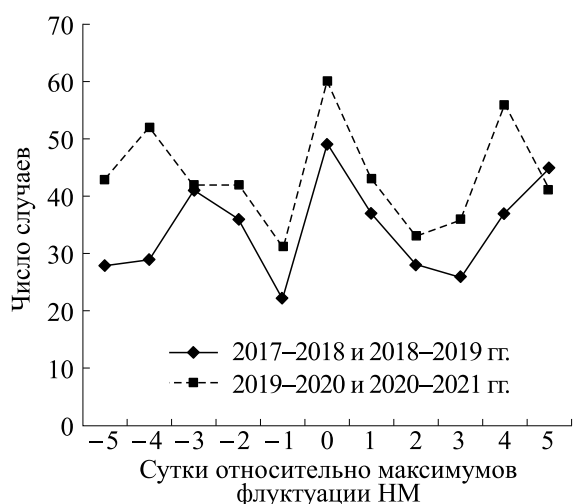
Зимой 2018–2019 гг. нами было проведено параллельное исследование динамики температуры тела у ежей в Московской области и сусликов в г. Якутске, зимовавших на расстоянии около 5000 км между собой. С целью оценки согласованности моментов пробуждения у ежей и сусликов методом наложенных эпох было проведено распределение числа случаев восстановления температуры тела ежей относительно календарных дат пробуждения сусликов (рис. 2). Зимой

2018–2019 гг. в календарные даты выхода из гипотермии сусликов наблюдали максимальное число пробуждений у ежей (40 случаев), тогда как за 2 суток до и после рассматриваемых моментов наблюдали только по 27–28 событий. Аналогичное распределение наблюдали в период спячки 2019–2020 гг.: 56 случаев пробуждения ежей совпадали с пробуждением сусликов и по 33–36 событий происходили в период за 2 суток до и после этого момента. В сумме за два сезона исследования процент совпадений пробуждения ежей и сусликов статистически значимо превышал процент остальных событий ( $p < 0.001$  по тесту сравнения выборочных долей). За 3–4 дня до и через 3–4 дня после пика также регистрировали высокое число пробуждений. Вероятно, данное распределение обусловлено совпадением по фазе около четырехсуточного ритма у ежей и сусликов. Следовательно, моменты пробуждений ежей совпадают с моментами пробуждений сусликов.

На рис. 3 представлен пример динамики пробуждений группы ежей в соответствии с изменением интенсивности флуктуаций НМ. Рассмотрение нами не абсолютных величин физического фактора, а его изменения определяется более вероятной реакцией организма именно на изменение параметров окружающей среды. Распределение методом наложенных эпох моментов пробуждения ежей относительно резких (>4 имп/мин) ежесуточных изменений интенсивности флуктуаций НМ представлено на рисунке 4. В день резкого увеличения интенсивности флуктуаций НМ наблюдается подавляющее большинство моментов кратковременных пробуждений животных (109 случаев), тогда как в период за одни-двое суток до и после таких мо-



**Рис. 3.** Общее число случаев пробуждений ежей исследуемой группы ( $n = 14$ ) в соответствии с величиной ежесуточного изменения среднесуточной интенсивности флуктуаций нейтронного монитора за период 3 января–14 февраля 2020 г.



**Рис. 4.** Распределение методом наложенных эпох числа случаев восстановления температуры тела ежей относительно резких увеличений (> 4 имп/мин) среднесуточных значений интенсивности флуктуаций НМ.

ментов только по 68 случаев. Сравнение такого распределения по тесту сравнения выборочных долей статистически значимо:  $p < 0.001$ . Таким образом, существует достоверная связь между увеличением интенсивности флуктуаций НМ и пробуждением ежей. Также не случайный характер исследуемого процесса подтверждается сходством кривых распределения данных пробуждения ежей, полученных за период 2017–2019 гг. и 2019–2021 гг. ( $r = 0.58$ ;  $p = 0.057$ ). Нужно отметить, что, как и при распределении методом наложенных эпох моментов пробуждения ежей относительно сусликов, при распределении пробуждений животных относительно резких увеличений флуктуаций НМ в периоды за 3–4 сут до и после исследуемого момента наблюдали также увеличение числа пробудившихся особей.

Распределение начал восстановления температуры тела по часам суток выявило, что у ежей в первую половину суток заметен 4-часовой ритм, а у сусликов более выраженные 4-часовые колебания наблюдаются во второй половине суток (рис. 5). Распределение моментов начала восстановления температуры тела как ежей, так и сусликов по 4-часовому периоду показало, что в 0, 4, 8, 12, 16, 20 часов по местному солнечному времени в сумме их число составило 372, а во все остальные часы четырехчасового периода отмечено 249 случаев восстановления температуры (рис. 5б). Статистическая разница между показателями в максимуме по сравнению со средним уровнем достоверна ( $z$ -тест для оценки двух выборочных долей:  $p = 0.006$  и  $p = 0.008$  соответственно для ежей и сусликов). Следовательно, и у сусликов, и у ежей в динамике восстановления

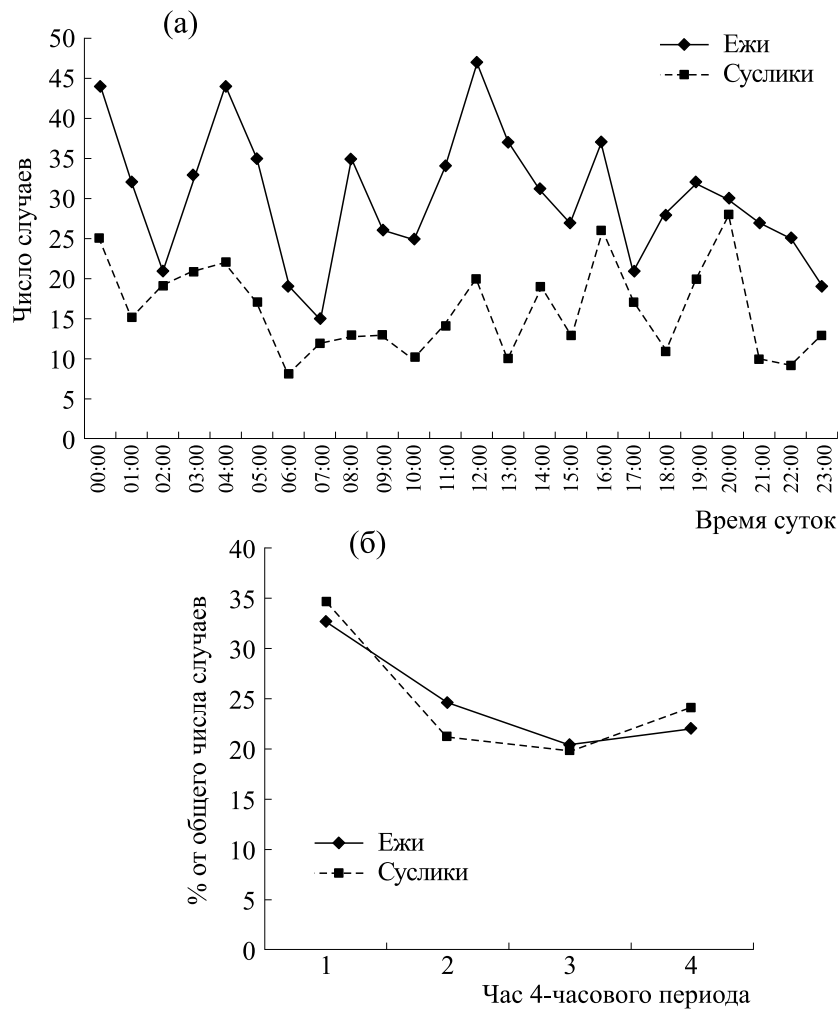
температуры тела существует около четырехчасовая ритмичность, приуроченная к местному времени.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Нами показана непосредственная связь между моментами кратковременных пробуждений сусликов в Якутии и ежей в Московской области. Учитывая, что расстояние между пунктами исследования около 5000 км, одновременные пробуждения животных в этих пунктах нельзя объяснить ни погодными условиями (к примеру, колебаниями атмосферного давления), ни другими местными факторами, а только глобальными. Учитывая, что исследованные виды животных относятся к разным семействам и имеют разные адаптационные стратегии, в том числе и разную среднюю частоту пробуждений, нельзя объяснить выявленный феномен случайным совпадением ритмики пробуждений.

Внутрисуточное распределение моментов пробуждения животных выявляет около 4-часовую ритмичность, проявляющуюся не по глобальному, а по местному времени. Необходимо учитывать, что гены циркадианной системы организма в период гибернации не функционируют [16–18], следовательно, этот ритм нельзя считать производным от циркадианного. Более того, другими авторами было показано, что ультрадианные ритмы активности животных относительно автономны от циркадианной системы организма [19, 20]. Следовательно, и внутрисуточное распределение частоты пробуждений следует рассматривать как влияние внешнего активирующего/раздражающего агента. Нужно отметить, что у человека именно в эти часы суток по местному времени наблюдается активация симпатoadrenalовой системы [21, 22].

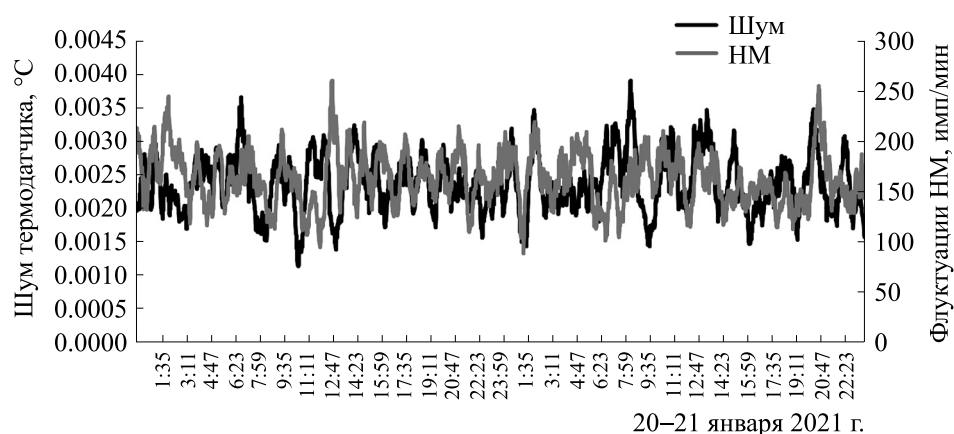
Приуроченность большинства моментов пробуждения животных к периоду резкого увеличения интенсивности флуктуаций НМ указывает на его связь с внешним фактором, вызывающим активацию симпатического звена автономной нервной системы и/или угнетение парасимпатических влияний. Однако, на наш взгляд, данный феномен нельзя объяснить непосредственным влиянием вторичного космического излучения на животных, даже при предположении его активного взаимодействия с организмом. Общий поток вторичных галактических лучей примерно равен 10000 событий за 1 мин через  $1 \text{ м}^2$ , а величина ежеминутных изменений потока в среднем 150 имп/мин. В пересчете на площадь зверька интенсивность флуктуаций составляет не более полутора событий при общем потоке 100 событий в минуту.



**Рис. 5.** Распределение моментов начала восстановления температуры тела у ежей и сусликов по времени суток (а) и по часам четырехчасового периода (б). К первому часу отнесены значения за интервалы 0:00–1:00, 4:00–5:00, 8:00–9:00, 12:00–13:00, 16:00–17:00 и 20:00–21:00, ко второму – за интервалы 1:00–2:00, 5:00–6:00, 9:00–10:00, 13:00–14:00, 17:00–18:00 и 21:00–22:00, к третьему – за интервалы 2:00–3:00, 6:00–7:00, 10:00–11:00, 14:00–15:00, 18:00–19:00 и 22:00–23:00, к четвертому – за интервалы 3:00–4:00, 7:00–8:00, 11:00–12:00, 15:00–16:00, 19:00–20:00 и 23:00–00:00. Данные представлены в процентах от общего числа случаев пробуждений.

При проверке адекватности применяемых в работе [7] методов регистрации незначительных колебаний температуры тела животных мы провели регистрацию температуры датчиками, помещенными в термостат при 37°C и в выключенный холодильник при комнатной температуре. Оказалось, что в обоих случаях и особенно при сниженном заряде аккумулятора датчика в ежеминутных изменениях показателя наблюдаются шумоподобные колебания на 1–3 единицы разрешения датчика. Эти колебания примерно в десять раз ниже зарегистрированных у животных, однако их характер заставляет задуматься над причиной их вызывающей. На рис. 6 приведен фрагмент динамики интенсивности ежеминутных изменений показаний температуры (среднее по 9 датчикам) и

НМ, усредненных в плавающем окне 30 мин. Для каждого двухсуточного отрезка исследования были вычислены коэффициенты кросс-корреляции спектров мощности колебаний измеренной датчиками температуры и интенсивности флуктуаций НМ для диапазона периодов 99–360 мин. На рис. 7 представлены результаты этих вычислений для одновременных и сдвинутых на двое суток временных рядов. Между значениями коэффициентов корреляции спектров, вычисленных для одновременных и сдвинутых на двое суток данных, наблюдается статистически значимое различие ( $p = 0.013$ ). Это подтверждает частотную связь между шумом применяемых температурных датчиков и флуктуациями НМ, наблюдаемую в реальном времени, а не обусловленную случайным

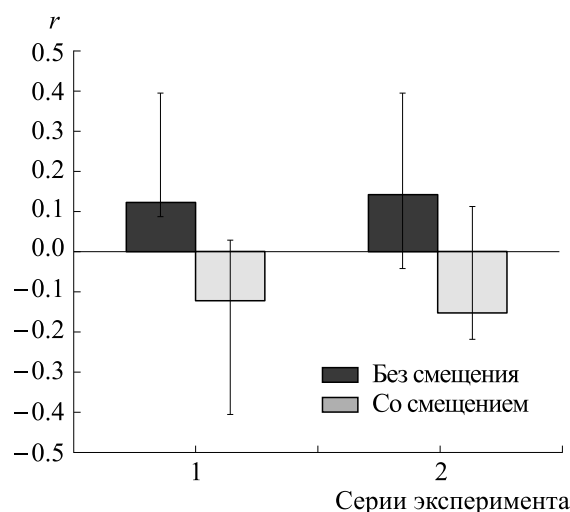


**Рис. 6.** Динамика интенсивности модуля ежеминутных изменений показаний температурных датчиков (среднее по девяти датчикам) и аналогичного параметра нейтронного монитора, усредненных в плавающем окне 30 мин.

совпадением одинаковых гармоник, характерных для обоих процессов. Пусть даже детектором является весь датчик площадью не более  $0.5 \text{ см}^2$ , то ежеминутная разница между числом попаданий в него частиц вторичного космического излучения составит 0.008 событий. Следовательно, как и в случае с живыми объектами, интенсивность флуктуаций НМ является только маркером реально действующего агента.

Температурный датчик сложно устроен и включает в себя саму термопару, антенну для передачи информации, элемент питания, аналого-цифровой преобразователь и другие электронные элементы. Поэтому мы провели сопоставление

интенсивности шума кремниевого транзистора, помещенного в термостат при  $31^\circ\text{C}$  с интенсивностью флуктуаций НМ. Анализировали изменения среднесуточных значений интенсивности шума в транзисторе и флуктуаций НМ. Данные расчета коэффициента корреляции по двухмесячным интервалам приведены в таблице. В сумме за 14 месяцев коэффициент корреляции между ежесуточными изменениями шума транзистора и интенсивностью флуктуаций НМ составил 0.22 со статистической значимостью  $p = 0.00005$ . Интересно отметить, что также как и с биологическими параметрами, лучшую взаимную корреляцию



**Рис. 7.** Коэффициент кросскорреляции ( $r$ ) спектров мощностей в диапазоне 99–360 мин интенсивности шума термодатчиков (среднее по девяти датчикам) и флуктуаций нейтронного монитора. Представлены медианы и интерквартильный размах значений коэффициента корреляции, рассчитанных для двухсуточных интервалов при анализе одновременных данных и со смещением на двое суток. Серия 1 – с 14 по 25 января 2021 г. (число анализируемых интервалов – 6); серия 2 – с 25 февраля по 8 марта 2021 г. (число анализируемых интервалов – 6).

Рассчитанные коэффициенты корреляции между изменениями среднесуточных значений интенсивности шума кремниевого транзистора и флуктуаций НМ

Интервал исследования	Коэффициент корреляции $r$	Статистическая значимость
Ноябрь – декабрь 2002	0.30	<b>0.023</b>
Январь – февраль 2003	0.09	0.58
Март – апрель 2003	0.28	<b>0.035</b>
Май – июнь 2003	0.14	0.36
Июль – август 2003	0.10	0.43
Сентябрь – октябрь 2003	0.31	<b>0.017</b>
Ноябрь – декабрь 2003	0.28	<b>0.030</b>
Ноябрь 2002 – декабрь 2003	0.22	<b>0.00005</b>

имеют ежесуточные изменения параметров, а не их абсолютные ежесуточные значения.

Основным из неучтенных параметров окружающей среды, влияющим на интенсивность шумов в полупроводниках, является ионизирующая радиация. В интенсивности дегазации радона двумя независимыми коллективами установлена около четырехсуточная ритмичность [23, 24]. Необходимо экспериментально проверить динамику колебаний естественного радиоактивного фона и оценить ее интенсивность, чтобы принять или опровергнуть гипотезу такой взаимосвязи. Однако крайне маловероятно, чтобы настолько малые дозы радиации от приземного радона вызвали выявленные эффекты как в этой статье, так и в других наших исследованиях [7–10], где лабораторные животные находились на девятом этаже, где концентрация радона еще более низкая. Следует отметить, что при косвенном выявлении связи между биологическими и физическими процессами всегда нужно помнить, что ритмические изменения активности животных имеют периоды, выявляемые в флуктуациях самых разных процессов: собственных колебаний Земли, пульсаций геомагнитного поля, колебаний электрической напряженности атмосферы, микрофлуктуаций атмосферного давления, флуктуаций потока тепловых нейтронов и т.д. [25].

Не имея достаточной компетенции, детально мы не рассматриваем возможные механизмы связи интенсивности флуктуаций НМ с уровнем шу-

ма в приборах, а также и активностью животных. Однако, на наш взгляд, существуют две принципиальные возможности: 1) флуктуации потока вторичных космических лучей порождают колебания другого биотропного фактора среды, что, вероятно, может происходить на уровне ионизации верхних слоев атмосферы; 2) учитывая, что устройство НМ исключает внутренние шумы такого масштаба, существует дополнительный агент, который определяет как интенсивность флуктуаций скорости счета НМ, так и шумы в детекторах, а также сам влияет на активность животных.

Ритмичность проявления биологических параметров по местному времени дает дополнительную информацию при поиске не установленного биотропного фактора. Ранее нами было показано, что в двух группах мышей, изолированных от внешних световых ориентиров цикла смены день/ночь наличием постоянного освещения и разнесенными в долготном направлении (Москва-Ульяновск), фазы ритмов активности имеют синхронное проявление по местному, а не глобальному времени [26].

Дальнейшие поиски причины, вызывающей такие флуктуации НМ, или агента вызванного флуктуациями НМ позволят найти внешний фактор среды, в значительной степени влияющий на нервную систему животных, что приблизит нас к разработке способа немедикаментозного метода влияния на нервную систему организма



с целью коррекции ряда заболеваний, в том числе и нарушений сна.

### ВЫВОДЫ

1) Несмотря на значительное расстояние (5000 км) между местами наблюдений за динамикой температуры тела сусликов и ежей, а также их принадлежности к разным семействам, выявлена закономерность: максимальное число моментов восстановления температуры тела ежей наблюдается в дни, когда выходят из состояния гипотермии суслики. Этот факт указывает на существование внешнего глобального фактора, вызывающего сдвиг баланса автономной нервной системы в сторону преобладания симпатических влияний, приводящего к пробуждению животных.

2) Установлена связь моментов кратковременных восстановлений температуры тела животных в период сна с возрастанием интенсивности флуктуаций скорости счета НМ. Из-за крайне малой величины флуктуаций потока вторичного космического излучения, на наш взгляд, нельзя рассматривать этот фактор как биотропный. Вероятно, интенсивность флуктуаций НМ является только маркером искомого биотропного фактора среды, влияющего на баланс вегетативной нервной системы.

3) Факты положительной корреляционной связи интенсивности шумов кремниевого транзистора с флуктуациями НМ и приуроченность к местному времени внутрисуточного около четырехчасового ритма в моментах пробуждения животных позволяет феноменологически точнее охарактеризовать искомый биотропный фактор, что поможет в его дальнейших поисках.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работу с ежами проводили в ЦКП «Живая коллекция диких видов млекопитающих» на научно-экспериментальной базе «Черноголовка» ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН (Ногинский р-н Московской области).

### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

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

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

При работе с 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. Б. М. Владимирский, В. Я. Нарманский и Н. А. Темуриянц, *Биофизика* **40** (4), 749 (1995).
2. В. С. Нарманский и Н. А. Темуриянц, *Геофизические процессы и биосфера* **8** (1), 36 (2009).
3. Т. А. Зенченко, А. А. Медведева, Н. И. Хорсева и Т. К. Бреус, *Геофизические процессы и биосфера* **12** (4) 74 (2013).
4. R. McCraty, M. Atkinson, V. Stolc, et al., *Int. J. Environ. Res. Public. Health* **14** (7), 770 (2017).
5. S. Monto, S. Palva, J. Voipio, and J. M. Palva, *J. Neurosci.* **28**, 8268 (2008).
6. S. J. Palmer, M. J. Rycroft, and M. Cermack, *Surv. Geophys.* **27**, 557 (2006).
7. М. Е. Диатроптов, Н. В. Ягова, Д. В. Петровский и А. В. Суров, *Бюл. эксперим. биологии и медицины.* **171** (5), 639 (2021).
8. М. Е. Диатроптов и М. А. Диатроптова, *Бюл. эксперим. биологии и медицины* **171** (6), 777 (2021).
9. М. А. Диатроптова и М. Е. Диатроптов, *Бюл. эксперим. биологии и медицины* **172** (7), 125 (2021).
10. М. Е. Диатроптов и М. А. Диатроптова // *Бюл. эксперим. биологии и медицины* **172** (11), 632 (2021).
11. M. B. Harris and W. K. Milsom, *J. Exp. Biol.* **198**, 931 (1995).
12. W. K. Milsom, M. B. Zimmer, and M. B. Harris, *Comp. Biochem. Physiol. (A)* **124**, 383 (1999).
13. N. V. Shvareva and Z. G. Nevretdinova, *Zh. Evol. Biochim. Fiziol.* **24** (2), 188 (1988).
14. D. Zivadinović, M. Marjanović, and R. K. Andjus, *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **1048**, 60 (2005).
15. А. И. Ануфриев *Механизмы зимней спячки мелких млекопитающих Якутии* (СО РАН, Новосибирск, 2008).
16. C. T. Williams, M. Radonich, B. M. Barnes, et al., *J. Comp. Physiol.* **187** (5-6), 693 (2017).
17. Williams, B. M. Barnes, M. Richter, et al., *Physiol. Biochem. Zool.* **85** (4), 397 (2012).
18. T. Ikeno, C. T. Williams, C. L. Buck, et al., *J. Biol. Rhythms* **32** (3), 246 (2017).
19. B. J. Prendergast, Y. M. Cisse, E. J. Cable, and I. Zucker, *J. Biol. Rhythms* **27** (4) 287 (2012).
20. E. J. Waite, M. McKenna, Y. Kershaw, et al., *Eur. J. Neurosci.* **36** (8), 142 (2012).

21. Л. Я. Глыбин, В. А. Святуха и Г. Ш. Цициашвили, Биофизика **40** (4), 829 (1995).
22. А. А. Михайлис и Н. И. Микуляк, Современные проблемы науки и образования. **2**, (2015).
23. О. И. Аптикаева, К. А. Костенко, Е. И. Селюков и др., в *Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов* (Янус-К, М., 2013), сс. 255–266.
24. М. В. Сухоруков и А. А. Спивак, Успехи соврем. естествознания **1**, 94 (2017).
25. В. А. Панчелюга и М. С. Панчелюга, Биофизика **60** (2), 395 (2015).
26. М. Е. Диатроптов, С. М. Слесарев и Т. А. Зенченко, Бюл. эксперим. биологии и медицины **172** (7), 87 (2021).

## A Connection between the Episodes of Normothermic Levels of Body Temperature in Animals during Hibernation and Secondary Cosmic Ray Intensity Fluctuations

M.E. Diatropov\*, A.I. Anufriev\*\*, and M.V. Rutovskaya\*

\*A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Leninsky prosp. 33, Moscow, 119071 Russia

\*\*Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, prosp. Lenina, 41, Yakutsk, 677980 Russia

The episodes of normothermic levels of body temperature over a short time during hibernation in hedgehogs that live in the territory of the Moscow region and ground squirrels inhabiting Yakutsk were compared. The results of superposed epoch analysis have shown that although the distance between the observing sites is about 5000 km and hedgehogs and ground squirrels live in different places, there exists a connection between the episodes of normothermic levels of body temperature in the animals under study: the maximum number of the episodes of short-term normothermia in hedgehogs is observed on the same days when ground squirrels wake up. In the diurnal dynamics of wakefulness, a 4-hour biorhythm is created: the maximum amount of the episodes when body temperature starts to return to normothermia, both in hedgehogs and ground squirrels, is recorded according to local solar time within the time intervals 0–1 a.m., 4–5 a.m., 8–9 a.m., 12 a.m.–1 p.m., 4–5 p.m., 8–9 p.m. It has been shown that the episodes of normothermia in animals under study are associated with intensity fluctuations of secondary cosmic rays recorded by a neutron monitor. The intensity of the noise of the silicon transistor and temperature sensors, which are small in size so that they are directly affected by extremely low variations of cosmic rays, correlates with the severity of fluctuations in the neutron count. We believe that the magnitude of fluctuations counting rate of the neutron monitor is only a marker of a biotropic agent that has not yet been identified.

*Keywords: hibernation, spontaneous arousal, external synchronizers, fluctuations in the neutron monitor counting rate, mammals*