

Временная организация зимней спячки у представителей семейств *Erinacidae* и *Sciuridae*

Н.Г. Соломонов¹, А.И. Ануфриев^{2,*}

¹Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия

²Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*anufry@ibpc.ysn.ru

Аннотация. В представленном сообщении проведен сравнительный анализ ритмики зимней спячки двух филогенетически удаленных облигатных зимоспящих видов, семейства *Erinacidae* и *Sciuridae*. Проанализированы материалы от 12 особей длиннохвостых сусликов (*Spermophilus undulatus* Pallas, 1778). Сравнительные материалы по белогрудым ежам (*Erinaceus roumanicus* Barrett-Hamilton, 1900) получены от 13 особей. Динамика ритмов зимней спячки у *S. undulatus* и *E. roumanicus* однонаправленна. Наиболее продолжительные периоды гипотермии отмечены в январе–феврале. Зимняя спячка у ежей по общей продолжительности на 30 % выше, чем у сусликов. Общая продолжительность состояния гипотермии у ежей на 25 % больше, чем у сусликов. Средняя длительность периодов гипотермии у ежей на 40 % меньше, чем у сусликов, а их количество в 2,5 раза больше. Продолжительность нормотермии у ежей на протяжении спячки в 3 раза выше, чем у сусликов. Средняя продолжительность нормотермии при пробуждениях на 20 % больше, чем у сусликов. У ежей доля нормотермии от общего времени спячки составляет 12,6 % у длиннохвостых сусликов 5,9 %.

Ключевые слова: белогрудый еж, длиннохвостый суслик, зимняя спячка, ритмы спячки, гипотермия, нормотермия.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы Государственного задания ИБПК ЯНЦ СО РАН: «Структура и динамика популяций и сообществ животных холодного региона Северо-Востока России в современных условиях глобального изменения климата и антропогенной трансформации северных экосистем: факторы, механизмы, адаптации, сохранение». АААА-А17-117020110058-4».

Введение

Зимняя спячка мелких млекопитающих включает два основных компонента: длительные периоды гипотермии и относительно короткие по времени пробуждения. При пробуждениях животные могут питаться (как хомяки и бурундуки) или не питаться (суслики, сурки, ежи, летучие мыши). Выводить из организма только жидкие или и жидкие, и твердые экскременты. При наличии ряда гипотез природа пробуждений, соотношение экзогенных и эндогенных факторов в формировании ритмов спячки окончательно не определены [1]. Зимняя спячка присутствует у представителей широкого филогенетического диапазона мелких и средних млекопитающих [2]. Подвержены зимней спячке некоторые виды хищных млекопитающих, черный, бурый и белый медведи, а также барсук и енотовидная собака [3]. Интервал внешних температур, в границах которого возможно протекание спячки, у

зимоспящих млекопитающих ограничен. Для большинства гибернантов он находится в пределах от –5 до 15 °C [4].

Длительности периодов гипотермии – баутов (от англ. bout – период) имеют внутривидовые, межвидовые и сезонные особенности [3, 5–9]. Например, у ежа (*E. europaeus*) в начале спячки продолжительность баутов составляет 2–3 суток, в середине спячки – 2–3 недели. У сусликов максимальная продолжительность периодов оцепенения в основном не более 2 недель, у сурков – 2–3 недели, у более мелких зимоспящих грызунов (хомячки, бурундуки) в пределах 7 суток [10–14].

Ход зимней спячки у разных зимоспящих видов при всем внешнем сходстве зависит от эндогенных и экзогенных факторов и, вероятно, связан с экологическими особенностями зимоспящих видов. Это размеры и масса тела, экологическая специализация, условия обитания. Для родствен-

ных видов животных, имеющих сходные размеры и массу тела, как, например, для двух видов сусликов (*S. undulatus* и *S. parryi*), обитающих на северо-востоке Сибири в близких климатических условиях, основные параметры спячки (сроки и ритмика) оказались достаточно близкими. Но отличались от ритмики спячки более мелких бурундуков (*T. sibiricus*) и более крупных черношапочных сурков (*M. camtschatica*) на общих территориях обитания [15].

В представленном сообщении выполнен сравнительный анализ ритмики зимней спячки двух филогенетически удаленных облигатных зимоспящих видов, семейства *Erinaceidae* и *Sciuridae*.

Материал и методики

Проанализированы материалы по ритмике спячки от 12 особей длиннохвостых сусликов (*Spermophilus undulatus* Pallas, 1778). Данные получены в 2012/20 гг. Зверьков отлавливали в августе, в 80 км южнее г. Якутск заливкой нор. Зимовка и спячка с октября по апрель проходила в подвальном помещении вивария ИБПК СО РАН и в подземелье мерзлотной лаборатории Института мерзлотоведения СО РАН (г. Якутск). Сравнительные материалы по белогрудым ежам (*Erinaceus roumanicus* Barrett-Hamilton, 1900) получены при обработке первичных материалов и совместном написании статей по зимней спячке ежей, 13 особей [16, 17]. Белогрудые ежи зимовали на экспериментальной базе ИПЭЭ РАН, зимой 2017/18 гг. в Подмоскowie, в виварии и искусственных норах. Масса длиннохвостых сусликов перед спячкой было в пределах 750–1200 г, ежей – 630–1460 г.

Длиннохвостым сусликам до начала спячки, в конце августа–сентябре, внутрибрюшинно имплантировали приборы длительной регистрации температуры тела (температурные накопители DS-1922L, описание прибора и основные характеристики можно найти на сайтах: www.elin.ru; <http://www.thermochron.ru>; <http://www.ibdl.ru/>). Приборы были запрограммированы на измерение температуры с частотой 1 раз в 60 мин. Аналогичными приборами проводилась регистрация температуры окружающей среды.

Белогрудым ежам внутрибрюшинно были имплантированы измерители Петровского [18] (термонакопители ДТН4-28 «ЭМБИ РЕСЕРЧ», Новосибирск). Измерения проводились с частотой 1 раз в 20 мин. У каждой особи по данным о температуре тела рассчитывалось время на компо-

ненты спячки. Гипотермия включала в себя время снижения температуры. Расчет начинали при снижении температуры тела ниже 25 °С и до начала следующего пробуждения. Нормотермия включала время саморазогревания и активное состояние. Для отдельного ежа в разные периоды спячки рассчитаны время саморазогревания, активное состояние, время остывания при впадении в гипотермию и продолжительность гипотермии. Статистическую обработку проводили, используя стандартный пакет анализа MS Excel. При анализе корреляций изучаемых величин использовали парный двухвыборочный *t*-тест для средних.

Работу с животными проводили с учетом рекомендаций национального стандарта, по принципам надлежащей лабораторной практики Российской Федерации ГОСТ 3 53434-2009.

Результаты

Временная организация зимней спячки белогрудых ежей и длиннохвостых сусликов представляет собой периодически повторяющиеся интервалы гипотермии (бауты), прерываемые пробуждениями. У ежевых спячка наступает в более ранние сроки, что, несомненно, связано с исчезновением естественных кормов в природе с наступлением холодов. У сусликов до установления устойчивого снежного покрова имеется возможность питаться в естественной среде и заготавливать определенное количество пищи (семена растений). Эти запасы имеют особое значение после окончания спячки, так как суслики пробуждаются перед и в период снеготаяния, соответственно в течение первых 2–3 недель после спячки доступная пища отсутствует. У длиннохвостых сусликов при подготовке к зимовке происходит сезонная смена мехового покрова, что вместе с увеличением жировых запасов усиливает холодоустойчивость. Динамика ритмов зимней спячки у длиннохвостого суслика и белогрудого ежа однонаправленна (рис. 1, 2).

Начальный период спячки, переход от нормотермии к гетеротермии и гипотермии у белогрудого ежа растянут во времени, продолжается почти в течение 2 месяцев. Это значительно продолжительнее, чем у длиннохвостого суслика. Для сусликов характерно два–три кратковременных погружения в гипотермию, после чего наступала «глубокая спячка» с продолжительностью гипотермии около и более 10 суток. У обоих видов с течением времени продолжительность оцепене-

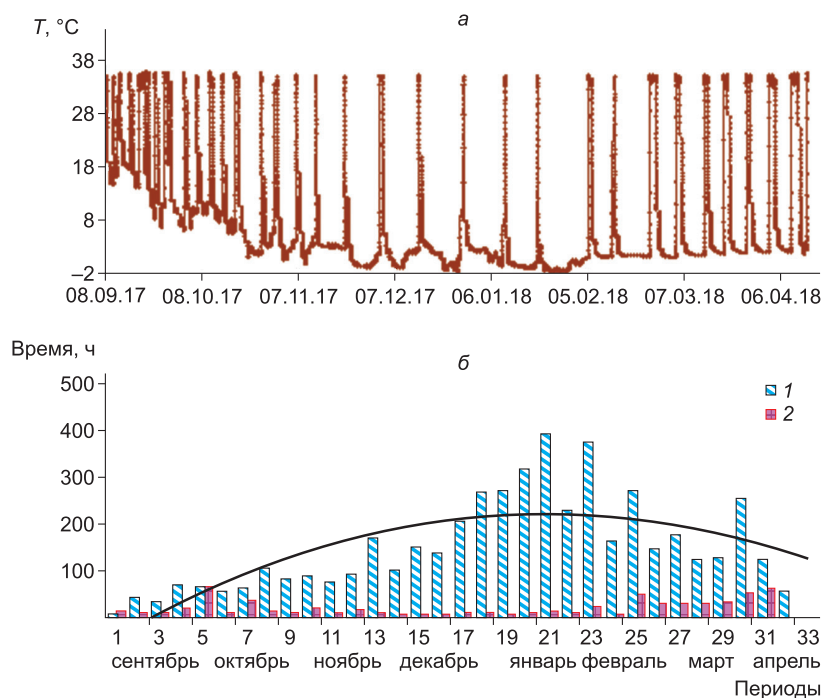


Рис. 1. Динамика температуры тела (*a*) и ритмика спячки (*б*) у белогрудого ежа (№ 1536):
1 – период гипотермии; 2 – пробуждения.

Fig. 1. Dynamics of body temperature (*a*) and the rhythm of hibernation (*b*) in the white-breasted hedgehog (No. 1536):
1 – periods of hypothermia; 2 – awakenings.

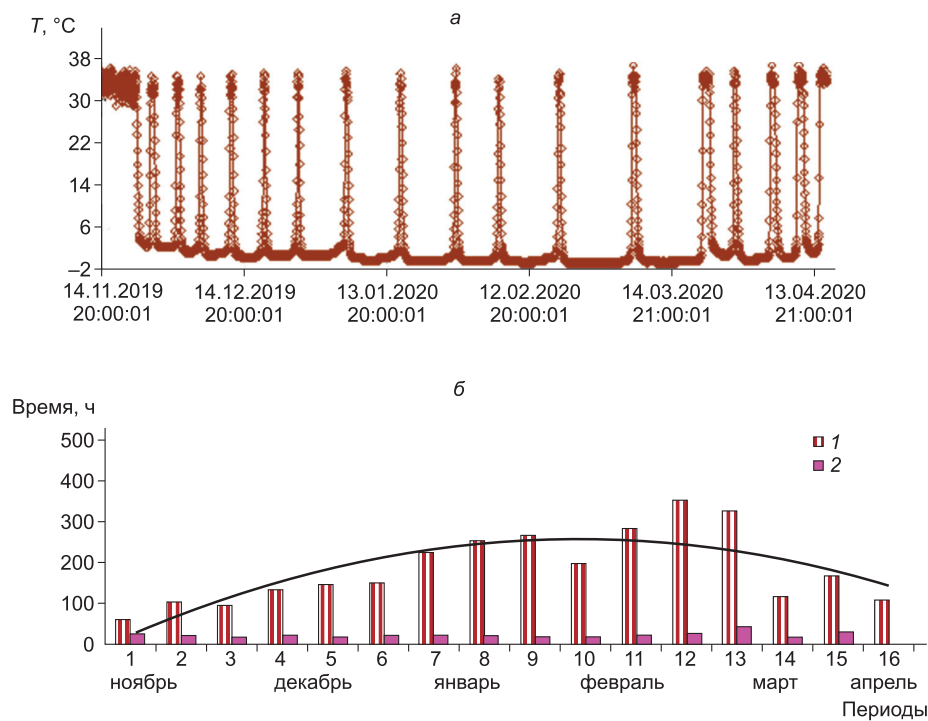


Рис. 2. Динамика температуры тела (*a*) и ритмика спячки (*б*) у длиннохвостого суслика (самец № 1):
1 – периоды гипотермии; 2 – пробуждения.

Fig. 2. Dynamics of body temperature (*a*) and the rhythm of hibernation (*b*) in the long-tailed ground squirrel (male No. 1):
1 – periods of hypothermia; 2 – awakenings.

Сравнительная характеристика бюджета времени зимней спячки у белогрудого ежа и длиннохвостого суслика

Table 1

The comparative characteristics of the budget of the winter hibernation time in the white-breasted hedgehog and the long-tailed ground squirrel

Вид/показатель	Белогрудый еж	Длиннохвостый суслик
Количество баутов, n(M±m)/Min-Max	<u>13(30,1±1,4)</u> 24,0–41,0	<u>12(12,5±0,8)</u> 7,0–16,0
Средняя длит. гипотермии (баута), ч n(M±m)/Min-Max	<u>13(141,0±4,9)</u> 11,4–169,2	<u>12(254±16,1)</u> 174,9–357,0
Общая длит. гипотермии, ч n(M±m)/Min-Max	<u>13(4183,6±121,3)</u> 3431,8–4831,5	<u>12(3100,2±144,4)</u> 2499,0–3796,0
Средн. длит. нормотермии, ч n(M±m)/Min-Max	<u>13(21,2±1,8)</u> 12,9–35,88	<u>12(16,8±1,5)</u> 10,5–26,0
Общ. длит. нормотермии, ч n(M±m)/Min-Max	<u>13(606,9±49,5)</u> 322,6–1004,0	<u>12(194,3±21,3)</u> 78,5–343,0
Общ. продолжит. спячки, ч n(M±m)/Min-Max	<u>13(4790,9±117,9)</u> 4216,4–5441,3	<u>12(3283,2±157,1)</u> 2577,0–3972

Примечание. n – число животных.

Note. n – number of animals.

ний постепенно возрастает, достигая максимума в декабре–марте. По мере приближения окончания спячки длительность оцепенений снижается, увеличивается продолжительность пробуждений. Наиболее продолжительные периоды гипотермии отмечены в январе–феврале. В это время продолжительность интервалов нормотермии минимальна. Эту часть спячки условно можно назвать периодом «глубокой» спячки. Именно в этот период у обоих видов наименьшие энергозатраты, поскольку частота пробуждений и их продолжительность минимальны. Динамика изменения ритмики спячки и ее ход у представителей сем. Ежовые и Беличьи по многим параметрам сходны [16]. Имеются различия в продолжительности и соотношении частей ее составляющих (табл. 1). Так, зимняя спячка у ежей по общей продолжительности почти на 30 % выше, чем у сусликов. Соответственно общая продолжительность состояния гипотермии у ежей на 25 % больше, чем у сусликов. Средняя длительность баутов у ежей на 40 % короче, чем у сусликов, а их количество в 2,5 раза больше. Продолжительность нормотермии у ежей на протяжении спячки в 3 раза выше, чем у сусликов. Средняя продолжительность нормотермии при пробуждениях на 20 % больше, чем у сусликов. У ежей доля нормотермии на протяжении общего времени спячки составляет 12,6 %, у длиннохвостых сусликов 5,9 %.

У белогрудых ежей корреляция (Пирсон, R) между длительностью гипотермии и средней продолжительностью спячки 0,91, $p < 0,05$. Между средним количеством баутов и их общей продолжительностью 0,7, $p < 0,05$. Между длительностями гипотермии и нормотермии в период спячки корреляция обратная – 0,77, $p < 0,05$. У длиннохвостых сусликов корреляция (R) между длительностью гипотермии и продолжительностью спячки 0,98, $p < 0,05$. Между средним количеством баутов и их общей продолжительностью 0,49, $p < 0,05$. Между длительностями гипотермии и нормотермии в период спячки корреляция обратная – 0,34, $p < 0,05$.

Ритмика зимней спячки у белогрудого ежа и длиннохвостого суслика динамично изменяется на протяжении зимовки, связано это, в большей степени, с изменением продолжительностью интервалов гипотермии (табл. 2). Рассмотрение ритмики спячки белогрудого ежа в различные временные отрезки зимовки показывает, что большинство частей, составляющих короткий цикл спячки, в разные периоды спячки имеют разную долю от общего времени короткого цикла спячки, включающего пробуждение.

Относительно постоянным, по абсолютным значениям, было время саморазогревания при пробуждении [19]. Гипотермия у ежа возрастает от 64 до 91 % от начала до середины спячки и

**Изменение продолжительности коротких циклов спячки и составляющих их частей
у отдельного белогрудого ежа (№ 1536) на протяжении зимовки**

Table 2

**Changes in the duration of short hibernation cycles and their components
in the white-breasted hedgehog (No. 1536) during wintering**

Дата/компонент спячки	Пробуждение ч/%	Нормотермия, ч/%	Залегание, ч/%	Гипотермия, ч/%
18.10–26.10	5,0/2,65	12,6/6,7	50,0/26,75	119,3/63,99
12.11–21.11	6,0/2,77	4,0/1,85	40,0/18,5	166,0/76,85
19.01–5.02	7,0/1,7	5,0/1,3	20,6/5,29	356,6/91,67
19.03–26.03	6,0/3,76	25,66/16,1	36,0/22,5	91,6/57,53

снижается до 57 % к ее окончанию. Нормотермия в период «глубокой» спячки занимает 1,3–1,8 % времени, но увеличивается в 8–9 раз к окончанию спячки. Для длиннохвостого суслика данные об изменении частей, составляющих спячку, были опубликованы ранее. Как и у белогрудого ежа, у длиннохвостого суслика на протяжении спячки изменяются продолжительность и соотношение частей, составляющих короткие циклы спячки [1]. Это свидетельствует о наличии у животных тонко настроенных регуляторных механизмов, обеспечивающих оптимальную ритмичность зимней спячки.

Обсуждения

Зимняя спячка, состоящая из периодически повторяющихся интервалов гипотермии, характерна для относительно небольших по размерам и массе тела млекопитающих [20]. Периодические пробуждения – по-прежнему загадка зимней спячки, но их значение таково, что они встречаются у подавляющего большинства мелких и средних зимоспящих млекопитающих. Предполагается, что пробуждения жизненно необходимы мелким зимоспящим млекопитающим для возобновления транскрипции, обновления внутриклеточных структур и активации иммунной системы для борьбы с патогенами. Синтез макромолекул таких как РНК и белок, более эффективен и проходит в более высоком темпе при высоких температурах тела [21–25].

У двух филогенетически удаленных зимоспящих видов, белогрудого ежа и длиннохвостого суслика, имеется ряд общих черт и различия в организации зимней спячки, несомненно, связанных с экологической специализацией и условиями обитания видов. Белогрудый еж заселяет территории с умеренным и теплым климатом, центральную и южную часть России. Залегает в

спячку в сентябре. Сроки наступления спячки у ежей, как и у других зимоспящих, определяются как внешними, так и внутренними факторами. Основными внешними факторами, вызывающими спячку, являются: изменение длины светового дня, понижение температуры окружающего воздуха, отсутствие корма [26]. Начальный, почти двухмесячный период зимней спячки ежей характеризуется непродолжительными периодами гипотермии. Это, несомненно, является особенностью зимовки и спячки белогрудого ежа. Продолжительность спячки ежей на 30 % выше, чем у длиннохвостых сусликов, которые перестают появляться на поверхности почвы с середины октября, с установлением снежного покрова. Залегание в спячку длиннохвостых сусликов в эксперименте в основном начинается с конца октября и продолжается на протяжении ноября.

Залегание ежей в спячку происходит при достаточно высоких температурах почв месторасположения зимовочных нор. При изучении температурной регуляции ритмики зимней спячки оказалось, что наиболее продолжительные периоды оцепенений у белогрудых ежей отмечены при низких положительных температурах и при небольшом «минусе» [16, 27]. С этим связан продолжительный период с частыми пробуждениями зверьков. Длиннохвостый суслик залегает в спячку в период, когда на поверхности почвы устойчивые отрицательные температуры, а в почве в месторасположении зимовального гнезда температура находится в оптимальном интервале температур для спячки этого вида. На протяжении большей части сезона зимней спячки имеет значения от 5÷7 до –5÷–7 °С. Сходные условия поддерживались и в условиях эксперимента.

Специальные исследования показали, что и у белогрудого ежа и длиннохвостого суслика

в спячке имеется оптимальная температурная зона, в которой периоды оцепенений максимальны. У этих видов выявлена зависимость температуры тела от температуры среды, графическое изображение которой близко к линейной. Имеется зависимость продолжительности периодов гипотермии от температуры тела и температуры среды [27].

У обоих видов выявлена высокая корреляция (Р) между средней длительностью спячки и продолжительностью гипотермии, у белогрудых ежей 0,91, у длиннохвостых сусликов 0,98. У белогрудого ежа корреляция между длительностями гипотермии и нормотермии оказалась обратная –0,77, и, вероятно, это связано с большим числом спонтанных пробуждений, особенно в начальный период спячки. У длиннохвостого суслика, у которого пробуждений в 2,5 раза меньше, корреляция была также обратная и составила –0,34.

Существенным различием в спячке белогрудого ежа и длиннохвостого суслика оказалось время нахождения в нормотермном состоянии, у сусликов в абсолютном выражении – в три раза меньше. У ежей 12,6 % бюджета времени – пробуждения, у длиннохвостого суслика 5,9 % (см. табл. 1). Для зимоспящих известно, что основная часть энергозатрат в спячке связана со спонтанными пробуждениями [3], с данной позиции у длиннохвостого суслика спячка энергетически более экономна, чем у белогрудого ежа.

Заключение

У длиннохвостого суслика и белогрудого ежа при общем сходстве организации зимней спячки имеются несовпадения, отражающие видовые и экологические различия. Особенностью зимней спячки представителя сем. Ежовые является ее высокая продолжительность. Начальный этап зимней спячки белогрудого ежа характеризуется короткими интервалами гипотермии, и это особенность спячки вида. Доля нормотермии в организации спячки белогрудого ежа значительно выше, чем у длиннохвостого суслика.

Для длиннохвостого суслика, обитающего в условиях холодного климата, особое значение имеет сохранение эндогенных запасов энергии, с этим связан более экономичный тип зимней спячки, по сравнению с белогрудым ежом.

Литература

1. Ануфриев А.И. Механизмы зимней спячки мелких млекопитающих Якутии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 157 с.

2. Melvin R. G., Andrews M.T. Torpor induction in mammals: recent discoveries fueling new ideas // Trends Endocrinol. Metab. 2009. No. 20. P. 490–498.

3. Калабухов Н.И. Спячка млекопитающих [Hibernation of mammals]. М.: Наука, 1985. 264 с.

4. Слоним А.Д. Экологическая физиология животных. М.: Высшая школа, 1971. 448 с.

5. Strumwasser F. Factors in the pattern, timing and predictability of hibernation in the squirrel, *Citellus beecheryi* // Am. J. Physiol. 1959. Vol. 196. P. 8–14.

6. Pengelley E.T., Fisher K.C. The effect of temperature and rhythmical arousal ground squirrels (*Citellus lateralis*) // Can. J. Zool. 1961. Vol. 39, No. 1. P. 105–120.

7. Ortman S., Heldmaier G. Regulation of body temperature and energy requirements of hibernating Alpine marmots (*Marmota marmota*) // Am. J. Physiol. Regulatory Integrative Comp. Physiol. 2000. Vol. 278, No. 3. P. 698–704.

8. Oklejewicz M., Daan S., Strijkstra A.M. Temporal organization of hibernation in wild-type and tau mutant Syrian hamsters // J. Comp. Physiol. (B). 2001. Vol. 171. P. 431–439.

9. Hut R. A., Barnes B. M., Daan S., Body temperature patterns before, during, and after semi-natural hibernation in the European ground squirrel // J. Comp. Physiol. (B). 2002. Vol. 172, No. 1. P. 47–58.

10. Kayser Ch. The physiology of natural hibernation. N.-Y.: Pergamon Press, 1961. 325 p.

11. Galster W.A., Morrison P., Cyclic changes in carbohydrates concentrates during hibernation in the Arctic ground squirrel // Amer. J. Physiol. 1970. Vol. 218, No. 4. P. 1228–1232.

12. Willis L.S., Goldman S.S., Foster R.F. Tissue K-concentration in relation to the role of kidney in hibernation and in the cause of periodic arousal // Comp. Biochem. and Physiol. 1971. Vol. (A) 39, No. 3. P. 437–445.

13. French A.R. Allometries of the duration of torpid and euthermic intervals during mammalian hibernation: a test of the theory of metabolic control of the timing of changes in body temperature // Comp. Biochem. and Physiol. 1985. Vol. 156. P. 13–19.

14. Buck C.L., Barnes B.M. Effects of ambient temperature on metabolic rate, respiratory quotient, and torpor in an arctic hibernator // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2000. Vol. 279, No. 1. P. 255–262.

15. Ануфриев А.И. Экологические механизмы температурных адаптаций млекопитающих и зимующих птиц Якутии. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2013. 220 с.

16. Рutowская М.В., Диатроптов М.Е., Кузнецова Е.В., Ануфриев А.И., Феоктистова Н.Ю., Суров А.В. Динамика температуры тела белогрудого ежа (*Erinaceus roumanicus* Barrett-Hamilton, 1900) во время зимней спячки // Зоол. журн. 2019. № 5. С. 556–566.

17. Рutowская М.В., Диатроптов М.Е., Кузнецова Е.В., Ануфриев А.И., Феоктистова Н.Ю., Суров А.В. Феномен снижения температуры тела до отрицатель-

ных значений у ежей рода *Erinaceus* во время зимней спячки // Журн. эвол. биохим. и физиол. 2019. Т. 55, № 6. С. 463–464.

18. Петровский Д.В., Новиков Е.А., Мошкин М.П. Динамика температуры тела обыкновенной слепушонки (*ELLOBIUS TALPINUS*, *RODENTIA*, *CRICETIDAE*) в зимний период // Зоологический журнал. 2008. Т. 87, № 12. С. 1504–1508.

19. Ануфриев А.И. Динамика и скорость роста температуры тела у зимоспящих при пробуждениях // Принципы экологии. 2020. Т. 9, № 4. С. 4–15.

20. Lyman Ch.P., Willis J.S., Malan A., Wang L.C.H. Hibernation and torpor in mammals and birds. N.-Y.; L.: Acad. press, 1982. 318 p.

21. Van Breukelen F., Martin S.L. Translational initiation is uncoupled from elongation at 18 degrees C during mammalian hibernation // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2001. Vol. 281. P. 1374–1379.

22. Van Breukelen F., Martin S.L. Reversible depression of transcription during hibernation // J. Comp. Physiol. 2002. Vol. 172B. P. 355–361.

23. Prendergast B.J., Freeman D.A., Zucker I., Nelson R.J. Periodic arousal from hibernation is necessary for initiation of immune responses in ground squirrels // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2002. Vol. 282. P. 1054–1062.

24. D'Alessandro A., Nemkov T., Bogren L.K., Martin S.L., Hansen K.C. Comfortably numb and back: plasma metabolomics reveals biochemical adaptations in the hibernating 13-lined ground squirrel. // J. Proteome Res. 2017. Vol. 16. P. 958–969.

25. Wiersma M., Beuren T.M.A., de Vrij E.L., Reitsema V.A., Bruintjes J.J., Bouma H.R., Brundel B.J., Henning R.H. Torpor-arousal cycles in Syrian hamster heart are associated with transient activation of the protein quality control system // Comp. Biochem. Physiol. (B). Biochem. Mol. Biol. 2018. Vol. 223. P. 23–28.

26. Кучерук В.В., Карасёва Е.В. Ежи // Итоги мечения млекопитающих. М.: Наука, 1980. С. 47–57.

27. Ануфриев А.И. Температурная регуляция ритмов зимней спячки // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020. Т. 25, № 1. С. 60–67.

Поступила в редакцию 29.03.2021
Принята к публикации 12.05.2021

Об авторах

СОЛОМОНОВ Никита Гаврилович, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, академик Академии наук Республика Саха (Якутия), Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия; Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, Якутск, ул. Белинского, 58, <https://orcid.org/0000-0002-3947-8648>, bio@ibpc.ysn.ru;

АНУФРИЕВ Андрей Иванович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, ORCID 0000-0003-1246-3275, anufry@ibpc.ysn.ru.

Информация для цитирования

Соломонов Н.Г., Ануфриев А.И. Временная организация зимней спячки у представителей семейств *Erinacidae* и *Sciuridae* // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021, Т. 26, № 2. С. 108–116. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-2-7>

DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-2-7

Temporal organization of hibernation in the representatives of *Erinacidae* and *Sciuridae* families

N.G. Solomonov¹, A.I. Anufriev², *

¹M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

²Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

*anufry@ibpc.ysn.ru

Abstract. A comparative analysis of the hibernation rhythm of two phylogenetically distant obligate winter-sleeping species, the family *Erinacidae* and *Sciuridae*, is carried out. The data from 12 individuals of long-tailed ground squirrels (*Spermophilus undulatus* Pallas, 1778) were analyzed. Comparative data

on white-breasted hedgehogs (*Erinaceus roumanicus* Barrett-Hamilton, 1900) were obtained from 13 individuals. The dynamics of hibernation rhythms in *S. undulatus* and *E. roumanicus* are unidirectional. The longest periods of hypothermia were observed in January–February. The winter hibernation of hedgehogs, for the total duration, is 30 % longer than that of ground squirrels. The total duration of hypothermia in hedgehogs is longer by 25 % than in ground squirrels. The average duration of the periods of hypothermia in hedgehogs is shorter by 40 % than in ground squirrels, and their number is 2.5 times larger. The duration of normothermia in hedgehogs during hibernation is 3 times higher than in ground squirrels. The average duration of normothermia during awakenings is longer by 20 % for hedgehogs than for ground squirrels. In hedgehogs, the percentage of normothermia is 12.6 % of the total hibernation time, while in long-tailed ground squirrels the percentage of normothermia is 5.9 %.

Key words: northern white-breasted hedgehog (*Erinaceus roumanicus*), long-tailed ground squirrel (*Spermophilus undulatus*), hibernation, hibernation rhythms, hypothermia, normothermia.

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of the State Assignment for the Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS «The structure and dynamics of animal populations and communities in the cold region of the North-East of Russia in modern conditions of global climate change and the anthropogenic transformation of northern ecosystems: factors, mechanisms, adaptations, conservation». AAAA-A17-117020110058-4.

References

1. Anufriev A.I. Mekhanizmy zimney spyachki melkikh mlekopitayushchikh Yakutii. Novosibirsk: Izd-vo SB RAS, 2008. 157 p.
2. Melvin R. G., Andrews, M.T. Torpor induction in mammals: recent discoveries fueling new ideas // Trends Endocrinol. Metab. 2009. No. 20. P. 490–498.
3. Kalabukhov N.I. Spyachka mlekopitayushchikh [Hibernation of mammals]. M.: Nauka, 1985. 264 p.
4. Slonim A.D. Ekologicheskaya fiziologiya zhivotnykh // M.: Vysshaya shkola, 1971. 448 p.
5. Strumwasser F. Factors in the pattern, timing and predictability of hibernation in the squirrel, *Citellus beecheryi* // Am. J. Physiol. 1959. Vol. 196. P. 8–14.
6. Pengelley E.T., Fisher K.C. The effect of temperature and rhythmical arousal ground squirrels (*Citellus lateralis*) // Can. J. Zool. 1961. Vol. 39, No. 1. P. 105–120.
7. Ortmann S., Heldmaier G. Regulation of body temperature and energy requirements of hibernating Alpine marmots (*Marmota marmota*) // Am. J. Physiol. Regulatory Integrative Comp. Physiol. 2000. Vol. 278, No. 3. P. 698–704.
8. Oklejewicz M., Daan S., Strijkstra A.M. Temporal organization of hibernation in wild-type and tau mutant Syrian hamsters // J. Comp. Physiol. (B). 2001. Vol. 171. P. 431–439.
9. Hut R. A., Barnes B. M., Daan S., Body temperature patterns before, during, and after semi-natural hibernation in the European ground squirrel // J. Comp. Physiol. (B). 2002. Vol. 172, No. 1. P. 47–58.
10. Kayser Ch. The physiology of natural hibernation. N.-Y.: Pergamon Press, 1961. 325 p.
11. Galster W.A., Morrison P., Cyclic changes in carbohydrates concentrates during hibernation in the Arctic ground squirrel // Amer. J. Physiol. 1970. Vol. 218, No. 4. P. 1228–1232.
12. Willis L.S., Goldman S.S., Foster R.F. Tissue K-concentration in relation to the role of kidney in hibernation and in the cause of periodic arousal // Comp. Biochem. and Physiol. 1971. Vol. (A) 39, No. 3. P. 437–445.
13. French A.R. Allometries of the duration of torpid and euthermic intervals during mammalian hibernation: a test of the theory of metabolic control of the timing of changes in body temperature // Comp. Biochem. and Physiol. 1985. Vol. 156. P. 13–19.
14. Buck C.L., Barnes B.M. Effects of ambient temperature on metabolic rate, respiratory quotient, and torpor in an arctic hibernator // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2000. Vol. 279, No. 1. P. 255–262.
15. Anufriev A.I. Ekologicheskie mekhanizmy temperaturnykh adaptatsiy mlekopitayushchikh i zimuyushchikh ptits Yakutii. Novosibirsk: Izdatelstvo SB RAS, 2013. 220 p.
16. Rutovskaya M.V., Diatropov M.Ye., Kuznetsova Ye.V., Anufriev A.I., Feoktistova N.Yu., Surov A.V. Dinamika temperatury tela belogrudogo ezha (*Erinaceus roumanicus* Barrett-Hamilton, 1900) vo vremya zimney spyachki // Zool. Zhurn. 2019. No. 5. P. 556–566.
17. Rutovskaya M.V., Diatropov M.Ye., Kuznetsova Ye.V., Anufriev A.I., Feoktistova N.Yu., Surov A.V. Fenomen snizheniya temperatury tela do otritsatelnykh znacheniy u ezhey roda *Erinaceus* vo vremya zimney spyachki // Zhurn. evol. Biokhim. i Fiziol. 2019. Vol. 55, No. 6. P. 463–464.
18. Petrovskiy D.V., Novikov Ye.A., Moshkin M.P. Dinamika temperatury tela obyknovennoy slepushonki (*ELLOBIUS TALPINUS*, RODENTIA, CRICETIDAE) v zimniy period // Zool. Zhurn. 2008. Vol. 87, No. 12. P. 1504–1508.
19. Anufriev A.I. Dinamika i skorost rosta temperatury tela u zimospyashchikh pri probuzhdeniyakh // Printsipy ekologii. 2020. Vol. 9. No. 4. P. 4–15.

20. Lyman Ch.P., Willis J.S., Malan A., Wang L.C.H. Hibernation and torpor in mammals and birds. N.-Y.; L.: Acad. press, 1982. 318 p.
21. Van Breukelen F., Martin S.L. Translational initiation is uncoupled from elongation at 18 degrees C during mammalian hibernation // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2001. Vol. 281. P. 1374–1379.
22. Van Breukelen F., Martin S.L. Reversible depression of transcription during hibernation // J. Comp. Physiol. 2002. Vol. 172B. P. 355–361.
23. Prendergast B.J., Freeman D.A., Zucker I., Nelson R.J. Periodic arousal from hibernation is necessary for initiation of immune responses in ground squirrels // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2002. Vol. 282. P. 1054–1062.
24. D'Alessandro A., Nemkov T., Bogren L.K., Martin S.L., Hansen K.C. Comfortably numb and back: plasma metabolomics reveals biochemical adaptations in the hibernating 13-lined ground squirrel. //J. Proteome Res. 2017. Vol. 16. P. 958–969.
25. Wiersma M., Beuren T.M.A., de Vrij E.L., Reitsema V.A., Bruintjes J.J., Bouma H.R., Brundel B.J., Henning R.H. Torpor-arousal cycles in Syrian hamster heart are associated with transient activation of the protein quality control system// Comp. Biochem. Physiol. (B). Biochem. Mol. Biol. 2018. Vol. 223. P. 23–28.
26. Kucheruk V.V., Karaseva Ye.V. Yezhi // Itogi mekhaniki mlekopitayushchikh. M.: Nauka, 1980. P. 47–57.
27. Anufriev A.I. Temperaturnaya regulyatsiya ritmov zimney spyachki // Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики. 2020. Vol. 25, No. 1. P. 60–67.

About the authors

SOLOMONOV Nikita Gavrilovich, Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, member of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia; M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, professor, 58 Belinskogo str., Yakutsk 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-3947-8648>, bio@ibpc.ysn.ru;

ANUFRIEV Andrey Ivanovich, Dr. Sci. (Biology), chief researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-1246-3275>, anufry@ibpc.ysn.ru.

Citation

Solomonov N. G., Anufriev A. I. Temporal organization of hibernation in the representatives of *Erinacidae* and *Sciuridae* families // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021, Vol. 26, No. 2. P. 108–116. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-2-7>