

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

DOI 10.31029/vestdnc94/1

УДК 577.3

КИСЛОТНАЯ РЕЗИСТЕНТНОСТЬ И ПОПУЛЯЦИОННЫЙ СОСТАВ ЭРИТРОЦИТОВ КРОВИ ХОМЯКА БРАНДТА ПРИ СПЯЧКЕ И ПРОБУЖДЕНИИ

М. Б. Саидов¹, ORCID: 0009-0005-3272-1712

А. М. Джафарова¹, ORCID: 0000-0001-7744-859X

Д. К. Омарова², ORCID: 0000-0002-4985-3480

Н. К. Кличханов¹, ORCID: 0000-0002-9405-6552

¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

²Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского
федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Россия

ACID RESISTANCE AND POPULATION COMPOSITION OF ERYTHROCYTES IN THE BRANDT'S HAMSTER'S BLOOD DURING HIBERNATION AND AWAKENING

M. B. Saidov¹, ORCID: 0009-0005-3272-1712

A. M. Dzhafarova¹, ORCID: 0000-0001-7744-859X

D. K. Omarova², ORCID: 0000-0002-4985-3480

N. K. Klichkhanov¹, ORCID: 0000-0002-9405-6552

¹Daghestan State University, Makhachkala, Russia

²Precaspian Institute of Biological Resources of the
Daghestan Federal Research Centre of RAS, Makhachkala, Russia

Аннотация. Гибернация мелких млекопитающих, за период которой происходят переключение между состояниями с высоким и низким уровнями метаболизма, представляет собой уникальный природный феномен, механизмы которого у некоторых животных остаются малоизученными. В данной работе исследована кислотная резистентность и популяционный состав эритроцитов хомяков Брандта (*Mesocricetus Brandti*) во время глубокой спячки и пробуждения. Показано, что условиях зимней спячки, происходит значительное перераспределение популяций эритроцитов и увеличение кислотной резистентности. При этом существенно увеличивается процентное содержание эритроцитов, обладающих устойчивыми характеристиками, на фоне снижения содержания эритроцитов с низкой гемолитической устойчивостью. Выход из состояния гибернации и нормализация температуры тела до 37°C существенно меняет картину распределения эритроцитов по группам стойкости по сравнению со спячкой, которая демонстрирует снижение устойчивых характеристик эритроцитов.

Abstract. Hibernation of small mammals, during which switching between states with high and low metabolic rates occurs, is a unique natural phenomenon, the mechanisms of which in some animals remain poorly understood. In this paper we studied the acid resistance and population composition of erythrocytes in Brandt's hamsters (*Mesocricetus Brandti*) during deep hibernation and awakening. It is shown that under hibernation conditions, a significant redistribution of erythrocyte populations and an increase in acid resistance occur. At the same time, the percentage of erythrocytes with resistant characteristics significantly increases against the background of a decrease in the content of erythrocytes with low hemolytic resistance. Exit from hibernation and normalization of body temperature to 37 ° C significantly changes the pattern of erythrocyte distribution by resistance groups compared to hibernation which demonstrates a decrease in the resistant characteristics of erythrocytes.

Ключевые слова: популяции эритроцитов, гемолиз, зимняя спячка, пробуждение, хомяк Брандта.

Keywords: erythrocyte populations; hemolysis; hibernation; awakening; Brandt's hamster.

Введение

Спячка – это совокупность физиологических стратегий, позволяющих животным жить в неблагоприятной среде, где они испытывают экстремальные температурные нагрузки и нехватку еды и воды. Многие виды животных впадают в спячку, и существует целый спектр фенотипов спячки. Исследования прошлого века и более поздние работы показывают, что спячка – это не просто пассивное снижение температуры тела и жизненно важных параметров, а скорее активный процесс, сезонно регулируемый на молекулярном, клеточном и организменном уровнях [1].

Зимняя спячка (гибернация) состоит из последовательности циклов (баутов) продолжительностью от нескольких дней в начале сезона гибернации до 2–3 недель в последующем, прерывающихся относительно кратковременными пробуждениями [2].

Во время спячки практически все физиологические функции организма находятся в подавленном состоянии. Прежде всего это касается работы сердечно-сосудистой системы, обеспечивающей организм кислородом и интенсивности метаболических процессов в тканях. Можно думать, что усиление потребления кислорода во время смены спячки на пробуждение, может сказаться на функциональной полноценности популяций эритроцитов крови.

Исследователи, изучавшие уровень окислительного стресса в эритроцитах и плазме крови гибернирующих сусликов, показали, что уровень маркеров окислительного стресса в крови находится на предельно низком уровне по сравнению с контрольными животными. При этом активность ключевых ферментов антиоксидантной защиты, таких как супероксиддисмутаза (СОД) и каталаза (КАТ), также демонстрировали низкую активность [3]. Существенное повышение содержания малонового диальдегида (МДА), карбониллов белков эритроцитов и плазмы и повышение активности СОД, а также КАТ во время пробуждения авторы связывают с интенсификацией образования активных метаболитов кислорода и азота в результате усиления доставки кислорода к тканям в результате интенсификации митохондриального дыхания, тем самым и развитием окислительного стресса.

Интенсификация окислительных процессов в эритроцитах и плазме крови, на фоне снижения активности антиоксидантной защиты, может инициировать изменение структурно-динамических параметров мембран, приводящих к нарушению деформируемости эритроцитов. Также необходимо выяснить, каким образом происходит регуляция вязко-эластических свойств мембран эритроцитов во время гибернации и выходе из нее. Результаты исследования гематологических и биохимических показателей разных видов гибернирующих животных неоднозначны. Между животными, относящимися к истинным гибернаторам, и животными, демонстрирующими торпор, обнаружена существенная разница в некоторых физиологических, биохимических и гематологических параметрах [4]. В то же время неизвестно, как будет влиять зимняя спячка и пробуждение из нее на популяционный состав эритроцитов хомяка Брандта. Этот вопрос остается на сегодняшний день открытым.

Исследование кислотной резистентности эритроцитов в клинической практике часто используется для оценки возрастного состава эритроцитов при характеристике различных патологий [5]. В нашем эксперименте этот подход мы использовали для оценки действия гипометаболических состояний на мембрану эритроцита хомяков Брандта. Что касается механизма гемолиза, индуцированного кислотой, то необходимо отметить, что по данному вопросу нет единого мнения среди исследователей и многое еще предстоит выяснить. Так, многие исследователи считают, что лизис эритроцитов – это многостадийный процесс, каждая стадия которой является дискуссионной. Одни исследователи полагают, что проникновение через плазматическую мембрану протонов приводит к протонированию гемоглобина и последующая гидратация может привести к осмотическому разрушению клетки. Другие же авторы считают первопричиной лизиса эритроцитов денатурацию примембранных и интегральных белковых структур плазматической мембраны в результате закисления внеклеточной среды. Эти изменения могут привести к нарушению белок-липидных и липид-липидных контактов с последующим образованием в мембране неспецифических пор проницаемости и глубокому лизису клетки [6].

В связи с вышеизложенным представляется важным исследование устойчивых характеристик мембран эритроцитов хомяков во время спячки и при выходе из нее.

Целью данной работы явилось исследование кислотной резистентности и популяционного состава эритроцитов хомяков Брандта во время спячки и выходе из неё.

Материал и методы

Объекты исследования. Исследования были выполнены на 1,5–2-годовалых самцах *M. brandti*, полученных от разведения особей, отловленных в окрестностях с. Охли Левашинского района Республики Дагестан (42°33'20" S; 47°12'34" W). Эксперименты выполнены с соблюдением приказа Минздрава России № 199н от 01.04.2016 «Об утверждении Правил надлежащей лабораторной практики». Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием животных, одобрены Этической комиссией

Дагестанского государственного университета, (протокол № 2 от 5 февраля 2024 г.) и соответствуют этическим стандартам, утвержденным правовыми актами РФ, принципам Базельской декларации и рекомендациям.

Моделирование зимней спячки и пробуждения. Животные были случайным образом распределены на 3 группы (по 4–6 особей в каждой). Первую группу составляли бодрствующие ранней осенью (октябрь) животные (контроль), вторую – животные, находящиеся в состоянии глубокой спячки, третью – животные в период межбаутного пробуждения. В осенне-летний период животных содержали в помещении, защищенном от снега и дождя, при естественном световом и температурном режиме (г. Махачкала), со свободным доступом к воде и пище (зерновые, творог, овощи и фрукты). Животные находились поодиночке в клетках размером 30×20×15 см. В качестве гнездового материала и подстилки использовали хлопковую вату, сухую траву и древесную стружку. Корм зверьки получали в избытке (зерновые, творог, овощи и фрукты). Для индукции зимней спячки в конце ноября хомячков пересаживали в индивидуальные стандартные лабораторные клетки, которые помещали в холодильник (3–4°C). Через несколько дней животные впадали в спячку с понижением температуры тела (Т_б) до 2–4°C. Средняя длительность баута составляла 3±1,5 сут. Для экспериментов животных брали в торпидном состоянии в середине баута (Т_б 2–4°C) и в период межбаутных пробуждений (Т_б 35–36°C). Для регистрации тела и определение длительности баута спячки у экспериментальных животных использовали термонакопители Петровского (Петровский, 2008), которые предварительно имплантировались животным внутрибрюшинно под общим наркозом с использованием комбинации препаратов Золетил 100 (Virbac, France) и Медитин (ООО «Аписан», Москва).

Для забора крови из ретроорбитального синуса глаза животных анестезировали с использованием комбинации препаратов Золетил 100 (Virbac, France) и Медитин (ООО «Аписан», Москва). Однократно забиралось не более 1,5 мл крови. Кровь собирали в пластиковые микропробирки, содержащие антикоагулянт (К2-ЭДТА, 1,5 мг/мл).

Определение резистентности и популяционного состава эритроцитов. Определение кислотной резистентности проводили по методу Терскова и Гительсона [6]. Принцип метода эритрограмм заключается в фотометрической регистрации кинетики лизиса эритроцитов под действием соляной кислоты определенной концентрации. В термостатируемую кювету при 24°C с физиологическим раствором малыми порциями при помешивании вводят исследуемую взвесь эритроцитов до получения значений оптической плотности 0,700 ед. В результате этой операции в рабочей кювете создается взвесь эритроцитов стандартной оптической плотности, что соответствует разведению средней «нормальной» крови 1:1000.

Из измерительной кюветы отбирается мерной пипеткой 2 мл взвеси эритроцитов. Оставшийся в кювете избыток взвеси тщательно удаляется. В осушенную кювету возвращается из пипетки 2 мл приготовленной взвеси эритроцитов. Таким образом, в кювете оказывается постоянный объем (2 мл) взвеси эритроцитов стандартной оптической плотности (0,7) при стандартной температуре 24°C. С этого момента начинают регистрацию кинетики реакции. Измерения ведутся до получения 2–3 совпадающих показаний, что свидетельствует о завершении гемолиза. При этом дискретно измеряли его кинетику с интервалом в 30 секунд. Измерения вели до получения 2–3 совпадающих показаний, что свидетельствует о завершении гемолиза. За 100% гемолиза принимали разницу между начальными и конечными значениями оптической плотности проб.

Вся популяция эритроцитов в зависимости от времени их гемолиза условно делятся на ряд групп. Эритроциты (в %), гемолизирующиеся с 2,5 по 3,5 мин., рассматривали, как пониженностойкие; с 3,5 по 5,0 мин. – как среднестойкие; с 5,0 по 7,5 мин. – повышенностойкие, с 7,5 по 9,5 мин. – высокостойкие и выше 9,5 мин – сверхвысокостойкие [5].

Статистическая обработка. Обработка данных произведена с использованием пакетов прикладных программ Statistica 8,0 (StatSoft, Inc., США) и SPSS Statistics 22 (IBM, США). Нормальность распределения определяли критерием Шапиро – Уилка. Равенство дисперсий экспериментальных данных оценивали с помощью критериев Левеня и Уэлча. Для множественных сравнений независимых групп использовали непараметрический дисперсионный анализ и критерий Краскела – Уоллиса (H-test). При обнаружении статистически значимых различий между группами проводили апостериорные сравнения с помощью критерия

Манна – Уитни с новым критическим уровнем значимости, учитывающим количество сравниваемых групп. Данные на рисунках и таблице представлены в виде $M \pm m$.

Результаты и их обсуждение

Стойкость эритроцитов является величиной, связанной с его физиологическим состоянием и возрастом. Поскольку с возрастом существенно меняется как состав, так и структурно-функциональные свойства мембран эритроцитов, то можно заключить, что изучение показателей кислотного гемолиза эритроцитов позволяет охарактеризовать структурную устойчивость этих систем.

Полученные нами результаты по исследованию кислотной резистентности и популяционного состава эритроцитов представлены в таблице и на рис. 1 и 2. Как видно из таблицы, у контрольных хомяков (температура тела 37°C) основную долю эритроцитов составляют среднестойкие (48,1%). На долю повышеннотойких эритроцитов приходится 27,2%. Популяции же понижентойких и высокостойких эритроцитов составляет 12,4 и 3,4% соответственно. При этом на долю сверхвысокостойкой популяции эритроцитов приходится 0,7%. Время выхода основного пика гемолиза, характеризующего максимум лизиса эритроцитов, приходится на 3,8 мин. Продолжительность гемолиза составляет 11,5 мин. (рис.1 и 2).

Распределение эритроцитов по группам стойкости к кислотному гемолизу (в % к общему количеству эритроцитов) у хомяков Брандта при спячке и пробуждении ($M \pm m$; $n = (4-6)$)

Группа стойкости	Состояние животного		
	контроль (1)	спячка (2)	пробуждение (3)
Сферуляция	$8,8 \pm 0,99$	$11,2 \pm 0,11$ *	$10,6 \pm 0,22$
Пониженнотойкие	$12,4 \pm 0,21$	$2,4 \pm 0,34$ *	$18,1 \pm 0,18$ *#
Среднестойкие	$48,1 \pm 0,9$	$34,2 \pm 0,27$ *	$53,4 \pm 0,19$ #
Повышеннотойкие	$27,2 \pm 0,3$	$38,3 \pm 0,31$ *	$18,2 \pm 0,24$ *#
Высокостойкие	$3,4 \pm 0,16$	$11,8 \pm 0,43$ *	$1,2 \pm 0,28$ *#
Сверхвысокостойкие	$0,7 \pm 0,29$	$2,7 \pm 0,25$ *	–

Примечание: $p < 0,05$ * – относительно контроля, # – относительно спячки.

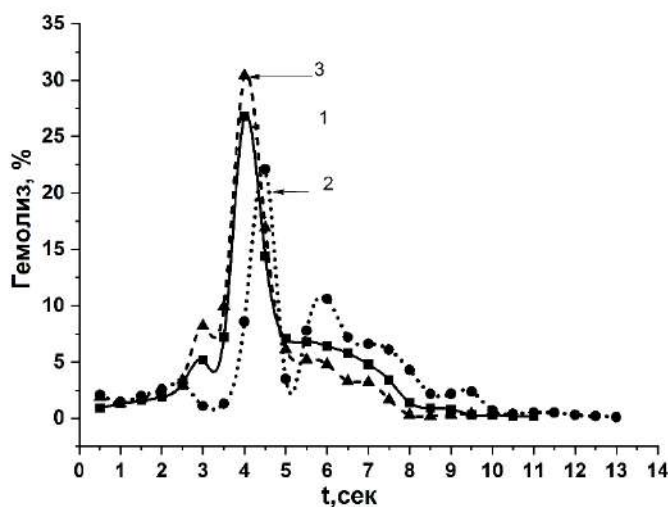


Рис. 1. Кислотная резистентность эритроцитов хомяков Брандта при спячке и пробуждении:
1 – контроль (сплошная линия); 2 – спячка (прерывистая линия); 3 – пробуждение (точечная линия)

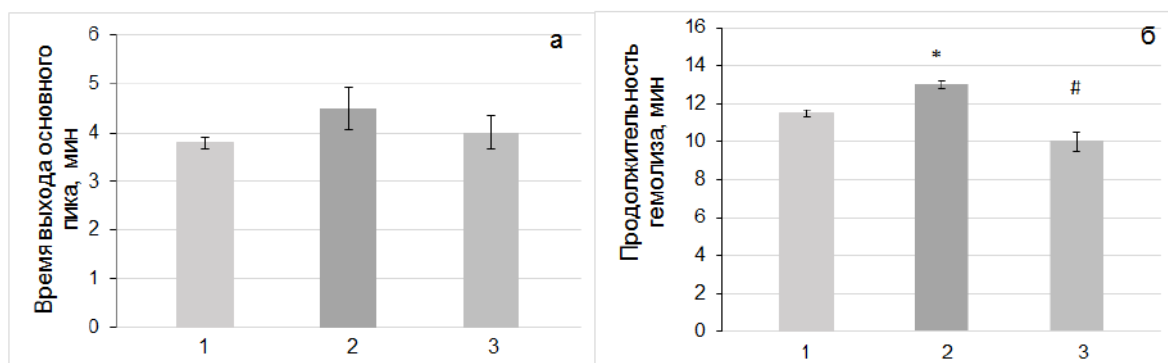


Рис. 2. Время выхода основного пика 50%-гемолиза и общая продолжительность гемолиза эритроцитов хомячков Брандта при спячке и пробуждении: 1 – контроль 2 – спячка 3 – пробуждение ($p < 0,05$ * – относительно контроля, # – относительно спячки)

В условиях зимней спячки, как видно из таблицы, происходит значительное перераспределение популяций эритроцитов. При этом на 27% увеличивается доля эритроцитов, подвергшихся сферуляционным изменениям. Значительно снижается (на 100%) доля пониженностойких эритроцитов. Популяция среднестойких эритроцитов снижается на 30%. Популяции же высокостойких и сверхвысокостойких эритроцитов увеличивается на 247 и 285% соответственно. У спящих животных удлиняется время выхода основного пика гемолиза, и общая продолжительность гемолиза демонстрирует достоверный рост (рис. 1 и 2).

Таким образом, в условиях спячки значительно повышается резистентность эритроцитов хомячков. Эти результаты свидетельствуют о существенной перестройке в мембранах эритроцитов хомячков во время спячки, что делает их более стойкими к повреждающим воздействиям.

Значительное увеличение доли эритроцитов, обладающих высокой стойкостью к гемолизу во время гибернации, может говорить о том, что глубокое оцепенение характеризуется, скорее всего, выбросом в кровь молодых эритроцитов, обладающих высокой устойчивостью к действию кислотного гемолизика. В то же время в литературе экспериментальных данных, напрямую указывающих на усиление синтеза и выброса в кровь ретикулоцитов у животных, впадающих в спячку во время глубокого оцепенения, мы не обнаружили. Тем не менее имеются литературные данные, выполненные на других зимоспящих животных, которые допускают возможность выброса в кровь ретикулоцитов во время глубокой спячки. Оказалось, что в состоянии глубокой спячки объем эритроцитов у тридцатиполосных сусликов уменьшается по сравнению со средним объемом эритроцитов в промежутках межбаутного пробуждения, которые демонстрируют увеличение их объема [7]. Учитывая тот факт, что во время циркуляции в кровотоке размеры эритроцитов уменьшаются из-за потери части мембраны, повышение размеров эритроцитов в период межбаутного бодрствования авторы связывают с активацией эритропоэза и поступлением в кровь ретикулоцитов, размер которых больше, чем у циркулирующих в крови эритроцитов.

Показано, что активность генов, ответственных за эритропоэз во время гибернации, не претерпевают драматических изменений. В то же время авторы показали, что экспрессия одного из генов, стимулирующих эритропоэз (ген SF3B1), увеличивается в три раза. Исследователи полагают, что высокая активность гена SF3B1 может способствовать эффективному эритрогенезу и сохранению популяций эритроцитов на высоком функциональном уровне во время глубокой спячки [7]. В то же время не до конца понятно, какой биологический смысл имеет обогащение крови гибернирующего животного молодыми эритроцитами, когда организм демонстрирует низкую метаболическую активность.

В связи с вышеизложенным представляется интересным проанализировать результаты исследования кинетики гемолиза и популяционный состав эритроцитов хомячков при выходе из спячки. Из таблицы видно, что самосогревание животных до 37°C существенно меняет картину распределения эритроцитов по группам стойкости по сравнению со спячкой. При этом доля эритроцитов, подвергшихся сферуляционным изменениям, остается на достоверно высоком уровне по отношению как к контролю, так и к

спячке. Доля пониженностойких эритроцитов значительно возрастает по отношению к спячке. Популяция среднестойких эритроцитов достоверно увеличивается по отношению к спячке и практически нормализуется при самосогревании до 37°C. Однако процентное содержание высокостойких эритроцитов после пробуждения существенно снижено по сравнению со спящими животными, а популяция сверхвысокостойких эритроцитов полностью исчезает из кровеносного русла. Время наступления максимума гемолиза и ее продолжительность практически восстанавливаются и не отличаются от контрольных значений при самосогревании до 37°C.

Таким образом, глубокая зимняя спячка существенно меняет картину распределения эритроцитов по группам стойкости и после пробуждения от глубокого оцепенения некоторые параметры эритрограмм восстанавливаются. Значения максимума гемолиза и его продолжительности у контрольных и вышедших из оцепенения животных (37°C) не отличаются. В то же время популяционный состав крови хомяков не нормализуется до контрольных значений. Результаты анализа популяций эритроцитов свидетельствуют, что выход из спячки приводит к существенному снижению устойчивых характеристик мембран эритроцитов, которая выражается в повышении доли пониженностойких, снижении содержания повышенностойких, высокостойких и исчезновении из крови сверхвысокостойких эритроцитов.

Снижение резистентности эритроцитов при выходе из спячки и самосогревании до 37°C, возможно, связано с интенсификацией синтеза активных форм кислорода при выходе из спячки, приводящих к окислительным повреждениям липидов и белков мембран эритроцитов. Окисление белков и липидов мембран эритроцитов может привести к образованию в мембране неспецифических пор проницаемости и к последующему их лизису.

Известно, что при пробуждении из спячки происходит смена одного метаболического состояния на другое, сопровождающееся реперфузией тканей, повышением потребления кислорода, активацией метаболизма, интенсификацией многих ферментных систем, приводящих к интенсификации активных форм кислорода [8].

Авторами работы [3] было исследовано влияние зимней спячки и выхода из нее на свободнорадикальные процессы, степень окислительной модификации липидов и белков, а также активность антиоксидантной защиты в эритроцитах *Spermophilus rugmaeus* в летний период (когда животные активны), во время спячки (при торпидном состоянии животных) и в динамике пробуждения. Так, показано, что уровень ТБК-активных продуктов и карбонильных групп в мембранных белках эритроцитов был снижен достоверно у торпидных животных по сравнению с контрольными. При этом значительно снижалась ферментативная антиоксидантная защита. Во время пробуждения увеличивалась генерация активных форм кислорода (АФК) и метаболитов азота, а также степень окислительного повреждения липидов и белков, достигая максимума при 25°C. При этом окислительный стресс сопровождался снижением уровня глутатиона, активности супероксиддисмутазы и каталазы и их дисбалансом. Однако после полного восстановления температуры тела следы окислительного стресса полностью исчезали, что авторы связывают с значительным повышением активности системы антиоксидантной защиты эритроцитов.

Таким образом, глубокое оцепенение характеризуется низкой интенсивностью окислительных процессов в эритроцитах. Можно полагать, что повышение устойчивости эритроцитов к повреждению, обнаруженное нами при глубокой спячке, связано с низким уровнем накопления АФК при этом состоянии. Обнаруженное нами снижение устойчивых характеристик эритроцитов при выходе из спячки, выражающееся в достоверном снижении популяции высокостойких клеток и исчезновении из кровеносного русла сверхвысокостойких клеток, возможно, является следствием интенсификации образования АФК на фоне усиления потребления кислорода, а также снижением активности антиоксидантной защиты эритроцитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mohr S.M., Bagriantsev S.N., Gracheva E.O.* Cellular, Molecular, and Physiological Adaptations of Hibernation: The Solution to Environmental Challenges. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*. 2020. Vol. 36. P. 315–338. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-012820-095945>.
2. *Карнаухова Н.А., Сергиевич Л.А., Игнатьев Д.А., Карнаухов В.Н.* Влияние ионизирующей радиации на синтетическую активность клеток системы крови сусликов при различных физиологических состояниях животных // *Биофизика*. 2008. Т. 53, № 1. С. 113–122.

3. *Klichkhanov N.K., Nikitina E.R., Shihamirova Z.M., Astaeva M.D., Chalabov Sh. I., Krivchenko A.I.* Erythrocytes of little ground squirrels undergo reversible oxidative stress during arousal from hibernation. *Frontiers in Physiology*. 2021. № 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.730657>

4. *Кузнецова Э.В., Найденов С.В., Суворов А.В., Тихонова Н.Б., Козловский Ю.Е., Феоктистова Н.Ю.* Сезонные изменения показателей крови у монгольского хомячка *Allocricetulus curtatus* // *Известия РАН. Серия биологическая*. 2016. № 4. С. 405–411.

5. *Леонова В.Г.* Анализ эритроцитарных популяций в онтогенезе человека. Новосибирск: Наука, 1987. 240 с.

6. *Спиридонов В.Н., Борисов Ю.А., Левыкина Е.Н., Суглобова Е.Д.* Кислотная, осмотическая и ультразвуковая резистентность больных, получающих лечение регулярным гемодиализом // *Нефрология*. 2004. Т. 8, № 3. С. 22–31.

7. *Jorgensen P.G., Arnemo J., Swenson J.E., Jensen J.S., Galatius S., Frobert O.* Low cardiac output as physiological phenomenon in hibernating, free-ranging Scandinavian brown bears (*Ursus arctos*) – an observational study // *Cardiovasc Ultrasound*. 2014. Vol. 12, №36. URL: <https://cardiovascularultrasound.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-7120-12-36> (дата обращения: 01.08.2024).

8. *Toien O., Drew K.L., Chao M.L., Rice M.E.* Ascorbat dynamics and oxygen consumption during arousal from hibernation in arctic ground squirrels // *Am. J. Physiol.* 2001. Vol. 281. P. 572–583. doi: 10.1152/ajpregu.2001.281.2. R572.

Поступила в редакцию 12.08.2024 г.

Принята к печати 26.09.2024 г.

Саидов Магомедрасул Будаевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии и биофизики, Дагестанский государственный университет; e-mail: smagras@mail.ru

Magomedrasul B. Saidov, Candidate of Biology, associate professor of the Department of Biochemistry and Biophysics, Dagesthan State University; e-mail: smagras@mail.ru

Джафарова Альбина Мехьядиновна, кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии и биофизики, Дагестанский государственный университет; e-mail: albina19764@mail.ru

Albina M. Dzhaifarova, Candidate of Biology, associate professor of the Department of Biochemistry and Biophysics, Dagesthan State University; e-mail: albina19764@mail.ru

Омарова Джамия Камильевна, научный сотрудник, Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра РАН; e-mail: omarovadk@mail.ru

Dzamilia K. Omarova, researcher, Precaspian Institute of Biological Resources of the Dagesthan Federal Research Centre of RAS; e-mail: omarovadk@mail.ru

Кличханов Нисред Кадинович, доктор биологических наук, профессор кафедры биохимии и биофизики, Дагестанский государственный университет; e-mail: klich-khan@mail.ru

Nisred K. Klichkhanov, Doctor of Biology, professor of the Department of Biochemistry and Biophysics, Dagesthan State University; e-mail: klich-khan@mail.ru