

УДК 57.045:612.1

## Динамика показателей variability сердечного ритма у участников Российской Антарктической экспедиции

Кутузова И.А.<sup>1</sup>, Котенев А.В.<sup>2</sup>, Панкова Н.Б.<sup>3</sup>, Ратманова П.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Факультет почвоведения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

<sup>2</sup> Биологический факультет Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

<sup>3</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»  
125315, Москва, ул. Балтийская, д. 8

*Исследования адаптивных процессов в организме человека в экстремальных климатогеографических условиях важно как с точки зрения патогенеза – изучения механизмов ответа на воздействие патогенных факторов, так и с точки зрения саногенеза – оценки механизмов, направленных на предотвращение действия патогенного агента.*

**Цель исследования** – изучение динамики показателей variability сердечного ритма (BCP) за 2,5 месяца антарктической экспедиции (с 17 ноября 2022 г. по 1 февраля 2023 г.).

**Методика.** В исследовании приняли участие 3 сотрудника 68-й Российской антарктической экспедиции (68-я РАЭ). Для двух участников (1 и 2) это была первая экспедиция, для участника 3 – 5-я. Тестирования показателей BCP проводили в течение морского перехода (два периода: 1 – первоначальный, «холодный», в северных морях, и 2 – «тёплый», в тропических водах), и в первые недели работы на ледовом континенте (период 3 – подготовки и высадки, период 4 – рутинной работы на материке). Использовали программно-аппаратный комплекс «БиоМышь», модель KFP-01b (ООО НейроЛаб, РФ), метод вариационной пульсометрии. Длительность каждой регистрации составляла 90-120 с. Анализировали статистические, геометрические и спектральные показатели BCP, по периодам, по отдельности у каждого испытуемого.

**Результаты.** По показателям, признанным коррелятами симпатических влияний на BCP, обнаружено снижение от 1-го ко 2-му периодам экспедиции (за время морского перехода) показателя SDNN и тенденция к снижению мощности диапазона LF у участника 3, а также тенденция к снижению показателя SDNN на этом временном интервале у участника 1. Стресс индекс возрастал от первой части пути к периоду подготовки к высадке у участников 1 и 3, и не изменялся у участника 2. По показателям, признанным коррелятами вагусных влияний на BCP, у испытуемого с шифром 3 выявлена тенденция к возрастанию RMSSD после начала рутинных работ на станции; динамика мощности диапазона HF была разнонаправленной у участников 1 и 2 и отсутствовала у участника 3.

**Заключение.** Общая направленность динамики показателей BCP во время антарктической экспедиции имеет явную саногенетическую направленность, и отражает наличие острой адаптивной фазы в начале морского перехода в виде активации симпатических влияний; повышение стресс-индекса при высадке на материк; и возможный рост вагусных влияний во время рутинных работ на базе в Антарктиде. Характер сдвигов имеет специфику в зависимости от опыта участников экспедиции. В условиях экспедиций, где сложно проводить рекомендуемые профессиональными сообществами 5-минутные регистрации BCP и приходится ограничиваться более короткими записями, более информативными и надёжными являются статистические показатели.

**Ключевые слова:** variability сердечного ритма; адаптивные изменения; длительные экспедиции; Антарктика.

**Для цитирования:** Кутузова И.А., Котенев А.В., Панкова Н.Б., Ратманова П.О. Динамика показателей variability сердечного ритма у участников Российской Антарктической экспедиции. *Патогенез.* 2024; 22(3): 75-82.

**DOI:** 10.25557/2310-0435.2024.03.75-82

**Для корреспонденции:** Панкова Наталия Борисовна, e-mail: nbpankova@gmail.com

**Финансирование.** Исследование выполнялось в рамках 68-й РАЭ, научного проекта государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова № 121032500081-5 и государственного задания ФГБНУ «НИИОПП» «Оценка адаптивных реакций организма на действие физико-химических и экологических факторов среды» (№ FGFU-2022-0010).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарности.** Авторы выражают признательность участникам 68-й РАЭ Семёнову Юрию Николаевичу и Сидорову Роману Сергеевичу за помощь в проведении исследования.

**Поступила:** 24.05.2024.

# Dynamics of heart rate variability indicators in participants of the Russian Antarctic expedition

Kutuzova I.A.<sup>1</sup>, Kotenev A.V.<sup>2</sup>, Pankova N.B.<sup>3</sup>, Ratmanova P.O.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty  
Leninskie Gory 1, Bldg. 12, Moscow 119234, Russian Federation

<sup>2</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology  
Leninskie Gory 1 Bldg. 12, Moscow 119234, Russian Federation

<sup>3</sup> Institute of General Pathology and Pathophysiology  
Baltiyskaya St. 8, Moscow 125315, Russian Federation

Research of adaptive processes in the human body under extreme climatic and geographical conditions is important both from the point of view of pathogenesis – the study of the mechanisms of response to the influence of pathogenic factors, and from the point of view of sanogenesis – the assessment of mechanisms aimed at preventing the action of a pathogenic agent.

**The purpose** of the study is to study the dynamics of heart rate variability (HRV) over 2.5 months of the Antarctic expedition (from November 17, 2022 to February 1, 2023).

**Methodology.** Three participants of the 68th Russian Antarctic Expedition (68th RAE) took part in the study. For two participants (1 and 2) this was the first expedition, for participant 3 it was the 5th. Testing of HRV indicators was carried out during the sea passage (two periods: 1 – initial, “cold”, and 2 – “warm”, in tropical waters), and in the first weeks of work on the ice continent (period 3 – preparation and disembarkation, period 4 – routine work on the mainland). We used the BioMouse software and hardware complex, model KFP-01b (NeuroLab LLC, Russian Federation), and the method of variation pulsometry. The duration of each recording was 90–120 s. Statistical, geometric and spectral indicators of HRV were analyzed by period, separately for each subject.

**Results.** According to the indicators recognized as correlates of sympathetic influences on HRV, a decrease in the SDNN indicator from the 1st to the 2nd periods of the expedition (during the sea passage) and a tendency towards a decrease in the power of the LF band in participant 3 were found, as well as a tendency towards a decrease in the SDNN indicator during this period time interval for participant 1. The stress index increased from the first part of the journey to the period of preparation for disembarkation for participants 1 and 3, and did not change for participant 2. According to indicators recognized as correlates of vagal influences on HRV, a tendency to increase RMSSD was revealed in subject with code 3 after the start of routine work at the station; HF band power dynamics were multidirectional in participants 1 and 2 and absent in participant 3.

**Conclusion.** In general, the direction of the dynamics of HRV indicators during the Antarctic expedition has a clear sanogenetic orientation, and reflects the presence of an acute adaptive phase at the beginning of the sea transition in the form of activation of sympathetic influences; increased stress index when landing on the mainland; and the possible increase in vagal influences during routine work at the base in Antarctica. The features of the shifts are specific depending on the experience of the expedition participants. In conditions of expeditions, where it is difficult to carry out the 5-minute HRV recordings recommended by professional communities and one has to limit oneself to shorter recordings, statistical indicators are more informative and reliable.

**Key words:** heart rate variability; adaptive changes; long expeditions; Antarctic.

**For citation:** Kutuzova I.A., Kotenev A.V., Pankova N.B., Ratmanova P.O. [Dynamics of heart rate variability indicators in participants of the Russian Antarctic expedition]. *Patogenez [Pathogenesis]*. 2024; 22(3): 75-82. (in Russian)

**DOI:** 10.25557/2310-0435.2024.03.75-82

**For correspondence:** Pankova Nataliya Borisovna, e-mail: nbpankova@gmail.com

**Funding.** The study was realized within the framework of the 68th RAE, and as a part of scientific project of the State Assignment of M.V. Lomonosov Moscow State University №121032500081-5 and a State Assignment of Institute of General Pathology and Pathophysiology on the topic: «Assessment of adaptive responses of the body to the action of physicochemical and environmental factors» (№ FGUFU-2022-0010).

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgments.** The authors express their gratitude to the participants of the 68th RAE Yu.N. Semenov and R.S. Sidorov for their assistance in implementing the study.

**Received:** 24.05.2024.

## Введение

Расширение технологических возможностей современной цивилизации делает для человечества реальным освоение огромных и незаселённых полярных пространств. Однако помимо технического обеспечения, такой процесс требует также адаптации организма человека к экстремальным средовым факторам, в первую очередь – к климатогеографическим, которые вблизи полюсов включают геомагнитную нестабильность, низкие температуры в сочетании с ветрами, непривычный фотопериодизм при общем дефиците ультрафиолета [1], а при экспедициях в противоположное полушарие – ещё и инверсию сезонности. Экстремальность полярных

условий предполагает, что люди большую часть времени проводят в ограниченных пространствах специально оборудованных помещений и в небольших коллективах – в условиях географической и социальной изоляции. Это обстоятельство создаёт дополнительные риски для психического здоровья зимовщиков.

Изучение адаптивных процессов в организме человека в экстремальных климатогеографических условиях важно как с точки зрения патогенеза – изучения механизмов ответа на воздействие патогенных факторов, так и с точки зрения саногенеза – оценки механизмов, направленных на предотвращение действия патогенного

агента. Такие исследования проводятся во время арктических и антарктических экспедиций разной длительности. В этих условиях наиболее распространены неинвазивные методы анализа функционального состояния организма: оценка показателей сердечно-сосудистой системы, психологических и психофизиологических показателей. При возможности перед и после экспедиции (или в лабораториях стационарных баз) проводят биохимический анализ разных сред организма (кровь, моча, слюна).

В последние годы часто проводят регистрацию показателей variability сердечного ритма (ВСР). Эти показатели признаны коррелятами активности систем автономной регуляции, что расширяет возможности оценки функционального состояния человека.

**Целью** нашей работы было изучение динамики показателей ВСР в кратковременной (2,5 месяца) антарктической экспедиции – во время морского пути до Антарктиды и в начале постоянной работы на материке.

### Материалы и методы исследования

Исследование проведено за время 68-й Российской антарктической экспедиции (<https://www.raexp.ru/info/>; <https://rgo.ru/activity/redaction/news/k-beregam-yuzhnogo-kontinenta-iz-peterburga-startuet-68-ya-rossiyskaya-antarkticheskaya-ekspeditsiya/>), с 17 ноября 2022 г. по 1 февраля 2023 г.

В тестированиях приняли участие 3 человека (с шифрами 1, 2 и 3), характеристика испытуемых приведена в **табл. 1**. Участие в исследовании было основано на информированном согласии обследуемых лиц, и проведено в соответствии с международными (в том числе Хельсинкской декларации в редакции 2013 г.) и российскими нормативными документами о правовых и этических принципах проведения научных исследований с участием человека.

Регистрацию показателей ВСР проводили в свободное от работы время (вечером, после окончания рабочего дня), в течение морского перехода, и в первые недели работы на ледовом континенте. Тестирования проводили с помощью программно-аппаратного комплекса «БиоМышь», модель KFP-01b (ООО НейроЛаб, РФ), методом вариационной пульсометрии. Длительность каждой регистрации составляла 90–120 с. Столь краткая

длительность записей обусловлена экстремальностью условий их проведения, что, безусловно, накладывает ограничения на интерпретацию полученных данных, но не отрицает их валидность и научную значимость [2].

Всего проведено 28 регистраций у участника 1, 34 – у участника 2, 38 – у участника 3. Все записи были разбиты на 4 периода:

1. с 17 ноября по 30 ноября (первая часть пути – «холодная», проход по Балтийскому и Северному морям, вдоль побережья стран Западной Европы);
2. с 2 декабря по 9 декабря (вторая часть пути – «тёплая», в тропических широтах);
3. с 18 декабря по 31 декабря (непосредственно у цели, подготовка к высадке);
4. после 7 января (постоянная работа на месте).

Оценивали частоту сердечных сокращений (ЧСС), а также следующие показатели ВСР:

– спектральные: общая мощность спектра TP, абсолютная (в  $ms^2$ ) и относительная (в %) мощность диапазонов LF и HF; мощность диапазона VLF рассчитывали, но в анализ не брали ввиду краткости регистрационных записей;

– геометрические: мода, амплитуда моды, вариационный размах, с расчётом индексов Баевского (ИВР, ПАПР, ВПР, а также индекса напряжения регуляторных систем, известного также как стресс-индекс);

– статистические: RMSSD (квадратный корень из суммы разностей последовательности ряда кардиоинтервалов, мс), SDNN (среднеквадратическое отклонение ряда кардиоинтервала, мс), pNN50% (процентное соотношение соседних R-R интервалов, различающихся минимум на 50 мс, %).

Проверку выборок полученных данных на нормальность распределения проводили с использованием критерия Шапиро-Уилка. По результатам проверки статистическую обработку результатов проводили по непараметрическому критерию Краскела-Уоллиса для множественных сравнений с последующим тестом Дана для попарных сравнений (GraphPad Prism 8.2.1).

### Результаты исследования

В первом тестировании величина ЧСС составила: у участника 1 – 67,3 (64,9; 70,1) уд/мин, у участ-

Таблица 1.

Общая характеристика испытуемых

Показатели	Шифр испытуемого		
	1	2	3
Пол	Ж	М	М
Возраст, лет	33,5	39,0	47,7
Длина тела, см	174	180	178
Масса тела, кг	75	80	83
ИМТ, $кг/м^2$	24,8	24,7	26,2

ника 2 – 86,5 (83,4; 89,4) уд/мин, у участника 3 – 70,5 (66,9; 74,4) уд/мин. Все величины статистически значимо различались между собой. Кроме того, по показателям абсолютной мощности диапазона HF спектра ВСП и производному от него отношению LF/HF между участниками экспедиции в первом периоде наблюдения были выявлены статистически значимые различия (табл. 2). Поэтому динамику ЧСС и показателей ВСП анализировали по отдельности у каждого испытуемого.

Обнаружено, что величина ЧСС не обладает достаточной стабильностью, несмотря на максимально возможную стандартизацию условий проведения исследования: данный показатель варьировал в диапазоне до 25 уд/мин за время каждой регистрации (величина ЧСС рассчитана на основе длительности межсистолических интервалов), а усреднённые за регистрацию величины ЧСС в большинстве случаев статистически значимо отличались от таковых в предыдущем тестировании (рис. 1).

В условиях усреднения ЧСС по длительным временным периодам динамика показателя выявлена только у участника 1 – от периода 1 к периоду 2, т.е., за время морского перехода (рис. 2). Данный факт подтвердил правильность нашего подхода к анализу результатов именно по таким периодам.

За время наблюдений статистически значимые изменения от периода к периоду были обнаружены для показателей общей мощности спектра ВСП TP, абсолютной мощности диапазонов спектра ВСП LF и HF, RMSSD, SDNN и стресс-индекса.

Динамика спектральных показателей ВСП по периодам наблюдения оказалась различной у разных испытуемых. Так, у участника экспедиции 1 обнаружено только волнообразное снижение абсолютной мощности диапазона HF (рис. 3). У участника 2, наоборот, для данного показателя было характерно волнообразное возрастание, при снижении к завершающему периоду мощности диапазона LF. У Участника 3 мощность диапазона

LF снижалась на первых этапах экспедиции, что отразилось также и в снижении общей мощности спектра TP.

Статистические и геометрические показатели имели более согласованную и имеющую логическое объяснение динамику. В частности, стресс индекс возрастал от первой части пути к периоду подготовки к высадке у участников 1 и 3, и не изменялся у участника 2 (рис. 4).

Показатель SDNN у этих же испытуемых снижался от первого ко второму периоду морского путешествия, и также не изменялся у испытуемого 2. По показателю RMSSD отмечена тенденция к возрастанию в период постоянной работы на ледовом материке у участника экспедиции с шифром 3.

## Обсуждение

Согласно интерпретации автора (Р.М. Баевского), индекс напряжения регуляторных систем, он же стресс-индекс, «характеризует активность механизмов симпатической регуляции, состояние центрального контура регуляции» [3, с. 121]. По современным физиологическим представлениям, речь идёт об уровне активности экстрагипоталамических структур, сопрягающих центры регуляции сердечным ритмом с активностью ретикулярной формации и лимбической системы, т.е. с общим тонусом ЦНС и с эмоциональным состоянием [4-6]. В нашем исследовании повышение психоэмоционального напряжения у участников экспедиции по мере приближения к Антарктиде является ожидаемым и понятным. В норме данный показатель находится в диапазоне 80-120 у.е., однако у участников экспедиции он достигал гораздо более высоких величин, даже в первом тестировании (в начале экспедиции). Наивысшие значения были зарегистрированы по прибытии к цели, но до начала рутинных работ.

Считается, что показатель SDNN, наряду с мощностью диапазона LF спектра ВСП, отражает уровень симпатических влияний на сердечный ритм [7-9]. По усто-

Таблица 2.

Показатели ВСП у участников экспедиции в первом периоде наблюдений (Me; Q1–Q3)).

Показатели	Шифр испытуемого		
	1	2	3
TP, мс <sup>2</sup>	1437 (1373; 2052)	1630 (1170; 2173)	1408 (776; 1909)
VLF, мс <sup>2</sup>	600 (429; 778) <sup>2</sup>	232 (192; 502)	637 (361; 816) <sup>2</sup>
LF, мс <sup>2</sup>	345 (400; 963)	1020 (672; 1208)	598 (269; 981)
HF, мс <sup>2</sup>	360 (238; 549) <sup>3</sup>	355 (215; 403) <sup>3</sup>	116 (90; 208)
LF/HF	1,9 (1,3; 2,9) <sup>3</sup>	2,8 (1,6; 4,9)	3,6 (3,0; 5,6)
Стресс-индекс, у.е.	92 (78; 150)	146 (92; 238)	131 (90; 197)
SDNN, мс	53 (44; 62)	46 (37; 51)	40 (34; 48)
RMSSD, мс	34 (31; 44)	32 (23; 41)	38 (31; 41)

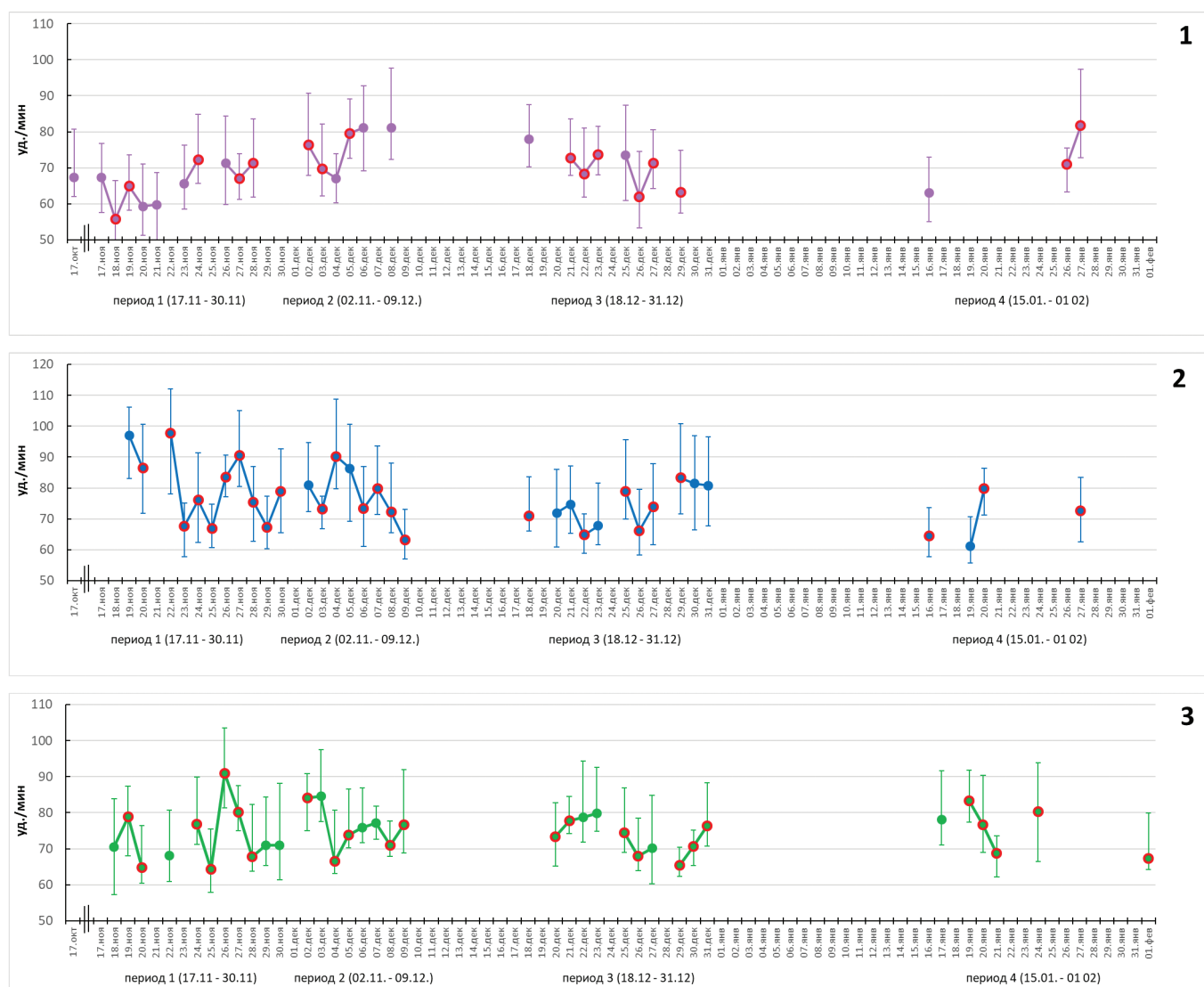
**Примечание:** жирным шрифтом выделены показатели, по которым между участниками экспедиции наблюдались статистически значимые ( $p < 0,05$  по критерию Данна) различия (указаны в виде индекса, обозначающего шифр испытуемого, с которым проведено сравнение).

явшемуся мнению, оба показателя отражают активность бульбарных регуляторных центров, однако показатель SDNN, как и все статистические показатели, более предпочтителен в условиях коротких регистраций [7]. В нашем исследовании обнаружено снижение от 1-го ко 2-му периодам экспедиции показателя SDNN и тенденция к снижению мощности диапазона LF у участника 3, а также тенденция к снижению показателя SDNN на этом временном интервале у участника 1, т.е. показатель SDNN оказался более информативным. Данный процесс логичен по завершении, во-первых, предэкспедиционных хлопот, во-вторых – острого периода адаптации к новым условиям жизни и работы. Так, ранее было описано, что в первые дни арктической экспедиции, в аналогичных климатогеографических условиях на противоположной стороне Земли, регистрируются самые высокие величины ИФИ – индекса функциональных изменений (по А.П. Берсеновой [10]), соответ-

ствующие уровню «напряжение механизмов адаптации» [11]. Чешские коллеги также обнаружили за время антарктической экспедиции позитивную (в сторону улучшения функционального состояния испытуемых) динамику показателей, характеризующих уровень стресса – ВСР, качества сна, эмоционального статуса [12].

Показатель RMSSD, как и мощность диапазона HF в спектре ВСР считают коррелятом парасимпатических влияний на сердечный ритм [7-9]. В нашем исследовании у двух участников экспедиции динамика этих показателей была разнонаправленной, а у испытуемого с шифром 3 выявлена тенденция к возрастанию RMSSD после начала рутинных работ на станции.

Среди зарубежных публикаций наиболее близкий дизайн исследования описан в работах бразильских [13] и индийских коллег [14]: в обоих случаях проведен анализ показателей во время морского пути к Антарктиде, и при последующем кратковременном (до 4 недель)

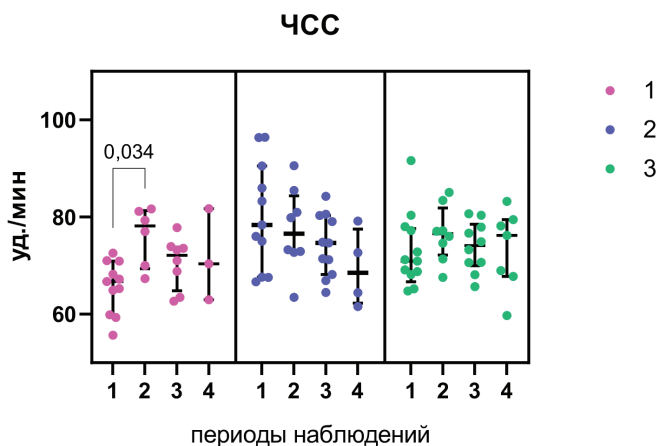


**Рис. 1.** Динамика мгновенных величин ЧСС, рассчитанных на основе длительности межсистолических интервалов при регистрации ВСР (Me; min-max), во время экспедиции у разных испытуемых. Обозначения: цифры в правом верхнем углу – шифры испытуемых. Статистическая значимость отличий от предыдущего тестирования ( $p < 0,05$  по тесту Данна) показана красной границей маркеров.

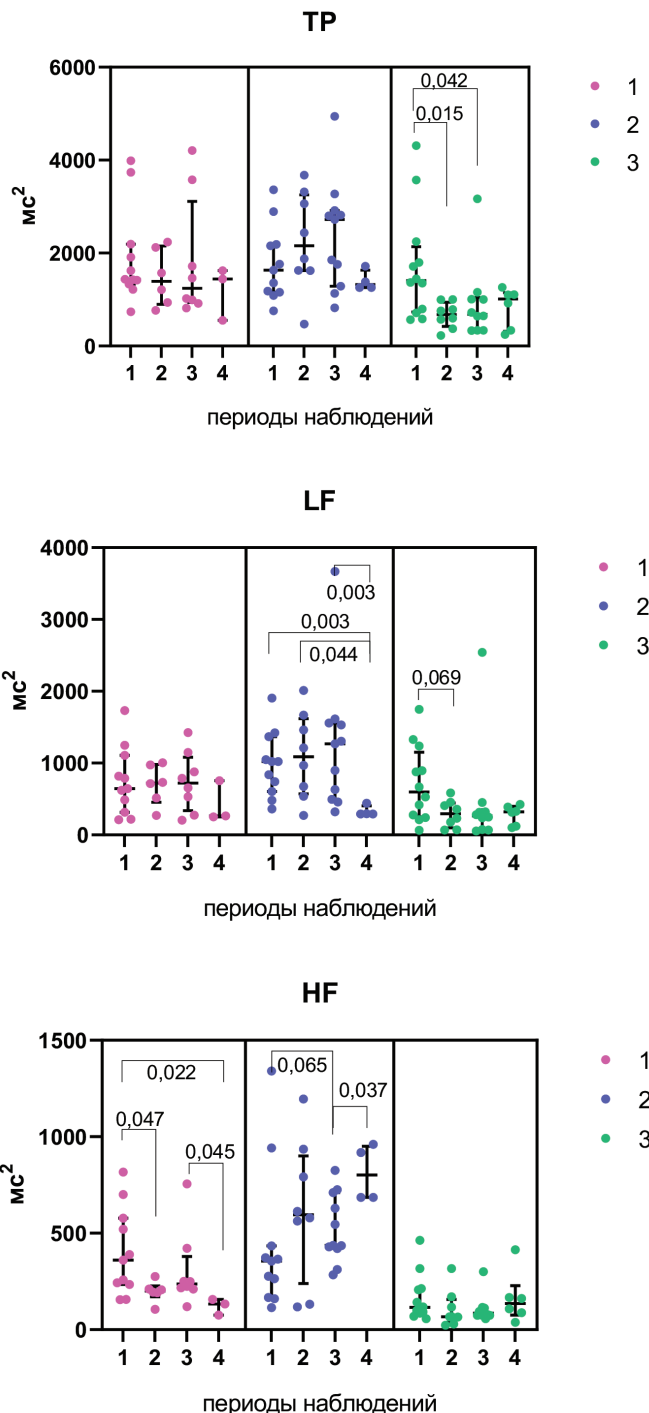
нахождении на материке. В работе бразильских коллег за время 26-дневного морского пути обнаружено снижение уровня кортизола в слюне (в утренних пробах), а также двухфазная динамика показателей, коррелирующих с уровнем парасимпатической активности (RMSSD и мощность диапазона HF в спектре ВСП), с их снижением в первые две недели и последующим возрастанием до исходного уровня [13]. Однако индийские коллеги не выявили статистически значимых изменений за время морского пути базовых показателей сердечно-сосудистой системы (ЧСС, артериальное давление), показателей ВСП, содержания катехоламинов в моче и кортизола в слюне [14]. Вероятной причиной может быть то обстоятельство, что значительную часть пути (от Дели до Кейптауна) участники экспедиции проделали на самолёте. В обоих исследованиях динамика мощности диапазона LF спектра ВСП отсутствовала, а показатель SDNN не оценивали. В нашем исследовании измерений уровня гормона стресса кортизола не проводилось, однако снижение от первой ко второй части морского пути показателя SDNN (у двух испытуемых из трёх, при этом у одного из участников в сопровождении тенденции к снижению и мощности диапазона LF) можно считать косвенным признаком снижения уровня стресса в виде ослабления симпатических влияний.

Во время работы на материке бразильские коллеги не выявили динамики показателей ВСП, а возрастание утреннего уровня кортизола в слюне не достигло уровня статистической значимости [14]. В работе индийских исследователей выявлено значимое, но кратковременное (только на сроке 7 дней после высадки) повышение уровня катехоламинов в моче и кортизола в слюне при возрастании мощности диапазона LF в спектре ВСП [13]. В нашем исследовании обнаружено возрастание стресс-индекса в регистрациях, проходивших ещё

на корабле, но при подготовке к высадке. Возможно, мы зафиксировали проявления аналогичной стрессовой реакции, но в других показателях. К сожалению, в индийской экспедиции не оценивали статистические показатели ВСП, а из спектральных показателей значимую динамику от 7-го к 60-му дню имела только мощность диапазона LF в спектре ВСП и производный индекс LF/HF – оба показателя снижались.



**Рис. 2.** Динамика средних за время регистрации величин ЧСС у участников антарктической экспедиции (по периодам). Здесь и далее: в легенде указаны шифры испытуемых; данные представлены как медиана с межквартильным размахом (Me; Q1-Q3), дополнительно приведены результаты измерений на каждой точке; статистическая значимость различий между показателями в разные периоды (по критерию Данна) приведена в численном виде.



**Рис. 3.** Динамика спектральных показателей ВСП у участников антарктической экспедиции (по периодам). Обозначения – как на рис. 2.

Безусловно, характер адаптивных сдвигов у участников экспедиций в экстремальных климатогеографических условиях зависит и от их опыта – реакции организма при первой встрече с новыми условиями отличаются от таковых в привычной ситуации, при угашении физиологических и психологических факторов ориентировочной реакции. Среди участников нашего исследования первый раз в полярную экспедицию попали

участники 1 и 2, участник 3 был в Антарктике в 5-й раз. И именно у него динамика показателей ВСР была наиболее близка к результатам исследований коллег.

## Заключение

Таким образом, полученные нами данные о динамике показателей ВСР во время антарктической экспедиции имеют логическое объяснение, и во многом перекликаются с данными коллег. Общая направленность динамики показателей ВСР во время антарктической экспедиции отражает наличие острой адаптивной фазы в начале морского перехода в виде активации симпатических влияний; повышение стресс-индекса при высадке на материк; и возможный рост вагусных влияний во время рутинных работ на базе в Антарктиде. В целом, выявленные сдвиги имеют явную саногенетическую направленность, и предотвращают повреждающее действие экстремальных климатогеографических условий на организм, его органы и системы.

Мы считаем, что для более полного извлечения информации полезно использовать максимально возможный набор показателей, которые можно рассчитать на основе рядов кардиоинтервалов. Тем более, что не все исследователи имеют возможность проводить рекомендуемые 5-минутные регистрации: в ряде работ, как и в нашем исследовании, записи составляют 2 минуты и менее [2, 15]. В этих условиях более корректно опираться на результаты анализа статистических показателей, хотя спектральные показатели, несмотря на их меньшую надёжность, также информативны.

## Список литературы

1. Хаснулин В.И. Здоровье человека и космогеофизические факторы Севера. *Экология человека*. 2013; 12: 3–13.
2. Boos C.J., Bakker-Dyos J., Watchorn J., Woods D.R., O'Hara J.P., Macconnachie L., Mellor A. A comparison of two methods of heart rate variability assessment at high altitude. *Clin. Physiol. Funct. Imaging*. 2017; 37(6): 582–587. DOI: 10.1111/cpf.12334
3. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2001; 3: 108–127.
4. Ruffe J.K., Hyare H., Howard M.A., Farmer A.D., Apkarian A.V., Williams S.C.R., Aziz Q., Nachev P. The autonomic brain: Multi-dimensional generative hierarchical modelling of the autonomic connectome. *Cortex*. 2021; 143: 164–179. DOI: 10.1016/j.cortex.2021.06.012
5. Valenza G., Sclocco R., Duggento A., Passamonti L., Napadow V., Barbieri R., Toschi N. The central autonomic network at rest: Uncovering functional MRI correlates of time-varying autonomic outflow. *Neuroimage*. 2019; 197: 383–390. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.04.075
6. Neuroscience Online, Chapter 3: *Central Control of the Autonomic Nervous System and Thermoregulation*, Last Review 20 Oct 2020. Режим доступа: <https://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/m/s4/chapter03.html> Дата обращения: 07.03.2024
7. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur. Heart J.* 1996; 17(3): 354–381.
8. Matusik P.S., Zhong C., Matusik P.T., Alomar O., Stein P.K. Neuroimaging Studies of the Neural Correlates of Heart Rate Variability: A Systematic Review. *J. Clin. Med.* 2023; 12(3): 1016. DOI: 10.3390/jcm12031016

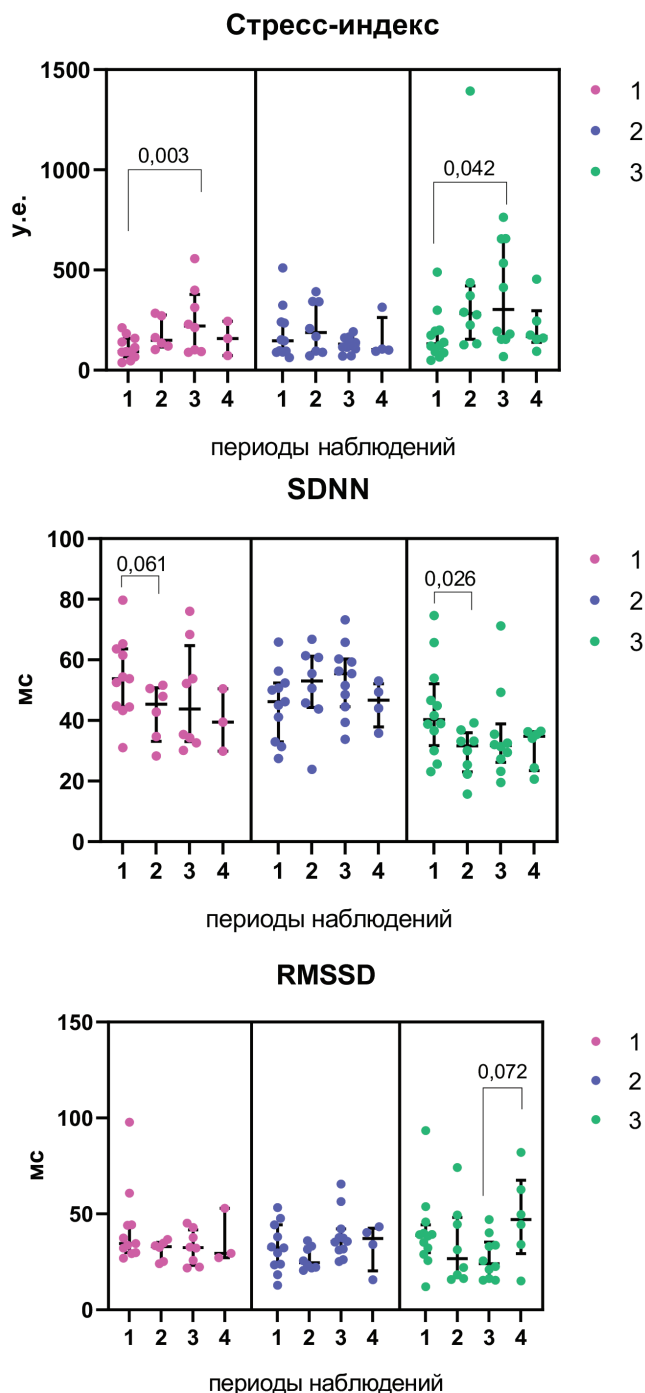


Рис. 4. Динамика стресс-индекса и статистических показателей ВСР у участников антарктической экспедиции (по периодам). Обозначения – как на рис. 2.

9. Peabody J.E., Ryznar R., Ziesmann M.T., Gillman L. A Systematic Review of Heart Rate Variability as a Measure of Stress in Medical Professionals. *Cureus*. 2023; 15(1): e34345. DOI: 10.7759/cureus.34345
10. Баевский Р.М., Берсенёва А.П. *Введение в донозологическую диагностику*. М.: ИМБП, 2008. 176 с.
11. Панкова Н.Б., Буйнов Р.П., Фильчук К.В., Черепов А.Б., Крганов М.Ю. *Динамика функционального состояния у работников дрейфующей полярной станции «Северный полюс 41»*. Медико-физиологические проблемы экологии человека: IX Всероссийская конференция с международным участием, посвященная 35-летию Ульяновского государственного университета. Ульяновск, 17-19 октября 2023 г. Ульяновск: УлГУ, 2023: 272–275.
12. Ráčková L., Pompa T., Zlámal F., Barták M., Nývlt D., Bienerová-Vašků J. Physiological evidence of stress reduction during a summer Antarctic expedition with a significant influence of previous experience and vigor. *Sci. Rep.* 2024; 14(1): 3981. DOI: 10.1038/s41598-024-54203-9
13. Harinath K., Malhotra A.S., Pal K., Prasad R., Kumar R., Sawhney R.C. Autonomic nervous system and adrenal response to cold in man at Antarctica. *Wilderness Environ. Med.* 2005; 16(2): 81–91. DOI: 10.1580/pr30-04.1. PMID: 15974257
14. Moraes M.M., Bruzzi R.S., Martins Y.A.T., Mendes T.T., Maluf C.B., Ladeira R.V.P., Núñez-Espinosa C., Soares D.D., Wanner S.P., Arantes R.M.E. Hormonal, autonomic cardiac and mood states changes during an Antarctic expedition: From ship travel to camping in Snow Island. *Physiol. Behav.* 2020; 224: 113069. DOI: 10.1016/j.physbeh.2020.113069
15. Simonova N, Kirichek M, Trofimova AA, Korneeva Y, Trofimova AN, Korobitsyna R, Sorokina T. The Functional States of the Participants of a Marine Arctic Expedition with Different Levels of Vitamin D in Blood. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2023; 20(12): 6092. DOI: 10.3390/ijerph20126092
5. Valenza G., Sclocco R., Duggento A., Passamonti L., Napadow V., Barbieri R., Toschi N. The central autonomic network at rest: Uncovering functional MRI correlates of time-varying autonomic outflow. *Neuroimage*. 2019; 197: 383–390. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.04.075
6. Neuroscience Online, Chapter 3: *Central Control of the Autonomic Nervous System and Thermoregulation*, Last Review 20 Oct 2020. Available at: <https://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/m/s4/chapter03.html> Retrieved: 07.03.2024
7. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur. Heart J.* 1996; 17(3): 354–381.
8. Matusik P.S., Zhong C., Matusik P.T., Alomar O., Stein P.K. Neuroimaging Studies of the Neural Correlates of Heart Rate Variability: A Systematic Review. *J. Clin. Med.* 2023; 12(3): 1016. DOI: 10.3390/jcm12031016
9. Peabody J.E., Ryznar R., Ziesmann M.T., Gillman L. A Systematic Review of Heart Rate Variability as a Measure of Stress in Medical Professionals. *Cureus*. 2023; 15(1): e34345. DOI: 10.7759/cureus.34345
10. Baevsky R.M., Berseneva A.P. [*Introduction to prenosological diagnostics*]. Moscow: IBMP, 2008. 176 p. (in Russian)
11. Pankova N.B., Buynov R.P., Filchuk K.V., Cherepov A.B., Karganov M.Yu. [*Dynamics of the functional state of workers at the drifting polar station “North Pole 41”*]. In: Medical and physiological problems of human ecology: IX All-Russian conference with international participation dedicated to the 35th anniversary of Ulyanovsk State University. Ulyanovsk, October 17–19, 2023. Ulyanovsk: UIGU, 2023: 272–275. (in Russian)
12. Ráčková L., Pompa T., Zlámal F., Barták M., Nývlt D., Bienerová-Vašků J. Physiological evidence of stress reduction during a summer Antarctic expedition with a significant influence of previous experience and vigor. *Sci. Rep.* 2024; 14(1): 3981. DOI: 10.1038/s41598-024-54203-9
13. Harinath K., Malhotra A.S., Pal K., Prasad R., Kumar R., Sawhney R.C. Autonomic nervous system and adrenal response to cold in man at Antarctica. *Wilderness Environ. Med.* 2005; 16(2): 81–91. DOI: 10.1580/pr30-04.1. PMID: 15974257
14. Moraes M.M., Bruzzi R.S., Martins Y.A.T., Mendes T.T., Maluf C.B., Ladeira R.V.P., Núñez-Espinosa C., Soares D.D., Wanner S.P., Arantes R.M.E. Hormonal, autonomic cardiac and mood states changes during an Antarctic expedition: From ship travel to camping in Snow Island. *Physiol. Behav.* 2020; 224: 113069. DOI: 10.1016/j.physbeh.2020.113069
15. Simonova N, Kirichek M, Trofimova AA, Korneeva Y, Trofimova AN, Korobitsyna R, Sorokina T. The Functional States of the Participants of a Marine Arctic Expedition with Different Levels of Vitamin D in Blood. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2023; 20(12): 6092. DOI: 10.3390/ijerph20126092

## References

1. Hasnulín V.I. [Human health and cosmogeophysical North factors]. *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*. 2013; 12: 3–13. (in Russian)
2. Boos C.J., Bakker-Dyos J., Watchorn J., Woods D.R., O'Hara J.P., Macconnachie L., Mellor A. A comparison of two methods of heart rate variability assessment at high altitude. *Clin. Physiol. Funct. Imaging*. 2017; 37(6): 582–587. DOI: 10.1111/cpf.12334
3. Baevsky R.M., Ivanov G.G. [Heart rate variability: theoretical aspects and possibilities for clinical application]. *Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika [Ultrasound and Functional Diagnostics]*. 2001; 3: 108–127. (in Russian)
4. Ruffle J.K., Hyare H., Howard M.A., Farmer A.D., Apkarian A.V., Williams S.C.R., Aziz Q., Nachev P. The autonomic brain: Multi-dimensional generative hierarchical modelling of the autonomic connectome. *Cortex*. 2021; 143: 164–179. DOI: 10.1016/j.cortex.2021.06.012
5. Valenza G., Sclocco R., Duggento A., Passamonti L., Napadow V., Barbieri R., Toschi N. The central autonomic network at rest: Uncovering functional MRI correlates of time-varying autonomic outflow. *Neuroimage*. 2019; 197: 383–390. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.04.075
6. Neuroscience Online, Chapter 3: *Central Control of the Autonomic Nervous System and Thermoregulation*, Last Review 20 Oct 2020. Available at: <https://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/m/s4/chapter03.html> Retrieved: 07.03.2024
7. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur. Heart J.* 1996; 17(3): 354–381.
8. Matusik P.S., Zhong C., Matusik P.T., Alomar O., Stein P.K. Neuroimaging Studies of the Neural Correlates of Heart Rate Variability: A Systematic Review. *J. Clin. Med.* 2023; 12(3): 1016. DOI: 10.3390/jcm12031016
9. Peabody J.E., Ryznar R., Ziesmann M.T., Gillman L. A Systematic Review of Heart Rate Variability as a Measure of Stress in Medical Professionals. *Cureus*. 2023; 15(1): e34345. DOI: 10.7759/cureus.34345
10. Baevsky R.M., Berseneva A.P. [*Introduction to prenosological diagnostics*]. Moscow: IBMP, 2008. 176 p. (in Russian)
11. Pankova N.B., Buynov R.P., Filchuk K.V., Cherepov A.B., Karganov M.Yu. [*Dynamics of the functional state of workers at the drifting polar station “North Pole 41”*]. In: Medical and physiological problems of human ecology: IX All-Russian conference with international participation dedicated to the 35th anniversary of Ulyanovsk State University. Ulyanovsk, October 17–19, 2023. Ulyanovsk: UIGU, 2023: 272–275. (in Russian)
12. Ráčková L., Pompa T., Zlámal F., Barták M., Nývlt D., Bienerová-Vašků J. Physiological evidence of stress reduction during a summer Antarctic expedition with a significant influence of previous experience and vigor. *Sci. Rep.* 2024; 14(1): 3981. DOI: 10.1038/s41598-024-54203-9
13. Harinath K., Malhotra A.S., Pal K., Prasad R., Kumar R., Sawhney R.C. Autonomic nervous system and adrenal response to cold in man at Antarctica. *Wilderness Environ. Med.* 2005; 16(2): 81–91. DOI: 10.1580/pr30-04.1. PMID: 15974257
14. Moraes M.M., Bruzzi R.S., Martins Y.A.T., Mendes T.T., Maluf C.B., Ladeira R.V.P., Núñez-Espinosa C., Soares D.D., Wanner S.P., Arantes R.M.E. Hormonal, autonomic cardiac and mood states changes during an Antarctic expedition: From ship travel to camping in Snow Island. *Physiol. Behav.* 2020; 224: 113069. DOI: 10.1016/j.physbeh.2020.113069
15. Simonova N, Kirichek M, Trofimova AA, Korneeva Y, Trofimova AN, Korobitsyna R, Sorokina T. The Functional States of the Participants of a Marine Arctic Expedition with Different Levels of Vitamin D in Blood. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2023; 20(12): 6092. DOI: 10.3390/ijerph20126092

## Сведения об авторах:

**Кутузова Ирина Алексеевна** — кандидат биологических наук, младший научный сотрудник кафедры общего земледелия и агроэкологии факультета почвоведения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»; <https://orcid.org/0000-0002-0993-493X>

**Котенев Алексей Валерьевич** — научный сотрудник кафедры высшей нервной деятельности биологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

**Панкова Наталия Борисовна** — доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»; <http://orcid.org/0000-0002-3582-817X>

**Ратманова Патриция Олеговна** — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник кафедры высшей нервной деятельности биологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»; <https://orcid.org/0000-0003-0354-5527>