

О.Ю. Агьков¹, С.Г. Горохова¹, В.В. Сериков², И.Б. Алчинова^{3, 4}, М.В. Полякова^{3, 4},
Н.Б. Панкова³, М.Ю. Карганов^{3, 4}, В.М. Баранов⁴

¹ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования,
Москва, Российская Федерация

² Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова,
Москва, Российская Федерация

³ Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии, Москва, Российская Федерация

⁴ Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства, Москва, Российская Федерация

Результаты медицинских и психофизиологических исследований во время кругосветного арктического перелета

Обоснование. Освоение Арктики подразумевает экстремальные, напряженные условия работы, трансмеридиональные перемещения и, как следствие, стресс, приводящий к изменениям функционального состояния у привлеченных специалистов разных возрастов. Успешность выполнения работы зависит от адаптации, которая является условием для выполнения операций трудового процесса. Исходя из этого, необходимо изучение на современном научно-методическом уровне проблемы индивидуальной адаптации человека. **Цель исследования** — комплексное изучение адаптации, направленности изменений функционального состояния сердечно-сосудистой системы и психофизиологических кондиций в ответ на долгосрочный стресс при резкой смене климатических условий и трансмеридиональных перемещениях у участников кругосветного арктического авиаперелета «Север Ваш». **Методы.** Согласно дизайну этого наблюдательного исследования, участники авиаперелета «Север Ваш», выполненного в июле-августе 2018 г., проходили комплексное лабораторно-инструментальное обследование на старте и сразу после финиша. Изучали показатели анализов крови, функционирования сердечно-сосудистой системы (ЧСС, параметры брахиального и аортального АД, эффективность субэндокардиального кровотока и др.); индекс аллоstaticкой нагрузки (ИАН), а также данные психофизиологических тестов с оценкой работоспособности. **Результаты.** Все участники (7 мужчин в возрасте от 39 до 69 лет) полностью прошли запланированный маршрут. Фактическая продолжительность перелета составила 43 дня. На финише выявлено увеличение общего белка крови ($p < 0,001$), креатинина ($p < 0,001$), билирубина ($p = 0,038$), аспаратаминотрансферазы ($p = 0,031$) и глюкозы ($p < 0,05$), а также сдвиги значений показателей периферической крови, характерные для процесса адаптации организма к полярным условиям и трансмеридиональным перемещениям. Обнаружено увеличение числа разрывов ДНК в лимфоцитах крови. Средние значения показателей гемодинамики оставались в нормальном диапазоне, но увеличилась ЧСС ($p < 0,001$), снизилось среднее брахиальное АД ($p = 0,003$), систолическое аортальное АД ($p = 0,001$). Средние значения пульсового АД, эффективности субэндокардиального кровотока не изменились ($p > 0,05$). Увеличение ИАН отмечено у 4 пилотов, у остальных динамика ИАН отсутствовала. Психофизиологический потенциал после перелета снизился. Выросло количество ошибок и пропусков целевого сигнала ($p < 0,001$), ухудшились устойчивость внимания и эмоциональная устойчивость. Вместе с этим показатель настроения увеличился до максимума, снизился уровень склонности к риску ($p < 0,001$). **Заключение.** Работа в условиях Арктики в летнее время при наличии факторов, вызывающих стресс, приводит к множественным изменениям в рамках срочной адаптации. Маркером индивидуальной адаптации может служить индекс аллоstaticкой нагрузки как интегративный показатель напряженного функционирования в экстремальных условиях. Достигнутое сохранение устойчивости работы систем организма, в том числе сердечно-сосудистой, обеспечивает работоспособность в описанных условиях на приемлемом уровне.

Ключевые слова: Арктика, синдром адаптации, адаптация психологическая, аллоstaticкая нагрузка, сердечно-сосудистая система, артериальное давление.

(Для цитирования: Агьков О.Ю., Горохова С.Г., Сериков В.В., Алчинова И.Б., Полякова М.В., Панкова Н.Б., Карганов М.Ю., Баранов В.М. Результаты медицинских и психофизиологических исследований во время кругосветного арктического перелета. Вестник РАМН. 2019;74(4):261–271. doi: 10.15690/vramn1110)

Обоснование

Вторая декада XXI в. характеризуется началом полномасштабного освоения Арктики. Конечно, весьма значимые научные исследования были выполнены в XX в. благодаря деятельности ряда научных коллективов АН СССР и РАН [1–3]. Однако сейчас в связи с постановкой вопросов экономического освоения Арктической зоны мы как бы возвращаемся к прежним рубежам, но с иным целеполаганием и научно-методическим обеспечением. В этом регионе сейчас добывается до 20% экспортной продукции России, что требует привлечения квалифицированных рабочих и специалистов разных возрастов, которых не хватает среди коренного населения [4]. Кроме того, это несколько тысяч километров госграницы, ко-

торую необходимо постоянно контролировать. А в связи с развитием экотуризма сюда, в зону Арктики, потянулись тысячи гостей, и не только из России. Учитывая сравнительную труднодоступность региона, актуальной является проблема транспорта, который может быть использован в интересах всех участников освоения Арктики и коренного населения.

Освоение Арктики подразумевает экстремальные, напряженные условия. Длительное пребывание в такой среде вызывает стресс, приводящий к изменениям функционального состояния. Успешность выполнения работы зависит от функционального, в том числе психофизиологического, состояния. При этом вопрос функционального состояния — это как здоровье с точки зрения отсутствия болезни, так и условие для выполнения операций

трудового процесса. Исходя из этого, остро стоит проблема изучения адаптации гомеостаза, кардиореспираторной системы и психофизиологических кондиций у взрослых в условиях хронического стресса для обеспечения гарантированного успеха окончания работ.

В июле-августе 2018 г. нами была предпринята попытка ответить на ряд вопросов из огромного объема проблем, обозначенных выше, во время кругосветного авиаперелета по Северному Полярному кругу «Север Ваш» на отечественных самолетах-амфибиях (World Oceanic International Flight) (рис. 1). В экспедиции приняли участие 7 человек (шестеро россиян, частных пилотов, имеющих медицинский допуск, и экс-пилот из Франции). Из 43 дней экспедиции 39 были проведены как в приполярной, так и, в основном, в зоне Арктики. Перелет проходил в условиях «полярного дня» при перемещении с запада на восток в широтном диапазоне от 62° до 72° с.ш. над территорией 9 стран. Было пройдено за этот период времени около 21 тыс. км, из них 6 тыс. км над водной поверхностью, в том числе около 700 км надо льдами и торосами.

Цель исследования — комплексное изучение адаптации, направленности изменений функционального состояния сердечно-сосудистой системы и психофизиологических кондиций в ответ на долгосрочный стресс при резкой смене климатических условий и трансмеридиональных перемещениях у участников кругосветного арктического авиаперелета «Север Ваш».

Методы

Дизайн исследования

Согласно дизайну этого наблюдательного описательного исследования, участники перелета проходили комплексное лабораторно-инструментальное обследование на старте и сразу после финиша. В число основных исследований вошли клинический анализ крови, биохимический анализ крови, анализ мочи, исследования состояния сердечно-сосудистой и респираторной систем, психодиагностические тесты, оценка работоспособности. По полученным данным оценивали аллостатическую нагрузку. В ходе самого перелета проводили оценку сонливости и состояния сна. Ряд показателей гемодинамики и работоспособности пилотов мониторировали на особо ответственных, длительных или сложных, участках.

Критерии соответствия

Критерии включения: участие в кругосветном арктическом авиаперелете «Север Ваш», наличие информированного согласия.

Критерии исключения: отказ от выполнения исследований.

Условия проведения

Этот перелет был поддержан Российской академией наук. Специфических факторов, влияющих на выводы, нет.

O.Yu. Atkov¹, S.G. Gorokhova¹, V.V. Serikov², I.B. Alchinova^{3,4}, M.V. Polyakova^{3,4},
N.B. Pankova^{3,4}, M.Yu. Karganov^{3,4}, V.M. Baranov⁴

¹ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

² N.F. Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russian Federation

³ Institute of General Pathology and Pathophysiology, Moscow, Russian Federation

⁴ Research Institute for Space Medicine, Moscow, Russian Federation

The Results of Medical and Psychophysiological Examination Performed During an Arctic World Oceanic International Flight

Background: The development of the Arctic region is connected with extreme and strenuous work conditions and transmeridian shifts. The resultant stress changes the functional state of involved professionals irrespective of their age. Successful performance of job tasks depends on individual adaptation, which is an urgent issue to be studied with modern research methods. **Aims:** The study was a complex research project on adaptation and changes of cardiovascular and psychophysiological functioning in response to long-term stress associated with rapid climate changes and transmeridian shifts experienced by the participants of the Arctic World Oceanic International Flight «Sever Vash». **Materials and methods:** The participants of Sever Vash expedition, which took place in July and August 2018, were examined. According to the design of the study, they underwent a complex laboratory and instrumental assessment before the start and immediately on the finish. Blood parameters, level of DNA damage in blood cells, cardiovascular parameters (heart rate, brachial and aortic blood pressure (BP), subendocardial blood flow etc.), allostatic load index (ALI), and data of psychophysiological tests with work capacity assessment were analyzed. **Results:** All participants (7 males, 39–69 y.o.) completed the planned route. The actual duration of the flight was 43 days. Comparative pairwise analysis on the finish revealed an increase of total blood protein ($p < 0.000$), creatinine ($p < 0.000$), bilirubine ($p = 0.038$) and AcAT ($p = 0.031$), and glucose ($p < 0.000$) levels, and shifts in peripheral blood parameters, which are typical for the process of adaptation to the Polar conditions and transmeridian shifts. An increase of DNA damage in white blood cells was found. Average values of hemodynamic parameters were in a normal range; heart rate increased ($p < 0.000$); mean brachial BP ($p = 0.003$) and systolic aortic BP ($p = 0.001$) decreased. Average values of pulse BP and subendocardial blood flow did not change ($p < 0.05$). ALI increased in four pilots; in others, no ALI dynamic was observed. Psychophysiological potential decreased after the flight. The number of errors and omissions of target signal ($p < 0.000$) increased, attention span and emotional stability deteriorated. Along with this, the mood parameter increased to a maximum level, and risk tolerance level decreased ($p < 0.001$). **Conclusions:** Working in Arctic conditions is connected with stress factors and leads to multiple and deep changes required for urgent adaptation. Allostatic load index, which is an integral parameter of strained functioning in extreme conditions, can be a marker of individual adaptation. The achieved functional stability of body systems, particularly the cardiovascular system, ensures an acceptable level of work capacity in the considered conditions.

Key words: Arctic regions, general adaptation syndrome, adaptation, psychophysical, allostatic load, cardiovascular system, blood pressure.

(For citation): Atkov OYu, Gorokhova SG, Serikov VV, Alchinova IB, Polyakova MV, Pankova NB, Karganov MYu, Baranov VM. The results of medical and psychophysiological examination performed during an Arctic World Oceanic International Flight. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2019;74(4):261–271. doi: 10.15690/vramn1110



Рис. 1. Маршрут: основные географические параметры экспедиции

Продолжительность исследования

Исследование проведено в период авиаперелета в июле-августе 2018 г. Запланированная продолжительность — 35 дней. Фактическая продолжительность перелета составила 43 дня.

Исходы исследования

Основной исход: функциональное состояние сердечно-сосудистой системы, определяемое по показателям частоты сердечных сокращений (ЧСС), брахиального (на плечевой артерии), центрального (аортального) артериального давления (АД), суточного профиля АД, сердечно-сосудистой реактивности, стресс-индекса; динамика показателей анализов крови; индекс аллостатической нагрузки; эмоциональная устойчивость, устойчивость внимания, склонность к риску, психоэмоциональное состояние.

Дополнительные исходы: индекс повреждений ДНК в лимфоцитах крови; показатели отраженной пульсовой волны, пальцевое АД, эффективность субэндокардиального кровотока; сонливость, качество сна.

Методы регистрации исходов

Общий и биохимический анализ образцов цельной периферической крови выполняли стандартными методами. Общий анализ мочи проводили с использованием тест-полосок DeKaPhan Leuco (Эрба Лахема, Чехия).

Степень повреждения ДНК в клетках определяли с помощью «кометного теста». Лимфоциты крови были выделены по стандартному протоколу на градиенте плотности $1,077\text{ г/см}^3$ (ПанЭко, Россия), внесены в легкоплавкую агарозу (cat. n.39346-81-1, Sigma, США). Согласно методике [5] были изготовлены слайды, которые выдерживали в лизирующем буфере (2.5 M NaCl, 100 mM ЭДТА, 10mM основной Трис, 1% Тритон-X-100 и 10% ДМСО; все реактивы ПанЭко, Россия) в течение 2 ч при температуре $+4^\circ\text{C}$. После обработки препараты помещали в электрическое поле (камера для горизонтального электрофореза SubCell GT, Bio-Rad, США) 100mA на 20 мин.

После электрофореза препараты высушивали и окрашивали SYBR Green (Sigma, США). Индекс повреждения ДНК рассчитывали как отношение суммы клеток с разными степенями повреждения к общей сумме клеток [6].

Оценку показателей сердечно-сосудистой системы проводили несколькими методами. Полифункциональное мониторирование включало длительное мониторирование АД с определением центрального (аортального) АД с актиграфией, регистрацией положения тела (использованы монитор АД со встроенным модулем активности и положения тела в составе монитора с технологией Vasotens и программное обеспечение BPLabWin, ООО «Петр Телегин», Россия). Определяли основные показатели суточного профиля АД на плечевой артерии, параметры аортального АД и отраженной пульсовой волны, эффективность субэндокардиального кровотока (subendocardial viability ratio, SEVR).

Кратковременную непрерывную одновременную регистрацию показателей сердечного ритма и пальцевого артериального давления (пАД) выполняли при помощи приборного комплекса «Спироартериокардиоритмограф» (САКР). У каждого участника проводили по 3 двухминутных регистрации: без и с надетой спирометрической маской, с произвольным и контролируемым дыханием с частотой 6 циклов/мин. Два последних варианта тестирования являются нагрузочными пробами, поскольку, как показано нами ранее [7], в надетой спирометрической маске уже на второй минуте тестирования создаются условия умеренной гиперкапнии, при дыхании с частотой 6/мин повышается коэффициент респираторного обмена. Оценивали следующие параметры: минимальные, максимальные и средние величины длительности межсистолических (R-R) интервалов, систолического и диастолического пАД, а также стандартные спектральные показатели варибельности всех трех показателей (общую мощность спектра — total power, TP; абсолютные и относительные мощности отдельных диапазонов — VLF, LF и HF). При оценке варибельности ритма сердца был сделан акцент на анализе стресс-индекса.

Индекс аллостатической нагрузки (ИАН) рассчитывали по ранее описанной методике [8]. В панель из 11 биомаркеров были включены индекс массы тела, ЧСС в покое, систолическое и диастолическое АД, показатели периферической крови — гемоглобин, тромбоциты, холестерин, глюкоза, креатинин, аланинаминотрансфераза и аспаратаминотрансфераза. Ранг ИАН определяли по шкале: 1–2 — низкая, 3 и выше — высокая аллостатическая нагрузка.

Исследование сна и сонливости проводилось с использованием общепринятых шкал — шкалы самооценки сна и Каролинской шкалы сонливости. Хронотип определяли по опроснику MEQ (Morningness Eveningness Questionnaire).

Для оценки психофизиологического состояния использовали комплекс методик. Текущее состояние пилота определяли на основе обработки сигналов встроенных датчиков приборного комплекса «Вигитон» (НПО «Нейроком», Россия), доработанного для передачи данных по беспроводному каналу связи в устройство регистрации типа планшетный компьютер. Браслет «Вигитон», расположенный на запястье руки пилота, регистрировал такие параметры, как электродермальная активность кожи (тоническая и физическая составляющие), пульс, двигательная активность, температура кожи [9].

Психологическое тестирование на старте и финише выполняли на сертифицированном аппаратном комплексе (НПО «Нейроком»), который включает набор валидизированных тестов, в том числе скорость сложной сенсомоторной реакции, оценку устойчивости внимания; оценку эмоциональной устойчивости; оценку склонности к риску [10]. Для оценки психоэмоционального состояния применяли традиционную методику «Самочувствие, активность, настроение» (САН).

Этическая экспертиза

Исследование проведено с одобрения Этического комитета ФГБНУ «НИИОПП» (протокол № 3 от 21.06.2018). Комиссия вынесла решение о соблюдении в научном исследовании «Адаптация человека к условиям кругосветного циркулярного авиаперелета «Север Ваш»» требований международных и российских законодательных актов о юридических и этических принципах проведения научных работ с участием человека.

Статистический анализ

Число участников авиаперелета с точки зрения размера выборки предварительно не рассчитывалось.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета программы Statistica 6.0 (США). Использовались параметрические и непараметрические статистические методы количественных признаков. Нормальность распределения переменных определяли с использованием критериев Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка. Количественные признаки выражены как среднее значение ± стандартное отклонение в случае нормального распределения, медианы и межквартильного размаха в случае без нормального распределения. Сравнение групп по параметрическим признакам выполняли с помощью критерия Стьюдента, по непараметрическим признакам — по критерию Манна–Уитни в случае независимых и критерию Вилкоксона в случае связанных выборок. В качестве уровня статистической значимости было установлено значение $p < 0,05$.

Результаты

Все участники экспедиции — 7 мужчин в возрасте от 39 до 69 лет (средний возраст 55,33 года) — полностью прошли на самолетах-амфибиях запланированный маршрут World Oceanic International Flight. Старт состоялся 03 июля, финиш — 14 августа 2018 г. Фактическая продолжительность перелета составила 43 дня вместо запланированных 35 в связи с тем, что трижды из-за погодных условий приходилось делать вынужденные остановки длительностью до 3–7 дней (на Чукотке, Северо-Востоке Канады и в Гренландии). Движение осуществлялось на высотах до 3000 м с запада на восток с 62° с.ш. до 72° с.ш. Протяженность маршрута — свыше 20 тыс. км над территориями 9 стран, в том числе вдоль побережья Северного Ледовитого океана, через Тихий и Атлантический океаны. Около 700 км пройдено надо льдами и торосами, около 6 тыс. км — над водой. Продолжительность «полярного дня» варьировала от 19 до 20 ч. Колебания температуры воздуха в период перелета составляли в дневные часы от +3 до +17°C, в ночное время — от -10 до +7°C. Рабочая зона в среднем составляла 10 ч в сутки.

Основные параметры, характеризующие функциональное состояние организма за двое суток до вылета и на финише, представлены в табл. 1 и 2.

Перед перелетом у всех участников значения исследованных показателей не выходили за пределы установленной нормы, что подтверждает отсутствие клинически значимых патологических процессов. Однако, как показывает сравнительный попарный анализ, перелет вызвал значимый однонаправленный сдвиг значений показателей периферической крови. Так, повысились концентрация гемоглобина (на 0,6–7%), содержание тромбоцитов (на 8–18%), лейкоцитов (на 8–18%), нейтрофилов (на 4–20%), но в то же время наблюдалось достоверное снижение содержания лимфоцитов (на 4–20%). Вместе с этим выявлено достоверное увеличение концентрации общего белка крови, креатинина, билирубина, глюкозы и активности аспаратаминотрансферазы. Причем наиболее значимым было повышение концентрации глюкозы

Таблица 1. Динамика параметров периферической крови у участников перелета (M±m)

Показатель	Старт	Финиш	p
Гемоглобин, г/л	150,33±4,90	155,17±4,45	0,020
Гематокрит, %	41,53±1,46	42,57±1,14	0,116
Эритроциты, ×10 ¹² /л	4,72±0,17	4,87±0,168	0,267
Тромбоциты, ×10 ⁹ /л	202,83±10,78	235,33±14,27	0,050
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л	6,59±0,94	7,81±0,81	0,007
Нейтрофилы, %	55,62±2,87	60,38±2,71	0,028
Лимфоциты, %	32,15±2,57	28,77±2,57	0,028
СОЭ, мм/ч	13,33±2,08	5,67±0,72	0,005
Общий белок, г/л	73,33±0,15	81,33±1,31	<0,001
Креатинин, мкмоль/л	83,00±4,66	93,00±3,18	0,004
Билирубин, мкмоль/л	16,38±2,20	20,28±2,54	0,038
АлАТ, МЕ/л	23,50±5,18	23,83±4,53	0,437
АсАТ, МЕ/л	22,83±1,66	25,50±1,41	0,031
Глюкоза, ммоль/л	5,13±0,08	8,50±0,37	<0,001
Холестерин, ммоль/л	4,40±0,193	4,97±0,43	0,072

Примечание. СОЭ — скорость оседания эритроцитов, АлАТ — аланинаминотрансфераза, АсАТ — аспаратаминотрансфераза.

Таблица 2. Динамика показателей среднесуточного систолического и диастолического АД на плечевой артерии, центрального АД, индекса аугментации и эффективности субэндокардиального кровотока (по данным мониторингования АД)

Показатель	Старт	Финиш	<i>p</i>
САД, мм рт.ст.	121,48 (116,92–126,03)	112,17 (112,17–107,77)	0,004
ДАД, мм рт.ст.	79,40 (76,16–82,64)	73,77 (70,96–76,58)	0,011
Среднее АД, мм рт.ст.	94,92 (91,22–98,63)	87,36 (84,08–90,64)	0,003
ПАД, мм рт.ст.	42,08 (39,02–45,14)	38,41 (35,19–41,62)	0,102
ЧСС, уд./мин	69,36 (66,76–71,96)	79,55 (75,59–83,51)	<0,001
САДао, мм рт.ст.	112,57 (108,58–116,55)	103,42 (99,67–107,17)	0,001
AIx, %	-38,87 (-45,62– -32,13)	-32,28 (-41,90– -22,66)	0,314
SEVR, ед.	105,86 (98,46–113,25)	102,83 (93,49–112,18)	0,470

Примечание. САД — систолическое артериальное давление, ДАД — диастолическое артериальное давление, ПАД — пульсовое артериальное давление, ЧСС — частота сердечных сокращений, AIx — индекс аугментации пульсовой волны, SEVR — индекс эффективности субэндокардиального кровотока.

(с 7,1 до 9,81 ммоль/л). Направленность изменений этих показателей подтверждает процесс адаптации организма к полярным условиям и быстрым трансмеридиональным перемещениям.

При сравнении значений индекса повреждений ДНК в лимфоцитах крови до и после перелета выявлено статистически значимое увеличение числа разрывов ДНК, которое свидетельствует о повреждающем воздействии на клетки и снижении их репарации (рис. 2). Этот признак характерен как для группы, так и для каждого индивида.

По данным мониторингования АД, перед стартом и на финише средние значения систолического и диастолического АД на плечевой артерии у всех участников были в норме. После перелета выявлено достоверное увеличение ЧСС, снижение систолического и диастолического АД, среднего АД при отсутствии достоверных изменений пульсового АД (см. табл. 2). Систолическое центральное (аортальное) АД также достоверно снизи-

лось, оставаясь в диапазоне нормы на фоне небольшого повышения индекса аугментации (augmentation index, AIx). Средние значения эффективности SEVR не изменились ($p>0,05$).

Степень ночного снижения систолического и диастолического АД уменьшилась на финише у всех, за исключением одного участника. При этом тип «диппер» сменился на «нон-диппер» у двоих как по систолическому, так и диастолическому АД, у одного — только по диастолическому АД. При регрессионном анализе отчетливая тенденция к потере связи между значениями систолического и диастолического АД в ночные часы на финише отмечена так же также у всех, кроме одного ($p=0,068$).

При оценке сердечно-сосудистой реактивности, которую определяли с помощью спиреокардиографии, после перелета наблюдалось возрастание реактивности минимальной длительности межсистолических интервалов (рис. 3) и минимальных величин систолического ПАД, снижение реактивности общей мощности спектра вариабельности сердечного ритма, возрастание реактивности относительной мощности диапазона HF (высокие частоты) в спектре вариабельности диастолического ПАД.

При регистрации сердечного ритма и ПАД без спирометрической маски (условия тестирования, без нагрузки) отмечено статистически значимое изменение всего по двум показателям: снижение величин минимальной длительности межсистолических интервалов и стресс-индекса (см. рис. 3). Изменение первого из указанных показателей лежит в основе тенденции (не достигающей уровня статистической значимости) к возрастанию частоты сердечных сокращений ($p=0,224$) и показателя общей мощности (TP) спектра вариабельности сердечного ритма ($p=0,138$). Второй показатель — стресс-индекс — является индикатором степени преобладания активности центральных механизмов регуляции над автономными (в норме колеблется в пределах 80–150 у.е. при постоянном напряжении регуляторных систем: например, при хроническом психоэмоциональном стрессе поднимается до 400–600 у.е., а у спортсменов при выполнении максимальных и субмаксимальных нагрузок данный показатель может достигать 2000 у.е. и более) [11]. При этом перед стартом у двух участников мероприятия (его организатора и непрофессионального пилота) отмечены чрезвычайно высокие значения стресс-индекса (1405 и 1364 у.е. соответственно). За время перелета у всех участников отмечено снижение стресс-индекса, у руководителя экспедиции — его нормализация.

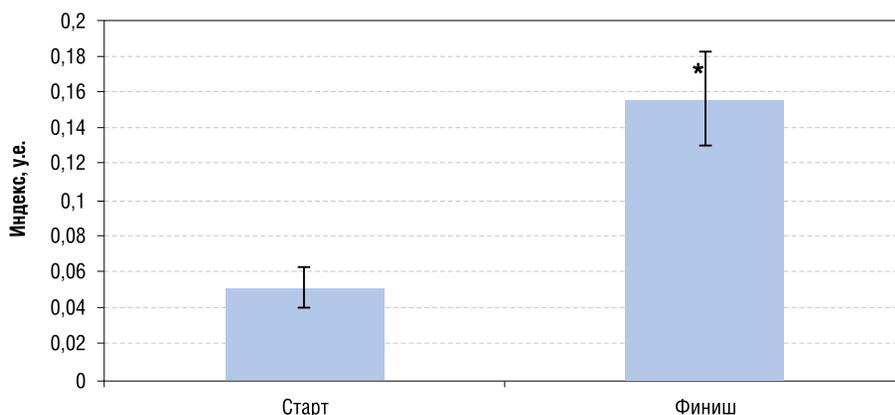


Рис. 2. Индекс, отражающий степень повреждения ДНК

Примечание. * — критерий Манна–Уитни; $p<0,05$.

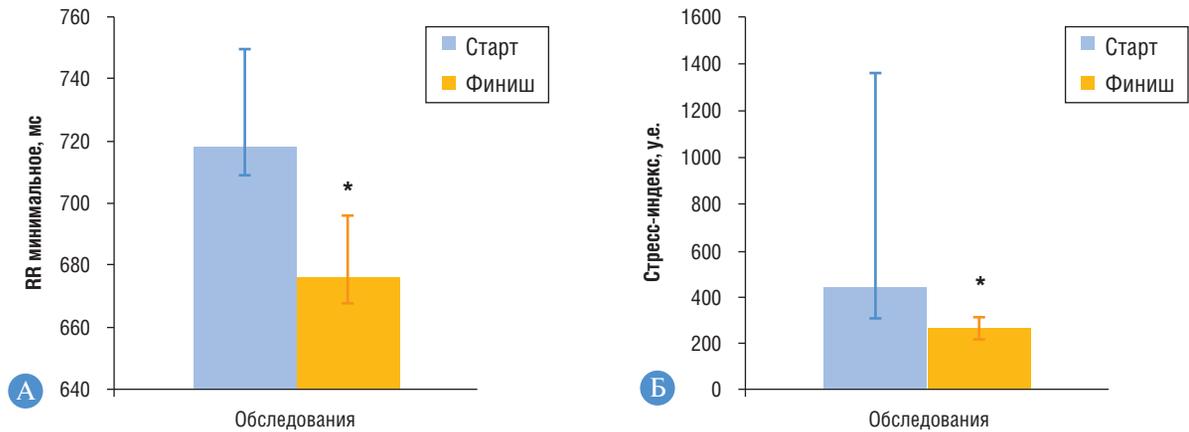


Рис. 3. Показатели вариабельности сердечного ритма в условиях тестирования без спирометрической маски

Примечание. А — минимальная длительность межсистолических (RR) интервалов (мс), Б — величина стресс-индекса (у.е.). Данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха. * — изменения обоих показателей статистически значимы, $p < 0,05$ по парному критерию Вилкоксона.

Суммарное влияние продолжительного стресса оценивали по индексу аллостатической нагрузки (ИАН). Увеличение ИАН отмечено у 4 пилотов. У одного ИАН вырос в 2 раза, у одного достиг довольно высокого уровня — 6 единиц. Оба пилота испытывали высокую профессиональную и психологическую нагрузку при перелете.

Хронотип всех участников характеризовался как промежуточный («голуби»): сумма баллов по опроснику MEQ варьировала от 50 до 64. При этом исходные параметры качества сна и сонливости индивидуально очень различались и разнонаправленно изменялись во время перелета (рис. 4). Тем не менее к концу экспедиции разброс значений уменьшился. Субъективное качество сна в целом расценили как относительно удовлетворительное (не было отличных оценок, как и крайне неудовлетворительных). Никто не испытывал крайней сонливости. Не было и абсолютной бодрости.

Результаты психодиагностических тестов представлены на рис. 5. Сложная сенсомоторная реакция выявляет достоверно значимое повышение количества ошибок и пропусков целевого сигнала, что позволяет говорить о перестройке регуляторных свойств организма и снижении психофизиологического потенциала пилотов после перелета. Фиксируется ухудшение уровня внимания, выражающееся в увеличении количества ошибок и пропусков целевого сигнала. Снижается потенциал устойчивости внимания, что указывает на естественное утомление и сдвиги в системе адаптивности летчиков после перелета. Наряду с этим определяется снижение уровня эмоциональной устойчивости у участников после длительного перелета, а именно: значительно возрастает количество ошибок, разница показателей N1–N2, что указывает на нестабильное эмоциональное состояние в конце длительного перелета.

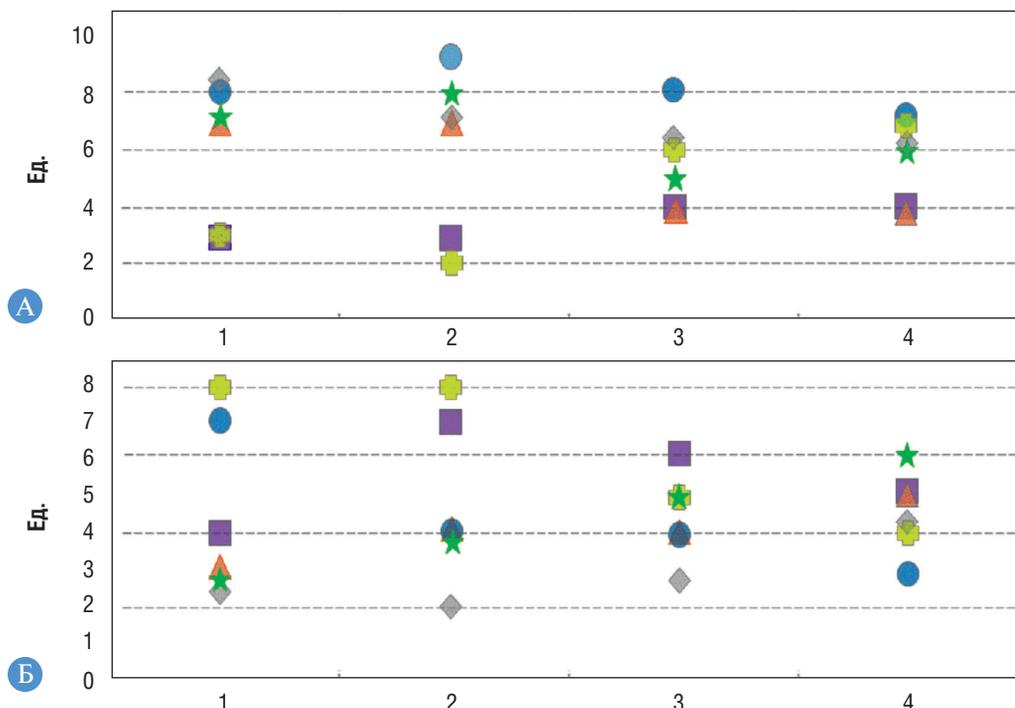


Рис. 4. Индивидуальная динамика показателей качества сна и сонливости

Примечание. Значение показателей по (А) шкале самооценки сна (ед.) и (Б) Каролинской шкале сонливости (ед.).

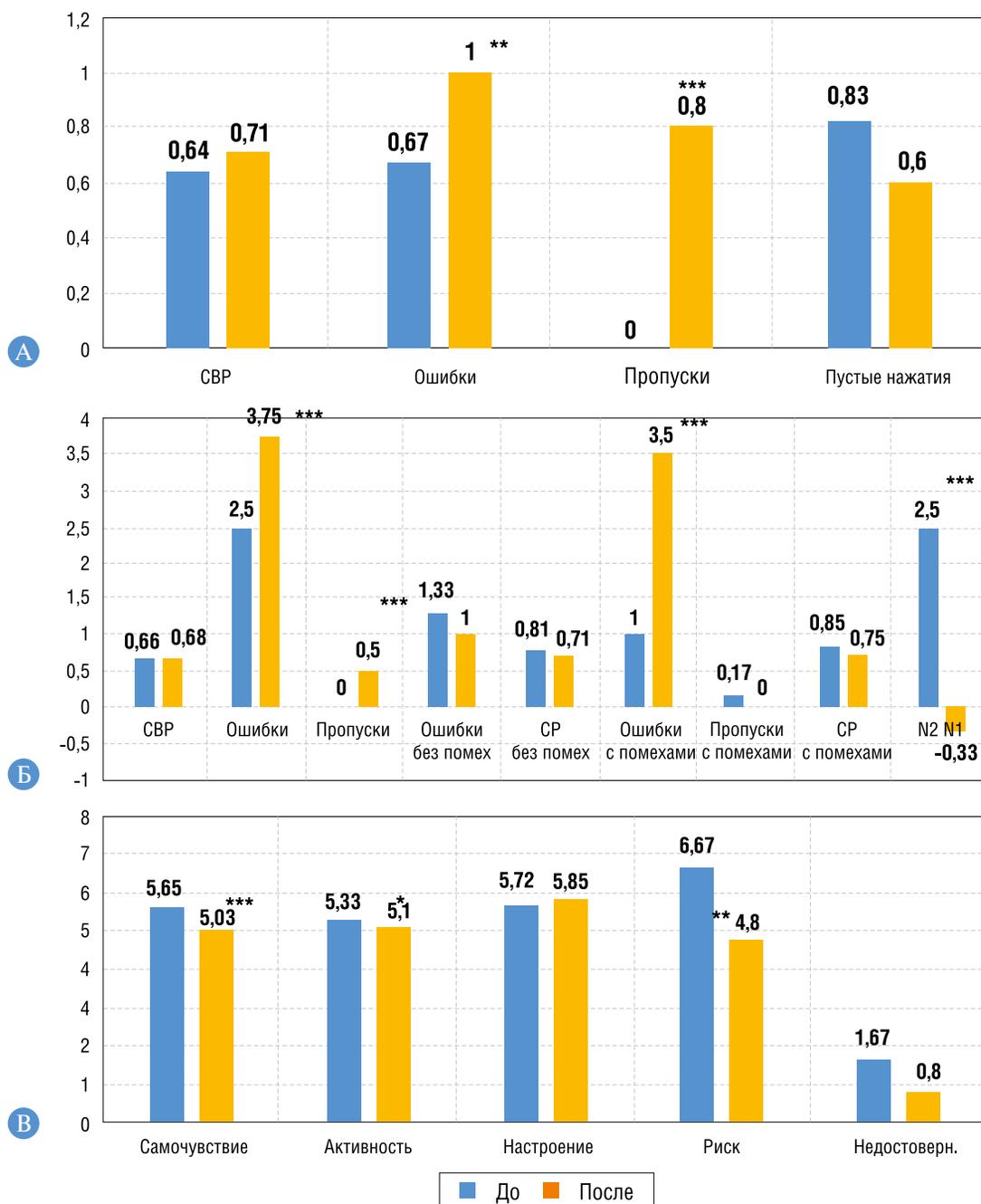


Рис. 5. Результаты психофизиологических тестов

Примечание. А — сложная сенсомоторная реакция; Б — тесты на устойчивость внимания и эмоциональную устойчивость; В — САН и склонность к риску. Данные представлены в виде средних значений на старте и финише. Изменения показателей статистически значимы: * — $p < 0,005$, ** — $p < 0,001$, *** — $p < 0,001$. САН — методика «Самочувствие, активность, настроение»; СВР — среднее время реакции, СР — Скорость реакции.

Уровень склонности к риску, согласно полученным данным, достоверно значимо снизился после совершенного перелета.

Сравнительный анализ полученных данных методики САН позволяет считать, что перед перелетом у всех пилотов наблюдался подъем самочувствия, активности, настроения. Снижение после перелета показателей самочувствия до 5,03, активности до 5,1 говорит о субъективном снижении уровня функционального состояния в связи с высокой напряженностью данного перелета. Противоположно, показатель настроения увеличился до максимальных пределов и достиг 5,9 баллов. Вероятно, данный факт связан с удовлетворенностью пилотов достигнутыми результатами сложного перелета.

Обсуждение

Выполненный арктический авиаперелет «Север Ваш», по сути, явился моделированием продолжительной летней трудовой вахты в условиях Крайнего Севера с участием людей, ранее не адаптированных к полярным условиям. В течение всего перелета они находились под сложным воздействием многих факторов: низкой температуры, непрерывной быстрой смены часовых поясов, продолжительного «полярного дня», высоких гемодинамических нагрузок во время полетов, физического и эмоционального напряжения. В связи с этим результаты, полученные при изучении динамики функционального состояния участников перелета, проходившего в указанных услови-

ях, дают важную информацию для оценки возможностей адаптации человека зрелого возраста при выполнении сложных производственных заданий в Арктике.

Успешность адаптации к напряженным условиям окружающей среды определяется прежде всего способностью эффективной регуляции функций организма, которая осуществляется на разных уровнях и затрагивает все жизненно важные органы и системы. Для определения характера и полноты адаптации у жителей Крайнего Севера традиционно используют гомеостатические показатели, которые надежно описывают общее состояние организма, такие как гемоглобин, глюкоза и другие параметры периферической крови, сердечный ритм, артериальное давление [1, 2, 12–16]. Как показал анализ результатов, к окончанию перелета у участников произошли значимые однонаправленные изменения на этом уровне: повышение уровня гемоглобина, тромбоцитов, лейкоцитов, нейтрофилов, но в то же время достоверное снижение лимфоцитов. Также выявлялось достоверное увеличение уровней общего белка крови, креатинина, билирубина и аспартатаминотрансферазы, глюкозы. В целом динамика показателей крови отражает процесс адаптации организма на базовом, гомеостатическом уровне к условиям Севера и трансмеридиональным перемещениям. Как ранее установлено, длительное пребывание в условиях низких температур окружающего воздуха вызывает гемоконцентрацию и уменьшение доли жидкой части периферической крови, метаболическую перестройку по типу так называемого «полярного напряжения», «полярный метаболический тип» [1, 2, 14]. Но характер и степень изменений зависят от многих факторов, и прежде всего от сроков пребывания в экстремально измененных климато-географических условиях, условиях работы. Направленность и уровень значений показателей у участников перелета говорят о стадии «срочной» адаптации, при которой энергетические затраты обеспечиваются благодаря усилению белкового синтеза и катаболическим процессам [2, 3, 16]. При этом у них отсутствовали признаки перехода на «северный» тип метаболизма с усилением белково-липидного обмена и минимизацией углеводного обмена, характерный для более длительного пребывания [1, 16]. Подобные изменения очень близки к наблюдаемым при экспедиционно-вахтовой форме труда на Крайнем Севере [17]. И здесь особое внимание следует обратить на повышение глюкозы. Умеренно высокие значения данного показателя у всех участников нельзя считать проявлением сахарного диабета. Они, как представляется, в большей мере обусловлены развитием циркадного десинхроноза вследствие быстрой череды трансмеридиональных перемещений, продолжительного полярного дня, чем влиянием низких температур. Обоснованность данного предположения следует из работ, устанавливающих не только связь, но и первичную обусловленность метаболических расстройств, и в первую очередь нарушений обмена глюкозы, сдвигами в циркадных ритмах организма, которые происходят на центральном уровне при изменениях фотопериодики. Острые изменения ритма сон–бодрствование и времени приема пищи вызывают изменение чувствительности бета-клеток поджелудочной железы, неадекватную постпрандиальную секрецию инсулина, гипергликемию, которая сопоставима с преддиабетическим состоянием. Нормализация состояния происходит после восстановления циркадных ритмов, режима питания и сна [18–20].

Адаптацию на другом уровне, в которую вовлечена вегетативная нервная система, описывают показатели

функционального состояния сердечно-сосудистой системы организма, ее реактивности на внешнее воздействие. Повышение АД за счет возрастания общего периферического сопротивления, увеличение ЧСС считают типичными маркерами адаптационного процесса у жителей Севера [13, 14, 21, 22]. У участников экспедиции обнаружена выраженная тенденция к потере корреляционной взаимосвязи показателей систолического и диастолического АД, изменению суточного профиля АД (степени ночного снижения) вплоть до изменения типа (с исходного «диппер» на «нон-диппер»). Кроме того, достоверно возростали ЧСС, общая мощность спектра вариабельности ритма сердца. Все это свидетельствует о произошедших глубоких изменениях в автономных механизмах регуляции АД, связанных с циркадным десинхронозом. Эти данные согласуются с выводами исследований, в которых установлены изменения хроноструктуры суточной динамики АД и ЧСС у работников заполярной вахты в сравнении с постоянными жителями этих территорий [22]. В связи с этим важно подчеркнуть, что для выявления биоритмологической перестройки профиля АД и ЧСС на фоне вегетативного дисбаланса вследствие десинхроноза недостаточно проводить традиционный анализ АД и ЧСС, но следует наряду со стандартными измерениями использовать дополнительные, не менее важные показатели, описывающие цикл день–ночь, которые определяются при суточном мониторинге.

В данном исследовании впервые для полярных исследований были проанализированы показатели аортального АД и индекса SEVR. Как оказалось, систолическое аортальное АД на финише снизилось при отсутствии динамики жесткости плечевой артерии и аорты. Средние значения индекса SEVR не изменились. Учитывая то, что перфузия внутренних органов преимущественно определяется аортальным АД, то стабильность SEVR может говорить о поддержании адекватного миокардиального кровотока, несмотря на адаптационное напряжение организма в описанных условиях перелета.

Весьма интересно снижение величины стресс-индекса, а также снижение систолического, диастолического, среднего АД на плечевой артерии у всех обследованных, поскольку эти данные расходятся с известными данными о повышении АД у работающих вахтовым методом на Крайнем Севере [17, 23]. Возможным объяснением обнаруженного факта может быть то, что предполетная подготовка, эмоционально-психологические сложности организации нестандартного перелета явились более сильным стрессом, чем реализация своих профессиональных навыков, а сам удачно завершившийся перелет создал позитивный эмоциональный фон. Об этом говорят результаты теста САН, выявляющие повышение настроения. В качестве косвенного подтверждения данной гипотезы также можно рассматривать отсутствие динамики оцениваемых показателей сердечно-сосудистой системы при их регистрации в условиях нагрузочных проб (в надетой спирометрической маске с произвольным и контролируемым дыханием) за время перелета. В сравнении с этим у вахтовиков доминирует фактор трудовой нагрузки, которая не всегда компенсируется вознаграждением. Исходя из того, что показатели САД и ДАД являются прогностически важными с точки зрения сердечно-сосудистого риска, стоит задуматься о психологической поддержке работающих вахтовым методом.

Однако более полно реакцию на стресс описывает концепция аллостаза. Согласно этой концепции, пластичность центральной нервной системы, регулирую-

шей физиологические, поведенческие и когнитивные реакции, обеспечивает реализацию потенциала снижения стрессовой нагрузки за счет адаптивной организации всех систем организма [24]. Вовлеченностью разных систем достигается некий компромисс, при котором выход значений одних показателей за пределы «гомеостатического коридора» сглаживается изменениями других, в результате чего достигается адаптация на высшем уровне, итогом которой являются устойчивость функционирования организма и тем самым выживание в экстремальных условиях.

Согласно полученным результатам, воздействие пребывания в заданных перелетом условиях на участников было негативным. Это ярко демонстрируют данные кометного ДНК-теста, являющегося точным методом количественной оценки генотоксического действия внешних факторов по числу разрывов ДНК [6, 25, 26]. Однако их сопоставление с динамикой индекса аллостатической нагрузки подчеркивает индивидуальные различия в ответе организма на сходный стресс. Так, у большинства участников аллостатическая нагрузка существенно возросла, но у двоих участников она осталась прежней, на низком уровне. Причем это были участники разных возрастных групп (39 лет и 62 года). Другими словами, говорить о значении только возраста как фактора, определяющего реакцию на стресс, нельзя.

Об индивидуальной адаптации также говорит оценка качества сна и сонливости. Хотя субъективно всеми участниками качество сна оценивалось как относительно удовлетворительное, и никто не испытывал крайней сонливости, разница между значениями на старте и финише и направленность динамики показателей варьировали вплоть до противоположно направленной.

Знания о функциональной адаптации важно для понимания состояния и прогнозирования работоспособности и мыслительной активности человека. С этой точки зрения интересны данные, полученные при психологическом обследовании.

Снижение уровня функционального состояния летчиков после кругосветного арктического перелета проявляется на операциональном уровне. После длительного перелета значительно повышается количество ошибок и количество пропусков целевого сигнала, что не противоречит имеющимся научным данным и говорит о перестройке регуляторных свойств организма (физического, психического, социального аспектов) в связи с информационными перегрузками. Накапливаемая в процессе перелета естественная усталость снижает психофизиологический потенциал пилотов, выступая, таким образом, в качестве предиктора снижения надежности деятельности. Кроме того, выявляется снижение уровня эмоциональной устойчивости, что указывает на нестабильное эмоциональное состояние в конце экспедиции.

Склонность к риску, которая отражает личностное качество индивида, связанное с такими чертами характера, как независимость, склонность доминировать, импульсивность, желание достичь успеха, представляет собой устойчивую, но вторичную характеристику индивида, т.к. обуславливается наличием у человека других особенно-

стей — стремлением к поиску новых ощущений, тревожности, упорства, экстраверсии, нейротизма, нескритичности, эмоциональной лабильности. Полученные данные указывают на значимое снижение уровня склонности к риску после совершенного перелета. Возможно, это связано с тем, что во время арктического перелета возникавшие проблемные ситуации запускали рефлексивные процессы у летчиков, которые приводили к переоценке их системы ценностей и когнитивных моделей.

Заключение

Результаты исследования показали, что временная работа в условиях Арктики и трансмеридиональных перемещений при наличии комплекса сложных факторов, вызывающих стресс, сопровождается метаболическими сдвигами в рамках срочной адаптации по типу «синдрома полярного напряжения» и наряду с этим изменениями, характерными для циркадного десинхроноза. Сопоставление данных кометного ДНК-теста, являющегося точным методом количественной оценки генотоксического действия внешних факторов, с динамикой аллостатической нагрузки подчеркивает индивидуальные различия в ответе организма на сходный стресс. Определено, что индекс аллостатической нагрузки как интегративный показатель напряженного функционирования ряда физиологических систем является маркером индивидуальной адаптации к пребыванию в экстремальных условиях. Несмотря на глубокие изменения в автономных механизмах регуляции АД и ЧСС, связанных с циркадным десинхронозом, у участников перелета было достигнуто сохранение устойчивости работы сердечно-сосудистой системы. Работоспособность в описанных условиях длительного стресса снижалась, но позволяла сохранить основные рабочие, психофизиологические функции на приемлемом уровне.

269

Дополнительная информация

Источник финансирования: исследование и подготовка статьи проведены на личные средства авторского коллектива.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Участие авторов: О.Ю. Атьков, С.Г. Горохова, М.Ю. Карганов, В.М. Баранов — концепция и дизайн исследования; О.Ю. Атьков — участник перелета; О.Ю. Атьков, С.Г. Горохова, В.В. Сериков, И.Б. Алчинова, М.В. Полякова, Н.Б. Панкова, М.Ю. Карганов — выполнение исследований; С.Г. Горохова, О.Ю. Атьков, И.Б. Алчинова, М.Ю. Карганов, Н.Б. Панкова, В.В. Сериков — написание текста; С.Г. Горохова, И.Б. Алчинова, Н.Б. Панкова, В.В. Сериков — иллюстрации; О.Ю. Атьков, В.М. Баранов, С.Г. Горохова, И.Б. Алчинова — редактирование. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авцын А.П., Марачев А.Г., Матвеев Л.Н. Циркумпольярный гипоксический синдром // *Вестник Академии медицинских наук СССР*. — 1979. — №6. — С. 32–39. [Avtsin AP,

Marachev AG, Matveev LN. Cirkumpolyarnyj gipoksicheskij syndrome. *Vestn Ross Akad Med Nauk*. 1979;(6):32–39. (In Russ).]

2. Казначеев В.П., Куликов В.Ю., Панин Л.Е., и др. *Механизмы адаптации человека в условиях высоких широт.* / Под ред. В.П. Казначеева. — Л.: Медицина; 1980. — 199 с. [Kaznacheev VP, Kulikov VYu, Panin LE, et al. *Mechanisms of human adaptation to high latitude environmental conditions.* Ed by VP Kaznacheev. Leningrad: Medicina; 1980. 199 p. (In Russ).]
3. Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г. *Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам.* — М.: Медицина; 1988. — 256 с. [Meerson FZ, Pshennikova MG. *Adaptatsiya k stressornym situatsiyam i fizicheskim nagruzkam.* Moscow: Medicina; 1988. 256 p. (In Russ).]
4. Хабриева Т.Я., Кобылкин Д.Н., Андриченко Л.В. *Российская Арктика — территория права: альманах.* / Под ред. С.А. Боголюбова, В.П. Емельянцева. — М.: Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации; 2017. — 277 с. [Khabrieva TYa, Kobylkin DN, Andrichenko LV. *Russian Arctic. Territory of law: al'manah.* Ed by SA Bogolubov, VP Yemelyantsev. Moscow: Institut zakonodatel'stva i sravnitel'nogo pravovedeniya pri Pravitel'stve Rossijskoj Federacii; 2017. 277 p. (In Russ).]
5. Comet Assay Interest Group [Internet]. Available from: <http://www.cometassay.com>.
6. Сорочинская У.Б., Михайленко В.М. Применение метода ДНК-комет для оценки повреждения ДНК, вызванных различными агентами окружающей среды // *Онкология.* — 2008. — Т.10. — №3. — С. 303–309. [Sorochinskaya UB, Mihajlenko VM. Primenenie metoda DNK-komet dlya osenki povrezhdeniya DNK, vyzvannyh razlichnymi agentami okruzhayushchej sredy. *Onkologiya.* 2008;10(3):303–309. (In Russ).]
7. Панкова Н.Б., Архипова Е.Н., Алчинова И.Б., и др. Сравнительный анализ методов экспресс-оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы // *Вестник восстановительной медицины.* — 2011. — Т.6. — №46. — С.60–63. [Pankova NB, Arhipova EN, Alchinova IB, et al. Sravnitel'nyy analiz metodov ekspress-otsenki funktsional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoy sistemy. *Vestnik vosstanovitel'noy meditsiny.* 2011;6(46):60–63. (In Russ).]
8. Горохова С.Г., Пфаф В.Ф., Мурасеева Е.В., и др. Структура аллостатической нагрузки у работников железнодорожного транспорта // *Медицина труда и промышленная экология.* — 2016. — №4. — С. 5–9. [Gorokhova SG, Pfaf VF, Muraseeva EV, et al. Structure of allostatic load in railway workers. *Med Tr Prom Ekol.* 2016;(4):5–9. (In Russ).]
9. Дементенко В.В., Макаев Д.В., Иванов И.И., Юров А.П. Контроль состояния водителя как составная часть системы мониторинга транспорта // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика.* — 2016. — Т.4. — №5-3. — С. 78–82. [Dementienko VV, Makaev DV, Ivanov II, Yurov AP. Kontrol' sostoyaniya voditelya kak sostavnaya chast' sistemy monitoringa transporta. *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika.* 2016;4(5-3):78–82. (In Russ).]
10. ЗАО «Нейроком». *Универсальный психодиагностический комплекс УПДК-МК. Руководство по эксплуатации* [интернет]. [ZAO «Neurokom». *Universal'nyy psikhodiagnosticheskiy kompleks UPDK-MK. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [internet]. (In Russ).] Доступ по: http://www.neurocom.ru/pdf/man/updk_5.3.pdf. Ссылка активна на 15.04.2019.
11. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. *Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе.* / Под ред. Е.И. Соколова. — М.: Наука; 1984. — 221 с. [Baevsky RM, Kirillov OI, Kletskin SZ. *Matematicheskij analiz izmenenij serdechnogo ritma pri stresse.* Ed by EI Sokolov. Moscow: Nauka; 1984. 221 p. (In Russ).]
12. Атьков О.Ю., Алчинова И.Б., Полякова М.В., и др. Изменения параметров сердечного ритма и артериального давления за время кругосветного океанического перелета вокруг Северного полюса по Северному Ледовитому океану // *Патогенез.* — 2018. — Т.16. — №3. — С. 90–93. [At'kov OYu, Alchinova IB, Polyakova MV, et al. Izmeneniya parametrov serdechnogo ritma i arterial'nogo davleniya za vremya krugosvetnogo okeanicheskogo pereleta vokrug Severnogo polyusa po Severnomu Ledovitomu okeanu. *Patogenez.* 2018;16(3):90–93. (In Russ).] doi: 10.25557/2310-0435.2018.03.90-93.
13. Атьков О.Ю., Цфасман А.З. *Профессиональная биоритмология.* — М.: Эксмо; 2019. [Atkov OYu, Tsfasman AZ. *Professional'naya bioritmologiya.* Moscow: Eksmo; 2019. (In Russ).]
14. Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р. Медико-физиологические аспекты жизнедеятельности в Арктике // *Арктика: экология и экономика.* — 2015. — Т.1. — №17. — С. 70–75. [Solonin YuG, Wojko ER. Medical and physiological aspects of vital activity in the Arctic. *Arktika: ekologiya i ekonomika.* 2015;1(17):70–75. (In Russ).]
15. Максимов А.Л. Современные проблемы адаптационных процессов и экологии человека в приполярных и арктических регионах России: концептуальные подходы их решения // *Ульяновский медико-биологический журнал.* — 2015. — №1. — С. 131–143. [Maksimov AL. Modern problems of adaptation processes and human ecology in the polar and arctic regions of Russia: conceptual approaches to solve them. *Ulyanovsk medicobiological journal.* 2015;(1):131–143. (In Russ).]
16. Севостьянова Е.В. Особенности липидного и углеводного метаболизма человека на севере (литературный обзор) // *Бюллетень сибирской медицины.* — 2013. — Т.12. — №1. — С. 93–100. [Sevost'yanova EV. Some features of human lipid and carbohydrate metabolism in the north. *Bulletin of Siberian medicine.* 2013;12(1):93–100. (In Russ).]
17. Фатеева Н.М., Альберт Л.Н. *Изучение биоритмов человека в условиях крайнего севера при экспедиционно-вахтовой форме труда.* / Международная научная конференция «Медицина: вызовы сегодняшнего дня»; июнь 20–23, 2012. Челябинск: Издательство «Два комсомольца»; 2012. — С. 21–23. [Fateeva NM, Al'bert LN. *Izuchenie bioritmov cheloveka v usloviyah krajnego severa pri ehkspedicionno-vahtovoj forme truda* (Conference proceedings) Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Medicina: vyzovy segodnyashnego dnya»; 2012 Jun 20–23; Chelyabinsk: Izdatel'stvo "Dva komsomol'ca"; 2012. pp. 21–23. (In Russ).]
18. Kalsbeek A, la Fleur S, Fliers E. Circadian control of glucose metabolism. *Mol Metab.* 2014;3(4):372–383. doi: 10.1016/j.molmet.2014.03.002.
19. Buxton OM, Cain SW, O'Connor SP, et al. Adverse metabolic consequences in humans of prolonged sleep restriction combined with circadian disruption. *Sci Transl Med.* 2012;4(129):129ra–143. doi: 10.1126/scitranslmed.3003200.
20. Javeed N, Matveyenko AV. Circadian etiology of type 2 diabetes mellitus. *Physiology (Bethesda).* 2018;33(2):138–150. doi: 10.1152/physiol.00003.2018.
21. Афтанас Л.И., Воевода М.И., Пузырев В.П. *Арктическая медицина: вызовы XXI века.* В сб.: Научно-технические проблемы освоения Арктики. / Под ред. Н.П. Лаверова, В.И. Васильева, А.А. Маноско. — М.: Наука; 2015. — С. 104–110. [Aftanas LI, Voevoda MI, Puzyrev VP. *Arkticheskaya medicina: vyzovy XXI veka.* In: *Nauchno-tekhnicheskie problemy osvoeniya Arktiki.* Ed by NP Laverov, VI Vasil'ev, AA Manosko. Moscow: Nauka; 2015. pp.104–110. (In Russ).]
22. Gubin DG, Cornelissen G, Weinert D, Vetoshkin AS. Circadian disruption and vascular variability disorders (VVD): Mechanisms linking aging, disease state and Arctic shift

- work: Applications for chronotherapy. *World Heart Journal*. 2013;5(4):285–306.
23. Кривошеков С.Г., Леутин В.П., Диверт В.Э., и др. Системные механизмы адаптации и компенсации // *Бюллетень Сибирского отделения Российской Академии медицинских наук*. — 2004. — Т.24. — №2. — С. 148–153. [Krivoshchekov SG, Leutin VP, Divert VE, et al. System mechanisms of adaptation and compensation. *Vyulleten' Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy Akademii meditsinskikh nauk*. 2004;24(2):148–153. (In Russ)].
24. McEwen BS, Gianaros PJ. Stress- and allostasis-induced brain plasticity. *Annu Rev Med*. 2011;62:431–445. doi: 10.1146/annurev-med-052209-100430.
25. Azqueta A, Collins AR. The essential comet assay: a comprehensive guide to measuring DNA damage and repair. *Arch Toxicol*. 2013;87(6):949–968. doi: 10.1007/s00204-013-1070-0.
26. Gleit M, Schneider T, Schlörmann W. Comet assay: an essential tool in toxicological research. *Arch Toxicol*. 2016;90(10):2315–2336. doi: 10.1007/s00204-016-1767-y.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

***Горохова Светлана Георгиевна**, д.м.н., профессор [*Svetlana G. Gorokhova*, MD, PhD, Professor];
адрес: ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, 125993 Москва, Российская Федерация [address: ul. Barrikadnaya 2/1, 125993 Moscow, Russia]; e-mail: кафедра2004@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7087-8140>, SPIN-код: 1272-5072

Алчинова Ирина Борисовна, к.б.н. [*Irina B. Alchinova*, PhD]; тел.: +7 (495) 601-23-05,
e-mail: alchinovairina@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5294-731>, SPIN-код: 1935-0418

Атьков Олег Юрьевич, д.м.н., профессор, член-корр. РАН [*Oleg Yu. Atkov*, MD, PhD, Professor];
e-mail: ppmrmapo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5211-2560>

Баранов Виктор Михайлович, д.м.н., профессор, академик РАН [*Viktor M. Baranov*, MD, PhD, Professor];
e-mail: spacemedinstitute@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4914-8343>, SPIN-код: 9688-5056

Карганов Михаил Юрьевич, д.б.н., профессор [*Mikhail Yu. Karganov*, PhD, Professor]; e-mail: mkarganov@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5862-8090>, SPIN-код: 9149-6257

Панкова Наталия Борисовна, д.б.н. [*Nataliya N. Pankova*, PhD]; e-mail: nbpankova@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3582-817X>, SPIN-код: 8069-0818

Полякова Маргарита Вячеславовна, к.б.н. [*Margarita V. Polyakova*, PhD]; тел.: +7 (495) 601-23-05,
e-mail: nedzumy@bk.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0517-630X>, SPIN-код: 7234-5577

Сериков Василий Васильевич, к. психолог. н. [*Vasiliy V. Serikov*, PhD]; e-mail: vasiliy_serikov@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7523-4686>, SPIN-код: 3681-1221