

УДК 616.62-003.7:615.83

**АДАПТАЦИЯ К ГИПОКСИИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ:  
АНАЛИЗ ОПЫТА ВОСХОЖДЕНИЙ НА ВЫСОЧАЙШИЕ ВУЛКАНЫ  
КОНТИНЕНТОВ**

А.В. Гребенюк<sup>1,2</sup>, В.Ф. Репс<sup>3</sup>, А.В. Абрамцова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пятигорский государственный университет»,  
Пятигорск, Россия

<sup>2</sup> Автономная некоммерческая организация «Региональный научно-спортивный центр Северо-Кавказского федерального округа»,  
Пятигорск, Россия

<sup>3</sup> Пятигорский научно-исследовательский институт курортологии филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства»,  
Пятигорск, Россия

**Ключевые слова:** высокогорье, ступенчатая адаптация к высоте, вариабельность сердечного ритма, гемодинамика, физиология спорта, вулканы мира.

**Аннотация.** В статье проанализирован 10-летний опыт международных научно-спортивных экспедиций в рамках проекта «Флаг ПГЛУ/ПГУ на известнейших вершинах планеты» и особенности методического подхода в подготовке спортсменов-альпинистов. Проведено исследование параметров вариабельности сердечного ритма до и после стандартной тренировки при подготовке к горным восхождениям и дана оценка динамики ЧСС и сатурации крови в период ступенчатой адаптации при восхождениях на Казбек (5033 м н.у.м), Грузия, Орисаба (5700 м н.у.м.), Северная Америка, Мексика. Исследования показывают преимущества разработанной программы тренировочного процесса и включение в ее структуру подъема (3 раза в неделю) на вершину Машука (с 570 м до 993 м н.у.м). Изменения показателей сердечно-сосудистой и дыхательной систем при восхождениях находились в пределах физиологической нормы адаптации к гипоксии в условиях высокогорья, что свидетельствует об эффективности методического подхода к тренировкам.

**ADAPTATION TO HYPOXIA IN HIGH-ALTITUDE CONDITIONS:  
ANALYSIS OF THE EXPERIENCE OF CLIMBING THE HIGHEST  
VOLCANOES OF THE CONTINENTS**

Grebenyuk A.V.<sup>1,2</sup>, Reys V.F.<sup>3</sup>, Abramtsova A.V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Federal state budgetary educational institution of higher education "Pyatigorsk state University", Pyatigorsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Autonomous non-profit organization "Regional scientific and sports center of the North Caucasus Federal district", Pyatigorsk, Russian Federation

<sup>3</sup> Pyatigorsk research Institute of balneology branch of the Federal state budgetary institution "North Caucasus Federal research and clinical center of the Federal medical and biological Agency", Pyatigorsk, Russian Federation

**Keywords:** highlands, step-by-step adaptation to high altitude, heart rate variability, hemodynamics, physiology of sports, volcanoes of the world.

**Annotation.** The article analyzes the 10-year experience of international scientific and sports expeditions in the framework of the project "Flag of PSLU/PSU on the most famous peaks of the planet" and the features of the methodological approach in the training of high mountain climbers. A study of the parameters of heart rate variability before and after standard training in preparation for mountain ascents and an assessment of the dynamics of heart rate and blood saturation in the period of step adaptation during ascents of Kazbek (5033m a.s.l), Georgia, Orizaba (5700 m a.s.l.), North America, Mexico. Research shows the advantages of the developed training program and the inclusion in its structure of the ascent (3 times a week) to the top of Mashuk (from 570 m to 993 m a.s.l). Changes in indicators of the cardiovascular and respiratory systems during ascents were within the limits of the physiological norm of adaptation to hypoxia in high-altitude conditions, which indicates the effectiveness of the methodological approach to training.

**Введение.**

Адаптация к условиям высокогорья является не только вопросом фундаментальной медицины, спортивной медицины и биологии, но и имеет прикладное значение – поиск новых энергоресурсов и полезных ископаемых, ведение хозяйственной деятельности, создание спортивных комплексов и курортов – это далеко не весь перечень экономических и социальных причин, приведших к заселению горных районов Земли [6].

При адаптации к гипобарической гипоксии, в основном, рассматривались вопросы увеличения функциональных возможностей

организма человека, и частности головного мозга, резервов стресслимитирующей системы [7,8,9].

Многолетний опыт подготовки спортсменов альпинистов может быть предложен в качестве одного из направлений новых медицинских технологий формирования функциональных резервов организма с повышением устойчивости организма к острой и хронической гипоксии у лиц экстремальных профессий, связанных с высокогорьем.

Цель исследования: анализ опыта международных научно-спортивных экспедиций в рамках проекта «Флаг ПГЛУ/ПГУ на известнейших вершинах планеты» и особенностей методического подхода в организации тренировочного процесса спортсменов-альпинистов при подготовке к горным восхождениям.

### **Методы и организация исследования.**

В работе проведен анализ 10-летнего опыта альпинистского клуба ПГЛУ (в настоящее время Пятигорский государственный университет) и АНО «Региональный научно-спортивный центр СКФО» в проекте «Флаг ПГЛУ/ПГУ на известнейших вершинах планеты». В экспедициях - восхождениях принимали участие от 6 до 10-15 человек, средний возраст 30-40 лет, постоянно занимающиеся в альпинистском клубе (3 раза в неделю по 2 часа) и постоянно проживающих в условиях низкогорья (550-600 м). Проект разрабатывался в рамках комплексной программы по изучению опыта мировых центров туризма и альпинизма, который предусматривал восхождения на высочайшие вулканы континентов:

- Эльбрус (5642 м н.у.м) - восхождение 8 раз по трем маршрутам (2010 - 2019 г.г.) – высочайшая вершина Европы, Россия;
- Казбек (5033м н.у.м) – восхождение 2013 -2019 г.г., Грузия;
- Демавенд (абсолютная высота 5610 м) - восхождение дважды (2013 г., 2019 г.) - Азия, Иран, спящий стратовулкан в горном хребте Эльбус (Альборз) на севере Ирана, имеются многочисленные травертины, фумаролы и горячие сернистые источники, на вершине располагается кратер диаметром 400м с небольшим озером;
- Килиманджаро (5895 м н.у.м.) - восхождение 2011 г. - Африка, Танзания, высочайшая вершина континента;
- Орисаба (5700м н.у.м.) восхождение 2012 г.- Северная Америка, Мексика, высочайший вулкан континента, входит в программу 7 вулканов мира.

– Охос дель Саладо (6893 м н.у.м) восхождение 2014 г. - Южная Америка, Чили, высочайший вулкан планеты, вторая по высоте вершина континента, входит в программу «7 вторых вершин».

Во всех экспедициях анализировались параметры сатурации (насыщения крови кислородом-SpO<sub>2</sub>, %) и частота сердечных сокращений (ЧСС), активные ортостатические пробы, проводились психологические тесты, в дневниках экспедиции фиксировались индивидуальные психо-эмоциональные и физиологические параметры участников восхождений.

В рамках проекта апробировалась разработанная тренерами альпинистского клуба программа тренировок, включающая 3 раза в неделю занятия на скалодроме в зале, восхождения в быстром темпе на вершину Машук - 993 м н.у.м. и спуск до 570 м н.у.м. за 40-50 минут), в течение года тренировочные восхождения на вершины Центрального и Западного Кавказа (3000 – 5000 м над уровнем моря). В исследовании приняли участие 15 добровольцев- мужчин (членов альпинистского клуба) возраст - 20,5 (19,0 - 36,0) лет.

Проведено исследование параметров variability сердечного ритма (BCP) спортсменов до и после стандартной тренировки по данным кардиоинтервалограммы с использованием аппаратно-программного комплекса фирмы «Нейрософт». Частоту сердечных сокращений (ЧСС) и параметры сатурации (насыщения крови кислородом) определяли пульсоксиметром АРМЕД УХ302.

Статистическая обработка данных проводилась с непараметрических критериев анализа данных: критерия Манна-Уитни для межгрупповых сравнений и критерий Вилкоксона при сравнении зависимых переменных. Показатели представлены в виде медианы (Me) и квартилей (Q25-Q75). Различия между группами считали достоверными при минимальном уровне значимости  $p < 0,05$ .

### **Результаты исследований и их обсуждение.**

При оценке адаптации сердечно-сосудистой системы к нагрузкам, выявлении уровней физической работоспособности и физиологической адаптации в последние годы активно применяется исследование variability сердечного ритма (BCP) [1,2].

Анализ показателей variability сердечного ритма (табл. 1) показал статистически достоверное повышение показателей ЧСС, ИН (индекс напряжения) и снижение показателя SDNN, что свидетельствует об усилении активности симпатической нервной системы. Пульс после физической нагрузки вырос на 32,7%, тогда как ИН увеличился по сравнению с исходным

уровнем в 4,6 раза, что в почти вдвое выше нормативных значений. Характерные изменения кардио-респираторной системы, отмечались и в других работах по изучению адаптации гипоксии в высокогорье [9].

Таблица 1

Показатели вариабельности сердечного ритма, центральной гемодинамики и пульсоксиметрии у молодых мужчин в период срочной адаптации физическим нагрузкам в условиях среднегорья (гора Машук, 993 м н.у.м)

Показатели	До тренировки высота над уровнем моря 570 м (г.Пятигорск)	После тренировки высота над уровнем моря 570 м (г.Пятигорск)	P	Нормативные значения
ЧСС	78,0 (75,0-81,0)	103,5 (102,0-106,0)	0,01	60-90
ИН	96,9 (74,1 -118,7)	445,2 (396,5-489,4)	0,04	50-200
SDNN	54,7 (46,8-62,1)	28,7 (20,0-35,2)	0,02	40-80
ИЦ	2,0 (1,6-5,6)	2,1 (1,8-4,2)	-	-
TP, мс <sup>2</sup>	2808,7 (2173,0-3702,3)	686,4 (414,4-808,8)	0,04	-
VLF, мс <sup>2</sup>	850,4 (327,0-1185,0)	242,3 (79,8-354,4)	0,05-	-
LF, мс <sup>2</sup>	1334,1 (761,8-1595,5)	341,6 (216,9-386,8)	0,04	-
HF, мс <sup>2</sup>	784,1 (408,8-979,5)	98,5 (36,1-172,5)	0,04	-

Примечание: ЧСС – частота сердечных сокращений; ИН – индекс напряжения, SDNN – среднее квадратическое отклонение, характеризует вагусную регуляцию; TP- Total Power- определяется как сумма мощностей в диапазонах HF, LF и VLF; ИЦ (Index of centralization, IC = (HF+LF)/VLF) и индекс вагосимпатического взаимодействия LF/HF; LF- (Low Frequency) низкочастотные, HF- (High Frequency) высокочастотные и очень низкочастотных (Very Low Frequency – VLF) компоненты спектра.

Запись кардиоинтервалографии проводилась в течение 5 минут перед стандартной тренировкой «подъём на г. Машук в быстром темпе и последующем спуске» у 6 человек (добровольцев спортсменов-альпинистов) с 16.50 до 17.00 и непосредственно после возвращения через 60 минут. В результате были получены автоматические протоколы с расчетом ЧСС, длительностью сердечных циклов (средней, максимальной и минимальной длительности в миллисекундах), индексов Баевского и формированием амплитудно-временных характеристик спектрального анализа. По результатам 5 минутной записи в исходном состоянии абсолютная общая мощность во всем диапазоне TP составляла (2808,7 (2173,0-3702,3)) мс<sup>2</sup>, а в процентном выражении были следующие значения VLF (33 (15-39)) %, LF

(42(33-73) % и HF (24(11,5 – 27,3) % и находились на уровне нормативных значений, как и индексы Баевского (таблица 1). После тренировки до восстановления ЧСС абсолютная общая мощность снизилась в 4 раза, и TP стал 686,4 (414,4-808,8) мс<sup>2</sup> с достоверным снижением абсолютной мощности во всех диапазонах, при этом сохраняется во всем наблюдаемом диапазоне частот прежние относительные влияния на ВСР всех трех спектров в том же соотношении, что и до тренировки VLF (32 (19-35)) %, LF (51,7(41,6-67,3) % и HF (18(9 – 21) %). Эти данные могут свидетельствовать об устойчивости надсегментарных и гипоталамических структур к такому виду нагрузки, а для обеспечения гемодинамики достаточно сегментарного уровня регуляции, о чем свидетельствует повышение ИН и снижение SDNN (таблица 1).

В работах по изучению адаптации организма спортсменов к гипоксии также отмечается увеличение резервной мощности симпато-адреналовой системы, при этом показано что курс интервальной гипоксической тренировки приводил к повышению мощности механизмов вегетативной регуляции функций сердца в состоянии покоя за счет увеличения активности парасимпатического звена автономной нервной системы [11].

Следует отметить, что анализ ЧСС и показатель сатурации гемоглобина кислородом у спортсменов-альпинистов при восхождении на вершину Орисабо (Мексика) показал достаточно быстрое восстановление ЧСС и SpO<sub>2</sub> у тренированных спортсменов основного состава (таблица 2).

Таблица 2

Индивидуальные показатели сатурации и ЧСС у членов экспедиции на вершину Орисаба (5700 м над уровнем моря)

№ п п	Год рождения	Уровень подготовки	2200 м н.у.м. 2200м Мехико	2700 м н.у.м. пос. Тлачечуко	4200 м н.у.м.	5600 м н.у.м.	4200 м н.у.м. после восхождения
1.	1982	спорт	98\62	98\68	98\90	96\98	98\92
2.	1981	спорт ОС	99\66	99\76	98\98	98\102	96\96
3.	1955	спорт ОС	98\68	99\80	98\86	96\110	96\100
4.	1989	спорт ОС	99\78	99\80	98\90	98\120	98\90

Примечание: в числителе SpO<sub>2</sub>/знаменателе ЧСС. Все замеры кроме высоты 5600, производились в состоянии покоя, через 1.5-2 часа после снятия нагрузки. Особые условия: спорт – спортсмен, ОС- основной состав (в активе восхождение на несколько «пятитысячников»).

Несколько другая ситуация у альпинистов не имеющих достаточного опыта высотных восхождений. При анализе этих же показателей у спортсменов при восхождении на вершину Казбек (5033 м н.у.м.) отмечается различная реакция кардио-респираторной системы в условиях срочной адаптации к гипобарической гипоксии (табл.3). Регистрировалось незначительное снижение показателя SpO<sub>2</sub> на высоте 3600 м н.у.м. - до восхождения 96(96-96,5)% и 91(89,5-94,5)% после восхождения при одновременном увеличении ЧСС, тогда как у спортсменов, имеющих опыт восхождений, ЧСС осталась практически на том же уровне.

Таблица 3

Динамика изменений показателей сатурации (SpO<sub>2</sub>) и ЧСС у членов экспедиции на вершину Казбека (5033 м над уровнем моря).

Показатели	Уровень подготовки	Высота 500 м н.у.м.	Высота 1500 м н.у.м.	Высота 3000 м н.у.м.	Высота 3600 м н.у.м. до восхождения	Высота 3600 м н.у.м. после восхождения
SpO <sub>2</sub>	Нов.	98(98-99)	99(98-99)	98(98-98)	96(96-96,5)	91(89,5-94,5)
ЧСС	Нов.	80(69,5-82,5)	87 (80,5-94,5)	100(87,5-103,0)	100 (96-101,5)	100 (97,5-113,0)
SpO <sub>2</sub>	Спорт	98 (97,3-98,8)	99(98,3-99)	98 (98-98)	98 (96,5-98,8)	97(96-98)
ЧСС	Спорт	69 (62,5-71,5)	80 (74-80)	78 (73-86)	85 (80-90)	82 (80-94,5)

Примечание: в числителе SpO<sub>2</sub>/знаменателе ЧСС. Все замеры производились в состоянии покоя, через 1.5-2 часа после нагрузки. Уровень подготовки: нов. ( 14 человек)– нет опыта восхождений ; спорт (7 человек) – спортсмены, основной состав (в активе восхождения на несколько «пятитысячников»).

Это свидетельствует о более высоком уровне адаптационных ресурсов физиологических систем у тренированных спортсменов-альпинистов в условиях гипобарической гипоксии. Ранее многие исследователи отмечали, что гипоксическое прекондиционирование способствует повышению устойчивости организма к условиям острой гипоксии, что проявляется в менее выраженной степени десатурации гемоглобина и меньшем приросте частоты сердечных сокращений [3, 5].

Следует также отметить, что при длительной адаптации к периодической гипоксии включаются не только физиологические, но и клеточные уровни регулирования. Так отмечается увеличение активности ключевого фермента дыхательной цепи НАДФН-цитохром С-оксидоредуктазы. Регуляция осуществляется за счет снижения его сродства к

НАДФН, что, в свою очередь, повышает устойчивость митохондрий к кислороду. Это имеет значение при восстановлении кровотока, когда высок риск реперфузионных повреждений. При снижении интенсивности окислительных процессов отмечена более эффективная работа дыхательной цепи – «парадоксальный эффект» адаптации к гипоксии. Одновременно происходит индукция антиоксидантной системы (митохондриальной марганец зависимой супероксиддисмутазы (MnСОД) [10].

Исследованию адаптации к высокогорью посвящено много работ и в них, в основном, делались акценты на анализе доставки кислорода, т.е на притоке крови в различным тканям и органам, в первую очередь мозгу, обеспечивающем координацию и регулирование различных систем и органов организма человека. В обзоре, анализирующем исследования за последние 50 лет по изучению мозгового кровотока у людей, подвергшихся гипобарической гипоксии в условиях высокогорья, констатировали повышенный мозговой кровоток на ранних стадиях гипоксии. Изменение церебральной гемодинамики в течение первых 12 часов на большой высоте и возвращение ее показателей к близким значениям уровня моря после 3-5 дней акклиматизации впервые было зафиксировано с использованием методики Кети-Шмидта в 1964 году. Степень этих изменений на большой высоте зависит от многих переменных, включая артериальное напряжение кислорода и углекислого газа, содержание кислорода в атмосфере, рН спинномозговой жидкости и гематокрит. Но следует отметить четыре ключевых интегральных фактора: 1) гипоксическая церебральная вазодилатация; 2) гипокапническая церебральная вазоконстрикция; 3) гипоксическая вентиляторная реакция; и 4) гиперкапническая вентиляторная реакция. Понимание механизмов, лежащих в основе этих процессов и их взаимодействия друг с другом, имеет решающее значение для углубления понимания глобального и регионального регулирования [12].

При изучении срочной адаптации в условиях однодневной экспедиции в Приэльбрусье (2380 м н.у.м. в урочище Джилы-Су) у спортсменов-добровольцев, не имеющих опыта горных восхождений, отмечались признаки физиологической адаптации к гипобарической гипоксии: снижение сатурации крови, учащение сердцебиения и активация тонуса симпатической нервной системы, расширение сосудов головного мозга, незначительные проявления высотной гипервентиляции. Но при этом регистрировалось двукратное превышение физиологической нормы показателя венозного оттока из полости черепа [4]. Данные последних лет свидетельствуют о том, что относительная недостаточность венозного оттока является одним из интегральных



показателей раннего этапа патогенеза «высотной» головной боли и симптомом острой «горной болезни» [18].

В ряде исследований при изучении роли цитотоксического и вазогенного отека при гипоксии отмечается, что острая «горная болезнь» является распространенным заболеванием среди неклиматизированных людей при подъеме на большую высоту. В своей работе Mairer K. с соавторами (2012) выдвинул гипотезу, что отек мозга и, следовательно, развитие симптомов острой «горной болезни» более выражены, когда субъекты выполняют физические упражнения в условиях гипоксии по сравнению с условиями покоя [15]. Основное внимание в таких работах также уделялось основополагающей роли таких факторов, как индуцируемый гипоксией фактор (HIF-1) и фактор роста эндотелия сосудов (VEGF), а также их вкладу в развитие отека [13].

При восхождении на вершину Охос дель Саладо, Чили (6893 м н.у.м., Южное полушарие) маршрут проходил через пустыню Атакама. Пустыня Атакама считается самой сухой пустыней Земли, она находится в Южной Америке на севере Чили и граничит на западе с Тихим Океаном на севере — с Перу и на востоке — с Боливией и Аргентиной. В некоторых местах пустыни дождь выпадает раз в несколько десятков лет.

Базовый лагерь находился на высоте 4200 м н.у.м., откуда альпинисты совершали акклиматизационные выходы, используя технику высотной «ступенчатой» акклиматизации. По маршруту восхождения было 3 ночевки: первая— 5200 м н.у.м, вторая ночевка перед восхождением, и третья после восхождения на высоте - 5800 м н.у.м. Длительное (9 дней) пребывание на высоте свыше 4000 м н.у.м., а также предварительный путь через пустыню с высокой температурой и низкой влажностью воздуха были дополнительными нагрузками для формирования физиологической адаптации к условиям высокогорья.

В завершающей стадии экспедиции, на высотах 6700-5800 м н.у.м., у нескольких членов команды, отмечались различные нарушения зрительного восприятия, в виде галлюцинаций и зрительных миражей - на снежных склонах отмечались фигуры животных (кот, волк), бюсты А.С.Пушкина, Дарта, проекции огромных фигур на снегу. На фото автора (Гребенюк А.В.) красной линией обрисована фигура, которая в условиях гипоксии четко ассоциировалась с видением определенных объектов (рис.1а, 1б).



Рис. 1а. «Миражи Атакамы»: Лицо и развивающиеся волосы

Воздействие гипоксии изменяет цветовое зрение - преобладают коротковолновые спектры света. В исследованиях гипобарической гипоксии на 5400 м н.у.м. отмечается снижение различия красного и синего спектра, восприятия зеленого все еще остается нормальным [14]. Параллельно с зрительными «миражами» у одного из членов экспедиции была сложность с визуализацией домика штурмового лагеря (5800 м н.у.м), который был ярко оранжевого цвета. Механизмы это явления сложно объяснить только вероятным изменением воспринимаемых спектров света, возможно, это связано и с изменением церебральной гемодинамики в условиях достаточно длительного пребывания на высоте. Нарушение восприятия синего спектра может приводить также к нарушениям циркадных ритмов синтеза мелатонина. Амплитуда циркадного мелатонинового ритма уменьшается при гипоксии, и его связь с частотой дыхания (RQ) ослабевает даже на умеренной высоте - до 4000 м н.у.м. Таким образом, связанная с гипоксией симпатическая стимуляция может быть также связана и с суточным изменением уровня мелатонина на большой высоте [14].



Рис. 16. «Миражи Атакамы»: Кот

При восхождении на вершины свыше 5000 м н.у.м. часто отмечается нарушение сна. Из-за недостатка кислорода изменяется метаболический ритм синтеза мелатонина. Гипоксия, недостаток кислорода в связи с повышением потребностей в энергии влияют на «мелатониновый ритм» регуляции. Повышение коэффициента дыхания (RQ) в этих условиях указывает на увеличение утилизации глюкозы, при этом отмечается корреляция между эффективностью инсулиновой метаболической регуляции и целостностью биоритмов. При изучении адаптации к острой гипоксии у водителей грузовых автомобилей в чилийских Андах при быстром подъеме от уровня моря до 3000 м н.э. при осуществлении хозяйственной деятельности (многие населенные пункты находятся на высоте выше 3000 м н.э.) и студентов-добровольцев (подъем в небольшую деревню Каспану 3270 м н.у.м.) также отмечалось изменение хронобиологии организма человека (нарушение циркадного ритма нейрогормона мелатонина и корреляция с RQ – интегральным параметром энергообмена при гипоксии в условиях высокогорья) [14, 17]. Одной из метаболических причин дерегулирования циркадной ритмичности мелатонина может быть симпатическая афферентная активация N-ацетилтрансферазы шишковидной железы, ограничивающий скорость синтеза мелатонина. Секреция мелатонина может, кроме того, дополнительно изменяться при высотной гипоксии, преобладающей у «новичков» в условиях высотной гипоксии.

Известно, что физиологические параметры сердечно-сосудистой системы проявляют колебания, зависящие от времени суток, которые опосредованы как внешними (например, окружающая среда / поведение), так

и внутренними (например, циркадными часами) факторами. Нарушение циркадных ритмов отрицательно сказывается на множественных кардио-метаболических параметрах. Недавние исследования показывают, что циркадные часы кардиомиоцитов непосредственно модулируют чувствительность сердца к метаболическим стимулам (например, жирным кислотам) и стрессам (например, ишемия / реперфузия). [16] Данные свидетельствуют о том, что нарушение циркадных часов кардиомиоцитов по-разному влияет на процессы, регулируемые инсулином, и дают новое понимание потенциальных патологических медиаторов при нарушениях биоритмов в условиях высокогорья.

### **Заключение.**

Таким образом, нейро-физиологические механизмы адаптации к гипобарической гипоксии в условиях высокогорья, особенно при выполнении физических нагрузок носит системный характер, зависит от многих параметров окружающей среды (температура, влажность, часовой пояс, магнитное поле земли), психо-эмоционального статуса человека и сформированных в условиях тренировочного процесса функциональных резервов организма. Также у многих пациентов, находящихся в критическом состоянии, развивается гипоксемия, сходная с гипоксемией в условиях высокогорья. В связи с этим данное направление требует дальнейшего изучения и соответствующего медико-биологического сопровождения.

### **Список литературы**

1. Баевский Р.М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, О.И. Кириллов, С.З. Клецкин // М.: Наука, 1984. - 220 с.
2. Бурых Э.А. Взаимоотношения ритма транспорта и потребления кислорода в организме человека в норме и при гипоксии (анализ внутрисистемных и межсистемных отношений) / Э.А. Бурых // Вестник образования и науки Российской академии естественных наук. - 2016, №20(1). - С.70-82.
3. Глазачев О.С. Динамика показателей вегетативной реактивности и устойчивости к острой дозированной гипоксии в курсе интервальной гипоксической тренировки / О.С. Глазачев, О.В. Бобылева // Физиология человека. – 2007. – № 2. – С. 81–89.
4. Корягина Ю.В. Горный туризм: эффекты срочной адаптации сердечно-сосудистой и дыхательной систем организма человека (урочище

Джилы-су в Приэльбрусье) / Ю.В. Корягина, Г.Н. Тер-Акопов, Л.Г. Рогулева, С.В. Нопин // Курортная медицина, 2019, №1. - С.54-57.

5. Лукьянова Л.Д. Закономерности формирования резистентности организма при разных режимах гипоксического прекондиционирования: роль гипоксического периода и реоксигенации / Л.Д. Лукьянова, Э.Л. Германова, Р.А. Копаладзе // Бюл. эксперим. биологии и медицины. – 2009. – № 4. – С. 380–384.

6. Малашенкова М.В. Система массового спортивного оздоровления и использования рекреационного потенциала горно-климатических курортов/ Автореферат, автореферат дис. ... доктора биологических наук: 14.00.51 / Малашенкова Мария Викторовна; [Место защиты: Рос. науч. центр восстанов. мед. и курортологии]. - Москва, 2009. - 47 с.

7. Крапивин С.В. Нейрофизиологические механизмы адаптации к гипоксии ЦНС животных с разной устойчивостью к недостатку кислорода / С. В. Крапивин [и др.] // Эколого-физиол. проблемы адаптации: VII Всерос. симп. / Рос. ун-т Дружбы народов. – М., 1994. – С. 128–129.

8. Агаджанян Н. А. Нормобарическая гипокситерапия (метод «Горный воздух»): монография / Н.А. Агаджанян [и др.] // под ред. Н. А. Агаджаняна. – М.: Изд-во РУДН, 1994. – 95 с.

9. Репс В.Ф. Технологии повышения функциональной адаптации у спортсменов в условиях высотной гипоксии / В.Ф. Репс, А.В. Гребенюк // Физиологический журнал. – 2012. – Т. 58. – №. 4. – С. 78-84.

10. Самойлов М.О. Влияние прекондиционирования умеренной гипобарической гипоксией на экспрессию Mn-супероксиддисмутазы в гиппокампе крыс / М. О. Самойлов [и др.] // Нейрохимия. – 2007. – № 3. – С. 218– 223.

11. Солкин А.А. Основные механизмы защиты головного мозга при адаптации к гипоксии / Н.Е. Белявский, В.И. Кузнецов, А.Г. Николаева // Вестник ВГМУ, 2012, Т11, №1. - С.6-14.

12. Ainslie P.N. Cerebral blood flow at high altitude. High Alt Med Biol / P.N. Ainslie, A.W. Subudhi // 2014. – V.15(2). – P.133-140.

13. Bailey D.M. Change in plasma vascular endothelial growth factor during onset and recovery from acute mountain sickness / D.M. Bailey, D.A. Dorward, B. Davies, A.A. Thompson, J.K. Baillie, M. MacDougall, N. Hirani // Respir. Med 101. - 2007. – P.587–594.

14. Behn C. Melatonin Relations with Energy Metabolism as Possibly Involved in Fatal Mountain Road Traffic Accidents / C. N. Behn, Gregorio // Int. J. Mol.Sci. – 2020. - V.21(6). - P.2184.

15. Mairer K. MRI evidence: acute mountain sickness is not associated with cerebral edema formation during simulated high altitude / K. Mairer, M. Göbel, M. Defrancesco, M. Wille, H. Messner, A. Loizides, M. Schocke, M. Burtscher // *PLoS ONE* 7. - e50334. - 2012.

16. McGinnis G.R. Genetic disruption of the cardiomyocyte circadian clock differentially influences insulin-mediated processes in the heart / G.R. McGinnis, Y. Tang, R.A. Brewer // *J.Mol.Cell. Cardiol.* – 2017. – 110. – P.80-95.

17. Tapia M. Melatonin Relations With Respiratory Quotient Weaken on Acute Exposure to High Altitude. *Front Physiol* / M. Tapia, C. Wulff-Zottele, N. De Gregorio // 2018. - V9. – P.798.

18. Wilson M.H. The cerebral venous system and hypoxia / M.H. Wilson, C.H. Imray // *J. Appl. Physiol.* (1985). – 2016. – V.120(2). – P.244-250.

### References

1. Baevsky R.M. Mathematical analysis of changes in heart rate under stress / R.M. Bayevsky, O.I. Kirillov, S.Z. Kletschin // Moscow: Nauka, 1984.-220 p.

2. Burych E.A. The relationship of the rhythm of transport and oxygen consumption in the human body is normal and with hypoxia (analysis of intrasystem and intersystem relationships) / E.A. Burykh // *Bulletin of Education and Science of the Russian Academy of Natural Sciences.* - 2016, N. 20 (1). - P.70-82.

3. Glazachev O.S. The dynamics of vegetative reactivity and resistance to acute dosed hypoxia in the course of interval hypoxic training / O.S. Glazachev, O.V. Bobyleva // *Human Physiology.* - 2007. - No. 2. - S. 81–89.

4. Koryagina Y.V. Mountain tourism: effects of urgent adaptation of the cardiovascular and respiratory systems of the human body (tract Dzhily-su in Elbrus region) / Y.V. Koryagina, G.N. Ter-Akopov, L.G. Roguleva, S.V. Nopin // *Spa Medicine*, 2019, N. 1. - P. 54-57.

5. Lukyanova L.D. Regularities of the formation of organism resistance under different hypoxic preconditioning conditions: the role of the hypoxic period and reoxygenation / L.D. Lukyanova, E.L. Germanova, R.A. Kopaladze // *Bull. an experiment. biology and medicine.* - 2009. - N. 4. - P.380–384.

6. Malashenkova M.V. The system of mass sports recovery and the use of the recreational potential of mountain-climatic resorts / Abstract, Abstract of thesis. ... doctors of biological sciences: 14.00.51 / Malashenkova Maria Viktorovna; [Place of protection: Ros. scientific recovery center. honey. and balneology]. - Moscow, 2009.- 47 p.

7. Krapivin S.V. Neurophysiological mechanisms of adaptation to central nervous system hypoxia in animals with different resistance to oxygen deficiency /

S. V. Krapivin [et al.] // Ekologo-fiziol. adaptation problems: VII All-Russian. symp / Grew. University of Friendship of Peoples. - M., 1994. - P.128–129.

8. Agadzhanian N. A. Normobaric hypoxotherapy (Mountain Air method): monograph / N. A. Agadzhanian [et al.] // Ed. N.A. Agadzhanian. - M.: Publishing House of RUDN, 1994. - 95 p.

9. Reys V.F. Technologies for enhancing functional adaptation in athletes in conditions of high-altitude hypoxia / V.F. Reys, A.V. Grebenyuk // Physiological Journal. - 2012. - T. 58. - No. 4. - P.78-84.

10. Samoilov M.O. The effect of preconditioning moderate hypobaric hypoxia on the expression of Mn-superoxide dismutase in rat hippocampus / M.O. Samoilov [et al.] // Neurochemistry. - 2007. - N. 3. - P.218–223.

11. Solkin A.A. The main mechanisms of brain protection during adaptation to hypoxia / N.E. Belyavsky, V.I. Kuznetsov, A.G. Nikolaev // Vestnik VGMU, 2012, T11, No. 1. - S.6-14. Ainslie P.N. Cerebral blood flow at high altitude. High Alt Med Biol / P.N. Ainslie, A.W. Subudhi // 2014. – V.15(2). – P.133-140.

12. Bailey D.M. Change in plasma vascular endothelial growth factor during onset and recovery from acute mountain sickness / D.M. Bailey, D.A. Dorward, B. Davies, A.A. Thompson, J.K. Baillie, M. MacDougall, N. Hirani // Respir. Med 101. - 2007. – P.587–594.

13. Behn C. Melatonin Relations with Energy Metabolism as Possibly Involved in Fatal Mountain Road Traffic Accidents / C. N. Behn, Gregorio // Int. J. Mol.Sci. – 2020. - V.21(6). - P.2184.

14. Mairer K. MRI evidence: acute mountain sickness is not associated with cerebral edema formation during simulated high altitude / K. Mairer, M. Göbel, M. Defrancesco, M. Wille, H. Messner, A. Loizides, M. Schocke, M. Burtscher // PLoS ONE 7. - e50334. - 2012.

15. McGinnis G.R. Genetic disruption of the cardiomyocyte circadian clock differentially influences insulin-mediated processes in the heart / G.R. McGinnis, Y. Tang, R.A. Brewer // J.Mol.Cell. Cardiol. – 2017. – 110. – P.80-95.

16. Tapia M. Melatonin Relations With Respiratory Quotient Weaken on Acute Exposure to High Altitude. Front Physiol / M. Tapia, C. Wulff-Zottele, N. De Gregorio // 2018. - V9. – P.798.

17. Wilson M.H. The cerebral venous system and hypoxia / M.H. Wilson, C.H. Imray // J. Appl. Physiol. (1985). – 2016. – V.120(2). – P.244-250.

**Сведения об авторах:** Александр Викторович Гребенюк – доцент кафедры физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Пятигорский государственный университет», г. Пятигорск, директор АНО «Региональный научно-спортивный центр СКФО», [maxclab@yandex.ru](mailto:maxclab@yandex.ru); Валентина



**Федоровна Репс** - доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник ПНИИК ФФГБУ СКФНКЦ ФМБА России в г. Пятигорске, [v.reps@mail.ru](mailto:v.reps@mail.ru);  
**Анна Викторовна Абрамцова** - кандидат медицинский наук, старший научный сотрудник отдела изучения физических факторов ПНИИК ФФГБУ СКФНКЦ ФМБА России в г. Пятигорске, [abramtsovaav@ngs.ru](mailto:abramtsovaav@ngs.ru).