

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМЫ НАПРЯЖЕНИЯ ОРГАНИЗМА ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ ТРУДЕ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

Ю.Г. Солонин, Е.Р. Бойко*, Б.Т. Величковский***

*Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (г. Сыктывкар)

**Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова Министерства здравоохранения РФ (Москва)

Рассмотрена проблема физиологического нормирования напряжения организма при физическом труде в высоких широтах. Проанализированы данные литературы об особенностях трудовой деятельности в заполярных районах и о влиянии условий Крайнего Севера на состояние здоровья. Многие трудовые процессы протекают при повышенных энергозатратах на открытом воздухе. У работающих на Крайнем Севере развивается комплекс характерных адаптационных изменений органов дыхания, сопровождающийся одышкой, что свидетельствует о более высокой физиологической стоимости трудовых усилий. Особое внимание уделено такому фактору, как низкая влажность воздуха в морозные дни, которая в Арктической зоне характерна не только для атмосферного воздуха, но и для воздуха жилых, служебных и производственных помещений. При дыхании пересушенным воздухом изменяется проницаемость аэрогематического барьера. Вода из легочных капилляров просачивается на поверхность слизистой оболочки альвеол, а физически растворенный в ней кислород с поверхности альвеол перемещается в легочные капилляры. Встречная диффузия снижает скорость перемещения кислорода через биологические мембраны. В разнонаправленной диффузии воды и кислорода в альвеолярно-клеточной мембране и заключается скрытая молекулярная первопричина характерного для жителей Крайнего Севера ухудшения газообменной функции легких – развития гипоксемии и гипокапнии. Обоснованы временные физиологические нормативы физического напряжения при труде в высоких широтах. Даны рекомендации гигиенической и физиологической направленности. Необходимо совершенствовать систему профотбора для работы и службы в высоких широтах. Требуется корректировка допустимых значений ряда факторов производственной среды и режимов труда и отдыха, норм питания и жилплощади. Предложена программа разработки научного обоснования режима адаптации военнослужащих в Арктической зоне.

Ключевые слова: *физический труд в высоких широтах, физиологические нормы напряжения, адаптация органов дыхания к сухому воздуху, состояние здоровья работников.*

Ответственный за переписку: Солонин Юрий Григорьевич, адрес: 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 50; e-mail: solonin@physiol.komisc.ru

Для цитирования: Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р., Величковский Б.Т. Физиологические нормы напряжения организма при физическом труде в высоких широтах // Журн. мед.-биол. исследований. 2017. Т. 5, № 1. С. 25–36. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2017.5.1.25

Труд – категория как социальная, так и биологическая. Поэтому, наряду с технико-экономическими показателями, регламентирующими результаты труда (нормы выработки, времени, численности персонала), необходимо нормировать физиологические затраты организма человека в процессе трудовой деятельности с целью сохранения работоспособности, здоровья и активного долголетия.

Нормирование труда с физиологических позиций приобретает чрезвычайную актуальность в связи с переходом страны к рыночной экономике, интенсификацией и экстенсификацией труда во многих отраслях производства, транспорта, сферы обслуживания и обороны, широким применением нетипичных форм организации труда (сменные работы, удлиненные смены, вахтовые графики и пр.), увеличением численности работающих в суровых природно-климатических условиях (высокие и низкие широты, высокогорье и др.). Так, Министерство обороны Российской Федерации в последние годы существенно расширяет военную группировку в зоне Арктики.

В научной и популярной литературе доминирует мнение о том, что в современном производстве физический труд все более вытесняется умственным, а на смену тяжести труда приходит его напряженность. Однако существуют и иные тенденции. Из доклада Министерства труда и социальной защиты РФ «О реализации государственной политики в области условий и охраны труда в Российской Федерации в 2014 году»¹ следует, что доля численности работников, занятых тяжелым физическим трудом, в 2014 году в РФ составляла 15,5 %, а с напряженностью труда связано лишь 8,5 % работающих. В государственном докладе Рос-

потребнадзора «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2014 году»² отмечено, что в структуре профзаболеваний второе место устойчиво занимает профессиональная патология вследствие воздействия физических перегрузок и перенапряжений. В последние годы даже наметилась тенденция к росту доли таких поражений: в 2012 году было 22,9 %, в 2013 году – 23,9 %, в 2014 году – 25,2 %. Среди диагнозов скелетно-мышечные нарушения спины и рук занимают 75,0 %.

Проблема скелетно-мышечных поражений актуальна и для стран с высоким уровнем механизации и автоматизации. Например, в США до 13 % работающих страдают от мускуло-скелетных проблем [1]. В Великобритании в 2014–2015 годах число связанных с трудом мускуло-скелетных поражений составило 553 тысячи, или около 44 % от общего числа заболеваний работающих³. Аналогичная проблема существует в Южной Корее и Японии [2].

Теоретической основой существующей у нас в стране концепции физиологического нормирования трудовых нагрузок послужили современные представления о механизмах работоспособности и утомления организма человека и физиологических резервах [3–7]. Под физиологическими резервами подразумеваются не только биохимические ресурсы или максимальный рабочий прирост отдельных показателей, но и резервы регуляции функций [8].

Начальные предложения по физиологической регламентации физического труда основывались на пульсовом критерии [9]. Были введены понятия о максимальных (пиковых), среднерабочих и среднесменных значениях физиологических показателей, полученных

¹О реализации государственной политики в области условий и охраны труда в Российской Федерации в 2014 году: докл. / Мин-во труда и соц. защиты РФ. М., 2015.

²О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2014 году: гос. докл. / Федер. служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. М., 2015. 206 с.

³Work-Related Musculoskeletal Disorder (WRMSDs) Statistics, Great Britain, 2015. URL: <http://www.hse.gov.uk/Statistics/causdis/musculoskeletal/msd.pdf> (дата обращения: 21.01.2017).

с помощью биорадиотелеметрии, как объективные и оперативные индикаторы трудовых нагрузок. При выборе физиологических нормативов напряжения организма при физическом труде учитывали: а) динамику физиологических показателей внутри рабочих циклов и характер восстановления их в паузах; б) динамику физиологических показателей и физиологических затрат на единицу продукции внутри смены и на протяжении рабочей недели; в) степень утомления после работы; г) уровень производительности труда, работоспособности и заболеваемости у людей разного возраста и стажа работы.

В физиологии труда, в отличие от гигиены и токсикологии, целесообразно выделять несколько уровней нормирования нагрузки [4, 5, 7, 8]. В качестве основополагающих для повседневной трудовой деятельности могут рассматриваться оптимальный диапазон и две зоны допустимых нагрузок, охватывающих с обеих сторон оптимум. В гигиене основным критерием допустимости является отсутствие повреждающего эффекта на здоровье человека при многолетнем воздействии фактора. Допустимость трудовых нагрузок также должна быть обеспечена гарантией сохранения здоровья [5, 10]. Зависимость заболеваемости с временной нетрудоспособностью от степени тяжести труда и физического напряжения прослежена в ряде работ [10–12].

Теоретической основой физиолого-гигиенического нормирования физического труда являются доказанные зависимости между трудовой нагрузкой, рабочим напряжением, утомлением и состоянием здоровья. При этом необходимо определение зоны положительного влияния и порога неблагоприятного воздействия трудовых нагрузок при их многолетнем сочетанном влиянии с производственной средой, в первую очередь нагревающим и охлаждающим микроклиматом [3, 10].

Нами обоснованы «Физиологические нормы напряжения организма при физическом труде», которые были утверждены Минздравом СССР в 1980 году в виде МР 2189–80⁴, действующие до сих пор. Физиологические подходы к нормированию операторского, умственного и творческого труда, а также работ с сенсорными нагрузками пока еще не получили такого прочного обоснования, и, без сомнения, их целесообразно разрабатывать совместно с нейрофизиологами, нейробиологами и психологами [6, 7].

Трудовая деятельность в высоких широтах (Крайний Север, Заполярье, Арктика, Антарктика) имеет особенности. В ряде отраслей (строительная, добывающая, военное дело и пр.) еще широко применяется физический труд, что требует не только напряжения нервной системы и мозга, но и повышенных энергозатрат. Многие трудовые процессы протекают на открытом воздухе (строительство, буровые работы, открытая добыча полезных ископаемых и т. д.) при непосредственном воздействии на организм суровых природно-климатических условий и непогоды. При длительном пребывании на Крайнем Севере у человека развивается комплекс характерных адаптационных изменений органов дыхания. Для практически здоровых жителей Заполярья, особенно работающих на открытом воздухе, характерно появление нарастающей одышки и повышенной утомляемости [13], что свидетельствует о более высокой физиологической стоимости трудовых усилий. Указанное состояние получило название «полярная одышка» [14, 15]. Морфологические и функциональные изменения органов дыхания направлены на снижение гипоксемии. Они заключаются прежде всего в увеличении площади альвеолярной поверхности легких в среднем на 24 % и объема легочных капилляров – на 39 % [15, 16]. Характерной особенностью процесса адаптации к экстремальным условиям Крайнего Севера является повышение систо-

⁴Физиологические нормы напряжения организма при физическом труде: метод. рекомендации; утв. Глав. гос. санитар. врачом СССР 15 июля 1980 г. № 2189-80. М., 1980. 6 с.

лического давления в легочной артерии более 30 мм рт. ст., которое выявляется у большинства обследованных здоровых жителей Заполярья [15, 17, 18]. Этому специфичному для высоких широт комплексу изменений были даны различные наименования: «синдром полярного напряжения» [19], «магаданская пневмопатия» [16], «циркумпольярный гипоксический синдром» [20], «экзогенная гипоксия Севера» [17].

Однако конкретные причины и механизмы развития выявленных изменений длительное время не удавалось определить. Только в конце 80-х годов был выявлен фактор природной среды, в такой же мере характерный для высоких широт, как и холод. Этот фактор – низкое абсолютное содержание водяных паров в атмосфере [21, 22]. Известно, что при сильном морозе влага вымерзает. На этом основана сушка белья на холоде. Среднегодовое абсолютное содержание влаги в атмосферном воздухе приполярных областей ниже, чем в воздухе пустынь. В районах холодного климата низкая абсолютная влажность характерна не только для открытого пространства, но и для жилых, служебных и производственных помещений, т. е. сухость воздуха является постоянным фактором среды обитания в зимний период [23]. Изменение функции внешнего дыхания характерно как для коренного населения Севера, так и для переселенцев. Коэффициент использования кислорода (КИО₂), отражающий количество миллилитров кислорода, потребляемого организмом из каждого литра воздуха, поступающего в легкие, у практически здоровых лиц, проживающих на Севере, низкий – меньше 35 [24].

Для понимания механизма адаптационных изменений в легких важны результаты исследований, проведенных И.И. Деденко и Б.В. Устюшиным в Институте гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана (ныне Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана) [25, 26]. Они показали, что 8-часовое пребывание здоровых добровольцев в комфортных температурных условиях (+20 °С), но при сниженной абсолютной влажности воздуха до значений, характерных для регионов Крайнего Севера (2 г/м³), вызы-

вает увеличение кровенаполнения легких и повышение сосудистого тонуса. В условиях проводимого эксперимента причина выявленных изменений могла заключаться только в потере влаги в альвеолах. Результаты исследований позволили авторам определить физиологически оптимальную и допустимую величину абсолютной влажности вдыхаемого воздуха: 9,6 и 5,7 г/м³ соответственно.

При изучении влияния холода в климатической камере В.С. Кощев [27] обнаружил, что при температуре воздуха 10 °С и его влажности 60 % КИО₂ в покое составлял от 40 до 42 мл/л в течение 4 ч. При температуре –20 °С, влажности воздуха 70 % и его подвижности 0,2 м/с КИО₂ в покое возрастал от 42 до 45–48 через 1-2 ч, а при работе – до 50–54 мл/л. При температуре воздуха –40 °С, его влажности 75 % и подвижности 0,5 м/с КИО₂ в покое в течение 1 ч колебался в пределах 43–40, а при работе – 51–53 мл/л. Из этих данных следует, что КИО₂ на холоде как в покое, так и при работе не снижается, если воздух имеет влажность в пределах гигиенических норм. Иными словами, на КИО₂ влияет не холод сам по себе, а сочетание отрицательной температуры воздуха и низкой его влажности.

Увлажнение вдыхаемого воздуха в основном происходит в полости носа за счет насыщения его влагой, покрывающей слизистую оболочку. Достаточная влажность воздуха необходима для оптимального функционирования мерцательного эпителия трахеи и бронхов, а также дыхательной поверхности альвеол. Дегидратация слизистого слоя, покрывающего реснички, увеличивает вязкость секрета, что снижает активность мерцательного эпителия. В средней полосе России для увлажнения вдыхаемого воздуха за сутки со слизистой оболочки носа здорового человека испаряется порядка 500 мл воды. На Севере в условиях чрезмерно низкого содержания влаги в воздухе происходит повышение влагопотерь с поверхности как верхних дыхательных путей, так и легких. Суточные потери воды с выдыхаемым воздухом достигают 1500 мл. Теплопотери испарением с

поверхности легких составляют 42 % всех теплотерь организма за счет испарения, вместо типичных для средней полосы 30 % [23, 28, 29].

В нагревании и увлажнении вдыхаемого воздуха принимает участие и ротовая полость. Однако при отсутствии носового дыхания ротовая полость не может обеспечить его полноценное кондиционирование.

В связи с повышением потерь влаги через легкие и кожу у полярников происходит сокращение диуреза в среднем до 600 мл/сут, тогда как у жителей умеренной климатической зоны объем диуреза колеблется от 1200 до 1600 мл/сут. Одновременно наблюдается увеличение водопотребления, получившее название «жажда Севера» [23]. Количество жидкости, потребляемой участниками высокоширотных экспедиций, повышается до 2500 мл/сут, что примерно в 1,5 раза больше, чем средний уровень водопотребления у населения, проживающего в зоне умеренного климата, – 1800 мл/сут [17]. Повышенная потеря влаги через органы дыхания обуславливает большее выведение водорастворимых соединений. Так, при профилактике кариеса путем фторирования воды на Севере требуются более высокие концентрации соединений фтора в ней. Дефицит водорастворимого витамина С в организме связан не только с более низким его содержанием в пищевых продуктах, но и с ускоренным выведением его с влагой выдыхаемого воздуха [30].

Каким образом сухой воздух ухудшает условия газообмена в легких, до последнего времени оставалось не доказанным. Движение через клеточные мембраны воды, а также растворенных в ней газов: кислорода и диоксида углерода – осуществляется путем диффузии в направлении меньшей концентрации. Возможности регулирования этого физического процесса у организма крайне ограничены. Вместе с тем направление этих диффузионных потоков в альвеолярной области легких в условиях высоких широт прямо противоположное. Вода из легочных капилляров просачивается на поверхность слизистой оболочки альвеол, а

физически растворенный в ней кислород с поверхности альвеол перемещается в легочные капилляры. Указанная встречная диффузия, в конечном счете, снижает скорость перемещения кислорода через клеточную мембрану. Тем самым понижается диффузионная способность альвеолярной поверхности по отношению к кислороду и КИО_2 . Наоборот, однонаправленная диффузия воды и диоксида углерода усиливает гипокапнию. В разнонаправленной диффузии воды и кислорода в альвеолярно-клеточной мембране и заключается скрытая молекулярная первопричина характерного для Крайнего Севера ухудшения газообменной функции легких – развития гипоксемии и гипокапнии [28, 29].

В физиологии и клинической медицине исследуется дыхание при повышенном и пониженном атмосферном давлении. Для нашей страны не менее актуальным является изучение дыхания при пониженной абсолютной влажности воздуха в условиях нормального атмосферного давления. Необходима оценка изменений функции внешнего дыхания у больных и здоровых лиц, проживающих на Крайнем Севере, с учетом уровня как гипоксемии, так и гипокапнии, снижающей чувствительность дыхательного центра. Постоянный усиленный интерстициальный отек со временем приводит к развитию фиброзных изменений и понижению функции в нижних и базальных отделах легких. Лица с подобными изменениями органов дыхания должны подлежать переводу с работы на наружном воздухе. Длительная гипоксемия, усиливающаяся в холодное время года, повышает уровень свободно-радикальных процессов [24]. Компенсаторно возрастает утилизация антиоксидантов в организме, в частности витаминов С и Е [28].

Большие физические перегрузки, курение, простуда вызывают нарастание гипоксемии и усиление патологических изменений легочной ткани. Это, в свою очередь, обуславливает частое возникновение и тяжелое течение острых и хронических заболеваний органов дыхания на Крайнем Севере.

Большие контингенты работающих и военнослужащих в Заполярье испытывают одновременно несколько видов напряжения: рабочее (вахтовое), климатическое (полярное) и хронофизиологическое (при перемещении через несколько временных поясов) [31]. Все это не может не отразиться на функциональном состоянии организма человека, его работоспособности (боеспособности), уровне здоровья и продолжительности активной жизни. В высоких широтах повышен уровень заболеваемости с временной нетрудоспособностью, а также профессиональной заболеваемости и производственного травматизма [31, 32]. На Крайнем Севере по сравнению со средней полосой России отмечается более высокий уровень смертности [33]. Сообщается об ускоренной возрастной инволюции некоторых физиологических функций у мужчин в Заполярье [34]. Стоит отметить, что живущие на Крайнем Севере народности завоевали право на жизнь дорогой ценой (высокая детская смертность, многочисленные эндемические болезни, генетические аномалии, существенное сокращение продолжительности жизни и пр.). Так, в заполярной части Канады коренные жители (инуиты) живут в среднем на 10 лет короче, чем жители Канады [35]. У жителей ледяного острова Гренландии (территория Дании) продолжительность жизни также в среднем на 10 лет короче, чем у жителей Дании⁵.

При освоении заполярных территорий в научных, производственных и оборонных целях широко используется вахтовый метод работы и службы. Но вахтовый и вахтово-экспедиционный методы организации труда имеют свои недостатки в связи с неблагоприятным влиянием межрегиональных перемещений людей на их здоровье [36]. Наиболее трудным для лиц, прибывающих в Заполярье, является первый год. Умеренная физическая нагрузка и закаливание облегчают процесс адаптации к работе и жизни

на Крайнем Севере. Для человека трудны как адаптация, так и реадаптация [31].

Система физиологического нормирования труда в заполярных регионах должна учитывать, что с увеличением широты проживания в пределах Севера отмечается замедление сенсорных реакций, снижается способность переносить гипоксемию и возрастает длительность процесса восстановления в системе кровообращения после физических нагрузок [37].

Практическая регламентация труда на физиологической основе должна касаться многих сторон нормирования. Надо совершенствовать систему профотбора для работы и службы в высоких широтах. В настоящее время в большинстве случаев отсутствует должный психофизиологический отбор, а существующий медицинский отбор не всегда эффективен.

Для работающих и служащих в высоких широтах предлагаются временные скорректированные физиологические нормы напряжения организма при физическом труде (см. таблицу). Дополнительно вводится такой физиологический показатель напряжения организма, как потребление кислорода. В Заполярье в особенно морозные дни даже при соблюдении норматива по минутному объему дыхания из-за снижения КИО₂ может возникать дефицит кислорода в организме. Поэтому в таких ситуациях в качестве лимитирующего критерия напряжения организма следует использовать показатель потребления кислорода. Вводятся поправки в нормативы при удлинённом рабочем дне.

Для полярников требуется корректировка законодательно установленных допустимых значений ряда факторов производственной среды. В осенне-зимний период уровни освещённости на рабочих местах должны быть выше, чем в средней полосе. Предельно допустимые концентрации аэрозолей и токсических газов в рабочей зоне следует пересмотреть в сторону снижения. Режимы труда

⁵Health Statistics in the Nordic Countries 2015. URL: <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:874109/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 21.01.2017).

**ВРЕМЕННЫЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ
ФИЗИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ТРУДЕ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ**

Показатели при разных видах работ	Предельно допустимые значения при продолжительности работы, ч				Оптimum при продол- жительности работы 7–8 ч
	1; 2	3; 4	5; 6	7–8	
Частота сердечных сокращений, уд./мин:					
общая	130	120	110	100	85–95
региональная	120	110	100	90	75–85
локальная	100	95	90	85	75–82
Энерготраты, ккал/мин:					
общая	9,0	7,5	6,0	4,2	1,8–3,5
региональная	6,0	4,2	3,5	2,8	1,7–2,5
локальная	2,8	2,5	2,1	1,7	1,2–1,5
Потребление кислорода, мл/мин:					
общая	2000	1500	1200	840	420–630
региональная	1120	840	700	560	340–500
локальная	630	500	420	340	240–280
Минутный объем дыхания, л:					
общая	40	30	24	18	10–15
региональная	28	21	18	14	9–13
локальная	15	12	10	9	7–8
Кожно-легочные влагопотери, г/ч	800	600	420	250	70–210
Снижение статической выносливости при усилии в 0,75 максимальной силы мышц, %	5	10	15	20	5–10

Примечания: 1. Продолжительность работы 1, 3, 5 ч принимается для женщин, 2, 4, 6 ч – для мужчин, 7–8 ч – для тех и других. 2. Значения частоты сердечных сокращений при общей работе следует принимать на 5 уд./мин ниже для лиц старше 30 лет и на 10 уд./мин ниже для лиц старше 40 лет. При региональной и локальной работах соответствующие для указанных возрастных групп поправки составляют 3 и 7 уд./мин. 3. Энерготраты, потребление кислорода, минутный объем дыхания и влагопотери даны для людей массой 70 кг. Для приведения полученных данных к этой величине их надо разделить на среднюю массу тела в обследованной группе и умножить на 70. 4. При укороченном рабочем дне допустимы более высокие значения оптимального напряжения, однако в пределах 8-часового отрезка времени с учетом соответствующего послерабочего периода отдыха указанные значения не должны превышать. 5. При вахтовых графиках и удлинённом рабочем дне (до 10–12 ч) предельно допустимые среднерабочие значения не должны превышать максимальных величин оптимума, а оптимальные значения должны быть не выше медианы оптимального диапазона.

и отдыха при работах с физическими нагрузками в Заполярье должны предусматривать более длительные паузы для отдыха, чем это предусмотрено существующими рекомендациями физиологов труда [38].

Для всех работающих в Заполярье оправдано увеличение нормы питания и жилплощади, а также соответствующий социальный

пакет. В холодный и переходный сезоны года следует бесплатно обеспечивать работников поливитаминами или витаминно-минеральными комплексами.

Программа разработки научного обоснования режима адаптации военнослужащих к условиям Арктики должна состоять из трех частей:

а) экспериментальной, посвященной проверке норматива минимального содержания влаги во вдыхаемом воздухе, как положено, на четырех группах населения (мужчинах, женщинах, детях и пенсионерах), а также величины потери организмом антиоксидантов и фтора;

б) экспедиционной, посвященной изучению изменения физиологических параметров напряжения при физическом труде как у приезжих, так и у коренного населения, а также

особенностей осуществления медицинской помощи, включая диспансеризацию населения;

в) аналитической, посвященной изучению многолетних метеонаблюдений на Севере, для определения времени оповещения населения данной местности о достижении предельно допустимой величины содержания влаги в атмосферном воздухе, требующем начала ее регулирования в помещении и использования специальной одежды с длинношерстным мехом в зоне дыхания и др.

Список литературы

1. Musculoskeletal Disorders and the Workplace: Low Back and Upper Extremities. Washington, 2001.
2. Kim E.-A., Nakata M. Work-Related Musculoskeletal Disorders in Korea and Japan: A Comparative Description // Ann. Occup. Environ. Med. 2014. Vol. 26, № 17.
3. Величковский Б.Т., Солонин Ю.Г. Физиолого-гигиенические основы регламентации трудовых нагрузок // Проблемы оценки функциональных возможностей человека и прогнозирование здоровья: тез. докл. Всесоюз. конф. М., 1985. С. 88.
4. Медведев В.И. Теоретические проблемы физиологии труда // Физиология человека. 1975. Т. 1, № 1. С. 27–35.
5. Решетюк А.Л. Принципы физиологического нормирования труда // Гигиена и санитария. 1981. № 1. С. 53–56.
6. Розенблат В.В. Человеческий фактор и нормирование труда // Медицина труда и пром. экология. 1994. № 11. С. 13–17.
7. Смирнов К.М. Напряженность труда // Успехи физиол. наук. 1984. Т. 15, № 1. С. 76–99.
8. Медведев В.И. Проблемы физиологического нормирования // Физиологическое нормирование в трудовой деятельности / под ред. В.И. Медведева. Л., 1988. С. 3–17.
9. Розенблат В.В., Солонин Ю.Г. Принципы физиологического нормирования тяжелого труда на основе пульсометрии // Функции организма в процессе труда: сб. науч. тр. М., 1975. С. 31–50.
10. Солонин Ю.Г. Физиологические подходы к нормированию напряжения организма при труде // Физиология человека. 1991. Т. 17, № 2. С. 141–146.
11. Матюхин В.В., Елизарова В.В., Шардакова Э.Ф., Ямпольская Е.Г. Факторы риска в развитии функциональных нарушений у работников физического труда // Медицина труда и пром. экология. 2009. № 6. С. 1–5.
12. Солонин Ю.Г., Чечулин В.К. Физическое напряжение при труде и заболеваемость рабочих // Гигиена труда и профзаболевания. 1983. № 3. С. 33–36.
13. Кандрор И.С. Очерки по физиологии и гигиене человека на Крайнем Севере. М., 1968. 280 с.
14. Авцын А.П. Введение в географическую патологию. М., 1972. 328 с.
15. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Марачев А.Г., Милованов А.П. Патология человека на Севере. М., 1985. 415 с.
16. Милованов А.П. Адаптация малого круга кровообращения человека в условиях Севера. Новосибирск, 1981. 172 с.
17. Бобров Н.И., Ломов О.П., Тихомиров В.П. Физиолого-гигиенические основы акклиматизации человека на Крайнем Севере. Л., 1979. 184 с.
18. Ким Л.Б. Транспорт кислорода при адаптации человека к условиям Арктики и кардиореспираторной патологии. Новосибирск, 2015. 216 с.

19. Казначеев В.П. Современные аспекты адаптации. Новосибирск, 1980. 192 с.
20. Авцын А.П., Марачев А.Г., Матвеев Л.Н. Циркумпольярный гипоксический синдром // Вестн. АМН СССР. 1979. № 6. С. 32–39.
21. Деденко И.И. Изучение теплообмена человека на Крайнем Севере в различных микроклиматических производственных условиях // Гигиена и санитария. 1979. № 3. С. 75–78.
22. Устюшин Б.В., Деденко И.И. Особенности обеспечения гомеостаза организма человека на Крайнем Севере // Вестн. АМН СССР. 1992. № 1. С. 6–10.
23. Чащин В.П., Деденко И.И. Труд и здоровье человека на Севере. Мурманск, 1990. 104 с.
24. Величковский Б.Т. Экологическая пульмонология (роль свободно-радикальных процессов). Екатеринбург, 2003. 141 с.
25. Деденко И.И., Устюшин Б.В., Лыткин Б.Г., Иванова Т.Л., Шушкова Т.С. Гигиена микроклимата и физиология теплообмена в процессе труда на Крайнем Севере. М., 1983. 64 с.
26. Устюшин Б.В. Физиолого-гигиенические аспекты труда человека на открытых территориях Крайнего Севера // Медицина труда и пром. экология. 1994. № 12. С. 10–14.
27. Коцеев В.С. Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека от холода. М., 1981. 288 с.
28. Величковский Б.Т. Молекулярные механизмы нарушения газообменной функции легких на Крайнем Севере // Пульмонология. 2005. № 4. С. 61–64.
29. Величковский Б.Т. Причины и механизмы снижения коэффициента использования кислорода в легких человека на Крайнем Севере // Биосфера. 2009. Т. 1, № 2. С. 213–217.
30. Чащин В.П., Величковский Б.Т. Взаимодействие организма и вредных веществ в условиях холода // Вестн. АМН СССР. 1989. № 9. С. 21–26.
31. Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р. Медико-физиологические аспекты жизнедеятельности в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2015. № 1(17). С. 70–75.
32. Чащин В.П., Гудков А.Б., Попова О.Н., Одланд Ю.О., Ковшов А.А. Характеристика основных факторов риска нарушения здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // Экология человека. 2014. № 1. С. 3–12.
33. Хаснулин В.И. Введение в полярную медицину. Новосибирск, 1998. 337 с.
34. Solonin Yu.G., Boiko E.R., Markov A.L. Age-Related Dynamics of Functional Parameters in Men in the Polar Region // *Advances in Gerontology*. 2014. Vol. 4, № 3. P. 201–204.
35. Choinière R. Mortality Among the Baffin Inuit in the Mid-80s // *Arctic Med. Res.* 1992. Vol. 51, № 2. P. 87–93.
36. Кривошецов С.Г., Охотников С.В. Производственные миграции и здоровье человека на Севере. М.; Новосибирск, 2000. 118 с.
37. Солонин Ю.Г. Широкие особенности физиологических функций у жителей Севера // Физиология человека. 1994. Т. 20, № 6. С. 137–143.
38. Межотраслевые рекомендации по разработке рациональных режимов труда и отдыха. М., 1975. 134 с.

References

1. *Musculoskeletal Disorders and the Workplace: Low Back and Upper Extremities*. Washington, 2001.
2. Kim E.-A., Nakata M. Work-Related Musculoskeletal Disorders in Korea and Japan: A Comparative Description. *Ann. Occup. Environ. Med.*, 2014, vol. 26, no. 17.
3. Velichkovskiy B.T., Solonin Yu.G. Fiziologo-gigienicheskie osnovy reglamentatsii trudovykh nagruzok [Physiological and Hygienic Bases of Workload Regulation]. *Problemy otsenki funktsional'nykh vozmozhnostey cheloveka i prognozirovanie zdorov'ya: tez. dokl. Vsesoyuz. konf.* [Assessment of Human Functional Capacity, and Health Prognosis: Outl. Rep. All-Union Conf.]. Moscow, 1985, p. 88.
4. Medvedev V.I. Teoreticheskie problemy fiziologii truda [Theoretical Problems of Occupational Physiology]. *Fiziologiya cheloveka*, 1975, vol. 1, no. 1, pp. 27–35.
5. Reshetyuk A.L. Printsipy fiziologicheskogo normirovaniya truda [The Principles of Physiological Work Standardization]. *Gigiena i sanitariya*, 1981, no. 1, pp. 53–56.

6. Rozenblat V.V. Chelovecheskiy faktor i normirovanie truda [Human Factor and Work Standardization]. *Medsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 1994, no. 11, pp. 13–17.
7. Smirnov K.M. Napryazhennost' truda [Work Intensity]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*, 1984, vol. 15, no. 1, pp. 76–99.
8. Medvedev V.I. Problemy fiziologicheskogo normirovaniya [Physiological Standardization]. *Fiziologicheskoe normirovanie v trudovoy deyatel'nosti* [Physiological Standardization in Work Activities]. Leningrad, 1988, pp. 3–17.
9. Rozenblat V.V., Solonin Yu.G. Printsipy fiziologicheskogo normirovaniya tyazhelogo truda na osnove pul'sometrii [Principles of Physiological Standardization of Hard Work Based on Pulsometry]. *Funktsii organizma v protsesse truda* [Body Functions During Work]. Moscow, 1975, pp. 31–50.
10. Solonin Yu.G. Fiziologicheskie podkhody k normirovaniyu napryazheniya organizma pri trude [Physiological Approaches to Standardization of Body Stress at Work]. *Fiziologiya cheloveka*, 1991, vol. 17, no. 2, pp. 141–146.
11. Matyukhin V.V., Elizarova V.V., Shardakova E.F., Yampol'skaya E.G. Faktory riska v razvitiy funktsional'nykh narusheniy u rabotnikov fizicheskogo truda [Risk Factors of Functional Disorders in Manual Workers]. *Medsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2009, no. 6, pp. 1–5.
12. Solonin Yu.G., Chechulin V.K. Fizicheskoe napryazhenie pri trude i zabelevaemost' rabochikh [Physical Stress at Work and Morbidity Among Manual Workers]. *Gigiena truda i profzabolevaniya*, 1983, no. 3, pp. 33–36.
13. Kandror I.S. *Ocherki po fiziologii i gigiene cheloveka na Kraynem Severe* [Essays on Human Physiology and Hygiene in the Far North]. Moscow, 1968. 280 p.
14. Avtsyn A.P. *Vvedenie v geograficheskuyu patologiyu* [Introduction to Geographic Pathology]. Moscow, 1972. 328 p.
15. Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Marachev A.G., Milovanov A.P. *Patologiya cheloveka na Severe* [Human Pathology in the North]. Moscow, 1985. 415 p.
16. Milovanov A.P. *Adaptatsiya malogo kruga krovoobrashcheniya cheloveka v usloviyakh Severa* [Adaptation of Human Pulmonary Circulation in the North]. Novosibirsk, 1981. 172 p.
17. Bobrov N.I., Lomov O.P., Tikhomirov V.P. *Fiziologo-gigienicheskie osnovy akklimatizatsii cheloveka na Kraynem Severe* [Physiological and Hygienic Bases of Human Acclimatization in the Far North]. Leningrad, 1979. 184 p.
18. Kim L.B. *Transport kisloroda pri adaptatsii cheloveka k usloviyam Arktiki i kardiorespiratornoy patologii* [Oxygen Transport at Human Adaptation to the Arctic and Cardiorespiratory Disease]. Novosibirsk, 2015. 216 p.
19. Kaznacheev V.P. *Sovremennye aspekty adaptatsii* [Current Aspects of Adaptation]. Novosibirsk, 1980. 192 p.
20. Avtsyn A.P., Marachev A.G., Matveev L.N. Tsirkumpolyarnyy gipoksicheskiy sindrom [Circumpolar Hypoxic Syndrome]. *Vestnik AMN SSSR*, 1979, no. 6, pp. 32–39.
21. Dedenko I.I. Izuchenie teploobmena cheloveka na Kraynem Severe v razlichnykh mikroklimaticheskikh proizvodstvennykh usloviyakh [The Study of Human Heat Transfer in the Far North in Various Microclimatic Working Environments]. *Gigiena i sanitariya*, 1979, no. 3, pp. 75–78.
22. Ustyushin B.V., Dedenko I.I. Osobennosti obespecheniya gomeostaza organizma cheloveka na Kraynem Severe [Peculiarities of Human Homeostasis in the Far North]. *Vestnik AMN SSSR*, 1992, no. 1, pp. 6–10.
23. Chashchin V.P., Dedenko I.I. *Trud i zdorov'ye cheloveka na Severe* [Work and Human Health in the North]. Murmansk, 1990. 104 p.
24. Velichkovskiy B.T. *Ekologicheskaya pul'monologiya (rol' svobodno-radikal'nykh protsessov)* [Environmental Pulmonology (the Role of Free-Radical Processes)]. Yekaterinburg, 2003. 141 p.
25. Dedenko I.I., Ustyushin B.V., Lytkin B.G., Ivanova T.L., Shushkova T.S. *Gigiena mikroklimata i fiziologiya teploobmena v protsesse truda na Kraynem Severe* [Microclimatic Hygiene and Physiology of Heat Transfer During Work in the Far North]. Moscow, 1983. 64 p.
26. Ustyushin B.V. Fiziologo-gigienicheskie aspekty truda cheloveka na otkrytykh territoriyakh Kraynego Severa [Physiological and Hygienic Aspects of Human Work in Open Areas of the Far North]. *Medsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 1994, no. 12, pp. 10–14.
27. Koshcheev V.S. *Fiziologiya i gigiena individual'noy zashchity cheloveka ot kholoda* [Physiology and Hygiene of Personal Protection from the Cold]. Moscow, 1981. 288 p.

28. Velichkovskiy B.T. Molekulyarnye mekhanizmy narusheniya gazoobmennoy funktsii legkikh na Kraynem Severe [Molecular Mechanisms of Gas Exchange Disorders in the Lung in the Extreme North]. *Pul'monologiya*, 2005, no. 4, pp. 61–64.
29. Velichkovskiy B.T. Prichiny i mekhanizmy snizheniya koeffitsienta ispol'zovaniya kisloroda v legkikh cheloveka na Kraynem Severe [Causes and Mechanisms of Decreased Oxygen Utilization Coefficient in Human Lungs in the Extreme North]. *Biosfera*, 2009, vol. 1, no. 2, pp. 213–217.
30. Chashchin V.P., Velichkovskiy B.T. Vzaimodeystvie organizma i vrednykh veshchestv v usloviyakh kholoda [The Interaction of the Human Body with Harmful Substances in Cold Conditions]. *Vestnik AMN SSSR*, 1989, no. 9, pp. 21–26.
31. Solonin Yu.G., Boyko E.R. Mediko-fiziologicheskie aspekty zhiznedeyatel'nosti v Arktike [Medical and Physiological Aspects of Vital Activity in the Arctic]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, no. 1, pp. 70–75.
32. Chashchin V.P., Gudkov A.B., Popova O.N., Odland J.Ö., Kovshov A.A. Kharakteristika osnovnykh faktorov riska narusheniya zdorov'ya naseleniya, prozhivayushchego na territoriyakh aktivnogo prirodopol'zovaniya v Arktike [Description of Main Health Deterioration Risk Factors for Population Living on Territories of Active Natural Management in the Arctic]. *Ekologiya cheloveka*, 2014, no. 1, pp. 3–12.
33. Khasnulin V.I. *Vvedenie v polyarnuyu meditsinu* [Introduction to Polar Medicine]. Novosibirsk, 1998. 337 p.
34. Solonin Yu.G., Boiko E.R., Markov A.L. Age-Related Dynamics of Functional Parameters in Men in the Polar Region. *Adv. Gerontol.*, 2014, vol. 4, no. 3, pp. 201–204.
35. Choinière R. Mortality Among the Baffin Inuit in the Mid-80s. *Arctic Med. Res.*, 1992, vol. 51, no. 2, pp. 87–93.
36. Krivoshchekov S.G., Okhotnikov S.V. *Proizvodstvennyye migratsii i zdorov'e cheloveka na Severe* [Work Migration and Human Health in the North]. Moscow, Novosibirsk, 2000. 118 p.
37. Solonin Yu.G. Shirotnye osobennosti fiziologicheskikh funktsiy u zhiteley Severa [Latitude-Related Peculiarities of Physiological Functions in Northerners]. *Fiziologiya cheloveka*, 1994, vol. 20, no. 6, pp. 137–143.
38. *Mezhotraslevye rekomendatsii po razrabotke ratsional'nykh rezhimov truda i otdykha* [Cross-Sectoral Recommendations for the Development of Rational Work and Rest Modes]. Moscow, 1975. 134 p.

DOI: 10.17238/issn2542-1298.2017.5.1.25

Yuriy G. Solonin*, Evgeniy R. Boyko*, Boris T. Velichkovskiy**

*Institute of Physiology, Komi Science Centre, Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences (Syktyvkar, Russian Federation)

**N.I. Pirogov Russian National Research Medical University
(Moscow, Russian Federation)

PHYSIOLOGICAL STRESS STANDARDS AT MANUAL LABOUR IN HIGH LATITUDES

In this work we studied existing problems in establishing physiological stress standards at intense manual labour in high latitudes. We analysed literature data on the effects of environmental and climatic factors of the Far North on human health. Many work tasks require additional energy expenditures when performed outdoors. People working in the Far North develop specific adaptive changes in their respiratory system, accompanied by dyspnea, which indicates a higher physiological cost of work. Special focus was given to air humidity during cold days. In circumpolar regions, absolute air humidity is low not

only outdoors, but also indoors (both in workrooms and dwellings). It is known that breathing overdry air decreases permeability of the blood-air barrier. Water from the lung capillary blood permeates the surface of alveolar mucosa, while oxygen dissolved in this water moves back into the lung capillaries. Counter diffusion reduces the diffusion rate of oxygen through biological membranes. We suggest that this counter diffusion of water and oxygen through the alveolar-capillary membrane is the main reason for the observed ventilation decrease in the residents of the Far North, resulting in hypoxaemia and hypocapnia. In this paper, we suggest time standards for intense physical labour in high latitudes. In addition, we provide physiological and hygienic recommendations and propose a programme for the development of a scientifically substantiated adaptation regimen for the enlisted personnel in the Arctic zone. In our opinion, further improvements are required in the system of occupational selection for work and service in high latitudes. We also believe that corrections are needed in the existing permitted values for certain workplace factors, work and rest schedules, as well as nutrition and housing standards.

Keywords: *manual labour in high latitudes, physiological stress standards, respiratory adaptation to the dry air, workers' health.*

Поступила 10.08.2016
Received 10 August 2016

Corresponding author: Yuriy Solonin, *address:* ul. Pervomayskaya 50, Syktyvkar, 167982, Russian Federation; *e-mail:* solonin@physiol.komisc.ru

For citation: Solonin Yu.G., Boyko E.R., Velichkovskiy B.T. Physiological Stress Standards at Manual Labour in High Latitudes. *Journal of Medical and Biological Research*, 2017, vol. 5, no. 1, pp. 25–36. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2017.5.1.25