



Бухтияров И.В.^{1,4}, Шестопалов Н.В.², Винников Д.В.³, Глухов Д.В.¹, Почтарева Е.С.¹, Джергения С.Л.⁴

Состояние и перспективы гигиенического нормирования производственной среды с пониженным содержанием кислорода (обзор литературы)

¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», 105275, Москва, Россия;

²ФБУН «Научно-исследовательский институт дезинфектологии» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 117246, Москва, Россия;

³Казахский национальный университет имени аль-Фараби; 050038, Алматы, Республика Казахстан;

⁴ФГАОУ ВО «Первый московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)», 105275, Москва, Россия

Работа посвящена вопросам физиолого-гигиенических основ безопасности деятельности в изменённых условиях газовой среды, а также характеристикам основных медицинских мероприятий по обеспечению безопасности персонала при работе в условиях гипоксической газовой среды, анализу отечественных и зарубежных данных, изучению условий труда в среде обитания при пониженной концентрации кислорода в воздухе. Проводились исследования помещений с различными технологическими процессами, имеющими изменённую газовую среду, пониженную концентрацию кислорода при выполнении работниками различных операций, оценивалось состояние здоровья работников в зависимости от времени нахождения в изменённой газовой среде и процентного содержания кислорода. Проведён поиск литературы по базам данных Scopus, Web of Science, MedLine, The Cochrane Library, EMBASE, Global Health, CyberLeninka, RИИИ. В результате проведённой работы сформулированы предложения по проекту санитарных правил и нормативов, которые необходимы для установления санитарно-эпидемиологических требований к среде обитания при пониженной концентрации кислорода в воздухе, а также к организации контроля, методам измерения компонентов воздушной среды на рабочих местах и мерам профилактики вредного воздействия на здоровье работающих, распространяющихся на условия труда в среде обитания для всех помещений при пониженной концентрации кислорода в воздухе.

Ключевые слова: изменённая газовая среда; пониженная концентрация кислорода; условия труда; гипоксия; компенсаторные механизмы; адаптационные процессы; обзор

Для цитирования: Бухтияров И.В., Шестопалов Н.В., Винников Д.В., Глухов Д.В., Почтарева Е.С., Джергения С.Л. Состояние и перспективы гигиенического нормирования производственной среды с пониженным содержанием кислорода (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (6): 594-597. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-6-594-597>

Для корреспонденции: Глухов Дмитрий Валерьевич, доктор мед. наук, доцент, вед. науч. сотр. лаб. физиологии труда и профилактической эргономики ФГБНУ «НИИ медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», 105275, Москва. E-mail: d.gluhov@iriioh.ru

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов: Бухтияров И.В., Шестопалов Н.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Винников Д.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста; Глухов Д.В., Почтарева Е.С. — сбор и обработка материала, написание текста; Джергения С.Л. — сбор данных литературы. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила 23.12.2020 / Принята к печати 10.03.2021 / Опубликована 28.06.2021

Igor V. Bukhtiyarov^{1,4}, Nikolay V. Shestopalov², Denis V. Vinnikov³, Dmitry V. Glukhov¹, Elena S. Pochtareva¹, Svetlana L. Dgergeniya⁴

State and prospects of hygienic regulation of the production environment with a reduced oxygen content (literature review)

¹Academician Izmerov Research Institute of Medicine of Labor, Moscow, 105275, Russian Federation;

²Research Institute of Disinfectology, Moscow, 117246, Russian Federation;

³Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050038, Republic of Kazakhstan;

⁴Department of occupational medicine, aviation, space and diving medicine of the Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, 105275, Russian Federation

The work is devoted to the physiological and hygienic foundations of the safety of activities in the conditions of the changed gas environment and characteristics of the main medical measures for the employees' protection in a hypoxic environment, the analysis of domestic and foreign data, the study of working conditions in the environment with the reduced oxygen concentration in the air. Investigations were carried out on premises with various technological processes, a changing environment, and a reduced oxygen concentration when employees perform multiple operations. The health status of workers was assessed depending on the time spent in the changed gas environment and the percentage of oxygen. Having analyzed the regulatory documents currently existing in the Russian Federation on the assessment and control of production factors, working conditions in confined spaces with a low oxygen concentration in the air, air environment to maintain health, high performance, and prevent diseases, experts concluded that it is necessary to develop Sanitary Rules and Norms, SanPiN "Sanitary and Epidemiological Requirements for Habitability (Stay) in Confined Spaces with a Low Oxygen Concentration in the Air" because currently there is no document existing specifically on this issue. The literature was searched in the databases Scopus, Web of Science, MedLine, The Cochrane Library, EMBASE, Global Health, CyberLeninka, RSCI. There were prepared draft sanitary plans and standards "Sanitary and epidemiological requirements for the environment with a reduced concentration of

oxygen in the air," which establish sanitary and epidemiological requirements for the environment with a reduced concentration of oxygen in the air, as well as for the organization of control, methods measurements of air components at workplaces and measures to prevent harmful effects on the health of workers. They apply to work conditions in the living environment for all premises with a reduced oxygen concentration in the air.

Keywords: modified gas environment; reduced oxygen concentration; working conditions; hypoxia; compensatory mechanisms; adaptation processes; review

For citation: Bukhtiyarov I.V., Shestopalov N.V., Vinnikov D.V., Glukhov D.V., Pochtareva E.S., Dgergeniya S.L. State and prospects of hygienic regulation of the production environment with a reduced oxygen content (literature review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100 (6): 594-597. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-6-594-597> (In Russ.)

For correspondence: Dmitry V. Glukhov, Leading researcher of the laboratory of occupational physiology and preventive ergonomics, Academician Izmerov Research Institute of Medicine of Labor, Academician Izmerov, Moscow, 105275, Russian Federation. E-mail: d.gluhov@iri.oh.ru

Information about the authors:

Bukhtiyarov I.V., <https://orcid.org/0000-0002-8317-2718>; Shestopalov N.V., <https://orcid.org/0000-0002-9973-3508>; Vinnikov D.V., <https://orcid.org/0000-0003-0991-6237>; Glukhov D.V., <https://orcid.org/0000-0001-5704-0650>; Pochtareva E.S., <https://orcid.org/0000-0002-6493-502X>; Dgergeniya S.L., <https://orcid.org/0000-0003-3017-9251>

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution of the authors: Bukhtiyarov I.V., Shestopalov N.V. – the concept and design of the study, editing; Vinnikov D.V. – the concept and design of the study, the collection and processing of the material, writing a text; Glukhov D.V., Pochtareva E.S. – the collection and processing of the material, writing a text; Dgergeniya S.L. – collection of literature data. All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Received: December 23, 2020 / Accepted: March 3, 2021 / Published: June 28, 2021

Проблема влияния окружающей среды на здоровье работающих является одной из актуальных в медицине труда. Атмосферный воздух более чем другие природные объекты в силу присущих ему свойств связан с жизненными интересами людей, его качество непосредственно влияет на здоровье человека, продолжительность жизни, а также на качественное состояние других элементов окружающей среды. В то же время атмосферный воздух и, в частности, с различной концентрацией кислорода является одним из жизненно важных факторов, определяющих деятельность различных специалистов в производственной среде. При этом остаётся открытым вопрос отнесения пониженной концентрации кислорода к одному из имеющихся факторов рабочей среды (химического или физического) либо выделения ее в отдельный фактор.

Работа в условиях изменённой газовой среды с пониженным содержанием кислорода относится к числу специальных видов деятельности и требует, с одной стороны, хороших знаний медицинских аспектов влияния недостатка кислорода на организм, а с другой – строгого выполнения правил безопасной работы. Более того, длительная экспозиция к гипоксии также требует проведения комплексной профилактики нарушений со стороны различных органов и систем.

В условиях пониженного содержания кислорода приходится работать газоспасательному, лётно-подъёмному персоналу воздушных сил как военного, так и гражданского назначения и всё возрастающим контингентам работающих, занятых добычей полезных ископаемых и другими работами (прокладка железных и шоссейных дорог) в горных местностях. При работах в горных местностях и при полётах на больших высотах наиболее характерным фактором является уменьшение парциального давления кислорода, то есть гипобарическая гипоксия. Однако негативное воздействие высокогорья не ограничивается лишь таким видом гипоксии, так как в этих условиях немаловажное значение могут иметь арктический климат (низкие температуры воздуха) и низкая относительная влажность воздуха. Также при работе водолазов под водой и во время пребывания под избыточным давлением в барокамере воздействует комплекс неблагоприятных производственных факторов. Основными из них являются повышенное давление газовой и водной среды и его перепады, обусловленные этим изменением парциальных давлений газов дыхательных смесей и фазовые превращения газов в тканях организма.

Острая гипоксия вызывает ухудшение питания кислородом тканей (аноксемия). Реакцией организма на снижение содержания кислорода в воздухе является ускорение и углубление дыхания и изменения со стороны сердечно-сосудистой системы в виде учащения и ослабления пульса и падения кровяного давления. Особенно чувствителен к нехватке кислорода мозг, который при гипоксии гибнет, как правило, первым. Кроме мозга, наиболее подвержены патологическим изменениям при нехватке кислорода сердце, печень, почки, центральная нервная система.

Реакции человека на острую гипоксию

Концентрация кислорода менее 6% приводит к гибели организма в течение 6–8 мин. Концентрация кислорода менее 12% приводит к нарушениям внимания, сознания и нарушениям координации движений, которые обратимы, но могут приводить к ошибочным действиям. Наиболее оптимальные для работы концентрации кислорода варьируют в диапазоне от 12 до 19%.

Различными авторами были описаны стадии реакции человека на гипоксию в зависимости от концентрации кислорода [1–5] (см. таблицу).

По данным таблицы следует, что концентрации кислорода менее 6% приводят к гибели организма в течение минут. Концентрации кислорода менее 15% приводят к различным нарушениям функционирования систем организма, среди которых преобладают изменения со стороны центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, которые обратимы, но могут приводить и к патологическим состояниям. Наиболее оптимальные для работы концентрации кислорода варьируют в диапазоне от 15 до 19%.

Немаловажное значение имеет и так называемая хроническая гипоксия, в том числе хроническая интермиттирующая гипоксия, когда в организме человека в ответ на гипоксию развивается целый комплекс изменений, являющихся проявлениями адаптационных процессов [6, 7]. При длительном воздействии относительно небольшой хронической гипоксии у многих экспонированных лиц развивается устойчивая акклиматизация, и они могут переносить такие условия довольно неплохо [8]. Спектр характерных функциональных изменений систем органов может отличаться от реакции на острую гипоксию, больше отражая приспособительные реакции [9]. Так, изменения со стороны органов дыхания проявляются усилением вентиляции в ответ на острый гипоксический стресс, но она ограничена развивающимся респираторным алкалозом. Такие изменения происходят немедленно и достигают максимума в течение 4–7 дней. При более длительном воздействии развивается ремоделирование лёгочных сосудов, а также ускоренное ежегодное снижение спирометрических показателей [10, 11].

Со стороны сердечно-сосудистой системы происходит увеличение симпатического тонуса, повышение артериального давления, учащение ритма при сниженном ударном объёме, что в результате приводит к увеличению сердечного с последующим возвращением к нормальным величинам [12].

Мочевыделительная система в ответ на развивающийся респираторный алкалоз реагирует усилением выведения бикарбонатов в течение нескольких часов, достигая максимума на 7-й день. Система крови реагирует увеличением концентрации красной крови в виде увеличения гематокрита за счёт снижения объёма циркулирующей плазмы. Затем в течение

Реакции человека на гипоксическую среду [1–5]

Human responses to the reduced oxygen concentration [1–5]

Источник Source	Концентрация кислорода, % Oxygen concentration, %	Наблюдаемые симптомы Symptoms observed	Время экспозиции Time of exposition
[1]	20	Отсутствуют / No symptoms	—
	17	Увеличение минутного объёма дыхания, снижение мышечной координации; концентрация внимания и мышление требуют больше усилий An increase in the respiratory minute volume, a decrease in muscle coordination, concentration of attention, and mentation require more efforts	—
	12–15	Одышка, головная боль, головокружение, учащение ЧСС, быстрая утомляемость, падение мышечной координации при выполнении физических упражнений Respiratory distress, headache, dizziness, tachycardia, fatigue, loss of muscle coordination during exercise	—
	10–12	Тошнота и рвота, нарушение двигательных функций Nausea and vomiting, impaired motor functions	—
	6–8 < 6	Потеря сознания / Loss of consciousness Смерть / Death	— 6–8 мин (min)
[2]	19.5	Отсутствуют / No symptoms	—
	14–19.5	Затруднение дыхания при высокой физической нагрузке Difficulty breathing with high physical activity	—
	12–14	Рост ЧСС, снижение когнитивных и физических способностей Tachycardia enhancement, decreased cognitive and physical capabilities	—
	10–12	Учащение дыхания, тошнота, головокружение, нарушения сознания Tachypnoe, nausea, dizziness, deteriorated consciousness	10 мин (min)
	8–10	Потеря контроля, чувство удушья, рвота Loss of control, feeling suffocated, vomiting	не более 5 мин – 50% no more than 5 min – 50% не более 8 мин – 100% no more than 8 min – 100%
	4–8 4–8 < 4	Кома / Coma Смерть / Death Смерть / Death	40 с (seconds) 2 мин (min) Секунды / Seconds
[3]	14.4–20.9	Индифферентная фаза: незначительное влияние на адаптацию к темноте, устойчивость к физическим нагрузкам Indifferent phase: Slight effect on adaptation in the dark, resistance to physical load	—
	11.8–14.4	Фаза компенсации: увеличение вентиляции лёгких и ЧСС, незначительная потеря работоспособности при выполнении сложных психомоторных задач. Снижается способность к выполнению физических нагрузок на уровне до начала действия гипоксии Compensation phase: increased lung ventilation and heart rate, minor loss of performance when performing complex psychomotor tasks. The ability to perform physical activity at the level before the onset of hypoxia decreases	—
	9.6–11.8	Стадия манифестации: деградация высших психических функций и нервно-мышечного контроля, увеличение сердечно-сосудистой и дыхательной активности, возможны галлюцинации Stage of manifestation: degradation of higher mental functions and neuromuscular control, increased cardiovascular and respiratory activity, hallucinations are possible	—
	7.8–9.6	Критическая стадия: потеря сознания, замедление кровообращения, что может приводить к гибели организма Critical stage: loss of consciousness, slowing of blood circulation, which can lead to the death of the body	—
[4]	21	Отсутствуют / No symptoms	—
	16–21	Увеличение минутного объёма дыхания, учащение ЧСС, нарушение внимания, нарушение координации Increased respiratory minute volume, tachycardia, deteriorated attention, impaired coordination	—
	10–14	Нарушение координации и высокое мышечное напряжение, умственная деятельность вызывает высокую утомляемость Poor coordination and high muscle tension, mental activity causes high fatigue	—
	6–10	Тошнота и рвота, потеря сознания или его нарушения Nausea and vomiting, loss of consciousness or impaired consciousness	—
	< 6	Смерть / Death	3–5 мин (min)
[5]	17	Ухудшение ночного зрения, увеличение объёма дыхания, учащение ЧСС Deterioration of night vision, increased respiratory volume, tachycardia	—
	14–16	Нарушение мышечной координации, быстрая утомляемость, нарушение ритма дыхания Violation of muscle coordination, rapid fatigue, disturbance of the respiration rhythm	—
	6–10	Тошнота и рвота, потеря сознания / Nausea and vomiting, loss of consciousness	—
	< 6	Смерть в течение 1 мин / Death within a 1 minute	—

нескольких часов возрастает уровень плазменного эритропоэтина, а число эритроцитов достигает максимума в течение 4–6 нед воздействия хронической гипоксии. В головном мозге также происходит немедленное усиление мозгового кровотока, достигая пика на 3–5-й день. При недостаточной активности компенсаторных механизмов различных систем в условиях гипоксии развивается острая горная болезнь [13].

В связи с этим актуальной является необходимость постоянного совершенствования мероприятий, направленных на коррекцию пограничных функциональных состояний, повышение сопротивляемости организма специалистами опасных профессий воздействиям неблагоприятных факторов труда, а именно: работа в среде с пониженным содержанием кислорода, сохранение и восстановление физического и психического здоровья, успешности физической и умственной деятельности, пролонгирования профессионального долголетия.

Ранее ФГБНУ «НИИ медицины труда» имени академика Н.Ф. Измерова совместно с ГосНИИ военной медицины Минобороны России были разработаны временные методические рекомендации «Медицинские мероприятия по обеспечению безопасности персонала при эксплуатации противопожарной защиты объектов на основе использования газового огнетушащего вещества «OxyReduct»*.

Целью данных методических рекомендаций явилось обеспечение реализации медицинских мероприятий по профилактике и предупреждению несчастных случаев на производстве при использовании систем противопожарной защиты объектов на основе газовых огнетушащих систем фирмы «Wagner Alarm- und Sicherungssysteme GmbH» (Германия).

В этом документе достаточно подробно освещены вопросы физиолого-гигиенических основ безопасности деятельности в изменённых условиях газовой среды, а также характеристики основных медицинских мероприятий по обеспечению безопасности персонала при работе в условиях гипоксической газовой среды.

Однако следует отметить, что ранее разработанные документы носят рекомендательный характер, не являются обязательными для исполнения и служат справочными пособиями при организации работ в помещениях с пониженным содержанием кислорода.

Проведя анализ существующих в настоящее время в Российской Федерации регламентирующих документов по оценке и контролю производственных факторов, условий труда в помещениях при пониженной концентрации кис-

* Временные методические рекомендации. Медицинские мероприятия по обеспечению безопасности персонала при эксплуатации противопожарной защиты объектов на основе использования газового огнетушащего вещества. М. НИИИ ВМ МО РФ, 2006 г. 50 с.

лорода в воздушной среде, а также изучив передовой зарубежный опыт в части нормирования производственных факторов в помещениях при пониженной концентрации кислорода в воздушной среде в целях сохранения здоровья, высокой работоспособности и профилактики заболеваний, специалисты пришли к выводу о необходимости разработки Санитарных правил и нормативов СанПиН, так как регламентирующих документов конкретно по данному вопросу не существует. В санитарных правилах необходимо установить санитарно-эпидемиологические требования к среде обитания при пониженной концентрации кислорода в воздухе, а также к организации контроля, методам измерения компонентов воздушной среды на рабочих местах и мерам профилактики вредного воздействия на здоровье работающих, распространяющиеся на условия труда в среде обитания для всех помещений при пониженной концентрации кислорода в воздухе. Положения данного нормативного документа могут применяться при проектировании объектов с применением систем понижения уровня концентрации кислорода в замкнутых пространствах (помещениях), оценке уровней профессиональных рисков здоровью работающих и разработке мероприятий профилактического характера.

В санитарных правилах отдельными разделами необходимо представить вопросы нормирования микроклиматических параметров, содержания химических веществ в воздухе производственных помещений, а также требования к средствам индивидуальной защиты органов дыхания работников в среде обитания при пониженной концентрации кислорода в воздухе, к методам измерения и контроля показателей воздушной среды в замкнутых объёмах и вредных химических веществ при их наличии.

Особое внимание должно быть уделено проведению медицинских мероприятий с целью профилактики возникновения нарушений состояния здоровья работников при работе в условиях пониженного содержания кислорода.

Совместно с разработкой санитарных правил необходимо внести предложения и дополнения в приказ Министрства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 12 апреля 2011 г. № 302н «Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжёлых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда» (с изменениями и дополнениями), касающиеся внесения в Перечень вредных факторов работ в среде с пониженным содержанием кислорода.

Литература (п.п. 1–5, 7, 9–13 см. References)

6. Разинкин С.М., Дворников М.В. *Физиология и гигиена лётчика в экстремальных условиях. Монография*. М.: Научная книга; 2017.
8. Безкишский Э.Н., Иванов А.О., Петров В.А., Ерошенко А.Ю., Грошилин В.С., Анистратенко Л.Г. и соавт. Работоспособность

человека при периодическом пребывании в гипоксических воздушных средах, снижающих пожароопасность гермообъектов. *Экология человека*. 2018; (9): 4–11. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-9-4-11>

References

1. Kimmerle G., Bayer-Aktiengesellschaft L. Aspects and methodology for the evaluation of toxicological parameters during fire exposure. *J. Fire Flammabil. Combust. Toxicol. Suppl.* 1974; (1).
2. Final Report. Fuel Tank Inerting Harmonization Working Group. Aviation Rulemaking Advisory Committee (ARAC); 2001.
3. National Fire Protection Association (NFPA). DiNenno P.J., ed. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy; 2003.
4. Monitoring for Oxygen. T.R. Consulting Inc.; 2004. Available at: <https://www.trconsultinggroup.com/safety/last.html>
5. Occupational Safety & Health Administration (OSHA); 2004. Available at: <https://www.osha.gov/SLTC/smallbusiness/secl2.html>
6. Razinkin S.M., Dvornikov M.V. *Physiology and Hygiene of the Pilot in Extreme Conditions. Monograph [Fiziologiya i gigiena letchika v ekstremal'nykh usloviyakh]*. Moscow: Nauchnaya kniga; 2017. (in Russian)
7. Chapman R.F., Stray-Gundersen J., Levine B.D. Individual variation in response to altitude training. *J. Appl. Physiol.* 1985; 85(4): 1448–56. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.4.1448>
8. Bezkishkiy E.N., Ivanov A.O., Petrov V.A., Eroshenko A.Yu., Groshilin V.S., Anistratenko L.G., et al. Human working capacity in periodic stay in hypoxic air environments, reducing the fire hazard of sealed objects. *Ekologiya che-loveka*. 2018; (9): 4–11. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-9-4-11> (in Russian)
9. Davis C., Hackett P. Advances in the prevention and treatment of high altitude illness. *Emerg. Med. Clin.* 2017; 35(2): 241–60. <https://doi.org/10.1016/j.emc.2017.01.002>
10. Vinnikov D., Brimkulov N., Redding-Jones R. Four-year prospective study of lung function in workers in a high altitude (4000 m) mine. *High Alt. Med. Biol.* 2011; 12(1): 65–9. <https://doi.org/10.1089/ham.2010.1033>
11. Vinnikov D. Drillers and mill operators in an open-pit gold mine are at risk for impaired lung function. *J. Occup. Med. Toxicol.* 2016; (11): 27. <https://doi.org/10.1186/s12995-016-0114-9>
12. Krejci J., Botek M., McKune A. Dynamics of the heart rate variability and oxygen saturation response to acute normobaric hypoxia within the first 10 min of exposure. *Clin. Physiol. Funct. Imaging.* 2018; 38(1): 56–62. <https://doi.org/10.1111/cpf.12381>
13. Vinnikov D., Brimkulov N., Krasotski V., Redding-Jones R., Blanc P.D. Risk factors for occupational acute mountain sickness. *Occup. Med. (Lond.)*. 2014; 64(7): 483–9. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqu094>