

Читать
онлайн
Read
online

Доценко Ю.И., Бойко О.В.

Показатели иммунитета рабочих, осуществляющих переработку природного газа и конденсата

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 414000, Астрахань, Россия

Введение. Несмотря на всесторонние меры защиты сотрудников Астраханского газоперерабатывающего завода (АГПЗ), полностью предотвратить воздействие на них вредных факторов пока не удалось. Одним из методов лабораторного контроля здоровья и системы мероприятий по гигиенической нормализации условий труда рабочих газоперерабатывающей промышленности является изучение состояния их иммунной системы. **Материалы и методы.** В настоящей работе были использованы стандартные унифицированные методы и подходы для характеристики производственной среды и оценки состояния иммунной системы работающих. Индикацию загрязнителей выполняли на универсальном газовом анализаторе 1302 Brüel & Kjær (Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, Дания), газовом хроматографе «Цвет-550» (ЗАО «Росприбор», Россия). Были обследованы 160 рабочих и 81 человек контрольной группы (доноры Астраханской областной станции переливания крови). Исследования иммунной системы проводили на гематологическом анализаторе System 9000 Plus (Rohrback Cosasco Systems Inc., США), цитофлуориметре Cyto FLEX LX (Beckman Coulter, Inc., США), спектрофотометре UNICO 2100UV (United Products & Instruments, Inc., США), фотометре фотоэлектрическом КФК-3-03-ЗОМЗ (Россия).

Результаты. Установленный комплекс основных неблагоприятных производственных факторов включал в себя загрязнение воздуха рабочей зоны двуокисью серы, оксидами азота, углерода, сероводородом, предельными и непредельными углеводородами, а также неблагоприятные микроклиматические условия. Профессионально-производственные вредности вызывали у рабочих отклонения в иммунном статусе, характеризовавшиеся лейкоцитозом, лимфоцитозом, изменениями популяционного состава лимфоцитов и субпопуляционного состава CD3, снижением содержания иммуноглобулинов, активности лизоцима, показателей фагоцитоза.

Ограничения исследования. Проведённое исследование учитывало влияние только профессионально-производственных вредных факторов на отклонение иммунного статуса рабочих, осуществляющих переработку природного газа и конденсата.

Заключение. Зафиксированные нами изменения расценены как адаптационные, что предполагает возможность нормализации функций иммунной системы при проведении адекватных реабилитационных мероприятий.

Ключевые слова: производственные факторы; иммунный статус

Соблюдение этических стандартов. Исследование выполнено в соответствии с этическими принципами проведения медицинских исследований, изложенными в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (ред. 2013 г.).

Согласие пациентов. Каждый участник исследования (или его законный представитель) дал информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании и публикацию персональной медицинской информации в обезличенной форме в журнале «Гигиена и санитария».

Для цитирования: Доценко Ю.И., Бойко О.В. Показатели иммунитета рабочих, осуществляющих переработку природного газа и конденсата. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(1): 55–62. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-1-55-62> <https://elibrary.ru/kjerim>

Для корреспонденции: Бойко Оксана Витальевна, доктор мед. наук, доцент, профессор каф. биологической химии и клинической лабораторной диагностики ФГБОУ ВО Астраханского ГМУ Минздрава России, 414000, Астрахань. E-mail: oboiko08@mail.ru

Участие авторов: Бойко О.В. – концепция и дизайн исследования, обработка материала, статистическая обработка, написание текста; Доценко Ю.И. – сбор и обработка материала, написание текста. *Все соавторы* – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 16.10.2022 / Принята к печати: 08.12.2022 / Опубликовано: 15.02.2023

Yurii I. Dotsenko, Oksana V. Boiko

Indicators of immunity in workers engaged in the processing of natural gas and condensate

Astrakhan State Medical University, Astrakhan, 414000, Russian Federation

Introduction. Despite the unique measures being taken at the Astrakhan Gas Processing Plant for personnel protection, the harmful exposure to the staff is not eliminated completely yet. Examination of the immune system is one of the methods of laboratory control over the gas-processing workers' health and the system of measures for hygienic normalization of the working conditions.

Materials and methods. The present study describes the working environment and evaluates the state of the immune system in workers with the use of the standard unified methods and approaches. A Brüel & Kjær 1302 multi gas monitor and a Tsvet-550 gas chromatograph were used to indicate pollutants. Examination involved one hundred sixty workers and 81 person from the control group (donors of Astrakhan Regional Blood Transfusion Center). The immune system was evaluated using the System 9000 Plus hematological analyser, Cyto FLEX LX flow cytometer, UNICO 2100UV spectrophotometer, and KFK-3-03-ZOM3 photometer

Results. The established set of the main unfavourable production factors includes air pollution of the work area with sulphur dioxide, nitrogen oxides, carbon, hydrogen sulphide, saturated and unsaturated hydrocarbons, and unfavourable microclimatic conditions. Occupational hazards cause in employees changes in the immune status including leukocytosis, lymphocytosis, changes in the composition of the lymphocyte population and T lymphocyte subpopulation, a decrease in the immunoglobulin content, lysozyme activity and phagocytosis index.

Limitations. The study took into account only the effect of occupational hazards on the deviation of the immune status of workers engaged in natural gas and condensate processing.

Conclusion. The authors consider the recorded changes to be adaptive. It suggests the possibility of normalization of the workers' immune system functions with adequate rehabilitation measures.

Keywords: occupational factors; immune status

Compliance with ethical standards. The study was in accordance with the ethical principles of medical research outlined in the Declaration of Helsinki of the World Medical Association (ed. 2013).

Patient consent. Each participant of the study (or his/her legal representative) gave informed voluntary written consent to participate in the study and publish personal medical information in an impersonal form in the journal "Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)".

For citation: Dotsenko Yu.I., Boiko O.V. Indicators of immunity in workers engaged in the processing of natural gas and condensate. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(1): 55–62. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-1-55-62> <https://elibrary.ru/kjerim> (In Russian)

For correspondence: Oksana V. Boiko, MD, PhD, DSci., Associate Professor, Professor of the Department of Biological Chemistry and Clinical Laboratory Diagnostics, Astrakhan State Medical University, Astrakhan, 414000, Russian Federation. E-mail: oboyk08@mail.ru

Information about the authors:

Dotsenko Yu.I., <https://orcid.org/0000-0002-6016-7246> Boiko O.V., <https://orcid.org/0000-0003-3882-9300>

Contribution: Boiko O.V. – concept and design of the study, material processing, statistical processing, text writing; Dotsenko Yu.I. – material collection and processing, text writing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: October 16, 2022 / Accepted: December 8, 2022 / Published: February 15, 2023

Введение

Важнейшим сегментом российской экономики являются промышленные комплексы, занимающиеся переработкой природного газа и конденсата. Газ Астраханского месторождения имеет уникальный природный состав, отличаясь высоким содержанием сероводорода (до 25%) вместе с углеводородами (2,84%), оксидами углерода (14–20%) и азота (2,45%), меркаптанами (0,03–0,22%) и карбонилсульфидом (0,02–0,42%), и обладает определённой спецификой воздействия как на окружающую среду, так и на организм человека [1, 2].

Сероводород, имеющий класс опасности 2 (а в смеси с углеводородами – класс опасности 3), при вдыхании парализует обонятельные нервы, что часто приводит к сильным отравлениям из-за неспособности своевременно распознать токсикант и прекратить контакт с ним. При проникновении сероводорода во внутренние среды организма токсическое действие направлено на нервную и кровеносную системы. Такое системное влияние нарушает функции всех органов. Например, разрушение гемоглобина приводит к выраженной гипоксии. В жаркое время года вероятность более сильного воздействия на человека возрастает, поскольку активность сероводорода при высоких температурах увеличивается, и возрастает его летучесть. Газ беспрепятственно проникает через кожу и слизистую дыхательных путей, токсическое его действие проявляется уже при содержании в воздухе в объёме 0,06%. При концентрации не более 150 мг/л происходит раздражение слизистых оболочек, повышение показателя до 1,2–1,8 мг на литр вдыхаемого воздуха может привести к смерти [3–5].

Диоксид серы (класс опасности 3). Вещество обладает сильными токсическими свойствами и оказывает раздражающее действие: вызывает раздражение глаз и верхних дыхательных путей, гиперемии слизистых оболочек, першение в горле, насморк, кашель и хрипоту. При повышении концентрации развивается воспаление или ожог носоглотки, глаз, бронхов и трахеи. Тяжёлая форма интоксикации приводит к гнойному бронхиту, острой эмфиземе и токсической пневмонии, что сопровождается расстройством сознания. Вдыхание диоксида серы в значительном количестве способствует рефлекторному спазму голосовой щели, сопровождающемуся чувством удушья. При попадании диоксида серы в глаза в сжиженном виде верхние слои роговицы сильно повреждаются, что чревато потерей зрения. При поражении кожных покровов подверженная воздействию зона вначале бледнеет, а затем появляются гиперемия и пузыри [3–5].

Оксид углерода (класс опасности 3). Оксид углерода поступает в организм ингаляционным путём, быстро проникает через альвеолярно-капиллярную мембрану в кровь, связывается с железом гемоглобина, образуя стойкое соединение карбоксигемоглобин, который не способен выполнять нормальные функции, в результате чего развивается гипоксемия. Сродство СО к гемоглобину в 300 раз выше по сравнению с кислородом. Кроме того, СО взаимодействует с миоглобином, закисной формой цитохромоксидазы и другими медь- и железосодержащими ферментами, в связи с чем нарушается снабжение мышц кислородом. Отравление оксидом углерода может протекать в острой и хронической форме. При остром отравлении и очень высокой концентрации СО отмечаются потеря сознания, судороги и смерть (молниеносная форма). В более лёгких случаях (замедленная форма) выделяют три степени тяжести клинической картины.

I. *Лёгкая степень.* Характеризуется сильной головной болью, головокружением, шумом в ушах, слабостью, сердцебиением, одышкой, тошнотой, рвотой. Наблюдаются повышение давления, расширение зрачков, потеря ориентации во времени и пространстве, эйфория. Содержание карбоксигемоглобина (HbCO) в крови 10–30%.

II. *Средняя степень.* Симптомы резко усиливаются, сознание затемнено, характерны выраженная сонливость, слабость, апатия. Кожные покровы и слизистые оболочки приобретают багровый оттенок, одышка усиливается, АД падает, развивается эйфория. Содержание HbCO в крови 30–50%.

III. *Тяжёлая степень.* Характерны потеря сознания, утрата рефлексов, непроизвольное мочеиспускание и дефекация, судороги клонического и тонического характера, дыхание Чейна – Стокса. Содержание HbCO в крови 50–70%.

При хроническом отравлении СО страдает преимущественно ЦНС, что проявляется головной болью, головокружениями, раздражительностью, бессонницей. Также могут возникать тошнота, снижение аппетита, сердцебиения [3, 4].

Диоксиды азота (класс опасности 3). NO₂ – высокотоксичное вещество. В основном подвергаются опасности органы дыхательной системы: от незначительного раздражения слизистых оболочек до отёка лёгких. Также происходит изменение состава крови, уменьшается содержание гемоглобина. При взаимодействии в дыхательных путях азотистой кислоты и влаги происходит угнетение центральной нервной системы, образование метгемоглобина, гемолиз, билирубинемия, расширение кровеносных сосудов, снижение артериального давления. При продолжительном нахождении в условиях загрязнения воздушного пространства диоксидом

азота развиваются тяжёлые хронические заболевания: трахеит, бронхит, пневмосклероз, изменения слизистой оболочки дёсен. Отравление диоксидом азота на первых этапах малозаметно, симптомы выявляются при попадании газа в организм в значительном количестве. Первоначально наблюдаются головная боль, слабость, кашель, боль в области грудной клетки, спазмы мышц и судороги, заторможенная реакция, нарушение координации и речи, зрительные и слуховые галлюцинации, головокружение, тахикардия. Усугубление интоксикации проявляется в повышении температуры тела, ощущении удушья, тошноте, рвоте, усилении боли в груди, чувстве сдавливания головы, влажном кашле с отхождением пенистой мокроты с кровянистыми примесями, нарушении функции дыхания и сердечного ритма, отёке лёгких, обмороке [3, 4].

Меркаптаны (класс опасности 2) – сильные нервные яды, обладающие наркотическим эффектом и вызывающие паралич мышц. В организм человека меркаптаны могут проникнуть через дыхательные пути, кожу, слизистые оболочки. В низких концентрациях обладают запахом, схожим с запахом гнилой капусты, рефлекторно вызывают тошноту и головную боль. При более высоких концентрациях вызывают рвоту, понос, судороги, появление белка и крови в моче [3–5].

Бензол (класс опасности 2). Вдыхание воздуха с высоким содержанием бензола может вызвать сонливость, головокружение, учащённое сердцебиение, головные боли, тремор, спутанность и потерю сознания. Употребление пищи с высоким содержанием бензола может привести к рвоте, раздражению желудка, головокружению, сонливости, конвульсиям, учащённому сердцебиению и смерти. Основное воздействие при длительном вдыхании бензол оказывает на кровь, поражая костный мозг, что приводит к уменьшению количества эритроцитов и возникновению анемии. Также возможны чрезмерные кровотечения и поражения иммунной системы, что увеличивает вероятность заражения различными патогенами [3, 4].

Изучение воздействия производственных факторов в промышленности, перерабатывающей природный газ с высоким содержанием сероводорода, на различные органы и системы организма человека в последние годы проводилось постоянно, однако количество работ, посвящённых влиянию на иммунную систему работающих, сравнительно невелико [5, 8, 10, 14–16]. При этом иммунная система является одной из самых динамично реагирующих на внешние воздействия, и её изучение в контексте выявления донозологического напряжения адаптационных механизмов, обеспечивающих физиологическую компенсацию вредных воздействий на организм, в практическом аспекте очень значимо [5–14].

Цель работы – выявить изменения в иммунном статусе рабочих, занятых на предприятии по переработке природного газа и конденсата с высоким содержанием сероводорода, для разработки оздоровительных мероприятий на предприятиях газовой промышленности.

Материалы и методы

Проведена гигиеническая аттестация рабочих мест с определением концентрации поллютантов в воздухе рабочей зоны в соответствии с действующими нормативными требованиями на основании «Руководства по гигиенической оценке факторов рабочей среды, тяжести и напряжённости трудового процесса Р 2.2.2006–05» (М., 2005), а также МУК 4.1.0.272–4.1.0.340–96 «Измерение концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны» (утв. 8 июня 1996 г.) и МУК 4.3.2756–10 «Методические указания по измерению и оценке микроклимата производственных помещений» (утв. 12 ноября 2010 г.).

Для индикации в воздушной среде диоксида серы применяли универсальный газовый анализатор 1302 Brüel & Kjær (Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, Дания). Определение концентрации сероводорода проводили

фотометрическим методом, основанным на взаимодействии сероводорода с арсенидом натрия и нитратом серебра (Методические указания на фотометрическое определение сероводорода в воздухе 1643–77). Индикацию предельных (C_1 – C_{10}), непредельных (C_2 – C_5) и ароматических (бензола, толуола, ксилолов и этилбензола) углеводородов выполняли газохроматографическим методом на газовом хроматографе «Цвет-550» (ЗАО «Росприбор», Россия). Углеводороды (в сумме) определяли также на универсальном газовом анализаторе 1302 Brüel & Kjær. Детектирование оксидов азота выполняли фотометрическим методом по МУК 4.1.2473–09 «Измерение массовых концентраций оксида и диоксида азота в воздухе рабочей зоны по реакции с реактивом Грисса – Илосвая методом фотометрии». Метанол в воздухе рабочей зоны выявляли газохроматографическим методом по МУК 4.1.1046а–01 «Газохроматографическое определение метанола в воздухе». Оксид углерода определяли методом реакционной газовой хроматографии. Для этой же цели использовали универсальный газовый анализатор 1302 Brüel & Kjær. Характеристики метеорологических условий выявляли с помощью аспирационных психрометров Ассмана, кататермометров, крыльчатых и чашечных анемометров.

Число проб воздушной среды, забор которых для исследования осуществляли в каждом помещении, составляло от 14 до 35.

В обследовании приняли участие 160 рабочих (операторы, машинисты) основных и вспомогательных производств Астраханского газоперерабатывающего завода (АГПЗ). В группу вошли лица мужского пола в возрасте от 30 до 40 лет (средний возраст $36,4 \pm 0,1$ года). Параллельно обследовали группу контроля (доноры Астраханской областной станции переливания крови, $n = 81$). Критериями включения в группу контроля были соответствие по полу и возрасту сотрудникам АГПЗ (сравнение групп по возрасту не выявило статистически значимых различий, $p > 0,05$), критериями исключения – наличие стажа работы на предприятии газоперерабатывающей, нефтяной и химической промышленности и контакта с какими-либо неблагоприятными производственными химическими факторами. Обследование изучаемой группы проводили в период плановых медицинских осмотров с использованием стандартных унифицированных методов исследований в соответствии с инструкциями, прилагаемыми к конкретному набору реагентов. От каждого участника получено информированное добровольное согласие.

Гематологические исследования проводили на автоматическом гематологическом анализаторе System 9000 Plus (Serono, Швейцария). Для определения субпопуляций лимфоцитов анализ образцов проводили на проточном цитофлуориметре Cyto FLEX LX (Beckman Coulter, США). Исследование фагоцитарных клеток проводили прямым морфологическим методом, основываясь на результатах оценки фагоцитарной активности лейкоцитов (ФАН) (С.Г. Потапова и соавт., 1977) по степени поглощения нейтрофилами периферической крови инертных частиц латекса диаметром 1,1 мкм (производство Ltd. Sigma, Германия) [17].

Классы иммуноглобулинов определяли турбидиметрическим методом по степени агглютинации, пропорциональной концентрации иммуноглобулина в пробе (340 нм) [17]. Концентрацию циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) определяли методом преципитации с полиэтиленгликолем (ПЭГ 6000) и регистрировали при 280 нм с использованием спектрофотометра UNICO 2100UV (United Products & Instruments, Inc., США) [18]. Активность лизоцима измеряли нефелометрически по изменению мутности суспензии *Micrococcus lysodeikticus* с использованием фотоэлектрического фотометра КФК-3-03-«ЗОМЗ» (АООТ «Загорский оптико-механический завод», Россия) [16].

Статистический анализ результатов проведён с использованием программного обеспечения Statistica 12 методами вариационной статистики. Предварительно оценивались описательные показатели статистики: количество наблюдений

Таблица 1 / Table 1

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны первого, второго и третьего производств Астраханского ГПЗ
Content of hazardous substances in the working air of the first, second and third production units of the Astrakhan Gas Processing Plant

Вещество Hazardous substance	Количество проб / Number of tests						Концентрация, мг/м ³ (Concentration, mg/m ³)						ПДК* MPC*
	Всего Total		с наличием веществ presence of substances		с концентрацией выше ПДК above maximum permissible concentration (MPC)		Min		Max		M ± m		
	производство / production units												
	1–2	3	1–2	3	1–2	3	1–2	3	1–2	3	1–2	3	
Сероводород Hydrogen sulphide	41	38	40	29	27	17	1.0	1.0	24.0	–	5.6 ± 0.7	5.0 ± 0.9	3.0
Диоксид серы Sulphur dioxide	42	38	31	22	11	3	2.0	2.0	26.0	14.0	7.4 ± 0.1	3.8 ± 0.7	10.0
Оксид углерода Carbon oxide	39	37	25	26	5	9	3.0	3.0	45.0	60.0	9.3 ± 1.9	12.2 ± 0.2	20.0
Диоксиды азота Nitrogen dioxides	41	38	34	23	29	23	0.1	2.2	3.5	3.8	2.4 ± 0.4	3.1 ± 0.4	2.0
Углеводороды Hydrocarbons	41	38	37	37	–	–	11.6	2.7	82.0	63.6	46.2 ± 6.1	38.2 ± 3.7	300
Меркаптаны Mercaptans	40	38	23	8	20	24	0.3	0.2	2.2	1.1	1.4 ± 0.4	0.8 ± 0.2	0.8
Бензол / Benzene	–	21	–	10	–	1	–	0.3	–	5.6	–	2.0 ± 0.6	5.0

Примечание. * – согласно СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 2 от 28.01.2021 г.).

Note. * – according to SanPiN 1.2.3685–21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans" (approved by the Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 2 dated January 28, 2021).

в исходной выборке (n), среднее арифметическое полученных значений (M), среднее квадратическое отклонение (m), стандартная ошибка среднего арифметического (t), минимальное (\min) и максимальное (\max) значения изучаемого признака, а также показатели относительных величин (%) и их ошибки. Распределение количественных данных анализировали с использованием критерия Шапиро–Уилка. В случае соответствия нормальному закону распределения осуществляли выбор метода статистического анализа (параметрический или непараметрический). При нормальном распределении количественных переменных центральные тенденции и рассеяния признаков описаны с помощью среднего значения (M) и среднего квадратического отклонения (m). Оценку достоверности различий осуществляли при помощи критериев Вилкоксона и Манна–Уитни при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты

Наиболее типичными вредными химическими веществами современных предприятий, перерабатывающих серосодержащее углеводородное сырьё (природный газ, нефть, конденсат), являются сероводород, углеводороды, оксиды серы, азота, углерода, меркаптаны. В отдельных случаях могут обнаруживаться моно- и диэтанолламины, диэтиленгликоль, метанол, а также ароматические углеводороды – бензол и его гомологи (в первую очередь при получении из конденсата высокооктанового бензина).

В связи с тем, что из трёх основных производств Астраханского ГПЗ первые два служат для очистки природного сырья от сероводорода и дальнейшего преобразования этого газа последовательно в диоксид серы и элементарную серу, мы сочли возможным объединить материалы гигиенических исследований по этим объектам в один блок. Установки первой очереди АГПЗ имеют индексы У-171, У-172 и т. д., однотипные установки второй очереди – индексы У-271, У-272 и т. д.

В первом производстве имеется три вида установок: для сепарации пластового газа (У-171 и У-172) – одна установка; для очистки газа от сернистых соединений (У-172_{1,2,3,4} и У-272_{1,2,3,4}) – четыре установки, объединённые в четыре линии по две нитки каждая; для отбензинивания (У-174 и У-274) – одна установка. Во второе производство входят четыре установки получения газовой, комковой и жидкой серы (У-151_{1,2,3,4} и У-252_{1,2,3,4}), два завода по производству гранулированной серы и склады полученной продукции (У-154-155 и У-254-255).

Наиболее характерными загрязнителями воздушной среды на рабочих местах этих производств были сероводород, диоксид серы, углеводороды, оксиды азота и углерода, меркаптаны, то есть те вещества, которые или непосредственно содержатся в природном газе и конденсате, или же образуются при высокотемпературной переработке газа (диоксиды серы, азота, углерода). Их конкретные концентрации отражены в табл. 1. Установлено, что от 12,8 до 65,8% проб имели превышение ПДК. Это превышение было сравнительно небольшим или умеренным (от 1,5 до 3 раз), но постоянным в течение всего периода исследования.

В третье производство (переработка конденсата) входили установки стабилизации конденсата (У-120 и У-121), водоподготовки (У-122), компримирования газа (У-141), комбинированная установка (У-1.731), установка гидроочистки дизельной фракции (У-1.732), установка каталитического риформинга (платформинга) У-1.734 и объекты водородного хозяйства (У-1.750, У-1.752). Объекты третьего производства (переработка конденсата) являлись единичными для обеих очередей Астраханского ГПЗ. Результаты исследований воздушной среды на рабочих местах третьего производства также представлены в табл. 1.

Воздух рабочей зоны вблизи установок по переработке газового конденсата (третье производство) на Астраханском ГПЗ характеризуется постоянным (в 47,6–97,4% всех проб) присутствием тех же веществ, что и на первых двух производствах. Кроме того, почти в половине проб был

Таблица 2 / Table 2

Показатели иммунного статуса у рабочих основных производств Астраханского ГПЗ

Immune status parameters of the workers at the main production units of the Astrakhan Gas Processing Plant (AGPP)

Показатель Indicators	Рабочие АГПЗ AGPP workers	Первое производство First unit	Второе производство Second unit	Третье производство Third unit	Контрольная группа Control group	Среднее значение физиологической нормы The average value of the physiological norm
Лейкоциты, 10^9 /л Leukocytes, 10^9 /L	8.02 ± 0.14*	8.38 ± 0.36**	7.91 ± 0.38***	7.55 ± 0.31	5.27 ± 0.36	5.4 ± 0.31
Лимфоциты, % Lymphocytes, %	37.94 ± 0.53*	34.94 ± 1.0	36.8 ± 1.16	38.6 ± 1.24	34.23 ± 1.88	34.2 ± 1.3
CD3, %	57.01 ± 0.51	57.14 ± 1.14	57.89 ± 1.16	55.4 ± 1.33	56.38 ± 2.12	56.0 ± 1.76
CD4, %	37.78 ± 0.45	39.2 ± 1.0	37.69 ± 1.0	38.0 ± 1.04	38.69 ± 1.98	38.8 ± 1.5
CD8, %	19.34 ± 0.45	18.06 ± 0.81	20.19 ± 0.9	17.3 ± 1.1	17.69 ± 0.88	18.0 ± 0.14
CD4/CD8	1.95 ± 0.08	2.17 ± 0.15	1.87 ± 0.22	2.2 ± 0.24	2.25 ± 0.17	2.27 ± 0.10
CD20, %	13.85 ± 0.23	13.0 ± 0.6	13.73 ± 0.42	14.3 ± 0.6	14.64 ± 0.85	14.8 ± 0.14
IgG, г/л	9.09 ± 0.07	8.08 ± 0.16	9.09 ± 0.15	9.02 ± 0.18	9.45 ± 0.33	9.35 ± 0.21
IgA, г/л	1.80 ± 0.02	1.73 ± 0.06	1.83 ± 0.06	1.73 ± 0.06	1.87 ± 0.13	1.88 ± 0.1
IgM, г/л	1.23 ± 0.02	1.18 ± 0.04	1.25 ± 0.05	1.29 ± 0.04	1.33 ± 0.13	1.32 ± 0.14
ЦИК, усл. ед. CICs, c.u.	5.38 ± 0.19 *	4.73 ± 0.38	5.54 ± 0.43	4.57 ± 0.41	2.49 ± 0.5	2.5 ± 0.33
Фагоцитарный индекс, % Phagocytic index, %	67.51 ± 0.8 *	69.94 ± 1.53	67.24 ± 1.79	68.3 ± 2.19	73.64 ± 2.3	73.2 ± 2.67
Фагоцитарное число Phagocytic number	5.31 ± 0.08*	5.23 ± 0.14	5.27 ± 0.17	5.33 ± 0.22	6.98 ± 0.39	6.3 ± 0.69
Лизоцим, мкг/мл Lysozyme, μMg/ml	5.43 ± 0.29	4.33 ± 3.8****	6.61 ± 1.82***	4.7 ± 0.75***	6.48 ± 1.42	6.5 ± 0.19

Примечание. Достоверные отличия ($p < 0,05$): * – между рабочими АГПЗ и контрольной группой; ** – между 1-м и 3-м производствами; *** – между 2-м и 3-м производствами; **** – достоверные отличия между 1-м и 2-м производствами.

Note: * – $p < 0.05$ significant differences between the AGPP workers and the control group; ** – $p < 0.05$ significant difference between the first and third production units; *** – $p < 0.05$ significant difference between the second and third production units; **** – $p < 0.05$ significant difference between the first and second production units.

обнаружен бензол, хотя его концентрации и не превышали ПДК. Все характерные для Астраханского ГПЗ вещества обнаруживались на объектах третьего производства так же постоянно, как и на первых двух, однако количество проб с превышением ПДК было существенно ниже. Таких проб было в 1,5–4 раза меньше, соответственно уровень содержания вредных веществ также был заметно ниже, чем на установках по переработке природного газа и получения элементарной серы. Однако наибольшую опасность с учётом постоянства содержания и уровня концентраций представляли сероводород и диоксид серы.

При исследовании поллютантов отмечена тенденция к заметному загрязнению воздушной среды при наличии более высокого содержания веществ в технологическом потоке: удельный вес диоксида серы повышался, а углеводородов снижался от начала процесса к его финишу. Однако такая закономерность наблюдалась не всегда, что мы связываем с диффузным загрязнением атмосферного воздуха на территории любого предприятия, перерабатывающего нефть, газ или конденсат.

Метеорологические условия – один из важных гигиенических факторов, способных оказывать определённое воздействие на организм работающих. Особое значение микроклимат рабочей зоны имеет в условиях пониженной или повышенной температуры, являющейся следствием либо природных, либо производственных обстоятельств. Частая повторяемость в Астраханской области смены высоких и низких температур окружающей среды способна влиять на состояние органов и систем человека как прямым, так и опосредованным путём. Это связано в первую очередь с усилением общего токсического действия целого ряда вредных веществ при температуре воздуха от плюс 30 °C и выше [14, 15].

Показатели температуры воздуха в зоне расположения Астраханского газового комплекса в период с июня по август колебались от плюс 25 до плюс 32 °C, нередко достигая плюс 36–44 °C при относительной влажности от 9 до 19%. Для холодных периодов года температура наружного воздуха в отдельные годы составляла от минус 20 до минус 22 °C. В этих случаях заметно возрастал весьма нежелательный перепад между температурой воздуха в помещениях и на открытой территории, где рабочие также должны бывать достаточно часто для наблюдения за наружными установками, регулирования технологического процесса, снятия показателей с приборов, мелкого ремонта и других подобных манипуляций. В первую очередь это относится к рабочим, которые обслуживают оборудование, размещённое на открытых площадках Астраханского ГПЗ (печи Клауса, установки «Сульфрин», серные ямы, открытые насосные установки риформинга У-1,734).

Обнаруженные изменения в иммунном статусе рабочих АГПЗ мы расцениваем как результат влияния производственных факторов, поскольку изучаемая и контрольная группы были сопоставимы по всем параметрам за исключением условий труда. В результате проведённых исследований было установлено, что у рабочих АГПЗ некоторые средние величины показателей иммунограмм отличаются от данных контрольной группы (табл. 2).

Эти отличия характеризуются достоверно большим содержанием в крови лейкоцитов и лимфоцитов. В популяционном составе лимфоцитов обнаружено некоторое снижение CD20 при сохранении на уровне контроля CD3. В субпопуляционном составе имеет место снижение CD4 и увеличение CD8, что проявляется уменьшением величины иммунорегуляторного индекса. У рабочих по сравнению с

контрольной группой была несколько ниже концентрация в сыворотке крови иммуноглобулинов трёх основных классов, достоверно снижены все изученные показатели фагоцитоза, уменьшена активность лизоцима. На фоне этих процессов регистрировалось значительное увеличение циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК).

При сравнении иммунный статус рабочих первого, второго и третьего производств АГПЗ отличался незначительно. Наибольшая трансформация иммунограмм была характерна для рабочих первого производства. Достоверные различия между группами регистрировались по выраженности лейкоцитоза, наибольшая величина которого зарегистрирована на первом производстве, а также по активности лизоцима. Другие показатели отличались в меньшей степени.

Обсуждение

Отсутствие достоверных различий между показателями иммунного статуса у рабочих различных производств АГПЗ подтверждает полученные нами гигиенические данные о сходном характере загрязнений на различных производственных участках. Содержание ароматических углеводородов в воздухе рабочих зон третьего производства практически не влияет на состояние иммунного статуса рабочих, следовательно, основной причиной изменений у них показателей иммунитета можно признать факторы общепроизводственного характера.

Выявленные в иммунограмме отклонения от значений физиологической нормы, а именно увеличение содержания лейкоцитов и лимфоцитов, не сопровождающееся достоверным изменением соотношения иммунокомпетентных клеток, расценены нами как адаптационные. Другим признаком адаптационного процесса являются изменения активности в иммунорегуляторном звене, заключающиеся в модификации соотношения субпопуляций CD3 и снижении величины иммунорегуляторного индекса.

Использованные в настоящем исследовании тесты фагоцитоза широко применяются для оценки функциональной активности нейтрофилов и отражают степень токсического угнетения иммунокомпетентных клеток, циркулирующих в кровотоке, а также характеризуют общую интоксикацию организма как продуктами деградации тканей, определяемыми при воспалительных процессах, так и поступающими извне поллютантами.

Проведённые нами исследования показали, что производственные факторы в промышленности, перерабатывающей газоконденсат с высоким содержанием сероводорода, вызывают изменения иммунного статуса рабочих. Эти изменения расценены нами как адаптационные, что предполагает возможность нормализации функций иммунной системы при проведении адекватных профилактических и реабилитационных мероприятий.

В комплексе оздоровительных мероприятий выбор наиболее рациональных и целесообразных в гигиеническом отношении технологических процессов и оборудования имеет решающее значение. Основанием для рекомендаций и оценки в данном случае должны быть СП 2.2.3670–20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда» (утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 40 от 2 декабря 2020 г.). Основанные на результатах гигиенической оценки условий труда в различных отраслях промышленности, они регламентируют основные направления организации технологических процессов и модернизации оборудования.

Следует отдавать предпочтение тем решениям, которые характеризуются наименьшим числом крупных источников загрязнения воздушной среды. Одним из радикальных направлений является сооружение комбинированных установок, предусматривающих получение целевой продукции в одном блоке. Это даёт возможность значительно сократить резервуарное хозяйство, печи для подогрева, теплообменную аппаратуру, различные ёмкости, насосное и компрессорное

оборудование, коммуникации. Особое значение имеет сокращение числа резервуаров и нагревательных печей, поскольку первые формируют до 40–48% выбросов различных углеводородов в атмосферу, а вторые являются основным (до 55%) источником оксида углерода на нефтегазоперерабатывающих заводах.

Основные причины больших потерь углеводородов через резервуары — это, как правило, высокая температура поступающей в них продукции (плюс 45–70 °С вместо допустимых плюс 40 °С), а также отсутствие или недостаточное обеспечение данных объектов средствами герметизации. Наиболее эффективными техническими решениями для сокращения подобных потерь являются замена погружных конденсаторов-холодильников ректификационных колонн аппаратами воздушного охлаждения и перевод на жёсткие связи технологических установок без промежуточных резервуаров. Практика показывает, что один аппарат воздушного охлаждения площадью 1000 м² позволяет сократить выбросы ароматических и других углеводородов в воздушную среду за счёт снижения температуры продукции на 1000–1100 т в год, а применительно к потерям нефтепродуктов в резервуарах — на 50–70%. Немаловажно, что расход чистой воды на конденсацию и охлаждение целевых продуктов в этом случае также сокращается на 70–75%. Имеющиеся товарные или сырьевые резервуары должны быть оборудованы устройствами, позволяющими максимально снизить поступление углеводородов в атмосферу. В настоящее время самыми эффективными техническими средствами, предотвращающими потери нефтепродуктов в резервуарах, являются плавающие крыши или же изготовленные из металла и полимерных материалов понтоны, которые позволяют резко уменьшить или почти полностью ликвидировать объём газового пространства в резервуаре. При этом количество поступающих в атмосферу углеводородов сокращается до 90%. Наряду с этими техническими решениями должны широко применяться диски-отражатели, непрмерзающие клапаны, лучеотражающая краска, замена большого числа мелких резервуаров с однотипной продукцией более крупными. Диски-отражатели и непрмерзающие тарелки клапанов могут быть применены во всех случаях, так как при незначительных затратах на изготовление и монтаж они позволяют сокращать потери углеводородов на 20–30%. Использование одного резервуара ёмкостью 10 000 м³ взамен резервуара ёмкостью 500 м³ даёт возможность снизить выбросы углеводородов на 20%. Наружное окрашивание резервуаров белилами на основе двуокиси титана сокращает потери на 25–30%, аналогичное окрашивание и защита внутренней поверхности антикоррозийным покрытием — на 60%.

Сокращение выбросов оксида углерода должно обеспечиваться как снижением числа нагревательных печей, так и использованием более совершенных агрегатов, обеспечивающих максимальную полноту сгорания топлива. В настоящее время наилучшие показатели в этом отношении показывает эксплуатация печей цилиндрического типа с форсунками бездымного горения. Значительно сокращается образование оксида углерода при использовании взамен жидкого топлива (мазута) природного или побочно получаемого газа.

Примерно 10–15% безвозвратных потерь углеводородов приходится на очистные сооружения и градирни оборотного водоснабжения. Практика и проведённые исследования показывают, что больше всего нефтепродуктов теряется в данном случае в результате их испарения в системах канализации, нефтеотделителей, нефтеловушек, прудов-накопителей, градирен, при обработке ловушечного продукта с подогревом. Поэтому первостепенное значение в этих условиях имеют герметизация систем технологической канализации, локальные способы улавливания углеводородов, замена при градирнях погружных конденсаторов-холодильников и обычных погружных или кожухотрубных конденсаторов-холодильников аппаратами воздушного охлаждения. Последнее мероприятие весьма значимо, поскольку в си-

стемах оборотного водоснабжения предприятий ежедневно циркулируют десятки тысяч кубометров оборотной воды, а внедрение лишь одного аппарата воздушного охлаждения предотвращает, как отмечалось ранее, поступление в атмосферу свыше 1000 т углеводородов в год. Если же учесть, что на каждой установке по переработке газа и конденсата можно устанавливать до 10–25 таких аппаратов, то нетрудно предвидеть величину не только гигиенического, но и экономического эффекта от внедрения.

Содержание токсических веществ в воздухе рабочей зоны изученных установок в наибольшей степени определяется состоянием технологического оборудования, обслуживаемого рабочими, его конструктивными особенностями и тщательностью соблюдения параметров процессов. Это тем более важно, что потери от выбросов углеводородов в воздушную среду из-за несовершенства конструкции и нарушения режима эксплуатации технологических установок являются наибольшими и даже с учётом частичного возврата составляют 25–55% общих потерь углеводородов на нефтезаводах.

Источниками этих потерь являются:

- сброс в канализацию и атмосферу жидких и газообразных углеводородов при дренировании воды и отработанных реагентов из ректификационных, отпарных, вакуумных колонн и газосепараторов всех установок, в результате чего, например, потери из резервуара ёмкостью 10 000 м³ могут достигать 100 т в год;
- теплообменная аппаратура водяных конденсаторов-холодильников и холодильников;
- сальниковые уплотнения валов насосов, компрессоров, штоков запорной арматуры и исполнительных механизмов контрольно-измерительных приборов;
- фланцевые соединения теплообменников, запорной арматуры, трубопроводов, колонн и другого технологического оборудования;
- негерметичность систем отбора проб, продувки насосов, компрессоров, контрольно-измерительных приборов.

Чтобы полностью исключить или значительно снизить потери нефтепродуктов вследствие указанных причин и ограничить таким образом поступление в зону дыхания токсических паров и газов, необходимо выполнение следующих работ: сооружение на отдельных установках или на группах установок и резервуаров местных ловушек, предназначен-

ных для сбора, обработки и возврата на переработку нефтепродуктов, сбрасываемых в канализацию; оборудование центробежных насосов торцовыми уплотнениями; широкое использование герметичных бессальниковых насосов типа ЦНГ и ХГВ; замена водяных холодильников аппаратами воздушного охлаждения; усовершенствование фланцевых соединений и прокладочного материала; применение рациональной схемы освобождения аппаратов от нефтепродуктов при подготовке их к ремонту; перевод компрессоров на режим работы без смазки; использование различных приборов для автоматического дренирования подтоварной воды из резервуаров и технологической аппаратуры; усовершенствование способов отбора проб (увеличение числа исследований продуктов непосредственно в потоке с вынесением записей результатов в центральную операторную либо выполнение пробоотбора под вакуумом). Каждое из этих мероприятий позволит сократить выбросы токсических паров и газов от соответствующего оборудования в рабочую зону на 20–90%.

Технологические процессы переработки газа и конденсата сопровождаются повышенной температурой и давлением. Это увеличивает риск поступления токсических продуктов через различные выходы неплотности в аппаратуру. Поэтому любое мероприятие, позволяющее получать товарный газ, серу, моторное и котельное топливо при более мягких параметрах, будет иметь очевидный гигиенический эффект.

Заключение

Современный газоперерабатывающий завод – сложное сооружение, для нормального функционирования которого требуется в зависимости от мощности и глубины переработки от 35 до 80 отдельных объектов. Каждое из этих производств является потенциальным источником различного рода токсических веществ. Основная цель оздоровительных мероприятий в газовой промышленности – создание благоприятных условий труда на данных объектах путём нормализации воздушной среды в рабочей зоне, оптимизации микроклиматических условий. Обеспечение этих важных в гигиеническом отношении мероприятий должно способствовать сохранению здоровья и трудоспособности работающих, предотвращению возможной профессиональной патологии и снижению любой заболеваемости.

Литература

1. Уйба В.В., Лавер Б.И., Кулыга В.Н. Промышленная медицина: её роль и перспективы развития в системе ФМБА России. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2019; 21(2): 243–9.
2. Бойко О.В., Ахминеева А.Х., Бойко В.И., Гудинская Н.И. Влияние Астраханского газоперерабатывающего завода на загрязнение воздуха производственных помещений и территории. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(2): 167–71. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-2-167-171>
3. Лазарев Н.В., Левина Э.Н. *Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Органические вещества: в 3 томах*. Ленинград: Химия; 1976.
4. Курляндский Б.А. Стратегические подходы к обеспечению безопасности производства и использования химических веществ для здоровья человека. *Российский химический журнал*. 2004; 58(2): 8–15.
5. Боев В.М., Сетко Н.П. *Сернистые соединения природного газа и их действие на организм*. М.: Медицина; 2001.
6. Назарова Е.Л., Тимофеева В.Ю., Плехов В.Л., Шардаков В.И., Ковтунова М.Е., Минаева Н.В. и др. Состояние иммунореактивности у работников химических производств – доноров плазмы для фракционирования. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2019; 21(3): 351–6.
7. Долгих О.В., Уланова Т.С., Карнажицкая Т.Д., Пермякова Т.С., Отавина Е.А. Особенности воздействия вредных производственных химических факторов на иммунную систему работников производства продуктов органического синтеза. *Медицина труда и промышленная экология*. 2017; (11): 36–41.
8. Бойко О.В., Доценко Ю.И., Гудинская Н.И., Мухамедзянова Р.И. Функциональные и морфологические особенности эритроцитов рабочих Астраханского газоперерабатывающего завода. *Морфология*. 2020; 157(2–3): 37.
9. Lawson S.M., Masterson E.A., Azman A.S. Prevalence of hearing loss among noise-exposed workers within the Mining and Oil and Gas Extraction sectors, 2006–2015. *Am. J. Ind. Med.* 2019; 62(10): 826–37. <https://doi.org/10.1002/ajim.23031>
10. Бойко В.И., Доценко Ю.И., Бойко О.В. Острофазовые белки в слюне рабочих на предприятии по переработке природного газа и конденсата с высоким содержанием сероводорода. *Клиническая лабораторная диагностика*. 2011; (6): 18–20.
11. Аликина И.Н., Долгих О.В. Иммунологический статус работников горно-перерабатывающего предприятия и химические факторы риска. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(5): 471–5. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-471-475>
12. Крючкова Е.Н., Антошина Л.И., Сухова А.В., Преображенская Е.А. Влияние факторов гальванического производства на иммунореактивность организма работающих. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(9): 959–63. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-959-963>
13. Зайцева Н.В., Уланова Т.С., Долгих О.В., Нурисламова Т.В., Казакова О.А., Мальцева О.А. Иммунологические и генетические показатели у работников при длительной низкоуровневой экспозиции акрилонитрилом. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(10): 1115–22. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1115-1122>
14. Бойко В.И., Доценко Ю.И., Бойко О.В., Ахминеева А.Х. Гигиена труда и состояние здоровья рабочих, занятых переработкой природного газа. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(6): 541–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-6-541-548>
15. Heinzerling A., Laws R.L., Frederick M., Jackson R., Windham G., Materna V., et al. Risk factors for occupational heat-related illness among California workers, 2000–2017. *Am. J. Ind. Med.* 2020; 63(12): 1145–54. <https://doi.org/10.1002/ajim.23191>
16. Бойко В.И., Доценко Ю.И., Бойко О.В. *Механизмы адаптации рабочих газоперерабатывающей отрасли (Характеристика и подробный анализ)*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic publishing; 2012.
17. Лапин С.В., Тотолян А.А. *Иммунологическая лабораторная диагностика аутоиммунных заболеваний*. СПб.: Человек; 2010.
18. Чиркин А.А., Окоороков А.Н., Гончарик И.И. *Диагностический справочник терапевта*. Минск: Беларусь; 1992.

References

1. Uyba V.V., Laver B.I., Kulyga V.N. Industrial medicine: its role and development prospects in the FMBA system of Russia. *Meditsina ekstremal'nykh situatsiy*. 2019; 21(2): 243–9. (in Russian)
2. Boyko O.V., Akhmineeva A.Kh., Boyko V.I., Gudinskaya N.I. Influence of Astrakhan gas processing plant on the air pollution by harmful chemical substances of industrial premises and the territory. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(2): 167–71. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-2-167-171> (in Russian)
3. Lazarev N.V., Levina E.N. *Harmful Substances in Industry. Handbook for Chemists, Engineers and Doctors. Organic Substances: in 3 Volumes [Vrednye veshchestva v promyshlennosti. Spravochnik dlya khimikov, inzhenerov i vrachey. Organicheskie veshchestva: v 3 tomakh]*. Leningrad: Khimiya; 1976. (in Russian)
4. Kurlyandskiy B.A. Strategic approaches to ensuring the safety of production and use of chemicals for human health. *Rossiyskiy khimicheskij zhurnal*. 2004; 58(2): 8–15. (in Russian)
5. Boev V.M., Setko N.P. *Sulfur Compounds of Natural Gas and Their Effect on the Body [Sernistyje soedineniya prirodnogo gaza i ikh deystvie na organizm]*. Moscow: Meditsina; 2001. (in Russian)
6. Nazarova E.L., Timofeeva V.Yu., Plekhov V.L., Shardakov V.I., Kovtunova M.E., Minaeva N.V., et al. Immunoreactivity status in workers at chemical industry plant – donors of plasma for fractionation. *Meditsina ekstremal'nykh situatsiy*. 2019; 21(3): 351–6. (in Russian)
7. Dolgikh O.V., Ulanova T.S., Karnazhitskaya T.D., Permyakova T.S., Otavina E.A. Features of chemical occupational hazards influence on immune system of workers engaged into organic synthesis production. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2017; (11): 36–41. (in Russian)
8. Boyko O.V., Dotsenko Yu.I., Gudinskaya N.I., Mukhamedzhanova R.I. Functional and morphological characteristics of red blood cells of workers from Astrakhan gas processing plant. *Morfologiya*. 2020; 157(2–3): 37. (in Russian)
9. Lawson S.M., Masterson E.A., Azman A.S. Prevalence of hearing loss among noise-exposed workers within the Mining and Oil and Gas Extraction sectors, 2006–2015. *Am. J. Ind. Med.* 2019; 62(10): 826–37. <https://doi.org/10.1002/ajim.23031>
10. Boyko V.I., Dotsenko Yu.I., Boyko O.V. Acute-phase proteins in the saliva of workers engaged in processing natural gas and condensate high in hydrogen sulfide. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika*. 2011; (6): 18–20. (in Russian)
11. Alikina I.N., Dolgikh O.V. Immunological status in employees of the mining and processing enterprise and chemical risk factors. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(5): 471–5. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-471-475> (in Russian)
12. Kryuchkova E.N., Antoshina L.I., Sukhova A.V., Preobrazhenskaya E.A. Influence of factors of electroplating production on the immunoreactivity of the body of workers. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(9): 959–63. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-959-963> (in Russian)
13. Zaytseva N.V., Ulanova T.S., Dolgikh O.V., Nurislamova T.V., Kazakova O.A., Mal'tseva O.A. Immunological and genetic indices in workers under long-term exposure to low-doses of acrylonitrile. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(10): 1115–22. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1115-1122> (in Russian)
14. Boyko V.I., Dotsenko Yu.I., Boyko O.V., Akhmineeva A.Kh. Occupational hygiene and health of workers employed in the processing of natural gas. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(6): 541–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-6-541-548> (in Russian)
15. Heinzerling A., Laws R.L., Frederick M., Jackson R., Windham G., Materna B., et al. Risk factors for occupational heat-related illness among California workers, 2000–2017. *Am. J. Ind. Med.* 2020; 63(12): 1145–54. <https://doi.org/10.1002/ajim.23191>
16. Boyko V.I., Dotsenko Yu.I., Boyko O.V. *Adaptation Mechanisms for Workers in the Gas Processing Industry (Characteristics and Detailed Analysis) [Mekhanizmy adaptatsii rabochikh gazopererabatyvayushchey otrasli (Kharakteristika i podrobnyy analiz)]*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic publishing. 2012 (in Russian)
17. Lapin S.V., Totolyan A.A. *Immunological Laboratory Diagnostics of Autoimmune Diseases [Immunologicheskaya laboratornaya diagnostika autoimmunnykh zabolevaniy]*. St. Petersburg: Chelovek; 2010. (in Russian)
18. Chirkin A.A., Okorokov A.N., Goncharik I.I. *Goncharik Diagnostic Handbook of Therapist [Diagnosticheskiy spravochnik terapevta]*. Minsk: Belarus'; 1992. (in Russian)