

СТАЖЕВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ИММУНИТЕТА РАБОЧИХ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ГАЗОКОНДЕНСАТА С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ СЕРОВОДОРОДА

О. В. Бойко ✉, Ю. И. Доценко

Астраханский государственный медицинский университет, Астрахань, Россия

Существующие меры защиты сотрудников газоперерабатывающих заводов не могут полностью предотвратить воздействие на них загрязнителей. Одним из методов мониторинга здоровья рабочих и системы мероприятий по нормализации условий труда является исследование иммунной системы. Целью работы было выявить изменения в иммунном статусе рабочих, занятых на предприятии по переработке газа и конденсата с высоким содержанием сероводорода в зависимости от их стажа. Использовали стандартные методы для характеристики производственной среды и оценки состояния иммунной системы работающих. Для индикации загрязнителей применяли универсальный газовый монитор 1302 Bruel & Kjaer, газовый хроматограф Цвет-550. Были обследованы 160 рабочих, а также 81 человек контрольной группы (доноры областной станции переливания крови). Исследования иммунной системы проводили на гематологическом анализаторе Sistem 9000 Plus, цитофлуориметре Cyto FLEX LX, спектрофотометре UNICO 2100UV, фотометре фотоэлектрическом КФК-3-03-ЗОМЗ. Сделаны выводы, что комплекс существующих профессионально-производственных вредностей оказывает влияние на состояние иммунитета рабочих основных производств, которое проявляется в снижении содержания CD20 и увеличении содержания CD8 при почти неизменном содержании CD4. Выявлена взаимосвязь изменения концентрации иммуноглобулинов, снижения фагоцитарного индекса и фагоцитарного числа, а также активности лизоцима с увеличением производственного стажа. Воздействие загрязнителей вызывает изменения состояния иммунитета рабочих, что может быть расценено как приспособительный механизм.

Ключевые слова: производственные факторы, загрязнители, иммунологические показатели

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

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено этическим комитетом Городской поликлиники № 8 (протокол № 15 от 21 ноября 2020 г.); все участники исследования подписали добровольное согласие на участие в исследовании.

✉ **Для корреспонденции:** Оксана Витальевна Бойко
ул. Бакинская, д. 121, 414000, г. Астрахань, Россия; oboyko08@mail.ru

Статья получена: 30.11.2021 **Статья принята к печати:** 13.12.2021 **Опубликована онлайн:** 18.12.2021

DOI: 10.47183/mes.2021.041

LONG-TERM IMMUNITY ALTERATIONS IN THE EMPLOYEES OF THE HIGH HYDROGEN SULFIDE CONTENT GAS CONDENSATE PROCESSING FACILITY

Boiko OV ✉, Dotsenko Yul

Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia

The current measures for protection of the gas processing plant employees cannot fully prevent the impact of pollutants. Evaluation of the immune system is one of the methods for monitoring of the employees' health, and testing the system of measures used to improve the working conditions. The study was aimed to identify alterations in the immune status of the employees at the gas processing and high hydrogen sulfide content condensate processing facility depending on their working experience. The working environment and the employees' immune system were evaluated by standard methods. Pollutants were detected with the Bruel & Kjaer 1302 Multi-Gas Monitor, and the Tsvet-550 gas chromatographer. A total of 160 employees and 81 controls (blood donors of the regional blood transfusion station) were surveyed. 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. It was concluded that the existing complex of occupational and industrial hazards affects the immune status of the main production unit employees, which is reflected in the decreased CD20 levels and increased CD8 levels along with the constant levels of CD4. Correlations were revealed between the immunoglobuline level alterations, decrease in the phagocytic index and phagocytic number, as well in lysozyme activity, and the working experience. Pollutant exposure results in altered immunity of the employees, which could be considered the adaptation mechanism.

Keywords: production factors, pollutants, immunological indicators

Author contribution: Boiko OV — study concept and design, data acquisition and processing; Dotsenko Yul — data acquisition and processing; all the authors — approval of the final version of the article, responsibility for integrity of all article sections.

Compliance with ethical standards: the study was approved by the Ethics Committee of the municipal outpatient clinic № 8 (protocol № 15 dated November 21, 2020); the informed consent was submitted by all study participants.

✉ **Correspondence should be addressed:** Oksana V. Boiko
Bakinskaya, 121, 414000, Astrakhan, Russia; oboyko08@mail.ru

Received: 30.11.2021 **Accepted:** 13.12.2021 **Published online:** 18.12.2021

DOI: 10.47183/mes.2021.041

Загрязнение воздушной среды газоперерабатывающих предприятий вредными химическими веществами остается ведущим в гигиеническом отношении фактором, способным оказывать определенное влияние на состояние здоровья рабочих [1–6]. Имея уникальный природный состав, газ Астраханского месторождения обладает определенной спецификой воздействия как на окружающую среду, так и на организм человека. Его отличает большое содержание сероводорода (до 25%) вместе с углеводородами (2,84%),

оксидами углерода (14–20%) и азота (2,45%), меркаптанами (0,03–0,22%) и карбонилсульфидом углерода (0,02–0,42%) [3]. Существующие на сегодняшний день меры защиты сотрудников газоперерабатывающих заводов не могут полностью предотвратить влияние на них вредных факторов.

В связи с этим возникает научно-практический интерес изучения качественных и количественных изменений иммунологических показателей, отражающих

сущность процессов перестройки в организме рабочих и позволяющих своевременно отслеживать состояние их здоровья с целью профилактики риска развития патологических состояний [7–8]. Иммунная система является одной из самых динамично реагирующих систем организма на воздействие поллютантов, а иммунологические исследования можно рассматривать как одни из наиболее достоверных для установления причинной связи заболеваний с вредными условиями труда. Между тем можно сослаться лишь на ограниченное число работ, посвященных этому вопросу [8–11]. Так же недостаточно представлена в литературе информация о чувствительности иммунной системы к длительным воздействиям производственных факторов [9–16].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Гигиеническую аттестацию рабочих мест проводили с определением концентрации поллютантов в воздухе рабочей зоны на основании нормативных документов.

Для определения в воздухе SO_2 применяли универсальный газовый монитор 1302 «Brüel & Kjaer» (Дания). Для индикации концентрации H_2S использовали фотометрический метод, основанный на взаимодействии сероводорода с арсенитом натрия и нитратом серебра. Определение предельных (C1–C10), непредельных (C2–C5) и ароматических углеводородов — бензола, толуола, ксилолов и этилбензола — выполняли газохроматографическим методом. Для индикации этих веществ использовали

Таблица 1. Содержание вредных веществ в воздухе рабочих зон

Место отбора проб воздуха	Поллютанты	Число анализов	Концентрация поллютантов, мг/м ³			ПДК, мг/м ³
			мин	макс	средние $M \pm m$	
Машинные залы	Сероводород	25	1,3	8,1	5,4 ± 0,8	3
	Диоксид серы	25	1,3	45,3	23,1 ± 2,6	10
	Диоксид азота	22	0,9	4,1	2,1 ± 0,3	2
	Оксид углерода	16	3,9	53,1	29,1 ± 6,0	20
	Углеводороды	25	1,5	80	43,1 ± 4,6	300
	Меркаптаны	15	0,3	2,2	1,24 ± 0,2	0,8
Насосные	Сероводород	25	1,1	7,7	5,1 ± 0,8	3
	Диоксид серы	25	2,5	54,6	27,4 ± 4,5	10
	Оксиды азота	22	1,4	3,7	3,0 ± 0,6	2
	Оксид углерода	16	3,2	49,7	25,1 ± 5,6	20
	Углеводороды	25	2,7	63,8	38,3 ± 3,9	300
	Меркаптаны	15	0,2	2,1	1,07 ± 0,25	0,8
Звукоизолирующие кабины в машинных залах	Сероводород	23	1	7,4	5,0 ± 0,7	3
	Диоксид серы	25	0,6	32,2	12,6 ± 3,4	10
	Диоксид азота	22	1,7	3,8	3,01 ± 0,09	2
	Оксид углерода	16	3,6	49,4	25,3 ± 6,0	20
	Углеводороды	25	1,8	72,8	30,6 ± 2,6	300
	Меркаптаны	15	0,2	2	1,7 ± 0,3	0,8
Звукоизолирующие кабины в насосных	Сероводород	23	1	6,2	4,8 ± 0,6	3
	Диоксид серы	25	3,3	31,4	14,3 ± 5,9	10
	Оксиды азота	22	1,3	3	1,9 ± 0,2	2
	Оксид углерода	16	3,1	41,6	24,3 ± 5,9	20
	Углеводороды	25	18,2	88,6	45,2 ± 9,2	300
	Меркаптаны	15	0,2	1,4	0,7 ± 0,21	0,8
Аппаратный двор	Сероводород	24	0,6	1,8	1,1 ± 0,2	3
	Диоксид серы	24	3,8	22,6	16,6 ± 2,4	10
	Оксиды азота	23	0,8	3,8	2,2 ± 0,2	2
	Оксид углерода	15	3,3	33,3	17,2 ± 1,6	20
	Углеводороды	25	3	38,6	23,2 ± 5,8	300
	Меркаптаны	14	0,2	1,4	0,8 ± 0,31	0,8
Эстакады ручного налива серы и площадка погрузки комовой и гранулированной серы	Сероводород	50	1,3	66,5	29,8 ± 6,8	3
	Диоксид серы	53	7,4	360	57,2 ± 9,6	10
	Оксиды азота	28	0,6	3,4	1,8 ± 0,2	2
	Оксид углерода	62	3,8	47,5	22,9 ± 5,1	20
	Углеводороды	54	1,7	12,2	7,9 ± 0,9	300
	Пыль серы	42	8,4	21,4	13,7 ± 1,4	6

Таблица 2. Показатели иммунного статуса рабочих Астраханского ГПЗ с различным стажем

Показатели	Средние значения показателей по группам, М ± m				
	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4	Контрольная группа
Лейкоциты, × 10 ⁹	7,35 ± 0,37	7,88 ± 0,33	8,35 ± 0,26**	7,35 ± 0,32	5,27 ± 0,36
Лимфоциты, %	36,8 ± 1,87	37,2 ± 0,83	38,9 ± 1,46	38,3 ± 1,42	34,23 ± 1,88
CD3, %	56,6 ± 1,54	58,0 ± 1,76	57,5 ± 1,76	57,3 ± 1,6	56,38 ± 2,12
CD4, %	36,1 ± 1,31	36,1 ± 1,49	38,0 ± 0,67	38,7 ± 1,6	38,69 ± 1,98
CD8, %	19,5 ± 0,73	20,5 ± 1,37	21,9 ± 1,35	18,6 ± 1,8	17,69 ± 0,88
CD4/CD8	2,32 ± 0,12	2,06 ± 0,19	1,83 ± 0,15**	2,42 ± 0,3	2,25 ± 0,17
CD20, %	14,7 ± 0,72	13,9 ± 0,38	13,5 ± 0,69	14,2 ± 0,6	14,64 ± 0,85
IgG, г/л	9,21 ± 0,12	9,04 ± 0,19	9,03 ± 0,2	9,11 ± 0,2	9,45 ± 0,33
IgA, г/л	1,81 ± 0,07	1,84 ± 0,08	1,84 ± 0,04	1,86 ± 0,06	1,87 ± 0,08
IgM, г/л	1,24 ± 0,07	1,28 ± 0,06	1,28 ± 0,04	1,29 ± 0,07	1,33 ± 0,11
ЦИК, усл. ед.	4,77 ± 0,41	5,01 ± 0,44	5,83 ± 0,27	5,45 ± 0,47	2,49 ± 0,5
Фагоцитарный индекс, %	72,1 ± 2,51	70,7 ± 0,75*	66,4 ± 0,16**	67,1 ± 3,0	73,64 ± 2,3
Фагоцитарное число	5,73 ± 0,27	5,65 ± 0,2*	5,08 ± 0,11**	5,36 ± 0,32	6,98 ± 0,39
КАФ, в 1 мкл	3033 ± 239	2961 ± 231	3183 ± 143	2609 ± 202	2345 ± 232
Лизоцим, мкг/мл	5,67 ± 0,48	4,86 ± 0,64	4,17 ± 0,54**	6,16 ± 1,29	6,48 ± 1,42

Примечание. * — достоверные различия ($p < 0,05$) между группами 2 и 3; ** — достоверные различия ($p < 0,05$) между группами 1 и 3; группа 1 — стаж 1–3 года, группа 2 — стаж 3–5 лет, группа 3 — стаж 5–10 лет, группа 4 — стаж более 10 лет.

газовый хроматограф Цвет-550 («Росприбор»; Россия). Наряду с указанными методами углеводороды (в сумме) определяли с помощью универсального газового монитора 1302 «Bruel & Kjaer». Концентрацию оксидов азота измеряли фотометрическим методом. Определение метанола в воздухе рабочих зон проводили газохроматографическим методом, оксид углерода — методом реакционной газовой хроматографии. Для этой же цели использовали универсальный газовый монитор 1302 «Bruel & Kjaer».

Было обследовано 160 рабочих (операторов, машинистов) основных и вспомогательных производств газоперерабатывающего завода. Критерии включения в исследование: лица мужского пола; возраст 30–40 лет (средний возраст — 36,4 года). Были также обследованы 81 человек контрольной группы (доноры областной станции переливания крови). Критерии включения в контрольную группу: соответствие по полу и возрасту сотрудникам завода (сравнение групп по возрасту не выявило статистически значимых различий ($p > 0,05$)); критерии исключения: наличие стажа работы на предприятиях газоперерабатывающей, нефтяной и химической промышленности; наличие контакта с какими-либо химическими неблагоприятными производственными факторами.

Обследование изучаемой группы проводили в период плановых медицинских осмотров с использованием стандартных методов исследований. Все участники были разделены на четыре группы со стажем работы на заводе 1–3 года, 3–5 лет, 5–10 лет, 10 лет и более.

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). Фагоцитарные клетки исследовали прямым морфологическим методом. Классы иммуноглобулинов определяли турбидиметрическим методом, концентрацию ЦИК измеряли методом преципитации с полиэтиленгликолем (ПЭГ-6000) и регистрировали при 280 нм с использованием спектрофотометра UNICO 2100UV (United Products &

Instruments, Inc.; США). Активность лизоцима выявляли нефелометрически по изменению мутности суспензии *Micrococcus lysodeikticus* с использованием КФК-3-03-«ЗОМЗ» («Загорский оптико-механический завод»; Россия).

При статистическом анализе результатов использовали программное обеспечение Statistica 12 (StatSoft; США) и методы вариационной статистики. Предварительно оценивали описательные показатели статистики: число наблюдений в выборке (n), среднее арифметическое полученных данных (M), среднее квадратическое отклонение (m), стандартную ошибку среднего арифметического (t), минимальное (\min) и максимальное (\max) значение 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 описывали с помощью среднего значения (M) и среднего квадратического отклонения (m). Оценку достоверности различий осуществляли при помощи критериев Уилкоксона и Манна–Уитни при уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полученные нами данные свидетельствуют о значительном содержании целого ряда вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Хотя практически все они участвуют в технологическом процессе и почти полностью преобразуются в соединения серы (в частности, диоксид серы) или удаляются через дымовые трубы установок (оксиды углерода), постоянное наличие поллютантов в рабочей зоне имеет место. Подобное присутствие характерно не только для сугубо производственных помещений (насосные, машинные залы), но и для звукоизолирующих кабин, где технологическое оборудование отсутствует (табл. 1).

Влияние производственных факторов на здоровье работающих подтверждает зависимость обнаруженных изменений иммунного статуса от производственного стажа. Было установлено, что с возрастанием производственного стажа имеют место тенденции к увеличению содержания в крови лейкоцитов и лимфоцитов, снижение содержания CD20, прогрессивное увеличение содержания CD8 при почти неизменном содержании CD4 (табл. 2).

Зависимость изменения концентрации клеточных и гуморальных факторов рабочих от производственного стажа неодинаковая. Для показателей фагоцитоза характерно прогрессивное снижение фагоцитарного индекса и фагоцитарного числа с увеличением производственного стажа, что в какой-то степени компенсируется увеличением общего числа фагоцитирующих клеток. Однако эти компенсаторные возможности начинают снижаться при стаже более 10 лет.

Гуморальные факторы неспецифической резистентности имеют более разнообразную зависимость от производственного стажа. Так, активность лизоцима у рабочих прогрессивно снижается с увеличением стажа, а классы иммуноглобулинов реагируют по-разному. Для IgG характерна тенденция к снижению содержания, а для IgA и IgM — к повышению.

Таким образом, показана зависимость изменений большинства показателей иммунного статуса от длительности производственного стажа рабочих и, следовательно, условий труда, что подтверждает профессиональную этиологию этих изменений. Однако эти изменения имеют фазовый характер, что позволяет рассматривать их и как различные стадии процесса адаптации.

Для нахождения возможной связи содержания некоторых гуморальных факторов резистентности в сыворотке крови и слюне рабочих было изучено содержание в слюне различных групп рабочих активности лизоцима. Установлено, что этот показатель изменялся у рабочих в крови и в слюне практически одинаково как по направленности, так и по интенсивности, причем обнаруженное сходство прослеживается во всех изученных группах рабочих, что позволяет использовать содержание лизоцима для неинвазивной диагностики. В сыворотке рабочих его уровень достигал в среднем $5,43 \pm 0,29$ мкг/мл, в сыворотке участников контрольной группы — $6,48 \pm 1,42$ мкг/мл. В слюне рабочих содержание лизоцима составило $8,82 \pm 0,49$ мкг/мл, а в слюне участников контрольной группы — $10,41 \pm 0,65$ мкг/мл.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные исследования показали, что комплекс профессионально-производственных вредностей, характерных для предприятий, перерабатывающих газовый конденсат с высоким содержанием сероводорода, оказывает определенное воздействие на состояние иммунной системы рабочих. Процессы, происходящие при этом в организме, непосредственно связаны с продолжительностью воздействия производственных факторов, т. е. зависят от стажа работы в газовой промышленности.

Выявленное нами снижение фагоцитарной активности нейтрофилов периферической крови хорошо согласуется с имеющимися литературными данными и может быть интерпретировано как следствие интоксикации организма рабочих поллютантами воздушной среды заводских помещений. Все это создает предпосылки для неэффективной элиминации возбудителей инфекционных

заболеваний, и, как следствие, хронического течения инфекционной патологии, вплоть до формирования резидентного бактерионосительства. Подобное предположение может быть поддержано определяемой повышенной концентрацией IgA у сотрудников завода. Известно, что именно IgA ответственен за резистентность слизистых оболочек к патогенам, а его концентрация увеличивается при наличии воспалительного процесса в области входных ворот инфекции. С учетом выявленного снижения активности лизоцима как в сыворотке, так и в слюне рабочих по сравнению с контрольной группой, можно предположить возможность формирования хронической инфекционной патологии.

Длительная персистенция возбудителей инфекции в организме человека может приводить к формированию, в том числе, аутоиммунной патологии. Примером могут служить аутоантитела против ганглиозидной части рецептора ТТГ, которые ответственны за развитие гипертиреоза при базедовой болезни. Провоцирующую роль в развитии подобных аутоиммунных болезней играют некоторые бактериальные инфекции, так как гликофинголипиды бактериальных антигенов зачастую вызывают перекрестный иммунный ответ. При базедовой болезни такую роль играет *Yersinia enterocolitica*.

В связи с тем, что IgM способен активировать комплемент и выступать посредником в цитотоксических реакциях, определяемое как нами, так и другими исследователями, повышение концентрации IgM у сотрудников химических производств может способствовать возникновению у них предрасположенности к аутоиммунной патологии.

ВЫВОДЫ

Первостепенное значение в плане улучшения условий труда в изученных производствах имеет максимальная утилизация всех сырьевых и промежуточных продуктов при переработке природного серосодержащего газа и конденсата путем высокоэффективной работы основных объектов производства — процессов Клауса и Сульфрин. Это позволит свести к минимуму загрязнение атмосферного воздуха в целом и воздушной среды непосредственно на территории Астраханского ГПЗ. Необходимы также высокая степень герметизации технологического оборудования, размещенного в насосных и машинных залах (насосов, компрессоров, запорной арматуры), организация автоматического контроля ингредиентов в потоке. Как прямое, так и опосредованное действие производственных факторов Астраханского газоперерабатывающего завода вызывает заметные изменения состояния иммунного статуса рабочих, что может быть расценено как адаптационный механизм. Идентифицированные изменения иммунного статуса могут быть одной из причин, способствующих росту заболеваемости сотрудников завода, особенно чувствительных к повреждающему действию конкретных факторов производственной среды, что указывает на целесообразность включения иммунологических исследований в практику гигиенической оценки условий труда на предприятиях газовой промышленности. Учитывая доказательность использованных лабораторных методов, можно рекомендовать их к применению для массовых профилактических осмотров рабочих. Полученные при этом результаты могут быть критериями при формировании групп риска для проведения реабилитационных мероприятий, а также для профессионального отбора вновь поступающих на работу соискателей.

Литература

1. Lawson SM, Masterson EA, Azman AS. 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. DOI: 10.1002/ajim.23031.
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. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-2-167-171.
3. Notley SR, Flouris AD, Kenny GP. Occupational heat stress management: Does one size fit all? *Am J Ind Med.* 2019; 62 (12): 1017–23. DOI: 10.1002/ajim.22961.
4. Heinzerling A, Laws RL, 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. DOI: 10.1002/ajim.23191.
5. Binazzi A, Levi M, Bonafede M, Bugani M, Messeri A, Morabito M et al. Evaluation of the impact of heat stress on the occurrence of occupational injuries: Meta-analysis of observational studies. *Am J Ind Med.* 2019; 62 (3): 233–43. DOI: 10.1002/ajim.22946.
6. Валеев Т. К., Рахманин Ю. А., Сулейманов Р. А., Малышева А. Г., Гимранова Г. Г., Рахматуллин Н. Р., Рахматуллина Л. Р., Бактыбаева З. Б. и др. Характеристика риска для здоровья населения нефтедобывающего региона в связи с факторами среды обитания. *Гигиена и санитария.* 2021; 100 (11): 1310–6. Доступно по ссылке: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1310-1316>.
7. Уйба В. В., Лавер Б. И., Кулыга В. Н. Промышленная медицина: ее роль и перспективы развития в системе ФМБА России. *Медицина экстремальных ситуаций.* 2019; 21 (2): 261–7.
8. 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.
9. Аликина И. Н., Долгих О. В. Иммунологический статус работников горно-перерабатывающего предприятия и химические факторы риска. *Гигиена и санитария.* 2021; 100 (5): 471–5. Доступно по ссылке: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-471-475>.
10. 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. Доступно по ссылке: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-959-963>.
11. Землянова М. А., Пескова Е. В., Кольдибекова Ю. В., Пустовалова О. В. Изменения биохимических показателей у работников, занятых подземной добычей хромовых руд. *Гигиена и санитария.* 2021; 100 (10): 1103–8. Доступно по ссылке: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1103-1108>.
12. Gaoyi Yao, Yang Yun, Nan Sang. Differential effects between one week and four weeks exposure to same mass of SO₂ on synaptic plasticity in rat hippocampus. *Environmental Toxicology.* 2016; 31 (7): 820–29. DOI: 10.1002/tox.22093.
13. Kåre Eriksson, Lage Burström, Tohr Nilsson. Blood biomarkers for vibration-induced white fingers. A case-comparison study. *Am J Ind Med.* 2020; 63 (9): 779–86. DOI: 10.1002/ajim.23148.
14. 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.
15. Землянова М. А., Кольдибекова Ю. В., Пескова Е. В., Пустовалова О. В., Ухабов В. М. Влияние длительности трудового стажа на биохимические показатели работников при переработке калиевой руды. *Гигиена и санитария.* 2021; 100 (5): 451–6. Доступно по ссылке: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-451-456>.
16. 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. Доступно по ссылке: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1115-1122>.

References

1. Lawson SM, Masterson EA, Azman AS. 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. DOI: 10.1002/ajim.23031.
2. Boiko OV, Akhmineeva AKh, Boiko VI, Gudinskaya NI. Influence of Astrakhan gas processing plant on the air pollution by harmful chemical substances of industrial premises and the territory. *Hygiene and Sanitation.* 2016. 95 (2): 167–71. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-2-167-171. Russian.
3. Notley SR, Flouris AD, Kenny GP. Occupational heat stress management: Does one size fit all? *Am J Ind Med.* 2019; 62 (12): 1017–23. DOI: 10.1002/ajim.22961.
4. Heinzerling A, Laws RL, 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. DOI: 10.1002/ajim.23191.
5. Binazzi A, Levi M, Bonafede M, Bugani M, Messeri A, Morabito M et al. Evaluation of the impact of heat stress on the occurrence of occupational injuries: Meta-analysis of observational studies. *Am J Ind Med.* 2019; 62 (3): 233–43. DOI: 10.1002/ajim.22946.
6. Valeev TK, Rakhmanin YuA, Suleymanov RA, Malysheva AG, Gimranova GG, Rakhmatullin NR, et al. Characteristics of the risk to the health of the population of the oil-producing region associated with environmental factors. *Hygiene and Sanitation.* 2021; 100 (11): 1310–6. Available from: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1310-1316>. Russian.
7. Uyba VV, Laver BI, Kulyga VN. Industrial medicine: its role and development prospects in the FMBA system of Russia. *Meditsina ekstremal'nykh situatsiy (Medicine of Extreme Situations, Russian journal)* 2019; 21 (2): 261–7. Russian.
8. Nazarova EL, Timofeeva VYu, Plehov VL, Shardakov VI, Kovtunova MYe, Minaeva NV, Rylov AV, Paramonov IV. Immunoreactivity status in workers at chemical industry plant — donors of plasma for fractionation. *Meditsina ekstremal'nykh situatsiy.* 2019; 21 (3): 351–6. Russian.
9. Alikina IN, Dolgikh OV. Immunological status in employees of the mining and processing enterprise and chemical risk factors. *Hygiene and Sanitation.* 2021; 100 (5): 471–5. Available from: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-471-475>. Russian.
10. Kryuchkova EN, Antoshina LI, Sukhova AV, Preobrazhenskaya EA. Influence of factors of electroplating production on the immunoreactivity of the body of workers. *Hygiene and Sanitation.* 2021; 100 (9): 959–63. Available from: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-959-963>. Russian.
11. Zemlyanova MA, Peskova EV, Koldibekova JV, Pustovalova OV. Study of changes in biochemical indices in workers employed in underground mining of chrome ore. *Hygiene and Sanitation.* 2021; 100 (10): 1103–8. Available from: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1103-1108>. Russian.
12. Gaoyi Yao, Yang Yun, Nan Sang. Differential effects between one week and four weeks exposure to same mass of SO₂ on synaptic plasticity in rat hippocampus. *Environmental Toxicology.* 2016; 31 (7): 820–29. DOI: 10.1002/tox.22093.
13. Kåre Eriksson, Lage Burström, Tohr Nilsson. Blood biomarkers for vibration-induced white fingers. A case-comparison study. *Am J Ind Med.* 2020; 63 (9): 779–86. DOI: 10.1002/ajim.23148.
14. Boiko VI, Dotsenko Yul, Boiko OV. Acute phase proteins in the

- saliva of the workers at the plant for the processing of natural gas and condensate from the high content of hydrogen sulphide. *Russian Clinical Laboratory Diagnostics*. 2011; 6: 18–20. Russian.
15. Zemlyanova MA, Koldibekova JV, Peskova EV, Pustovalova OV, Ukhayov VM. Impact of the service terms on biochemical indices in employees at the potassium ore processing enterprise. *Hygiene and Sanitation*. 2021; 100 (5): 451–6. Available from: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-451-456>. Russian.
16. Zaitseva NV, Ulanova TS, Dolgikh OV, Nurislamova TV, Kazakova OA, Maltseva OA. Immunological and genetic indices in workers under long-term exposure to low-doses of acrylonitrile. *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(10):1115-1122. Available from: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1115-1122>. Russian.