



Обзор

© CC BY 4.0

УДК 613.632+616-057+57.044+331.436+661.691.1
<https://doi.org/10.56871/RBR.2025.38.86.003>

Применение максимально недействующей концентрации как аналога индекса биологического воздействия для превентивного мониторинга здоровья работников химической отрасли

Екатерина Евгеньевна Нужнова, Юрий Валерианович Васильев

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

Для цитирования: Нужнова Е.Е., Васильев Ю.В. Применение максимально недействующей концентрации как аналога индекса биологического воздействия для превентивного мониторинга здоровья работников химической отрасли. *Российские биомедицинские исследования*. 2025;10(4):49–57. <https://doi.org/10.56871/RBR.2025.38.86.003>.

Поступила: 15.08.2025

Одобрена: 22.10.2025

Принята к печати: 15.12.2025

**Автор
для корреспонденции:**
Екатерина Евгеньевна
Нужнова
E-mail:
ees1967@mail.ru

РЕЗЮМЕ. Введение. В современных условиях деятельности промышленных производств и предприятий остается актуальной проблема обеспечения санитарно-гигиенических требований на рабочих местах сотрудников, отвечающих установленным нормам законодательства Российской Федерации. Проблемы, связанные с вероятностью контакта с химическими веществами, также остаются актуальными и не потеряли своей значимости. При изучении подходов по оценке влияния на организм работников промышленных токсикантов общепринятым в Российской Федерации является расчетный метод «стажевой дозовой нагрузки», который служит для обоснования связи нарушения состояния здоровья работников с накоплением в организме ксенобиотиков. В целях профилактики накоплений токсикантов и организации мер по предупреждению профессиональных заболеваний применяются периодические медико-профилактические обследования работников, которые назначаются на основе результатов проведенной специальной оценки условий труда, для рабочих мест с зафиксированным фактом превышения предельно допустимой концентрации в воздухе рабочей зоны вредных веществ, характерных для производства. В настоящее время на крупных предприятиях, где присутствует химический фактор, деятельность санитарных лабораторий направлена на фиксацию присутствия в воздухе рабочей зоны химических веществ. В зависимости от класса опасности вещества и особенностей технологического процесса по согласованию с местными органами Роспотребнадзора устанавливается периодичность отбора проб и их анализ. Однако для того, чтобы осуществлять мероприятия, направленные на предупреждение профессиональных заболеваний работников, необходимо пересмотреть подходы к осуществлению превентивного мониторинга. **Целью** работы является превентивное выявление негативного влияния на организм работников токсических веществ и принятие мер по организации системы биомониторинга на предприятиях, имеющих потенциально опасные вредные вещества. **Материалы и методы.** Проведен систематический анализ современных литературных источников, нормативной документации в области гигиены труда. Методом сравнительного анализа сопоставлены отечественные и зарубежные принципы и практика применения подходов по оценке негативного влияния токсикантов на организм работников. **Выводы.** Для организации превентивного контроля состояния организма работников, контактирующих с химическими веществами, необходимо дополнить существующие процедуры контроля состояния производственной среды, такие как специальная оценка условий труда и производственный контроль, системой биомониторинга для получения полного представления о воздействии токсикантов на организм человека и последующей оценки риска его здоровью.

Ключевые слова: рабочие места, предельно допустимая концентрация воздуха рабочей зоны, максимально недействующая концентрация, химический фактор, индекс биологического воздействия, селен, профзаболевания

© Коллектив авторов, 2025

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.



Review

<https://doi.org/10.56871/RBR.2025.38.86.003>

The usage of the maximum inactive concentration as an analogue of the biological impact index for preventive health monitoring of chemical industry workers

Ekaterina E. Nuzhnova, Yuri V. Vasiliev

Saint Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., Saint Petersburg, 194100, Russian Federation

For citation: Nuzhnova E.E., Vasiliev Yu.V. The usage of the maximum inactive concentration as an analogue of the biological impact index for preventive health monitoring of chemical industry workers. *Russian Biomedical Research*. 2025;10(4):49–57. <https://doi.org/10.56871/RBR.2025.38.86.003>.

Received: 15.08.2025

Revised: 22.10.2025

Accepted: 15.12.2025

Corresponding author:

Ekaterina E. Nuzhnova

E-mail:

ees1967@mail.ru

ABSTRACT. Introduction. In modern conditions of industrial production and enterprises, the problem of ensuring sanitary and hygienic requirements at the workplaces of employees who meet the established requirements of the legislation of the Russian Federation remains urgent. Problems associated with the possibility of contact with chemicals also remain relevant and have not lost their significance. When studying approaches to assessing the impact of industrial toxicants on the body of employees, the current and generally accepted method in the Russian Federation is the calculation method of “stay dose load”, which serves to substantiate the connection between the violation of the health status of workers and the accumulation of xenobiotics in the body. In order to prevent the accumulation of toxicants and organize measures to prevent occupational diseases, periodic medical and preventive examinations of employees are used, which are prescribed based on the results of a special assessment of working conditions, for workplaces with a recorded fact of exceeding the maximum permissible concentration in the air of the working area of harmful substances, typical for production. Today, in large enterprises where there is a chemical factor, the activities of industrial sanitary laboratories are aimed at registering the presence of chemicals in the air of the work area. Depending on the hazard class of the substance and the specifics of the technological process, the frequency of sampling and analysis is established. However, in order to implement measures aimed at preventing occupational diseases of workers, it is necessary to review approaches to the implementation of preventive monitoring. **The purpose** of the work is to prevent the negative effects of toxic substances on the body of workers and to take measures to organize a biomonitoring system at enterprises with potentially dangerous harmful substances. **Materials and methods.** A systematic analysis of modern literary sources and regulatory documentation in the field of occupational hygiene has been carried out. By the method of comparative analysis, domestic and foreign principles and practice of using approaches to assess the negative impact on the body of toxicant workers are compared. **Conclusions.** In order to organize preventive monitoring of the body condition of workers in contact with chemicals, it is necessary to supplement existing procedures for monitoring the working environment, such as special assessment of working conditions and production control, with a biomonitoring system to obtain a complete understanding of the impact of toxicants on the human body and subsequently assess the health risk.

Keywords: workplaces, maximum permissible concentration of air in the working area, maximum inactive concentration, chemical factor, biological exposure indices, selenium, occupational diseases

© 2025 by the authors

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.



ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, основываясь на общедоступной информации, размещенной в сети Интернет, можно опосредованно судить о развитии новых технологий, направленных на потребности экономики нашей страны в различных сферах деятельности, например приборостроении, IT-индустрии и других смежных направлениях.

Интенсификация развития технологий производства также обусловлена потребностями Российской Федерации в импортозамещении, необходимых для вышеупомянутых отраслей народного хозяйства сырья и материалов, комплектующих, узлов и деталей машин, оборудования. Ввозимое в нашу страну оборудование и производственные технологии не всегда соответствуют требованиям безопасности, в том числе по способности выделять в окружающее пространство вредные вещества.

Множество работников на своих рабочих местах подвергаются воздействию различных поллютантов, например химикатов в виде паров, аэрозолей, пыли, которые при определенных обстоятельствах могут негативно повлиять на их здоровье. Так, при оценке влияния токсикантов, попадающих в воздух рабочей зоны, принято учитывать только пути ингаляционного влияния ксенобиотиков на работника, но некоторые из них способны нанести большой вред здоровью при попадании на кожу. В этой связи будет полезным подход, направленный на комплексное обследование и организацию биологического мониторинга состояния здоровья работников.

Если воздействие поллютантов на работников не контролируется должным образом, это может привести к ухудшению состояния их здоровья. Некоторые заболевания, вызванные воздействием опасных веществ на рабочем месте (профессиональные заболевания), могут проявиться лишь после достаточно длительного периода экспозиции после первого контакта. В дальнейшем никакое самое эффективное лечение профессионального заболевания не сможет привести к прекращению подобных случаев заболеваемости у других работников производства, если не устранить источники вредного воздействия. В этой связи риск повторений будет всегда оставаться достаточно высоким. Именно поэтому важно заранее знать, как защитить здоровье персонала, подверженного контакту с опасными веществами, а также других людей, на которых потенциально могут повлиять выполняемые виды работ.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью работы является разработка подхода к организации системы превентивного биомониторинга

здоровья работников химической отрасли на основе применения максимально недействующей концентрации (МНК) как аналога индекса биологического воздействия (Biological Exposure Indices, BEI).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящее время для осуществления контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны применяется два подхода: 1) процедура специальной оценки условий труда (далее СОУТ)¹; 2) организация производственного контроля².

На сегодняшний день существующая процедура специальной оценки условий труда направлена на фиксацию на рабочих местах факторов производственной среды и трудового процесса, о которых фактически заявляет потенциальный заказчик этой процедуры. Не секрет, что имеют место нарушения при проведении процедуры специальной оценки условий труда с фиксацией величин всех факторов производственной среды на уровне, не превышающем нормативные значения. В результате таких действий недобросовестные работодатели экономят на доплатах и компенсациях за вредные условия труда, ссылаясь на то, что заботятся о здоровье работников, выдавая им средства индивидуальной защиты. Результатом подобного рода действий работодателей будет являться повышение уровня профессионально обусловленной заболеваемости в Российской Федерации.

Для контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны применяются аттестованные методики измерений, входящие в перечень органа по аккредитации (государственный информационный фонд по обеспечению единства измерений — ОЕИ)³. В связи с этим может возникнуть некая коллизия в возможности проведения оценки уровня содержания химического соединения или вещества, присутствующего в воздухе рабочей зоны, если методика его измерений не существует или еще не аттестована.

¹ Федеральный закон от 28.12.2013 г. № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда». Доступно по: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/ (дата обращения: 08.06.2024).

² Федеральный закон от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». Доступно по: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/ecf7d99dfedfce263c69b78e069fa4ac904ab9c0/ (дата обращения: 08.06.2024).

³ Официальный сайт «Государственный информационный фонд по обеспечению единства измерений — ОЕИ». Доступно по: <https://oei.by/mvi/index> (дата обращения 08.06.2024).



Следует отметить еще один важный фактор, влияющий на объективность оценки условий труда по химическому фактору, — это периодичность проведения измерений и временной интервал, выбранный для выполнения оценки. Так, согласно рекомендациям по проведению СОУТ, необходимо осуществлять измерения в максимально загруженную смену, с наибольшей продуктивностью работы оборудования и сопутствующих технологических операций. Как правило, при проведении СОУТ эта рекомендация не учитывается, на основании чего можно говорить об относительной объективности получаемых оценок.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, можно заключить, что результаты проведенной СОУТ могут не отражать реального состояния воздушной среды на рабочих местах. Те сотрудники, которые при выполнении своей работы контактируют с вредными веществами, при направлении их на прохождение периодического медицинского осмотра могут не получить полноценного медицинского исследования, позволяющего выявить ранние признаки профессиональной патологии, из-за указания работодателем отсутствия у них химического фактора.

Решением данной проблемы могли бы стать регулярные скрининговые медицинские осмотры работников с применением подходов, аналогичных индексам биологического воздействия (BEI). Индексы биологического воздействия представляют собой ориентировочные значения для оценки результатов биологического мониторинга, применяются в качестве дополнительной меры по оценке негативного воздействия токсикантов на работников и полезны для подтверждения того, что имеет место воздействие конкретного токсиканта¹.

В нашей стране для индикации содержания ксенобиотиков в организме человека существует достаточно большое количество методов, применяемых в практике доказательной медицины. Для осуществления регулярного контроля содержания промышленных токсикантов и их метаболитов в биосредах, взятых у работников на анализ в течение смены, необходимо создать дополнительную структуру (имеющую отраслевую направленность на существующие предприятия и организации) в рамках действующих специализированных медицинских учреждений по изучению профзаболеваний на основе биомониторинга и разработать алгоритм применения подходов, позволя-

ющих идентифицировать на раннем этапе возникновение отклонений в состоянии здоровья работника, подвергающегося воздействию производственных токсикантов.

Представляет интерес рассмотрение вопроса о возможности применения аналога индексов биологического воздействия для организации превентивного контроля здоровья работников, на рабочих местах которых подтверждено наличие химического фактора.

Один из возможных подходов к реализации мероприятий по индикации содержания ксенобиотиков в организме работающих может быть рассмотрен на примере контакта с соединениями селена.

Во многих отраслях промышленного производства широко применяется селен, как в виде различных солей, так и в виде металлического порошка. Он используется в полупроводниковых технологиях, в производстве высококачественных сплавов, в фармацевтике, в лакокрасочной и стекольной промышленности. Области применения селена представлены на рисунке 1.

По оценкам современного состояния потребления селена в мире наметилась незначительная тенденция роста, в том числе при производстве витаминных препаратов и другой продукции [1].

Крупнейшими мировыми производителями селена являются Япония (30–50% мирового производства), Канада (16–20%), Бельгия (10–14%) и Германия (7%). Россия в мировом производстве селена занимает не более 7% [2, 3].

В настоящее время производителями селена в Российской Федерации являются три металлургические компании: «Норникель», Уральская горно-металлургическая компания и Кыштымский медеплавильный завод [4, 5].

Технологии получения селена до конца XX столетия практически не претерпевали изменений. Основной технологией была обжиговоселенидная, внедренная в 1970-х годах на Норильском и Алмаыкском горно-металлургическом комбинатах и «Уралэлектромеди».

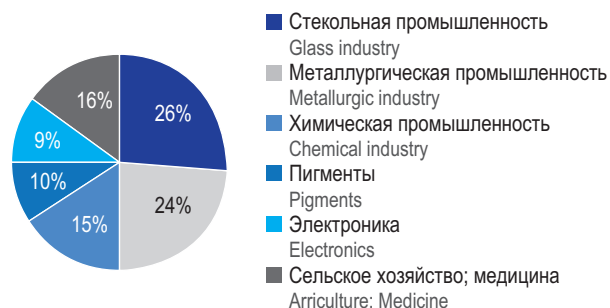


Рис. 1. Распределение областей промышленности по применению селена

Fig. 1. Differentiation of industrial spheres of selenium application

¹ Международная организация труда. Энциклопедия. Доступно по: <https://www.iloencyclopaedia.org/ru/part-iv-66769/biological-monitoring-65407> (дата обращения 16.06.2024).



Медные шламы, образующиеся при электролитической очистке медных анодов, являлись основным промышленным источником селена.

Применяемые на металлургических предприятиях современные технологии выщелачивания меди — SW-EW (Smelting — Water Leaching — Electrowinning; обжиг — выщелачивание — электроэкстракция), разработанные в 1980-х годах фирмами Phelps Dodge Corp. и Placer Dome, исключают образование анодных шламов, из которых извлекался селен [4, 6]. В настоящее время применяются наиболее эффективные технологии извлечения селена из растворов (электролитов) различного генезиса.

В процессе извлечения и очистки селена в воздухе рабочей зоны предприятия могут присутствовать различные химические соединения тяжелых металлов, пары кислот и других веществ. Работники, непосредственно участвующие в технологических операциях по получению селена, могут подвергаться воздействию вредных химических соединений, которые попадают в воздух рабочей зоны из технологического оборудования.

В связи с этим важным этапом осуществления контроля за состоянием производственной среды является систематическое наблюдение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны вредными веществами, а также организация мониторинга состояния здоровья работников, имеющих контакт с различными химическими соединениями в процессе трудовой деятельности^{1, 2}.

Среднесменная предельно допустимая концентрация (ПДК) аэрозоля селена в воздухе рабочей зоны составляет 2 мг/м³, и он отнесен к 3-му классу опасности, а для аэрозоля селена диоксид максимальная разовая ПДК составляет 0,3 мг/м³, среднесменная — 0,1 мг/м³, он отнесен к 1-му классу опасности веществ³.

Метод индикации гексафторида селена (далее — SeF₆) в воздухе рабочей зоны, а также обоснование

ПДК SeF₆ (в виде паров) в воздухе рабочей зоны на уровне 0,2 мг/м³ и причисление его к 1-му классу опасности веществ, рассматривались в статье О.В. Горбуновой и соавт. [7].

В ходе токсикологических исследований влияния гексафторида селена на состояние организма белых нелинейных крыс также был разработан метод биоиндикации содержания селена в биологических средах, в частности в крови и моче исследуемых животных. Метод разрабатывался для обоснования теста экспозиции и дальнейшего применения в организации производственного контроля (биомониторинга) для работников, контактирующих с опасным химическим соединением — SeF₆ [7].

Согласно исследованиям [8], выделение селена из организма происходит через почки. Это позволило предположить, что поступающий при ингаляционном воздействии гексафторид селена после различных метаболических превращений также частично выводится с мочой в виде различных соединений селена.

Кроме того, известно, что селен присутствует и в крови, в том числе в виде селензависимой глутатионпероксидазы (ГПО). ГПО найдена практически во всех клетках тканей и биологических жидкостях человека и животных. Во много раз большую активность энзим проявляет в плазме крови, чем в эритроцитах [9].

Эти обстоятельства, а также то, что кровь и моча являются наиболее доступными и удобными для анализа биосубстратами, послужили основанием для их выбора в качестве биосред для определения содержания селена в организме [10].

Была получена дозозависимая зависимость эффекта воздействия SeF₆ — зависимости «время-эффект» и «концентрация-эффект». По полученным результатам зависимостей была проведена оценка *общетоксического эффекта*, с помощью показателя S, отражающего отклонение состояния организма подопытных животных от такового у контрольных [11]. На этой основе была получена *максимально неэффективная концентрация* (МНК) гексафторида селена при его хроническом действии, равная 0,12 мг/м³, которая может быть применена для обоснования биологического мониторинга для работников, занятых во вредных условиях труда, как было показано на примере ксенобиотика в диссертационной работе О.В. Горбуновой [10].

Как показывает практика, подобные методы биоиндикации содержания вредных веществ в биосредах применяются лишь как дополнение в случаях доказательной медицины и не связаны с обоснованием профессиональных заболеваний и/или отравлений. Широкого применения методы биоиндикации для скрининга состояния здоровья работников, связанных

¹ Федеральный закон от 28.12.2013 г. № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда». Доступно по: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/ (дата обращения: 08.06.2024).

² Федеральный закон от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». Доступно по: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/ecf7d99dfedfce263c69b78e069fa4ac904ab9c0/ (дата обращения: 08.06.2024).

³ Постановление главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 2 «Об утверждении Санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 16.06.2024).



с наличием химического фактора на рабочих местах, в настоящее время не находят. Это обстоятельство можно объяснить необходимостью организации сложной системы взаимодействия специализированных медицинских учреждений, которые должны быть ориентированы на определенную отраслевую специфику поднадзорных им предприятий, и множеством других факторов, которые усложняют схему построения подобного контроля.

Однако существует острая необходимость пересмотра подходов по организации мониторинга. Проблемы организации биомониторинга в Российской Федерации заключаются в:

- необходимости создания и аккредитации большого количества специализированных отраслевых аналитических лабораторий для организации скрининга здоровья персонала;
- разработке современных методик биоконтроля и их обосновании;
- изучении токсикокинетических процессов при попадании токсиканта в организм человека;
- обосновании отбора определенного вида биоматериала на анализ и т.п.

Мероприятия по организации биомониторинга на предприятии состоят в:

- своевременности выявления контакта работника с промышленными токсикантами и принятием мер;
- полноте охвата групп работников для проведения обследования;
- применимости методов для организации текущего контроля, позволяющих в процессе трудовой деятельности работников отслеживать показатели по депонированию вредных веществ в организме, и др.

В то же время, основываясь на мировом опыте применения показателя BEI, можно сделать вывод, что такой подход, ориентированный на раннее выявление отклонений в состоянии здоровья работников, имеющих контакт с вредными веществами, приносит значительные положительные эффекты, влияющие на снижение профессиональной заболеваемости, связанной с химическим фактором [12]. Однако, по результатам исследований авторов [3], показано, что применяемые показатели санитарно-гигиенического нормирования на предприятиях в Российской Федерации носят более жесткий характер, численные значения установленных предельно допустимых концентраций для воздуха рабочей зоны (ПДКр.з.) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) [8] существенно отличаются от показателей BEI.

Тем не менее детерминанты BEI являются показателями, характеризующими реакцию человека на химические вещества, поступившие в его организм любыми путями (например, ингаляционно, кожно-

резорбтивно, перорально). В некоторых случаях индексы BEI соответствуют пороговому предельному значению (Threshold Limit Value, TLV) как «безопасному» уровню без отклика о воздействии на здоровье. В других случаях они могут отражать самые высокие — 5% уровней откликов на воздействие токсиканта, наблюдаемых среди населения в целом. Кроме того, некоторые BEI не имеют числового значения и/или дают только качественную оценку воздействия. Эти индексы могут быть полезны для подтверждения того, что имеет место воздействие конкретного химического вещества [13].

По мнению авторов, аналогом BEI может служить максимально неэффективная концентрация (МНК), определяемая при непрерывных исследованиях различных токсикантов [11]. С применением подхода на основе определения МНК различных ксенобиотиков становится возможной реализация на практике риск-ориентированной концепции по оценке профессиональных рисков, направленной на предупреждение профессионально обусловленной заболеваемости, вызванной воздействием токсических веществ [14–16].

ОБСУЖДЕНИЕ

Мы рассмотрели вопросы применимости подходов по оценке негативного воздействия на здоровье работников химического фактора при его наличии на рабочих местах. Подход к санитарно-гигиенической оценке воздействия химических веществ на работников, реализуемый в Российской Федерации на основе СОУТ и производственного контроля, показал, что для организации системы предупредительного контроля и профилактики профессионально обусловленной заболеваемости, он недостаточно информативен и применим.

В целях организации предупредительного контроля за состоянием здоровья работников производства с наличием на рабочих местах химического фактора необходимы меры по применению подходов, основанных на ранней индикации химических веществ, контакт с которыми происходил в течение рабочего времени.

В качестве индикаторов, позволяющих оценить влияние на здоровье персонала химических веществ, рассмотрены индекс биологического воздействия (BEI), применяемый в странах Европы и Америки, а также максимально неэффективная концентрация (МНК), используемая в России для обоснования теста экспозиции. Применение МНК может способствовать раннему выявлению отклонений в состоянии здоровья работников и снижению уровня профессио-



нального риска, связанного с воздействием химического фактора.

Сравнение подходов, реализуемых в применении ВЕИ и МНК, показало, что индекс биологического воздействия недостаточно применим к существующей системе санитарно-гигиенического контроля, действующего в нашей стране. В свою очередь, максимально неэффективная концентрация может служить тем маркером, который может найти применение в превентивной диагностике отклонений состояния здоровья работников, подвергшихся воздействию химических веществ, на ранних этапах контакта.

В современных условиях в Российской Федерации проведение оценки негативного воздействия на организм работающих с применением подходов, основанных на аналогах индексов биологического воздействия (ВЕИ), например максимально недействующей концентрации (МНК), может быть эффективно реализовано.

В настоящее время оценка вредного воздействия химических веществ на организм работников основана на применении результатов СОУТ и производственного контроля, оценке профессиональных рисков и результатах проведенных периодических медицинских осмотров.

В связи с этим обстоятельством необходимо отметить важность проблемы обеспечения безопасных и безвредных условий труда работников, которые будут осуществлять деятельность на вновь организованных или переоснащенных рабочих местах. В современных условиях развития производств также необходимо пересмотреть подходы, связанные с оценкой факторов производственной среды, оказывающих влияние на здоровье работников.

ВЫВОДЫ

В данной взаимосвязи предусмотренных законодательством процедур необходимо организовать превентивный контроль состояния здоровья работников предприятий, на рабочих местах которых присутствует химический фактор. Становится очевидной перспективность изучения направления, связанного с организацией превентивного контроля и оценкой состояния здоровья работников, контактирующих с различного рода токсикантами [17–21].

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арешина Н.С., Касиков А.Г. Использование продуктов и отходов производства Кольской ГМК для получения технического селена [Электронный ресурс]. Издательский дом Гелион. Доступно по: <https://helion-ltd.ru/reception-technical-selenium/> (дата обращения: 08.06.2024).
2. Лебедь А.Б., Набойченко С.С., Шунин В.А., общ. ред. Производство селена и теллура на ОАО «Уралэлектромедь». Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та; 2015: 112.
3. Скрипаль Б.А., Чашин В.П., Гудков А.Б. и др. Профессиональный риск в горнохимической промышленности в Арктике. Апатиты: Кольский научный центр РАН; 2020: 129. <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.444.0>. EDN: WEAANP.
4. Каршибоев Ш.Б., Мирзавалиев Д.Б. Методы очистки и промышленное применение селена. *Universum: технические науки*: электрон. научн. журн. 2023;4(109). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15338> (дата обращения: 08.06.2024).
5. Кульчицкий Н.А., Наумов А.В. Современное состояние рынков селена и соединений на его основе. *Известия вузов. Цветная металлургия*. 2015;(3):40–48. <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2015-3-40-48>.
6. Мирзанова З.А., Муносибов Ш.М.У., Рахимжонов З.Б.У. Технология переработки техногенных отходов содержащие цветные металлы. *Universum: технические науки*: электрон. научн. журн. 2021;6(87). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11950>. EDN: WHRESU.
7. Горбунова О.В., Юшков Г.Г., Бун М.М. Гигиеническое нормирование гексафторида селена в воздухе рабочей зоны. *Гигиена и санитария*. 2005;(1):65. EDN: OJNQAR.
8. Аникина Л.В. Роль селена в патогенезе и коррекции эндемического зоба. Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Чита; 1998: 37.



9. Иванов В.Н., Никитина Л.П., Аникина Л.В. Селен в жизни человека и животных. Никитина Л.П., Иванов В.Н., ред.; Читин. гос. мед. ин-т. М.: ТОО «Росуниверсал»: МП «Калина»; 1995: 241.
10. Горбунова О.В. Научное обоснование методов определения гексафторида селена в воздухе рабочей зоны и биосредах в целях гигиенического нормирования и контроля среды. Дис. ... канд. биол. наук. Ангарск; 2004. EDN: NJRTVP.
11. Катульский Ю.Н. Методология токсиколого-гигиенического изучения и регламентирования совместно действующих ксенобиотиков. Дис. ... д-ра биол. наук. Ангарск; 1997: 224.
12. Georgopoulos P.G., Sasso A.F., Isukapalli S.S. et al. Reconstructing population exposures to environmental chemicals from biomarkers: Challenges and opportunities. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2009;19(2):149–171. <https://doi.org/10.1038/jes.2008.9>. EDN: MJNNUR.
13. Рожков С.С., Смирнов А.В. Сопоставление российских и зарубежных показателей предельного вредного воздействия лекарственных средств. *Разработка и регистрация лекарственных средств.* 2016;(2):222–231.
14. Красовский В.О. Алгоритмы количественной оценки профессиональных рисков в гигиене труда. *Norwegian Journal of Development of the International Science.* 2020;(38):28–32. EDN: JFAJVL.
15. Мельцер А.В., Ерастова Н.В., Киселев А.В. Гигиеническое обоснование моделей количественной оценки априорного профессионального риска. *Профилактическая и клиническая медицина.* 2020;3(76):12–20. EDN: SDSDDM.
16. Мещаклова Н.М., Шахметов С.Ф., Дьякович М.П. Совершенствование методических подходов к оценке риска нарушений здоровья у работающих при воздействии химического фактора. *Гигиена и санитария.* 2017;96(3):270–274. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-3-270-274>.
17. Зайцев В.А., Ивашкевич Л.С., Амельченко Е.В. Влияние содержания химических неорганических ксенобиотиков в воздухе рабочей зоны на изменение элементного статуса работающих. *Здоровье и окружающая среда.* 2012;(20):47–52. EDN: ZAUALX.
18. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Чашин В.П., Гудков А.Б. Научные принципы применения биомаркеров в медико-экологических исследованиях (обзор литературы). *Экология человека.* 2019;(9):4–14. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-9-4-14>. EDN: WSWNQJ.
19. Клебанов Р.Д. Гигиеническая диагностика производственно-обусловленной заболеваемости при оценке профессиональных рисков. В кн.: Здоровье и окружающая среда: Сборник материалов международной научно-практической конференции. В 2 т. Минск, 15–16 ноября 2018 года. Т. 1. Минск: Республиканская научная медицинская библиотека; 2018: 151–154. EDN: YUTMTJ.
20. Ревич Б.А. Биомониторинг металлов в организме человека. *Микроэлементы в медицине.* 2005;6(4):11–16. EDN: NPTDSB.
21. Федорович Г.В. Зависимость «доза-эффект» риск-ориентированный подход для тяжелого труда. *Безопасность и охрана труда.* 2017;(3):52–61. EDN: ZOWCIN.

REFERENCES

1. Areshina N.S., Kasikov A.G. Use of products and waste from the Kola Mining and Metallurgical Company to obtain technical selenium [Electronic resource]. Helion Publishing House. Available at: <https://helion-ltd.ru/reception-technical-selenium/> (accessed: 08.06.2024). (In Russian)
2. Lebed' A.B., Naboichenko S.S., Shunin V.A, general editor. Production of selenium and tellurium at Uralelectromed public corporation. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta; 2015: 112. (In Russian).
3. Skripal' B.A., Chashchin V.P., A. B. Gudkov A.B. et al. Occupational risks in the Arctic mining and chemical industry. Apatity: Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences; 2020: 129. <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.444.0>. (In Russian). EDN: WEAANP.
4. Karshiboev SH.B., Mirzavaliyev D.B. Purification methods and industrial applications of selenium. *Universum: technical sciences: electronic scientific journal.* 2023;4(109). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15338> (accessed: 08.06.2024). (In Russian).
5. Kul'chitskii N.A., Naumov A.V. Modern state of markets of selenium and selenium-based compounds. *Izvestiya vyzov. Non-Ferrous Metallurgy.* 2015;(3):40–48. (In Russian). <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2015-3-40-48>.
6. Mirzanova Z.A., Munosibov Sh.M.U., Rakhimzhonov Z.B.U. Technology for processing industrial waste containing non-ferrous metals. *Universum: технические науки: electronic scientific journal.* 2021;6(87). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11950>. (accessed: 08.06.2024). (In Russian). EDN: WHRESU.
7. Gorbunova O.V., Yushkov G.G., Bun M.M. Hygienic standards for selenium hexafluoride in the air of the working area. *Gigiena i sanitariya.* 2005;(1):65. EDN: OJNQAR. (In Russian).
8. Anikina L.V. The role of selenium in the pathogenesis and correction of endemic goiter. MD thesis. Chita; 1998: 37. (In Russian).
9. Ivanov V.N., Nikitina L.P., Anikina L.V. Selenium in the lives of humans and animals. Nikitina L.P., Ivanov V.N., eds.; Chita State Medical Institute. Moscow: TOO "Rosuniversal": MP "KalinA"; 1995: 241. (In Russian).
10. Gorbunova O.V. Scientific substantiation of methods for determining selenium hexafluoride in the air of the working area and biological environments for the purposes of hygienic standardization and environmental control. PhD dissertation. Angarsk; 2004. EDN: NJRTVP. (In Russian).
11. Katul'skiy Yu.N. Methodology of toxicological and hygienic study and regulation of co-acting xenobiotics. MD dissertation. Angarsk; 1997: 224. (In Russian).
12. Georgopoulos P.G., Sasso A.F., Isukapalli S.S. et al. Reconstructing population exposures to environmental chemicals from biomarkers: Challenges and opportunities. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2009;19(2):149–171. <https://doi.org/10.1038/jes.2008.9>. EDN: MJNNUR.



13. Rozhkov S.S., Smirnov A.V. Comparison of Russian and foreign hygienic parameters of medicines permissible exposure limit. *Drug development and registration*. 2016;(2):222–231. (In Russian).
14. Krasovsky V.O. Algorithms of quantitative assessment of professional risks in occupational health. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2020;(38):28–32. EDN: JFAJVL. (In Russian).
15. Mel'tser A.V., Erastova N.V., Kiselev A.V. Hygienic justification of models for quantitative assessment of a priori professional risk. *Preventive and Clinical Medicine*. 2020;3(76):12–20. EDN: SDSDDM. (In Russian)
16. Meshchakova N.M., Shayakhmetov S.F., Dyakovich M.P. The improvement of methodical approaches to the health risk assessment in workers exposed to the chemical factor. *Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2017;96(3):270–274. (In Russian). <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-3-270-274>.
17. Zaitsev V.A., Ivashkevich L.S., Amel'chenko E.V. The influence of the content of chemical inorganic xenobiotics in the air of the working area on the change in the elemental status of workers. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda*. 2012;(20):47–52. EDN: ZAUALX. (In Russian).
18. Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., Chashchin V.P., Gudkov A.B. Scientific principles of use of biomarkers in medico-ecological studies (review). *Human Ecology*. 2019;26(9):4–14. (In Russian). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-9-4-14>. EDN: WSWNQJ.
19. Klebanov R.D. Hygienic diagnostics of work-related diseases in the assessment of occupational risks. In: Health and the Environment: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. In 2 vol. Minsk, November 15–16, 2018. Vol. 1. Minsk: Respublikanskaya nauchnaya meditsinskaya biblioteka. 2018: 151–154. EDN: YUTMTJ. (In Russian).
20. Revich B.A. Biological monitoring of metals in human organism. *Mikroelementy v Meditsine*. 2005;6(4):11–16. (In Russian). EDN: NPTDSB.
21. Fedorovitch G.V. The dose-effect relationship for heavy work. Risk-oriented approach. *Bezopasnost' i okhrana truda*. 2017;(3):52–61. (In Russian). EDN: ZOWCIN.

Об авторах

* **Екатерина Евгеньевна Нужнова** — к.м.н., доцент кафедры общей гигиены. E-mail: ees1967@mail.ru; <https://orcid.org/0007-0009-2812-1006>; SPIN: 3388-1206

Юрий Валерианович Васильев — к.м.н., доцент кафедры общей гигиены. E-mail: yvw@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5102-1774>; SPIN: 2532-2885

* Автор, ответственный за переписку.
Corresponding author.

Authors' info

* **Ekaterina E. Nuzhnova** — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of General Hygiene. E-mail: ees1967@mail.ru; <https://orcid.org/0007-0009-2812-1006>; SPIN: 3388-1206

Yuri V. Vasiliev — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of General Hygiene. E-mail: yvw@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5102-1774>; SPIN: 2532-2885