

EDN: <https://elibrary.ru/jegvkg>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2025-65-3-202-208>

УДК 613.6.06+613.644+577.24

© Коллектив авторов, 2025

Каримов Д.Д.<sup>1,2</sup>, Шайхлисламова Э.Р.<sup>1</sup>, Мухаммадиева Г.Ф.<sup>1</sup>, Каримов Д.О.<sup>1,3</sup>, Кудояров Э.Р.<sup>1</sup>, Гизатуллина А.А.<sup>1</sup>, Смолянкин Д.А.<sup>1</sup>**Ассоциация между развитием вибрационной болезни и уменьшением относительной длины теломер среди работников предприятий Башкортостана**<sup>1</sup>ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», ул. Степана Кувыкина, 94, Уфа, 450106;<sup>2</sup>Институт биохимии и генетики — обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр» РАН, пр-т Октября, 71, Уфа, 450054;<sup>3</sup>ФГБНУ «Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н.А. Семашко», ул. Воронцово поле, 12, стр. 1, Москва, 105064

Вибрационная болезнь (ВБ) — профессиональное заболевание, которое развивается при длительном воздействии производственной вибрации разной частоты. Ранее было показано влияние вибрационной болезни на старение человека, измеренного на основе физиологических показателей. Измерение длины теломер является наиболее распространённым маркером биологического возраста человека, который, как считается, отражает разницу в скорости старения человека. Теломеры представляют собой некодирующие гетерохроматиновые участки и служат для защиты концов хромосом от слияния друг с другом и от эрозии генов.

Цель исследования — оценить биологический возраст работников, страдающих от вибрационной болезни, методом определения относительной длины теломер (ОДТ).

Для проведения исследования был получен биоматериал 51 человека в возрасте 35–60 лет, прошедших обследование в ФБУН «УфНИИ МТ ЭЧ», Участники исследования были разделены на группы в зависимости от наличия диагноза «Вибрационная болезнь» и типа вибрационного воздействия. Определение относительной длины теломер проводили методом полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ). Статистический анализ проводили с использованием пакета `scipy.stats` на языке Python.

Выявлено статистически значимое снижение ОДТ в группе рабочих с вибрационной болезнью по сравнению со здоровыми работниками. При анализе относительной длины теломер среди работников, подвергавшихся различным типам вибрации, выявлено статистически значимое уменьшение длины теломер работников, подвергавшихся общей вибрации по сравнению с другими исследованными группами.

Развитие ВБ ассоциировано со статистически значимым снижением средней ОДТ. Данный биомаркер также показывает различия в зависимости от характера воздействия: общая вибрация ассоциирована с более сильным снижением ОДТ, чем локальная.

**Ограничения исследования.** К недостаткам работы стоит отнести недостаток данных об условиях труда. Не удалось получить данные о величине вибрационного воздействия, что не позволило количественно оценить его влияние на развитие ВБ и показатель ОДТ. Также в работе не учтены сопутствующие вредные производственные факторы, т. к. их разнородность и малый размер выборки по каждому фактору не позволили провести статистический анализ. К недостаткам можно отнести и отсутствие дополнительных анализов, таких, как уровень содержания кортизола и других гормонов, связанных со стрессовой реакцией. Также стоит отметить малый размер исследованной выборки, что не позволило провести регрессионный анализ для сравнительной оценки влияния пола, возраста и прочих признаков на ОДТ и ВБ.

**Ключевые слова:** Вибрационная болезнь; общая вибрация; локальная вибрация; теломеры; биологический возраст; профессиональная патология

**Этика.** Проведение работы одобрено биоэтическим комитетом ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», выписка из протокола № 02-04 от 18.04.2024 г. От всех участников было получено информированное согласие.

**Для цитирования:** Каримов Д.Д., Шайхлисламова Э.Р., Мухаммадиева Г.Ф., Каримов Д.О., Кудояров Э.Р., Гизатуллина А.А., Смолянкин Д.А. Ассоциация между развитием вибрационной болезни и уменьшением относительной длины теломер среди работников предприятий Башкортостана. *Мед. труда и пром. экол.* 2025; 65(3): 202–208. <https://elibrary.ru/jegvkg> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2025-65-3-202-208>

**Для корреспонденции:** Каримов Денис Дмитриевич, e-mail: [karriden@gmail.com](mailto:karriden@gmail.com)

**Участие авторов:**

Каримов Д.Д. — сбор и обработка данных, проведение экспериментов, статистическая обработка, написание и редактирование текста;

Шайхлисламова Э.Р. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, редактирование и утверждение текста;

Мухаммадиева Г.Ф. — сбор и обработка данных, написание и редактирование текста;

Каримов Д.О. — концепция и дизайн исследования, статистическая обработка, редактирование и утверждение текста;

Кудояров Э.Р. — проведение экспериментов, редактирование текста;

Гизатуллина А.А. — проведение экспериментов, редактирование текста;

Смолянкин Д.А. — проведение экспериментов, редактирование текста.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Дата поступления:** 16.10.2024 / **Дата принятия к печати:** 23.02.2025 / **Дата публикации:** 07.04.2025

Denis D. Karimov<sup>1,2</sup>, Elmira R. Shaykhlislamova<sup>1</sup>, Guzel F. Muhammadiyeva<sup>1</sup>, Denis O. Karimov<sup>1,3</sup>, Eldar R. Kudoyarov<sup>1</sup>, Alina A. Gizatullina<sup>1</sup>, Denis A. Smolyankin<sup>1</sup>

## Association between the development of vibration disease and a decrease in the relative length of telomeres among employees of Bashkortostan enterprises

<sup>1</sup>Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, 94, Stepana Kuvykina St, Ufa, 450106;

<sup>2</sup>Institute of Biochemistry and Genetics — a separate structural subdivision of Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 71, Octabrya Ave, Ufa, 450054;

<sup>3</sup>N.A. Semashko National Research Institute of Public Health, 12-1, Vorontsovo Pole St, Moscow, 105064

Vibration disease (VD) is an occupational disease that develops with prolonged exposure to industrial vibrations of different frequencies. Previously, the effect of vibration disease on human aging was shown, measured on the basis of physiological indicators. Measuring telomere length is the most common indicator of a person's biological age, which is believed to reflect the difference in a person's aging rate. Telomeres are non-coding regions of heterochromatin and serve to protect the ends of chromosomes from sticking together and from gene erosion.

The study aims to estimate the biological age of employees suffering from vibration disease by determining the relative length of telomeres (RLT).

To conduct the study, the specialists received biomaterials from 51 people aged 35 to 60 years, who were examined at the Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology. The study participants were divided into groups depending on the diagnosis of vibration disease and the type of vibration exposure. Determination of the relative length of telomeres was carried out using the real-time polymerase chain reaction (RT-PCR) method. The researchers performed statistical analysis using the *scipy.stats* package in Python.

The researchers found a statistically significant decrease in the relative telomere length in the group of workers with vibration disease compared with healthy workers. An analysis of the relative telomere length in workers exposed to various types of vibration revealed a statistically significant decrease in telomere length in workers exposed to general vibration compared with other groups studied.

The development of vibration disease is associated with a statistically significant decrease in the average relative telomere length. This biomarker also shows differences depending on the nature of exposure: general vibration is associated with a greater decrease in the relative length of telomeres than local vibration.

**Limitations.** The disadvantages of the work include the lack of data on working conditions. It was not possible to obtain data on the magnitude of the impact of vibration, which did not allow quantifying its effect on the development of vibration disease and on the relative length of telomeres. Also, the work does not take into account the accompanying harmful production factors, since their heterogeneity and small sample size for each factor did not allow for statistical analysis. The disadvantages include the lack of additional tests, such as the level of cortisol and other hormones associated with the stress response. It is also worth noting the small size of the sample under study, which did not allow a regression analysis to compare the effects of gender, age, and other characteristics on relative telomere length and vibration disease.

**Keywords:** *vibration disease; general vibration; local vibration; telomeres; biological age; occupational pathology*

**Ethics.** The study was approved by the bioethics committee of Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, extract from protocol No. 02-04 dated 18.04.2024. Informed consent was obtained from all participants.

**For citation:** Karimov D.D., Shaikhislamova E.R., Mukhammadiyeva G.F., Karimov D.O., Kudoyarov E.R., Gizatullina A.A., Smolyankin D.A. Association between the development of vibration disease and a decrease in the relative length of telomeres among employees of Bashkortostan enterprises. *Med. truda i prom. ekol.* 2025; 65(3): 202–208. [https://doi.org/10.31089/1026-9428-2025-65-3-202-208](https://elibrary.ru/jegvkg) (in Russian) <https://elibrary.ru/jegvkg>

**For correspondence:** Denis D. Karimov, e-mail: [karriden@gmail.com](mailto:karriden@gmail.com)

### Contributions:

*Karimov D.D.* — data collection and processing, experiments, statistical processing, writing and editing the text;

*Shaykhlislamova E.R.* — study concept and design, data collection and processing, text editing and approval;

*Mukhammadiyeva G.F.* — data collection and processing, text writing and editing;

*Karimov D.O.* — study concept and design, statistical processing, text editing and approval;

*Kudoyarov E.R.* — experiments, text editing;

*Gizatullina A.A.* — experiments, text editing;

*Smolyankin D.A.* — experiments, text editing.

**Funding.** The study had no funding.

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

*Received: 16.10.2024 / Accepted: 23.02.2025 / Published: 07.04.2025*

Вибрационная болезнь (ВБ) — профессиональное заболевание, которое развивается при длительном воздействии производственной вибрации разной частоты. Наиболее подвержены вредному воздействию вибрации представители таких профессий как, проходчики, водители, машинисты, горнорабочие, трактористы и др. ВБ занимает одно из ведущих мест в профессиональной патологии [1]. Вибрация влияет на состояние сердечно-сосудистой системы, ухудшает биохимические показатели крови [2, 3] и способствует повышению уровня кортизола, адреналина [2, 4, 5] и маркеров воспаления [2] в крови, однако острое воздействие не индуцирует стрессового ответа — для проявления негативных эффектов необходимо хроническое воздействие фактора. В более ранних исследовани-

ях уже было показано влияние вибрационной болезни на старение человека, измеренного на основе физиологических показателей [6].

В настоящее время действует приказ Минздравсоцразвития России от 27 апреля 2012 года № 417н «Об утверждении перечня профессиональных заболеваний» [7], в соответствии с которым был сформирован новый перечень профессиональных заболеваний. В группу II «заболевания, их последствия, связанные с воздействием производственных физических факторов» включены «Заболевания, связанные с воздействием производственной вибрации» (п. 2.6.). В приложении к этому приказу значатся пункт 2.6.1. «Вибрационная болезнь вследствие локальной вибрации», п. 2.6.2. «Вибрационная болезнь,

связанная с воздействием общей вибрации», и п. 2.6.3. «Вибрационная болезнь, связанная с воздействием общей и локальной вибрации».

Теломеры представляют собой некодирующие гетерохроматиновые участки на концах хромосом, состоящие из повторов 5'-TTAGGG-3', переходящих в одноцепочечный участок, который образует D-петлю, связанную с белковым комплексом шелтерином (shelterin). Такая сложная структура служит для защиты концов хромосом от слияния друг с другом и от эрозии теломер [8, 9]. У человека средняя длина теломер обычно составляет от 10 тыс. до 15 тыс. пар нуклеотидов и сокращается со скоростью от 50 до 200 пар оснований при каждом акте клеточной репликации, а также в результате воздействия нуклеаз [8]. Общеизвестно, что прогрессирующее укорочение теломер может привести к репликативному старению *in vitro*, а при наличии других изменений короткие теломеры приводят к нестабильности хромосом и развитию злокачественных опухолей [9].

Измерение длины теломер является наиболее распространенным маркером биологического возраста человека, который, как считается, отражает разницу в скорости старения человека.

Цель исследования — оценить биологический возраст работников, страдающих от вибрационной болезни, методом определения относительной длины теломер (ОДТ).

Для проведения исследования был получен биоматериал 51 человека в возрасте 35–60 лет, проходивших обследование в ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», из них 20 человек с различными формами вибрационной болезни. Группа контроля включала 31 человека, не подвергавшегося в профессиональной деятельности воздействию вибрации и не имевшего диагноза «Вибрационная болезнь». Все обследованные были жителями Республики Башкортостан, сбор биоматериала проводился с получением информированного согласия от каждого обследуемого на участие в исследовании. Проведение работы одобрено биоэтическим комитетом ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», выписка из протокола № 02-04 от 18.04.2024 г. Участники исследования были разделены на группы в зависимости от места приложения вибрации: общая или локальная. Группа работников с комбинированным типом вибрации была исключена из исследования из-за малого размера выборки.

Определение ОДТ в лизате клеток проводили методом ПЦР с детекцией флуоресценции в реальном времени [10]. Для амплификации теломерных последовательностей использовали праймеры *telf* GGTTTGTGAG GGTGAGGGTGAGGGTGAGGGTGAGGGT и *telc* TCCGACATCCSTATCCSTATCCSTATCCSTATCCSTATCCСТА, для амплификации однокопийного референсного гена гамма-глобина человека использовали праймеры HBG1 GCTCTGACACAAGTGTTCACAGC и HBG2 CACCAACTGCATCCACGTCACC. ОДТ оценивали по показателю T/S, который рассчитывали как отношение числа *St* теломерных повторов к *St* гена гемоглобина.

Статистический анализ проводили с использованием пакета *scipy.stats* на языке Python [11]. Оценку нормальности распределения проводили с использованием критерия Шапиро–Уилка. Межгрупповые различия оценивали с использованием *H*-критерия Краскала–Уоллиса и *U*-критерия Манна–Уитни.

Таблица 1 / Table 1

**Средние значения возраста и относительной длины теломер работников в группах по наличию или отсутствию диагноза «Вибрационная болезнь»**  
**Means of age and relative telomere length of workers in groups with and without "Vibration disease" diagnosis**

Наличие вибрационной болезни	Количество	Возраст (M±m)	Относительная длина теломер (M±m)
<b>Мужчины+женщины</b>			
Нет	31	45,55±6,92	8,69±3,35
Есть	21	48,90±8,62	5,10±2,06
<b>Мужчины</b>			
Нет	26	44,81±6,76	8,25±3,49
Есть	13	51,77±7,74	5,37±2,07
<b>Женщины</b>			
Нет	5	49,40±7,16	10,95±0,595
Есть	8	44,25±8,36	4,67±2,10

В таблице 1 представлены средние значения возраста и ОДТ лиц имеющих и не имеющих ВБ. Различия в среднем возрасте работников не были статистически значимы ( $p=0,2270$ ), при этом в группе больных выявлено статистически значимое снижение ОДТ ( $p=7,97*10^{-05}$ ). При разделении выборки по полу различия были значимы как для мужчин ( $p=0,0087$ ), так и для женщин ( $p=0,0016$ ). Таким образом, полученные результаты позволяют говорить о значимом влиянии развития ВБ на биологический возраст работника, выраженный через показатель ОДТ.

В таблице 2 представлены показатели среднего возраста и средней ОДТ работников, подвергавшихся или не подвергавшихся общей или локальной вибрации, различия в возрасте статистически не значимы ( $p=0,1248$ ). При анализе относительной длины теломер среди работников, подвергавшихся различным типам вибрации, выявлены статистически значимые различия ( $p=0,0002$ ). При анализе показателей среди мужчин различия в возрасте так же были статистически не значимы ( $p=0,1142$ ), а различия в ОДТ сохраняли статистическую значимость ( $p=0,0169$ ), сходная картина наблюдалась и среди женщин ( $p=0,0576$  при сравнении по возрасту и  $p=0,0132$  при сравнении ОДТ). При более детальном анализе нами было выяснено, что статистически значимо уменьшилась длина теломер работников, подвергавшихся общей вибрации по сравнению с другими исследованными группами ( $p=0,0003$  при сравнении с группой, подвергавшейся локальной вибрации;  $p=0,007$  при сравнении с контрольной группой), при сравнении лиц, подвергавшихся локальной вибрации с контрольной группой также было выявлено уменьшение относительной длины теломер, однако различия не достигли уровня статистической значимости ( $p=0,3074$ ).

При разделении выборки по признаку пола ОДТ среди мужчин, подвергавшихся локальной вибрации статистически значимо ниже по сравнению с контрольной группой ( $p=0,0176$ ), но значимо выше по сравнению с группой, подвергавшейся общей вибрации ( $p=0,0433$ ). Различия между мужчинами, подвергшимися воздействию общей вибрации и контрольной группой незначимы ( $p=0,6485$ ), что можно объяснить малым размером группы, подвергшейся общей вибрации. Среди женщин статистически зна-

Таблица 2 / Table 2

**Средние значения возраста и относительной длины теломер работников в группах по типу вибрационного воздействия**

**Average values of the age and relative telomere length of workers in groups by type of vibration exposure**

Тип вибрации	Количество	Возраст ( $M \pm m$ )	Относительная длина теломер ( $M \pm m$ )
<b>Мужчины+женщины</b>			
Общая	9	44,78±10,01	4,09±1,097
Локальная	10	50,90±6,15	5,24±1,97
Нет вибрации	31	45,55±6,92	8,69±3,35
<b>Мужчины</b>			
Общая	4	51,50±10,54	4,29±1,595
Локальная	7	50,29±7,06	4,95±1,35
Нет вибрации	26	44,81±6,76	8,25±3,49
<b>Женщины</b>			
Общая	5	39,40±5,98	3,93±0,65
Локальная	3	52,33±4,04	5,899±3,31
Нет вибрации	5	49,40±7,16	10,95±0,595

чимо уменьшилась длина теломер работников, подвергавшихся общей вибрации по сравнению с другими исследованными группами ( $p=0,0357$  при сравнении с группой, подвергавшейся локальной вибрации;  $p=0,0079$  при сравнении с контрольной группой), при сравнении лиц, подвергавшихся локальной вибрации с контрольной группой также было выявлено уменьшение относительной длины теломер, однако различия не достигли уровня статистической значимости ( $p=0,7857$ ). Полученные результаты позволяют говорить о более значительном влиянии общей вибрации по сравнению с локальной вибрацией на биологический возраст человека.

Старение является сложным процессом, и темп его определяется как генетическими особенностями организма, так и факторами окружающей среды. Производственные факторы занимают в этом списке не последнее место. Одним из важных способов оценки скорости старения является измерение биологического возраста организма. Известно множество способов измерения биологического возраста [12], наиболее простым и информативным из которых является определение относительной длины теломер. Предполагается, что биологическое и функциональное старение отражает текущие изменения в организме человека, внутреннюю дегенерацию организма и его способность реагировать на различные стрессоры (воздействие факторов образа жизни и окружающей среды, в том числе профессионально обусловленных). Согласно доступным данным, такой показатель, как биологический возраст, адекватно отражает состояние здоровья организма и может служить для предсказания эффективности трудовой деятельности человека.

Хорошо документирована ассоциация снижения длины теломер с сердечно-сосудистыми заболеваниями

[13, 14], ХОБЛ [15], возрастными деменциями [16], новообразованиями, заболеваниями пищеварительной системы и ревматоидным артритом [17]. Влияние вредных факторов производственной среды на биологический возраст человека показано в большом количестве исследований [6, 18–20]. Несмотря на большое количество исследований, ассоциирующих вредные факторы производственной среды, физические факторы исследованы недостаточно [18, 21–24], но всё же представлены в некоторых работах. Так, в статье Lu et al. исследовано влияние как химических (изопропанол, свинец), так и физических (шум) вредных факторов; показано, что хроническое воздействие шума оказывает более выраженное действие, чем воздействие свинца, в то время как контакт с изопропанолом не вызвал значимых изменений длины теломер у работников [25].

Для обозначения активного процесса, посредством которого организм реагирует на физические стрессоры и поддерживает гомеостаз, был введён термин «аллостаз», на основе которого для обозначения нарушений, возникающих в результате слишком большого стресса или неэффективного управления аллостазом, введён термин «аллостатическая нагрузка» [20]. К факторам, вызывающим аллостатическую нагрузку, можно отнести шум [21, 22], вибрацию [2–5] и микроклиматические факторы: температуру, влажность и запылённость рабочего места [23, 24]. Вибрационное воздействие влияет на состояние сердечно-сосудистой системы, ухудшает биохимические показатели крови [2, 3] и способствует повышению уровня кортизола, адреналина [2, 4, 5] и маркеров воспаления [2] в крови, однако острое воздействие не индуцирует стрессового ответа — для проявления негативных эффектов необходимо хроническое воздействие фактора. При этом показано влияние вибрационного воздействия на развитие окислительного стресса [3], являющегося одним из основных механизмов старения организма, и повышения ВБ [6], измеренного на основе функциональных показателей. Также показано, что аллостатическая нагрузка влияет на скорость уменьшения длины теломер с возрастом [26, 27]. Согласно полученным нами результатам, развитие ВБ способствует укорочению ОДТ в лейкоцитах, при этом воздействие общей вибрации вызывает более выраженное снижение ОДТ. Данный эффект выражен как у мужчин, так и у женщин. Таким образом, можно сделать вывод о значимом влиянии развития ВБ и воздействия вибрации на биологический возраст человека, что хорошо согласуется с полученными ранее результатами.

В данной работе мы исследовали влияние ВБ, вызванной общей и локальной вибрации на биологический возраст человека, выраженный через ОДТ. Хроническое воздействие вибрации является одним из факторов развития ВБ, при этом локальная или общая вибрация оказывает различное воздействие на организм, что выражено в различиях в симптоматике ВБ и классификации заболевания. Развитие ВБ, как показано в нашем исследовании, ассоциировано со статистически значимым снижением средней ОДТ. Данный биомаркер также показывает различия в зависимости от характера воздействия; ожидаемо, общая вибрация ассоциирована с более сильным снижением ОДТ, чем локальная. Полученный результат позволяет сделать вывод о том, что хроническое воздействие вибрации, способное вызвать ВБ, также ассоциировано с повышением биологического возраста человека, и, вероятно, способствует ускоренному старению организма.

## Список литературы (пп. 2, 4, 5, 9–11, 13–17, 19–22, 25–27 см. References)

1. Мухин Н.А., Бабанов С.А., ред. *Профессиональные болезни*. М.: Гэотар-медиа; 2018.
3. Доценко О.И. Активность системы глутатиона крови мышей, находящихся в условиях вибрационного стресса. *ScienceRise*. 2015; 11(6): 39–46. <https://elibrary.ru/vffavh>
6. Косарев В.В., Бабанов С.А., Воробьева Е.В. Определение темпа биологического старения при вибрационной болезни. *Успехи геронтологии*. 2011; 24(2): 300–2. <https://elibrary.ru/nutwnh>
7. Приказ Минздравсоцразвития России от 27.04.2012 № 417н «Об утверждении перечня профессиональных заболеваний». <https://docs.cntd.ru/document/902346847>
8. Коляда А.К., Вайсерман А.М., Красненков Д.С., Карabanь И.Н. Исследование длины теломер у пациентов с болезнью Паркинсона. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2014; 114(8): 58–61. <https://elibrary.ru/stxurh>
12. Каримов Д.Д., Кудояров Э.Р., Мухаммадиева Г.Ф., Зиятдинова М.М., Байгильдин С.С., Якупова Т.Г. Биомаркеры старения в исследовании профессионально обусловленных вредных воздействий (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2021; 100(11): 1328–1332. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1328-1332> <https://elibrary.ru/zjkjkh>
18. Каримов Д.Д., Эрдман В.В., Кудояров Э.Р., Валова Я.В., Смолянкин Д.А., Репина Э.Ф., Каримов Д.О. Профессиональные факторы риска и старение человека (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2022; 101(4): 375–381. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-4-375-381> <https://elibrary.ru/dqamqz>
23. Пичугина Н.Н., Елисеев Ю.Ю. Гигиенические особенности условий труда и их влияние на показатели биологического возраста женщин, занятых в современном производстве бумажных обоев. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2011; 7(2): 347–50.
24. Харитонов В.И. Оценка профессионального риска здоровью при многофакторном интенсивном воздействии. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2017; 25(4): 575–85. <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ20174575-585>

## References

1. Mukhin N.A., Babanov S.A., eds. *Occupational diseases*. M.: Geotar-media, 2018 (in Russian).
2. Matoba T. Human response to vibration stress in Japanese workers: lessons from our 35-year studies A narrative review. *Industrial Health*. 2015; 53(6): 522–32. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2015-0040>
3. Dotsenko O.I. Activity of glutathione system in blood of mice under vibration stress conditions. *ScienceRise*. 2015; 11(6): 39–46. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.54809> (in Russian).
4. Ulhôa M.A., Marqueze E.C., Kantermann T., Skene D., Moreno C. When does stress end? Evidence of a prolonged stress reaction in shiftworking truck drivers. *Chronobiology International*. 2011; 28(9): 810–8. <https://doi.org/10.3109/07420528.2011.613136>
5. Kia K., Fitch S.M., Newsom S.A., Kim J.H. Effect of whole-body vibration exposures on physiological stresses: mining heavy equipment applications. *Applied Ergonomics*. 2020; 85: 103065. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103065>
6. Kosarev V.V., Babanov S.A., Vorobyova E.V. Determination of the rate of biological aging in vibration disease. *Uspekhi gerontologii*. 2011; 24(2): 300–2 <https://elibrary.ru/nutwnh> (in Russian).
7. Order of the Ministry of Health and Social Development of Russia dated April 27, 2012, No. 417n "On approval of the list of occupational diseases". <https://docs.cntd.ru/document/902346847> (in Russian).
8. Kolyada A.K., Vayserman A.M., Krasnenkov D.S., Karaban I.N. Study of telomere length in patients with Parkinson's disease. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova*. 2014; 114(8): 58–61 <https://elibrary.ru/stxurh> (in Russian).
9. Lai T.P., Wright W.E., Shay J.W. Comparison of telomere length measurement methods. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2018; 373(1741): 20160451. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0451>
10. Cawthon R.M. Telomere measurement by quantitative PCR. *Nucleic acids research*. 2002; 30(10): e47–e47. <https://doi.org/10.1093/nar/30.10.e47>
11. Virtanen P. et al. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature methods*. 2020; 3(17): 261–272. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>
12. Karimov D.D., Kudoyarov E.R., Mukhammadiyeva G.F., Ziatdinova M.M., Baigildin S.S., Yakupova T.G. Biomarkers of ageing in the study of occupational harm impacts (literature review). *Gigiena i Sanitariya*. 2021; 100(11): 1328–1332. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1328-1332> <https://elibrary.ru/zjkjkh> (in Russian).
13. Zhan Y., Hägg S. Telomere length and cardiovascular disease risk. *Current Opinion in Cardiology*. 2019; 34(3): 270–274. <https://doi.org/10.1097/hco.0000000000000613>
14. Zimnitskaya O.V. et al. Leukocyte telomere length as a molecular biomarker of coronary heart disease. *Genes*. 2022; 13(7): 1234. <https://doi.org/10.3390/genes13071234>
15. Wang T., Jia Z., Li S., Li Y., Yu T., Lu T., Shi Y. The association between leukocyte telomere length and chronic obstructive pulmonary disease is partially mediated by inflammation: a meta-analysis and population-based mediation study. *BMC Pulm. Med*. 2022; 22(1): 320. <https://doi.org/10.1186/s12890-022-02114-8>
16. Liu R., Xiang M., Pilling L.C., Melzer D., Wang L., Manning K.J., Steffens D.C., Bowden J., Fortinsky R.H., Kuchel G.A., Rhee T.G., Diniz B.S., Kuo C.L. Mid-life leukocyte telomere length and dementia risk: An observational and mendelian randomization study of 435,046 UK Biobank participants. *Aging Cell*. 2023; 22(7): e13808. <https://doi.org/10.1111/accel.13808>
17. Chen B. et al. Association between genetically determined telomere length and health-related outcomes: A systematic review and meta-analysis of Mendelian randomization studies. *Aging Cell*. 2023; 22(7): e13874. <https://doi.org/10.1111/accel.13874>
18. Karimov D.D., Erdman V.V., Kudoyarov E.R., Repina E.F., Karimov D.O. Influence of occupational risk factors on human aging: a literature review. *Gigiena i Sanitariya*. 2022; 101(4): 375–381. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-4-375-381> <https://elibrary.ru/dqamqz> (in Russian).
19. Andrasfay T. et al. Aging on the job? The association between occupational characteristics and accelerated biological aging. *The Journals of Gerontology: Series B*. 2023; 78(7): 1236–1245.
20. McEwen B.S. Physiology and neurobiology of stress and adaptation: central role of the brain. *Physiological reviews*. 2007; 87(3): 873–904. <https://doi.org/10.1152/physrev.00041.2006>
21. Kirschbaum C., Hellhammer D.H. Noise and stress-salivary cortisol as a non-invasive measure of allostatic load. *Noise Health*. 1999; 1(4): 57–65. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12689490/>
22. Babisch W., Kröller-Schön S., Daiber A., Münzel T. Cardiovascular effects of noise. *Noise and Health*. 2011; 13(52): 201–4. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.80148>
23. Pichugina N.N., Eliseev Yu.Yu. Evaluation of occupational risk for health in multi-factor intensive influence. *Saratovskiy nauchno-meditsinskiy zhurnal*. 2011; 7(2): 347–50 (in Russian).
24. Kharitonov V.I. Assessment of occupational health risk under multifactorial intensive exposure. *Rossiyskiy mediko-*

- biologicheskiiy vestnik imeni akademika I.P. Pavlova*. 2017; 25(4): 575–85. <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ20174575-585> (in Russian).
25. Lu Y. et al. Telomere length in peripheral leukocytes is a sensitive marker for assessing genetic damage among workers exposed to isopropanol, lead and noise: the case of an electronics manufacturer. *Genes and Environment*. 2021; 43(1): 57.
26. Ghimire S., Hill C.V., Sy F.S., Rodriguez R. Decline in telomere length by age and effect modification by gender, allostatic load and comorbidities in National Health and Nutrition Examination Survey (1999-2002). *PLoS One*. 2019; 14(8): e0221690. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221690>
27. Tomiyama A.J., O'Donovan A., Lin J., Puterman E., Lazaro A., Chan J., Dhabhar F.S., Wolkowitz O., Kirschbaum C., Blackburn E., Epel E. Does cellular aging relate to patterns of allostasis? An examination of basal and stress reactive HPA axis activity and telomere length. *Physiol Behav*. 2012; 106(1): 40–5. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.11.016>

**Сведения об авторах:**

Каримов Денис Дмитриевич

ст. науч. сотр. отд. токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», ст. науч. сотр. лаб. Физиологической генетики ФГБНУ «Институт биохимии и генетики — обособленное структурное подразделение УФИЦ РАН», канд. биол. наук.  
E-mail: [karriden@gmail.com](mailto:karriden@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-1962-2323>

Шайхлисламова Эльмира Радиковна

директор ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», канд. мед. наук.  
E-mail: [fbun@uniimtech.ru](mailto:fbun@uniimtech.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-6127-7703>

Мухаммадиева Гузель Фанисовна

канд. биол. наук, ст. науч. сотр. отд. токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека».  
E-mail: [fbun@uniimtech.ru](mailto:fbun@uniimtech.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-7456-4787>

Каримов Денис Олегович

канд. мед. наук, зав. отд. токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека».  
E-mail: [fbun@uniimtech.ru](mailto:fbun@uniimtech.ru)  
<https://orcid.org/0000-0003-0039-6757>

Кудояров Эльдар Ренатович

мл. науч. сотр. отд. токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека».  
E-mail: [fbun@uniimtech.ru](mailto:fbun@uniimtech.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-2092-1021>

Гизатуллина Алина Анваровна

мл. науч. сотр. отд. токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека».  
E-mail: [fbun@uniimtech.ru](mailto:fbun@uniimtech.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-7321-0864>

Смолянкин Денис Анатольевич

мл. науч. сотр. отд. токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека».  
E-mail: [fbun@uniimtech.ru](mailto:fbun@uniimtech.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-7957-2399>

**About the authors:**

Denis D. Karimov

Senior Researcher, Department of Toxicology and Genetics with an Experimental Animal Clinic, Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, Cand. of Sci. (Biol.).  
E-mail: [karriden@gmail.com](mailto:karriden@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-1962-2323>

Elmira R. Shaykhislamova

Director, Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, Cand. of Sci. (Med.).  
E-mail: [fbun@uniimtech.ru](mailto:fbun@uniimtech.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-6127-7703>

Guzel F. Muhammadijeva

Senior Researcher, Department of Toxicology and Genetics with an Experimental Animal Clinic, Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, Cand. of Sci. (Biol.).  
E-mail: [fbun@uniimtech.ru](mailto:fbun@uniimtech.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-7456-4787>

Denis O. Karimov

Head of the Department of Toxicology and Genetics with an Experimental Animal Clinic, Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, Cand. of Sci. (Med.).  
E-mail: [fbun@uniimtech.ru](mailto:fbun@uniimtech.ru)  
<https://orcid.org/0000-0003-0039-6757>

Eldar R. Kudoyarov

Junior Researcher, Department of Toxicology and Genetics with an Experimental Animal Clinic, Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology.  
E-mail: [fbun@uniimtech.ru](mailto:fbun@uniimtech.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-2092-1021>

Краткие сообщения

*Alina A. Gizatullina*

Junior Researcher, Department of Toxicology and Genetics with an Experimental Animal Clinic,  
Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology.

*E-mail: fbun@uniimtech.ru*

*https://orcid.org/0000-0002-7321-0864*

*Denis A. Smolyankin*

Junior Researcher, Department of Toxicology and Genetics with an Experimental Animal Clinic,  
Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology.

*E-mail: fbun@uniimtech.ru*

*https://orcid.org/0000-0002-7957-2399*

---