



Землянова М.А.<sup>1</sup>, Кольдибекова Ю.В.<sup>1</sup>, Пескова Е.В.<sup>1</sup>, Пустовалова О.В.<sup>1</sup>,  
Ухабов В.М.<sup>2</sup>

## Влияние длительности трудового стажа на биохимические показатели работников при переработке калиевой руды

<sup>1</sup>ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 614045, Пермь, Россия;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера», 614000, Пермь, Россия

**Введение.** В настоящее время значительными темпами развивается добыча калийных руд. Флотационный метод является эффективным способом получения хлорида калия с применением химических реагентов, оказывающих токсическое воздействие на органы дыхания, нервную систему и печень. Длительное комплексное воздействие производственных факторов рабочей среды с увеличением стажа работы приводит к повышению распространённости заболеваний жизненно важных органов и систем.

**Цель исследования** — оценка влияния трудового стажа на изменение биохимических показателей работников при переработке калиевой руды.

**Материалы и методы.** Оценены условия труда работников, исследовано содержание в биосредах некоторых альдегидов, гексана и гептана, установлены изменения ряда биохимических показателей.

**Результаты.** Факторы производственной среды работников характеризуются одновременным воздействием химических веществ (хлорид калия, формальдегид, пропионовый и масляный альдегиды, гексан и гептан), физических параметров (производственный шум, микроклимат рабочей зоны, тяжесть трудового процесса) и оцениваются как вредные (класс 3.1). При длительной трудовой деятельности (более 10 лет) отмечается накопление гексана в моче (в 1,4 раза) и связанное с ним повышенное содержание норэпинефрина в крови (до 1,3 раза), не установленные у работников при стаже менее 10 лет. У работников с трудовым стажем 10 лет и шумом с уровнем интенсивности на рабочих местах, превышающим до 14,4 дБА, выявлено повышение в 1,3–2,3 раза уровня гомоцистеина и липопротеина, не установленное у работников с продолжительностью трудовой деятельности менее 10 лет. Зависимость от длительности стажа не установлена для изменений показателей сенсибилизации верхних отделов дыхательных путей, цитолитической активности гепатоцитов.

**Заключение.** Выявленные изменения показателей с увеличением стажа работы требуют особого внимания для ранней диагностики производственно обусловленных заболеваний и разработки мер профилактики формирующихся изменений критических органов и систем.

**Ключевые слова:** предприятие по переработке калиевой руды; стаж работы; гексан в моче; нервная система; печень; негативные эффекты

**Для цитирования:** 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): 451–456. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-451-456>

**Для корреспонденции:** Землянова Марина Александровна, доктор мед. наук, профессор, зав. отделом биохимических и цитогенетических методов диагностики ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь. E-mail: zem@fcrisk.ru

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

**Благодарность.** Исследование выполнено в рамках бюджетного финансирования в соответствии с государственным заданием.

**Участие авторов:** Землянова М.А. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Кольдибекова Ю.В. — концепция и дизайн исследования, статистическая обработка материала, написание текста; Пустовалова О.В. — сбор и обработка материала; Пескова Е.В. — написание текста; Ухабов В.М. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила 05.02.2021 / Принята к печати 18.05.2021 / Опубликована 15.06.2021

Marina A. Zemlyanova<sup>1</sup>, Juliya V. Koldibekova<sup>1</sup>, Ekaterina V. Peskova<sup>1</sup>, Olga V. Pustovalova<sup>1</sup>,  
Viktor M. Ukhov<sup>2</sup>

## impact of the service terms on biochemical indices in employees at the potassium ore processing enterprise

<sup>1</sup>Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation;

<sup>2</sup>Academician E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, 614000, Russian Federation

**Introduction.** The extraction of potash ores is developing at a significant pace. The flotation method is the way to obtain potassium chloride using chemical reagents that have a toxic effect on the respiratory and nervous system, and liver. The complex long-term impact of occupation factors of the working environment with an increase in work experience leads to a rise in the prevalence of diseases of vital organs and systems.

**The aim of the study** is to assess the change in individual biochemical indices of unfavorable responses on the part of the health of workers at a potassium ore processing enterprise, depending on the length of work experience.

**Materials and methods.** The working conditions of workers were assessed, the content of some aldehydes, hexane, and heptane in biological media was investigated, and changes in many biochemical parameters were established.

**Results.** The factors of the working environment in workers at the potassium ore processing enterprise are characterized by the simultaneous exposure to chemicals (potassium chloride, formaldehyde, propionic and butyric aldehydes, hexane and heptane), physical parameters (industrial noise, the microclimate of the working area, the severity of the labor process) and are assessed as harmful (class 3.1). During long-term labor activity (more than ten years), workers have an accumulation of hexane in the urine (1.4 times) and the increased associated content of norepinephrine in blood plasma (up to 1.3 times), not established in workers with up to ten years of work experience. Workers with ten years of work experience and noise with a level of intensity at workplaces exceeding 14.4 dBA showed an increase of 1.3–2.3 times in the level of homocysteine and lipoprotein, not established in workers with a work experience duration of fewer than ten years. No dependence on the service terms was found for changes in sensitization indices of the upper respiratory tract and hepatocytes' cytolytic activity.

**Conclusion.** The revealed changes in indices with an increase in the length of service require special attention for the early diagnosis of occupational diseases and the development of measures to prevent emerging changes in critical organs and systems.

**Keywords:** potassium ore processing enterprise; work experience; hexane in urine; nervous system; liver; adverse effects

**For citation:** Zemlyanova M.A., Koldibekova Ju.V., Peskova E.V., Pustovalova O.V., Ukhabov V.M. Impact of the service terms on biochemical indices in employees at the potassium ore processing enterprise. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2021; 100 (5): 451-456. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-451-456> (In Russ.)

**For correspondence:** Marina A. Zemlyanova, MD, Ph.D., DSci., Professor, Head of Biochemical and Cytogenetic Diagnostic Techniques Department, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation. E-mail: zem@fcrisk.ru

**Information about authors:**

Zemlyanova M.A., <https://orcid.org/0000-0002-8013-9613>; Peskova E.V., <https://orcid.org/0000-0002-8050-3059>; Pustovalova O.V., <https://orcid.org/0000-0002-8050-7674>; Koldibekova Ju.V., <https://orcid.org/0000-0002-3924-4526>; Ukhabov V.M., <https://orcid.org/0000-0001-6316-7850>

**Conflict of interests.** The authors declare no conflicts of interest.

**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.

**Contribution of the authors:** Zemlyanova M.A. – the research concept and design, editing; Koldibekova Ju.V. – the concept and design of the study, statistical processing of the material, writing the text; Pustovalova O.V. – collection and processing of material; Peskova E.V. – writing text; Ukhabov M.V. – editing. All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Received: February 2, 2021 / Accepted: May 18, 2021 / Published: June 15, 2021

## Введение

В последнее десятилетие на территории Российской Федерации значительными темпами развивается горнодобывающая отрасль промышленности, в частности добыча горно-химического сырья в виде калийных руд [1]. Среди богатейших регионов России по запасам природных ископаемых выделяют территорию Урала. Данный регион занимает лидирующую позицию в мире по ресурсам калийных солей [2]. Флотационный метод обогащения силвинитовых руд является наиболее распространённой и эффективной технологией получения хлорида калия, в основе которой лежит различная способность частиц минералов адсорбироваться на межфазной поверхности в жидкой среде [3, 4]. При обработке определёнными флотационными реагентами (полигликоли, гексановые фракции, карбамид-формальдегидная смола и аммонийные соединения) можно повысить эффективность извлечения хлорида калия из руды [5, 6].

Перечисленные химические соединения являются поли-тропными веществами, оказывающими воздействие на жизненно важные органы и системы организма, в том числе на органы дыхания, нервную систему и печень [7–9], что может способствовать повышению частоты хронических неспецифических форм заболеваний органов дыхания, желудочно-кишечного тракта и периферической нервной системы [10]. Данными гистологических исследований тканей экспериментальных животных после хронической экспозиции формальдегидом была установлена сенсбилизация, усиленная пролиферация межальвеолярных перегородок и десквамация бронхиального эпителия [11]. Гексан и его гомологи оказывают токсическое воздействие на липиды клеточных мембран нейронов, приводя к расширению и увеличению их проницаемости, повышению возбудимости нейронов. Кроме этого, у экспериментальных животных наблюдались морфофункциональные и морфометрические нарушения в нервной ткани головного мозга в виде повышения проницаемости сосудов, снижения удельной площади нервных клеток и повышения гиалиновой реакции, набухание и вакуолизация нервных клеток, диффузное разрастание глии [12]. Негативное воздействие гексана на нервную систему неизбежно приводит к нарушениям со стороны системы пищеварения: снижается перистальтика кишечника, происходят изменения целостности энтероцитов тонкого и толстого кишечника, нарушается синтез пищеварительных ферментов. При гистологических исследованиях в препаратах печёночной ткани экспериментальных животных отмечались достоверно значимые дистрофические изменения объёмной доли гепатоцитов, склеротизация портальных трактов с инфильтрацией и фиброзом печёночной ткани [13, 14].

На обоганительных фабриках помимо фактора химической нагрузки на рабочих местах регистрируются повышенные уровни шума и неблагоприятный микроклимат. Данные производственные факторы также способны ока-

зывать неблагоприятное воздействие на внутренние механизмы повреждения сосудистого эндотелия и дальнейшее развитие нарушений сердечно-сосудистой системы в виде артериальной гипертензии [15–18].

Можно предположить, что длительное комплексное воздействие производственных факторов рабочей среды с увеличением стажа работы по переработке калиевой руды приводит к увеличению распространённости заболеваний жизненно важных органов и систем.

Цель исследования – оценка изменений отдельных биохимических показателей неблагоприятных ответов со стороны здоровья работников предприятия по переработке калиевой руды в зависимости от длительности трудового стажа.

## Материалы и методы

Обследованы сотрудники силвинитовой обоганительной фабрики в количестве 157 человек основных рабочих специальностей (транспортёрщик, слесарь-ремонтник, аппаратчики сушилки, дозирования и гранулирования, машинист конвейера) и представители административного аппарата. 1-ю группу наблюдения составили сотрудники, средний возраст которых  $38,64 \pm 1,03$  года и трудовым стажем менее 10 лет (89 человек), 2-ю группу наблюдения – рабочие со средним возрастом  $48,22 \pm 0,99$  года, стажем более 10 лет (68 человек). Условия труда работников характеризуются негативным воздействием формальдегида, масляного и пропионового альдегидов, гексана и его гомологов, производственного шума, тепловой нагрузки среды и тяжестью трудового процесса. Группу контроля составили работники (78 человек) с отсутствием воздействия исследуемых факторов производственного процесса на рабочем месте, в том числе 56 человек с длительностью трудового стажа менее 10 лет (1-я группа контроля), 22 человека – более 10 лет (2-я группа контроля). Средний возраст работников 1-й группы контроля составил  $43,08 \pm 1,19$  года, 2-й группы контроля –  $50,78 \pm 1,49$  года. Основными критериями выбора в группу контроля являлись: сопоставимость по полу, возрасту и стажу, отсутствие воздействия изучаемых вредных факторов.

Исследования с участием работников проведены по устанавливаемым международным нормам медицинской деятельности, представленным в Хельсинкской декларации (WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013 г.).

Анализ факторов трудового процесса и производственной среды, влияющих на работоспособность и здоровье работника, выполнен на основании изучения результатов специальной оценки условий труда, протоколов производственного контроля за 2019 г., предоставленных администрацией обоганительной фабрики. Определение содержания в крови формальдегида, пропионового и масляного альдегидов выполнено в соответствии с МУК 4.1.2111-06 «Определение массовой концентрации формальдегида, ацетальдеги-

Таблица 1 / Table 1

Содержание химических веществ в биосредах работников по переработке калиевой руды со стажем до и более 10 лет ( $p \leq 0,05$ ),  $M \pm SD$ The content of chemicals in biomedica of workers for processing potassium ore with an work experience of up to and more than 10 years ( $p \leq 0.05$ ),  $M \pm SD$ 

Химическое вещество Chemical substance		Группа работников с трудовым стажем менее 10 лет A group of employees with less than 10 years of work experience		Группа работников с трудовым стажем более 10 лет A group of employees with more than 10 years of work experience	
		группа наблюдения observation group		группа контроля control group	
		1	2	1	2
В крови:	In the blood:				
Масляный альдегид	Butyraldehyde	0.0042 ± 0.0009*	0.0017 ± 0.0004	0.0055 ± 0.00134*	0.0023 ± 0.0011
Пропионовый альдегид	Propionic aldehyde	0.0171 ± 0.0029*	0.0128 ± 0.0027	0.0209 ± 0.0049	0.0148 ± 0.0065
Формальдегид	Formaldehyde	0.0411 ± 0.0052*	0.0310 ± 0.0053	0.0426 ± 0.0067*	0.0256 ± 0.0064
В моче:	In the urine:				
Гексан	Hexane	0.0051 ± 0.0001*	0.0024 ± 0.0006	0.0073 ± 0.0014* **	0.0032 ± 0.0012
Гептан	Heptane	0.0109 ± 0.0025*	0.0068 ± 0.0015	0.0119 ± 0.0026*	0.0071 ± 0.0029

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: различия статистически достоверны: \* – между группами наблюдения и контроля; \*\* – между 2-й и 1-й группами наблюдения.

Note. Here and in Table 2, 3: \* – the differences between the observation and control groups are statistically significant; \*\* – the differences between observation groups 2 and 1 are statistically significant.

да, пропионового альдегида, масляного альдегида и ацетона в пробах крови методом высокоэффективной жидкостной хроматографии»; в моче гексана и гептана – в соответствии с МУК 4.1.764-99 «Газохроматографический метод количественного определения предельных (гексан, гептан) и ароматических (бензол, толуол, этилбензол, о-, м-, п-ксилол) углеводородов в биосредах (моча)».

Оценка изменения уровня отдельных (порядка 16) цитологических и биохимических показателей включала: определение содержания нейтрофилов, эозинофилов и индекса эозинофилии в назальном секрете; катехоламинов в крови; печеночных трансаминаз,  $\gamma$ -глутамилтрансферазы ( $\gamma$ -ГТ), щелочной фосфатазы в сыворотке крови; липидограммы, липопротеина(а), гомоцистеина в сыворотке крови, индекса атерогенности. Оценка полученных значений цитологических и биохимических показателей выполняли относительно возрастной физиологической нормы и значений лабораторных показателей работников групп контроля.

Статистическую обработку информации проводили с использованием программы Statistica 10 с учётом определения критерия Манна–Уитни. Причинно-следственное моделирование проводили с использованием методов регрессионного анализа. Полученные модели удовлетворяли критерию статистической адекватности (критерий Фишера), критерию достоверности причинно-следственной связи ( $p \leq 0,05$ ), требованиям биологического правдоподобия [19].

## Результаты

В воздухе на рабочих местах основных специальностей установлена концентрация калия хлорида в диапазоне 5,2–7,7 мг/м<sup>3</sup>, превышающий ПДКм.р. в 1,1–1,4 раза соответственно. В рабочей зоне аппаратчиков интенсивность шума составила от 82,9 до 94,4 дБА, что на 2,9–14,4 дБА превысило допустимый уровень (ПДУ < 80 дБА). Тепловая нагрузка среды составила 24,1–26,1 °С, что на 0,9 °С выше предельно допустимого уровня (ПДУ < 25,2 °С). Условия труда по тяжести трудового процесса отнесены к классу 3.1 (вредный тяжёлый труд).

В 1-й группе наблюдения у работников зарегистрирован повышенный в 2,3–2,5 раза уровень в крови масляного альдегида, пропионового альдегида и формальдегида, в моче – в 1,6–2,1 раза гептана и гексана относительно показателей группы контроля ( $p = 0,0001–0,040$ ) (табл. 1).

Во 2-й группе наблюдения у работников выявлена повышенная в 2,4 раза концентрация в крови исследуемых альдегидов, в моче до 2,2 раза – гептана и гексана по сравнению с показателями в группе контроля ( $p = 0,0001–0,014$ ).

При микроскопии назального секрета у работников 1-й и 2-й групп наблюдения установлено достоверное повышение уровня нейтрофилов и эозинофилов относительно физиологической нормы ( $p = 0,0001$ ) (табл. 2).

У работников 1-й группы наблюдения доказана прямая зависимость повышенного уровня эозинофилов в назальном секрете от содержания формальдегида в крови ( $R^2 = 0,42$ ;  $b_0 = -3,18$ ;  $b_1 = 28,55$ ;  $p = 0,0001$ ) и

У работников 1-й группы наблюдения доказана прямая зависимость повышенного уровня эозинофилов в назальном секрете от содержания формальдегида в крови ( $R^2 = 0,42$ ;  $b_0 = -3,18$ ;  $b_1 = 28,55$ ;  $p = 0,0001$ ) и концентраций гептана в моче ( $R^2 = 0,64$ ;  $b_0 \leq -4,22$ ;  $b_1 \leq 42,00$ ;  $p = 0,0001$ ) (табл. 3). Во 2-й группе наблюдения выявлены достоверные причинно-следственные связи между повышенным уровнем эозинофилов в назальном секрете и содержанием гексана и гептана в моче ( $R^2 = 0,39–0,73$ ;  $b_0 = -2,03$ ;  $108,63 \leq b_1 \leq 189,53$ ;  $p = 0,0001$ ).

У работников 2-й группы наблюдения при оценке состояния нейромедиаторов центральной нервной системы установлено повышение уровня норадреналина и адреналина в плазме крови по сравнению с показателями во 2-й контрольной группе (кратность различий составила 1,6–1,9 раза,  $p = 0,001–0,002$ ). Доказана достоверная зависимость повышенного уровня норадреналина в плазме крови от содержания гексана в моче ( $R^2 = 0,77$ ;  $b_0 = -2,51$ ;  $b_1 = 41,10$ ;  $p = 0,0001$ ).

При оценке состояния клеток печени у обследуемых работников 1-й и 2-й групп наблюдения зарегистрированы повышенные в 1,2–1,3 раза уровни АЛАТ и щелочной фосфатазы в сыворотке крови по сравнению с показателями в группах контроля ( $p = 0,011–0,043$ ). В 1-й группе наблюдения выявлены адекватные парные модели зависимости повышенного уровня АЛАТ в сыворотке крови от содержания в моче гептана ( $R^2 = 0,79$ ;  $b_0 = -3,23$ ;  $b_1 = 117,64$ ;  $p = 0,0001$ ) и в крови масляного альдегида ( $R^2 = 0,47$ ;  $b_0 = -2,62$ ;  $b_1 = 238,86$ ;  $p = 0,0001$ ). Во 2-й группе наблюдения доказаны зависимости повышенной концентрации АЛАТ в сыворотке крови от содержания гептана в моче ( $R^2 = 0,30$ ;  $b_0 = -3,05$ ;  $b_1 = 80,72$ ;  $p = 0,0001$ ).

Таблица 2 / Table 2

**Изменение отдельных цитологических и биохимических показателей у работников по переработке калиевой руды с различным трудовым стажем ( $p < 0,05$ ),  $M \pm SD$** **Changes in certain cytological and biochemical parameters for workers in the processing of potassium ore with various work experience ( $p < 0.05$ ),  $M \pm SD$** 

Показатель Index	Физиологическая норма Physiological norm	Группа работников с трудовым стажем менее 10 лет A group of employees with less than 10 years of work experience		Группа работников с трудовым стажем более 10 лет A group of employees with more than 10 years of work experience	
		группа наблюдения observation group		группа контроля control group	
		1	2	1	2
Индекс эозинофилии, % Eosinophilia index, %	0–13	0.42 ± 0.125*	0.14 ± 0.20	0.46 ± 0.13	0.37 ± 0.11
Нейтрофилы, ед. в поле зрения Neutrophils, units into view	0–0	13.01 ± 2.76*	8.55 ± 1.88	12.96 ± 3.58	9.14 ± 3.41
Эозинофилы, ед. в поле зрения Eosinophils, units into view	0–0	0.852 ± 0.250*	0.218 ± 0.055	1.03 ± 0.209	1.05 ± 0.213
γ-ГТ, Е/дм <sup>3</sup> γ-GT, E/dm <sup>3</sup>	11–50	42.79 ± 12.38	32.13 ± 10.67	38.93 ± 9.33	30.24 ± 9.28
АЛАТ, Е/дм <sup>3</sup> ALAT, E/dm <sup>3</sup>	0–42	21.81 ± 3.74*	16.00 ± 2.28	19.57 ± 2.71*	15.67 ± 2.37
АСАТ, Е/дм <sup>3</sup> ASAT, E/dm <sup>3</sup>	0–37	27.36 ± 3.62	23.98 ± 2.59	24.46 ± 2.34	24.91 ± 6.07
Щелочная фосфатаза, Е/дм <sup>3</sup> Alkaline phosphatase, U/dm <sup>3</sup>	80–306	129.71 ± 9.17*	114.19 ± 7.78	151.50 ± 19.75*. **	124.05 ± 18.12
Индекс атерогенности, усл. ед. Atherogenicity index, conv. units	1.98–2.51	1.92 ± 0.20	1.83 ± 0.17	2.27 ± 0.22	2.17 ± 0.43
Холестерин ЛПВП, ммоль/дм <sup>3</sup> HDL cholesterol, mmol/dm <sup>3</sup>	1.42–10	1.78 ± 0.09	1.84 ± 0.09	1.69 ± 0.10	1.74 ± 0.20
Холестерин ЛПНП, ммоль/дм <sup>3</sup> LDL cholesterol, mmol/dm <sup>3</sup>	0–3.9	3.06 ± 0.16	3.11 ± 0.22	3.40 ± 0.21	3.30 ± 0.45
Холестерин ЛПОНП, ммоль/дм <sup>3</sup> VLDL cholesterol, mmol/dm <sup>3</sup>	0.26–1.04	0.59 ± 0.07	0.59 ± 0.09	0.75 ± 0.10	0.71 ± 0.16
Холестерин общий, ммоль/дм <sup>3</sup> Total cholesterol, mmol/dm <sup>3</sup>	0–5.16	4.86 ± 0.19	5.10 ± 0.24	5.25 ± 0.25	5.26 ± 0.54
Гомоцистеин, мкмоль/дм <sup>3</sup> Homocysteine, μmol/dm <sup>3</sup>	4.6–12.44	11.82 ± 1.59	10.07 ± 1.27	13.21 ± 2.05*	9.90 ± 2.37
Липопротеин(а), мг/100 см <sup>3</sup> Lipoprotein (a), mg/100 cm <sup>3</sup>	0–15	17.26 ± 6.15	19.08 ± 5.56	18.19 ± 7.99*	7.86 ± 4.74
Норадреналин, пг/см <sup>3</sup> Norepinephrine, pg/cm <sup>3</sup>	70–600	310.49 ± 45.99	296.92 ± 78.45	416.27 ± 121.76*. **	265.43 ± 56.05
Адреналин, пг/см <sup>3</sup> Adrenaline, pg/cm <sup>3</sup>	10–100	43.18 ± 12.11	38.54 ± 13.7	64.81 ± 17.19*. **	33.42 ± 10.02

При оценке состояния сердечно-сосудистой системы выявлено повышение до 2,3 раза уровня гомоцистеина и липопротеина(а) у работников 2-й группы наблюдения по сравнению с показателями 2-й контрольной группы ( $p = 0,030–0,033$ ).

## Обсуждение

Анализ полученных результатов исследования позволил установить, что с увеличением длительности трудового стажа у работников сальвинитовой обогатительной фабрики по переработке калиевой руды происходило накопление в биосредах химических факторов, адекватных факторам производственной среды, и нарастало изменение уровня лабораторных показателей, характеризующих неспецифическую сенсibilизацию верхних отделов органов дыхания, баланс нейромедиаторов, состояние сердечно-сосудистой системы

и белоксинтезирующей функции печени. Так, у работников группы наблюдения 2 происходит накопление в моче гексана ( $p = 0,002$ ); повышение до 1,5 раза уровня норадреналина и адреналина в плазме крови по сравнению с показателями у работников с трудовым стажем менее 10 лет ( $p = 0,015–0,042$ ). Это может свидетельствовать о негативном воздействии гексана на процесс синаптической передачи нервного импульса, усиления процессов возбуждения в нейронах, что согласуется с экспериментальными исследованиями ряда авторов, доказывающими повышенную возбудимость нейронов при токсическом воздействии гексана [12]. Накопление химических веществ в биологических средах работников различных производств отмечается и в зарубежных научных исследованиях [20, 21]. Несмотря на то что уровни проанализированных биохимических показателей, характеризующих состояние клеток печени, находились в пределах физиологической нормы, при этом у работников с длительным сроком трудовой



Таблица 3 / Table 3

**Адекватные модели зависимости повышения показателя ответа от уровня химического вещества в биосреде у работников по переработке калиевой руды с различным трудовым стажем****Adequate models of the dependence of the increase in the response index on the level of a chemical substance in the biological media in workers at the processing of potassium ore plant with various work experience**

Химическое вещество Chemical substance	Показатель ответа Response index	Параметры модели Model parameters			Достоверность модели Model reliability
		$b_0$	$b_1$	$R^2$	$p$
<i>Трудовой стаж менее 10 лет Work experience less than 10 years</i>					
Формальдегид в крови Blood Formaldehyde	Эозинофилы в назальном секрете Eosinophils in nasal secretion	-3.18	28.55	0.42	0.0001
Масляный альдегид в крови Blood Butyraldehyde	АлАТ в сыворотке крови ALT in serum	-2.62	238.86	0.47	0.0001
Гептан в моче Heptane in urine	Эозинофилы в назальном секрете Eosinophils in nasal secretion	-4.22	42.00	0.64	0.0001
	АлАТ в сыворотке крови ALT in serum	-3.23	117.64	0.79	0.0001
<i>Трудовой стаж более 10 лет Work experience over 10 years</i>					
Гептан в моче Urine Heptane	Эозинофилы в назальном секрете Eosinophils in nasal secretion	-2.03	108.63	0.39	0.0001
	АлАТ в сыворотке крови ALT in serum	-3.05	80.72	0.30	0.0001
Гексан в моче Urine Hexane	Эозинофилы в назальном секрете Eosinophils in nasal secretion	-2.03	189.53	0.73	0.0001
	Норадреналин в плазме крови Blood plasma Norepinephrine	-2.51	41.10	0.77	0.0001

деятельности (порядка 10 лет и более) выявлена повышенная концентрация щелочной фосфатазы (до 1,2 раза) по сравнению с данным показателем у работников при стаже менее 10 лет ( $p = 0,043$ ), что говорит о возможных дистрофических изменениях гепатоцитов [13]. Повышение уровня щелочной фосфатазы с увеличением периода воздействия неблагоприятных производственных химических факторов отражено также в работах зарубежных исследований [22]. Кроме этого, у работников группы наблюдения 2 установлено достоверное повышение эозинофилов в назальном секрете и аланинаминотрансферазы в сыворотке крови при содержании в моче гептана, а также повышение эозинофилов в назальном секрете и норадреналина в плазме крови при содержании в моче гексана ( $p = 0,0001$ ), но зависимость изменения данных показателей от длительности стажа не выявлена. Указанные причинно-следственные связи с химическими факторами производственной среды позволяют прогнозировать развитие неблагоприятных эффектов со стороны органов дыхания и пищеварения. Превышение интенсивности шума в рабочей зоне до 14,4 дБА предполагает нарушение функционального состояния эндотелия, о чём может свидетельствовать изменение уровня гомоцистеина и липопротеина(а) в сыворотке крови работников с трудовой деятельностью более 10 лет, что является прогностически неблагоприятным фактором развития нарушений функционального состояния эндотелия [15]. Несмотря на выявленные изменения в уровне лабораторных показателей работников с увеличением длительности трудовой деятельности более 10 лет, установлено, что повышенное содержание в крови масляного альдегида, пропионового альдегида, формальдегида, а также в моче гептана не имеет стажевой зависимости.

На момент проведения настоящего исследования не исключается вероятность изменения биохимических показателей, связанных с образом жизни, питанием и злоупотреблением алкоголем, что необходимо учитывать в дальнейших

исследованиях. Однако на основании полученных моделей зависимости выявлены изменения биохимических показателей от содержания химических веществ в биосредах, адекватных производственным факторам риска.

Установленные изменения показателей с увеличением длительности трудового стажа у работников сельвинитовой обогатительной фабрики требуют особого внимания для ранней диагностики производственно обусловленных заболеваний, а также разработки и реализации технологий профилактики формирующихся неблагоприятных ответов критических органов и систем.

## Заключение

В воздухе рабочей зоны у работников сельвинитовой обогатительной фабрики установлено превышение концентрации калия хлорида до 1,4 ПДКм.р., уровня шума в рабочей зоне до 14,4 дБА, предельно допустимого уровня и тепловой нагрузки среды – на 0,9 °С; выявлен тяжёлый и напряжённый трудовой процесс, и условия труда отнесены к вредным (класс 3.1).

При длительной трудовой деятельности (более 10 лет) у работников отмечается накопление гексана в моче (в 1,4 раза) и связанное с ним повышенное содержание норадреналина в плазме крови (до 1,3 раза), не установленные у работников, трудовая деятельность которых менее 10 лет.

При длительной трудовой деятельности и интенсивности шума на рабочих местах выше предельно допустимого значения (до 14,4 дБА) в крови работников выявлено повышенное содержание гомоцистеина и липопротеина (до 2,3 раза), не установленное у работников со стажем до 10 лет.

У работников с увеличением длительности трудового стажа установлено нарастание цитолитической активности гепатоцитов (повышение уровня щелочной фосфатазы в сыворотке крови).

## Литература

(п.п. 7–9, 17, 18, 20–22 см. References)

1. Гурова А.М., Тюнин А.И. Развитие горнодобывающей промышленности в России. *Современные проблемы социально-гуманитарных наук*. 2016; 6(8): 105–8.
2. Батурин Е.Н., Меньшикова Е.А., Блинов С.М., Наумов Д.Ю., Белкин П.А. Проблемы освоения крупнейших калийных месторождений мира. *Современные проблемы науки и образования*. 2012; 6. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7513>
3. Бачурин Б.А., Первова Е.С. Технологические факторы формирования состава отходов горнообогатительного производства. В кн.: *Материалы конференции «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения недр»*. М.; 2014: 327–30.
4. Бачурин Б.А., Хохрякова Е.С., Одинова Т.А. Роль флотореагентов в формировании состава отходов обогащения калийных руд. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2015; (10): 80–6.
5. Абрамов А.А. *Флотационные методы обогащения*. М.: Горная книга; 2016.
6. Назначение и классификация флотационных реагентов. Available at: <https://флотореагент.рф/articles/flotoreagenty/klassifikaciya-flotoreagentov/>
10. Селезнев С.С., Шляпников Д.М., Шур П.З., Алексеев В.Б., Власова Е.М. Медико-профилактические мероприятия по снижению риска производственно обусловленных нарушений здоровья у работников ПАО «Уралкалий». В кн.: *Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы безопасности и анализа риска здоровью населения при воздействии факторов среды обитания»*. Том 2. Пермь; 2016: 154–6.
11. Дорогова В.Б., Тараненко Н.А., Рычагова О.А. Формальдегид в окружающей среде и его влияние на организм (обзор). *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2010; (1): 32–5.
12. Бекеева С.А. Морфологические аспекты воздействия гексана на ткань головного мозга крыс в условиях подострого эксперимента. *Вестник КазНУ. Серия биологическая*. 2011; (1): 111–4.
13. Бекеева С.А. Воздействия гексана на морфофункциональное состояние печеночной ткани экспериментальных животных. *Вестник КазНУ. Серия биологическая*. 2011; (1): 114–7.
14. Куценко С.А. *Основы токсикологии*. СПб.: Фолиант; 2004.
15. Шляпников Д.М., Шур П.З., Алексеев В.Б., Власова Е.М. Анализ профессионального риска здоровью работников при подземной добыче калийных руд: оценка и управление. В кн.: *Материалы I международного научного форума «Современные вопросы здоровья и безопасности на рабочем месте»*. Минск; 2017: 280–6.
16. Бабушкина И.В., Сергеева А.С., Пивоваров Ю.И., Курильская Т.Е., Корякина Л.Б. Структурные и функциональные особенности сосудистого эндотелия. *Кардиология*. 2015; 55(2): 82–6.
19. Гланц С.А. *Медико-биологическая статистика*. Пер. с англ. М.: Практика; 1999.

## References

1. Gurova A.M., Tyunin A.I. Development of the mining industry in Russia. *Sovremennye problemy sotsial'no-gumanitarnykh nauk*. 2016; 6(8): 105–8. (in Russian)
2. Baturin E.N., Men'shikova E.A., Blinov S.M., Naumov D.Yu., Belkin P.A. Development problems of the largest potash deposits in the world. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012; 6. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7513> (in Russian)
3. Bachurin B.A., Pervova E.S. Technological factors for the formation of the composition of mining waste. In: *Materials of the Conference «Problemy i perspektivy kompleksnogo osvoeniya i sohraneniya nedr» [Materialy konferentsii «Problemy i perspektivy kompleksnogo osvoeniya i sohraneniya nedr»]*. Moscow; 2014: 327–30. (in Russian)
4. Bachurin B.A., Khokhryakova E.S., Odintsova T.A. Flotoreagents role in formation of composition of a waste of enrichment of potash ores. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)*. 2015; (10): 80–6. (in Russian)
5. Abramov A.A. *Flotation Beneficiation Methods [Flotatsionnye metody obogashcheniya]*. Moscow: Gornaya kniga; 2016. (in Russian)
6. Purpose and classification of flotation reagents. Available at: <http://flotoreagent.rf/articles/flotoreagenty/klassifikaciya-flotoreagentov/> (in Russian)
7. U.S. Department Health and Human Services. Public Health Services Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Formaldehyde. Atlanta; 2010.
8. U.S. Department Health and Human Services. Public Health Services Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for 2-Hexanone. Atlanta; 2020.
9. European Chemicals Agency. Formaldehyde Product-type 02 (Disinfectants and algaecides not intended for direct application to humans or animals). Evaluation of active substances. Assessment Report. Germany; 2017.
10. Seleznev S.S., Shlyapnikov D.M., Shur P.Z., Alekseev V.B., Vlasova E.M. Medico-preventive measures to reduce the risk of production-related health problems among employees of PJSC Uralkali. In: *Materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation «Actual Problems of Safety and Risk Analysis of Public Health under the Influence of Environmental Factor»*. Volume 2 [Materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Aktual'nye problemy bezopasnosti i analiza riska zdorov'yu naseleniya pri vozdeystvii faktorov sredy obitaniya»]. Tom 2]. Perm; 2016: 154–6. (in Russian)
11. Dorogova V.B., Taranenko N.A., Rychagova O.A. Environmental formaldehyde and its organism effects (survey). *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2010; (1): 32–5. (in Russian)
12. Bekeeva S.A. Morphological aspects of the effect of hexane on rat brain tissue under conditions of a subacute experiment. *Vestnik KazNU. Seriya biologicheskaya*. 2011; (1): 111–4. (in Russian)
13. Bekeeva S.A. Effects of hexane on the morphofunctional state of the liver tissue of experimental animals. *Vestnik KazNU. Seriya biologicheskaya*. 2011; (1): 114–7. (in Russian)
14. Kutsenko S.A. *Fundamentals of Toxicology [Osnovy toksikologii]*. St. Petersburg: Foliant; 2004. (in Russian)
15. Shlyapnikov D.M., Shur P.Z., Alekseev V.B., Vlasova E.M. Analysis of occupational health risk of workers in underground potash mining: assessment and management. In: *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Scientific Forum «Contemporary Issues of Health and Safety in the Workplace» [Materialy I mezhdunarodnogo nauchnogo foruma «Sovremennye voprosy zdorov'ya i bezopasnosti na rabochem meste»]*. Minsk; 2017: 280–6. (in Russian)
16. Babushkina I.V., Sergeeva A.S., Pivovarov Yu.I., Kuril'skaya T.E., Koryakina L.B. Structural and functional features of the vascular endothelium. *Kardiologiya*. 2015; 55(2): 82–6. (in Russian)
17. Melchior B., Frangos J.A. Shear-induced endothelial cell-cell junction inclination. *Am. J. Physiol. Cell Physiol*. 2010; 299(3): 621–9. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00156.2010>
18. Chiu J.J., Chien S. Effects of disturbed flow on vascular endothelium: pathophysiological basis and clinical perspectives. *Physiol. Rev*. 2011; 91(1): 327–87. <https://doi.org/10.1152/physrev.00047.2009>
19. Glantz S.A. *Primer of Biostatistics*. New-York: McGraw-Hill; 1994.
20. Moro A.M., Brucker N., Charao M., Bulcao R., Freitas F., Baierle M. Evaluation of genotoxicity and oxidative damage in painters exposed to low levels of toluene. *Mutat. Res*. 2012; 746(1): 42–8. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2012.02.007>
21. Hormozi M., Mirzaei R., Nakhaee A., Payandeh A., Izadi S., Haghghi J.D., et al. Quantification of urinary metabolites of toluene and xylene isomers as biological indices of occupational exposure in printing industry workers. *Health Scope*. 2019; 8(1): 1–7.
22. Ezejiofo T.I.N., Ezejiofor A.N., Orisakwe O.E., Nwigwe H.C., Osuala F.O., Iwuala M.O.E. Anicteric hepatotoxicity: a potential health risk of occupational exposures in Nigerian petroleum oil refining and distribution industry. *J. Occup. Med. Toxicol*. 2014; 9(3): 2–14. <https://doi.org/10.1186/1745-6673-9-3>