

Медицина труда и экология человека

№4/2024

Сетевое издание

ISSN 2411 - 3794



uniimtech.ru

Учредитель

Федеральное бюджетное учреждение науки
«Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека»

Главный редактор – А.Б. Бакиров, д.м.н., проф., академик АН РБ – советник директора ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека»

Зам. главного редактора – Д.О. Каримов, к.м.н.

Редакционный совет:

Богданова Н.В., Ph.D. (Германия, Ганновер),
Бухтияров И.В., д.м.н., проф., академик РАН (Россия, Москва),
Зайцева Н.В., д.м.н., академик РАН (Россия, Пермь),
Зеленко А.В., к.м.н. (Белоруссия, Минск),
Кузьмин С.В., д.м.н., проф. (Россия, Москва),
Кузьмина Л.П., д.б.н. (Россия, Москва),
Май И.В., д.б.н., проф. (Россия, Пермь),
Муштафина И.З., к.м.н. (Россия, Москва),
Перов С.Ю., д.б.н. (Россия, Москва),
Попова А.Ю., д.м.н., проф. (Россия, Москва),
Потатурко А.В., д.м.н. (Россия, Екатеринбург),
Потеряева Е.Л., д.м.н. (Россия, Новосибирск),
Ракицкий В.Н., д.м.н., академик РАН (Россия, Москва),
Рахманин Ю.А., д.м.н., проф., академик РАН (Россия, Москва),
Романович И.К., д.м.н., проф., академик РАН (Россия, Санкт-Петербург),
Рыжов А.Я., д.б.н., проф. (Россия, Тверь),
Сарманаев С.Х., д.м.н., проф. (Россия, Москва),
Семенихин В.А., д.м.н. (Россия, Кемерово),
Спирин В.Ф., д.м.н., проф. (Россия, Саратов),
Сутункова М.П., д.м.н. (Россия, Екатеринбург),
Сычик С.И., к.м.н. (Белоруссия, Минск),
Тутельян В.А., д.м.н., проф., академик РАН (Россия, Москва),
Фатхутдинова Л.М., проф., д.м.н. (Россия, Казань),
Хамидулина Х.Х., д.м.н., проф. (Россия, Москва),
Хотимченко С.А., д.м.н., проф., член-корр. РАН (Россия, Москва)

Редакционная коллегия:

Багрянцева О.В., д.б.н. (Россия, Москва),
Бухарина И.Л., д.б.н. (Россия, Ижевск),
Бактыбаева З.Б., к.б.н. (Россия, Уфа),
Валеева Э.Т., д.м.н. (Россия, Уфа),
Викторова Т.В., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Гайнуллина М.К., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Гимаева З.Ф., д.м.н. (Россия, Уфа),
Гильманов А.Ж., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Даукаев Р.А., к.б.н. (Россия, Уфа),
Ефимочкина Н.Р., д.б.н. (Россия, Москва),
Зулькарнаев Т.Р., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Кулагин А.А., д.б.н. (Россия, Уфа),
Карамова Л.М., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Каримова Л.К., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Ларионов М.В., д.б.н. (Россия, Москва),
Масягутова Л.М., д.м.н. (Россия, Уфа),
Мухаметзянов А.М., д.м.н. (Россия, Уфа),
Степанов Е.Г., к.м.н. (Россия, Уфа),
Сулейманов Р.А., д.м.н. (Россия, Уфа),
Терегулова З.С., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Туйгунов М.М., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Хайров Х.С., д.м.н. (Таджикистан, Душанбе),
Шайхлисламова Э.Р., к.м.н. (Россия, Уфа),
Шарафутдинова Н.Х., д.м.н., проф. (Россия, Уфа)

Редакция:

зав. редакцией – Т.Г. Якупова
научные редакторы – д.м.н. Р.А. Сулейманов,
к.м.н. Ю.В. Рябова
переводчики – З.Р. Палютина, Г.М. Башарова
корректор – Р.Р. Ахмадиева
верстка – к.м.н. Ю.В. Рябова, Т.Г. Якупова

Адрес редакции: Российская Федерация, 450106, Республика Башкортостан,

город Уфа, улица Степана Кувыкина, дом 94

Тел.: (347) 255-19-57, факс: (347) 255-56-84

E-mail: journal@uniimtech.ru

Электронная версия журнала – на сайте <http://uniimtech.ru/>

ЗАРЕГИСТРИРОВАН В ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЕ ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ СВЯЗИ, ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ 29.05.2020, НОМЕР СВИДЕТЕЛЬСТВА ЭЛ № ФС77-78392

Журнал входит в Перечень российских рецензируемых научных журналов, которые рекомендованы Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (ВАК) для публикации результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

Основан в 2015 году. Выходит 4 раза в год.

Перепечатка текстов без разрешения редакции запрещена.

При цитировании материалов ссылка на журнал обязательна.

Возрастное ограничение: 12+. Подписано в печать: 09.12.2024

©ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», 2024

Occupational Health and Human Ecology

№4/2024

ISSN 2411-3794

Founder

Federal State-Funded Institution of Science

Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology

Editor-in-Chief – A.B. Bakirov, M.D., Professor of Medicine, Academician of the Bashkortostan Academy of Sciences – Directors Advisor Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology

Deputy Chief Editor – D.O. Karimov, PhD of Medicine

Editorial Board:

Bogdanova N.V., Ph.D. (Germany, Hanover),

Bukhtiyarov I.V., M.D., Professor of Medicine, academician of RAS (Russia, Moscow),

Khamidulina Kh.Kh., M.D., Professor of Medicine (Russia, Moscow),

Khotimchenko S.A., M.D., Professor of Medicine, Corresponding member of RAS (Russia, Moscow),

Kuzmin S.V., M.D., Professor of Medicine (Russia Moscow),

Kuzmina L.P., Doctor of Biology (Russia Moscow)

May I.V., Doctor of Biology, Professor (Russia, Perm),

Mustafina I.Z., Ph.D. (Medicine) (Russia, Moscow),

Perov S.Yu., Doctor of Biology (Russia, Moscow)

Popova A.Yu., M.D., Professor of Medicine (Russia, Moscow),

Potaturko A.V., M.D. (Russia, Yekaterinburg)

Poteryaeva E.L., M.D. (Russia, Novosibirsk),

Rakhmanin Yu.A., M.D., Professor of Medicine (Russia, Moscow),

Ryzhov A.Ya., Doctor of Biology, Professor (Russia, Tver),

Rakitsky V.N., M.D., Academician of RAS (Russia, Moscow),

Romanovich I.K., M.D., Professor of Medicine (Russia, St. Petersburg),

Sarmanaev S.Kh., M.D., Professor of Medicine (Russia, Moscow),

Semenikhin V.A., M.D. (Russia, Kemerovo)

Spirin V.F., M.D., Professor of Medicine (Russia, Saratov),

Sutunkova M.P., M.D. (Russia, Yekaterinburg),

Sychik S.I., Ph.D. (Medicine) (Belarus, Minsk),

Fatkhutdinova L.M., M.D., Professor of Medicine (Russia, Kazan),

Tutelian V.A., M.D., Professor of Medicine, acad. of RAS (Russia, Moscow),

Zaitseva N.V., M.D., Academician of RAS (Russia, Perm),

Zelenko A.V., Ph.D. (Medicine) (Belarus, Minsk)

Editorial Council:

Bagryantseva O.V. D.Sc. (Biology) (Russia, Moscow),

Bukharina I.L. D.Sc. (Biology) (Russia, Izhevsk),

Baktybaeva Z.B., Ph.D. (Biology) (Russia, Ufa),

Efimochkina N.R. D.Sc. (Biology) (Russia, Moscow),

Daukaev R.A., Cand.Sc. (Biology) (Russia, Ufa),

Gainullina M.G., M.D., Professor of Medicine (Russia, Ufa),

Gimaeva Z.F., M.D. (Russia, Ufa),

Gilmanov A.Zh., M.D. (Russia, Ufa),

Karamova L.M., M.D., Professor of Medicine (Russia, Ufa),

Karimova L.K., M.D., Professor of Medicine (Russia, Ufa),

Kulagin A.A. D.Sc. (Biology) (Russia, Ufa),

Masyagutova L.M., M.D. (Russia, Ufa),

Mukhametzyanov A.M., D.Sc. (Medicine) (Russia, Ufa)

Larionov M.V. D.Sc. (Biology) (Russia, Moscow),

Shaikhislamova E.R., Ph.D. (Medicine) (Russia, Ufa),

Sharafutdinova N.Kh., M.D., Professor of Medicine (Russia, Ufa),

Suleymanov R.A., M.D. (Russia, Ufa),

Stepanov E.G., Ph.D. (Medicine) (Russia, Ufa),

Teregulova Z.R., M.D., Professor of Medicine (Russia, Ufa),

Tuigunov M.M., M.D., Professor of Medicine (Russia, Ufa),

Khairov Kh.S., Ph.D., M.D. (Tadjikistan, Dushanbe)

Valeeva E.T., M.D. (Russia, Ufa),

Viktorova T.V., M.D., Professor of Medicine (Ufa, Russia),

Zulkarnaev T.R., M.D., Professor of Medicine (Russia, Ufa),

Editors:

Managing Editor – Yakupova T.G.

Science Editor – Suleymanov R.A., D.Sc. (Medicine)

Ryabova Yu.V., PhD of Medicine

Translators – Palyutina Z.R., Basharova G.M.

Proofreader – Akhmedieva R.R.

Layout – Ryabova Yu.V., PhD of Medicine, Yakupova T.G.

Editorial office: Russian Federation, 450106, Republic of Bashkortostan, 94, Kuyvina Ul., Ufa.

Phone: (347) 255-19-57, fax: (347) 255-56-84

E-mail: journal@uniimtech.ru

The electronic version of the journal is on the website <http://uniimtech.ru/>

REGISTERED IN THE FEDERAL SERVICE FOR SUPERVISION IN THE FIELD OF COMMUNICATION, INFORMATION TECHNOLOGIES AND MASS COMMUNICATIONS

29.05.2020, CERTIFICATE NUMBER EL No. FS77-78392

The journal is included in the list of peer-reviewed scientific journals and publications recommended by the Higher Attestation Commission of the Russia under the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (HAC) for publishing the main scientific results of a dissertation for the degree of Candidate and Doctor of sciences.

Reprinting of texts without permission of the publisher is prohibited.

When quoting materials reference to the journal is required.

Age restriction: 12+. Signed to print 09.12.2024

СОДЕРЖАНИЕ

Медицина труда

- 6 **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И ПРОФИЛАКТИКИ КОЖНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У РАБОЧИХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**
Яцына И.В., Шумихин А.Э., Астахова И.В.

Гигиена труда

- 24 **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ САМООЦЕНКИ ПСИХИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ И ТРЕВОЖНОСТИ У ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ПРИ УМСТВЕННОМ ТРУДЕ**
Рахманов Р.С., Богомолова Е.С., Нарутдинов Д.А., Разгулин С.А., Антюганов С.Н., Шуркин Д.А.

Гигиена окружающей среды

- 38 **ВЛИЯНИЕ ОТХОДОВ КРУПНЫХ ПТИЦЕФАБРИК НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**
Янь Ли, Лемешевский В.О., Максимова С.Л.
- 53 **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА МЕТАЛЛАМИ НОВЫХ ГОРОДОВ-УЧАСТНИКОВ ФЕДЕРАЛЬНОГО ПРОЕКТА «ЧИСТЫЙ ВОЗДУХ»**
Родионов А.С., Егорова М.В., Горячева Л.В., Федорова Н.Е., Богданова Ю.Ю.
- 68 **СОДЕРЖАНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ**
Щучинов Л.В., Кац В.Е., Вторушина О.О., Савенко К.С., Новикова И.И.

Гигиена питания

- 85 **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ РАЗНЫХ ФОРМАХ ОРГАНИЗАЦИИ ПИТАНИЯ В ШКОЛАХ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ**
Мажаева Т.В., Синицына С.В., Козубская В.И.

Организация здравоохранения и социальная гигиена

- 106 **РОЛЬ СЕМАШКО Н.А. В СТАНОВЛЕНИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ БАССР. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ (к 150-летию со дня рождения)**
Рахматуллин Н.Р.
- 119 **ЗДОРОВЬЕ ПОДРОСТКОВ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН**
Карамова Л.М., Насертдинова А.Ф., Фесенко М.А., Башарова Г.Р., Гайнуллина М.К., Власова Н.В.

144 ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОСТИ ТРАНСПОЗОНА LINE1 ПРИ ТОКСИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Каримов Д.Д., Валова Я. В., Гизатуллина А.А., Смолянкин Д.А., Кудояров Э.Р., Каримов Д.О.

153 ОЦЕНКА ЦИТОТОКСИЧНОСТИ АКРИЛАМИДА НА КЛЕТОЧНОЙ КУЛЬТУРЕ ГЕПАТОЦИТОВ МН-22А: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКСИЧЕСКИХ ДОЗ И АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК В УСЛОВИЯХ ИНДУЦИРОВАННОГО ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА

Якупова Т.Г., Кудояров Э.Р., Каримов Д.О., Каримов Д.Д., Бакиров А.Б., Валова Я.В., Гизатуллина А.А., Гарипова З.Р.

УДК 613.62; 613.6.027.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И ПРОФИЛАКТИКИ КОЖНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У РАБОЧИХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Яцына И.В., Шумихин А.Э., Астахова И.В.

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Мытищи, Россия

Существующий недостаток неинвазивных бюджетных и при этом легко транспортабельных аппаратов для диагностики поражений кожи побудил нас изучить разнообразие современных диагностических методов с целью дальнейшего внедрения инновационных методик в практическую деятельность врача при проведении периодических медицинских осмотров. В статье представлено множество актуальных методов исследования морфологического, физиологического состояния кожи и микроциркуляции, среди которых наиболее перспективным представляется метод диагностики с использованием цианакрилатного клея *in vivo*, не требующий крупных финансовых затрат и нарушения целостности кожного покрова. Основными превентивными методами остаются санитарно-просветительная работа и использование различных средств индивидуальной защиты в зависимости от особенностей выполняемой работы. Исследование диагностических методов, а также изучение особенностей труда и существующих способов профилактики заболеваний кожи у рабочих агропромышленного комплекса является промежуточным этапом для дальнейшего совершенствования комплекса профилактических мероприятий по снижению риска развития заболеваемости кожных покровов у работников данной отрасли.

Цель исследования – анализ и обобщение диагностических методов и существующих способов профилактики заболеваний кожи у рабочих агропромышленного комплекса для дальнейшего совершенствования комплекса профилактических мероприятий профессиональной дерматологической патологии.

Методом аналитического обзора изучены и представлены актуальные способы диагностики и профилактики заболеваний кожи у рабочих агропромышленного комплекса. С целью данного исследования использованы основополагающие литературные источники и современные работы ведущих российских и зарубежных специалистов в области дерматологии и гигиены труда из базы данных РИНЦ,

CyberLeninka, Scopus, Web of Science, Medline. Поиск осуществлялся по ключевым словам и словосочетаниям: диагностика заболеваний кожи, диагностика заболеваний микроциркуляторного русла, условия труда рабочих агропромышленного комплекса, условия труда рабочих защищенного грунта, профилактика заболеваний кожи у рабочих.

Ключевые слова: профилактика профессиональных болезней кожи, диагностика заболеваний кожи, агропромышленный комплекс.

Для цитирования: Яцына И.В., Шумихин А.Э., Астахова И.В. Современные методы диагностики и профилактики кожных заболеваний у рабочих агропромышленного комплекса. Медицина труда и экология человека. 2025; 4: 6-23.

Для корреспонденции: Шумихин Артур Эдуардович, ФБУН «ФНЦГ им. Ф. Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, врач-дерматовенеролог; e-mail: arturka43@yandex.ru.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10401>

MODERN METHODS OF DIAGNOSTICS AND PREVENTION OF SKIN DISEASES AMONG AGRO-INDUSTRIAL WORKERS

Yatsyna I.V., Shumikhin A.E., Astakhova I.V.

The Erisman Federal Scientific Center of Hygiene of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Mytishchi, Russia

The existing lack of non-invasive, cost-effective, and easily transportable devices for diagnosing skin lesions motivated us to explore the variety of modern diagnostic methods, with the aim of further implementing innovative techniques into the practical activities of doctors during regular health check-ups. The article presents a number of relevant methods for examining the morphological and physiological condition of the skin and microcirculation, among which the most promising appears to be the diagnostic method using cyanoacrylate glue in vivo, which does not require significant financial costs or disruption of the skin's integrity. The main preventive methods remain public health education and the use of various personal protective equipment, depending on the specifics of the work being performed. The study of diagnostic methods, as well as the examination of working conditions and existing ways to prevent skin diseases among

agro-industrial workers, represents an intermediate stage for further improvement of preventive measures to reduce the risk of skin diseases among workers in this sector.

The aim of the study is to analyze and summarize diagnostic methods and existing ways of preventing skin diseases among agro-industrial workers, with the goal of further improving preventive measures for occupational dermatological pathology.

Materials and methods. An analytical review method was used to study and present current methods for diagnosing and preventing skin diseases among agro-industrial workers. The study utilized key literary sources and contemporary works of leading Russian and international specialists in the fields of dermatology and occupational hygiene from the RINC database, CyberLeninka, Scopus, Web of Science, and Medline. The search was conducted using key words and phrases: skin disease diagnosis, microcirculatory disease diagnosis, working conditions of agro-industrial workers, conditions of protected soil workers, prevention of skin diseases among workers.

Keywords: prevention of occupational skin diseases, diagnostics of skin diseases, agro-industrial complex.

For citation: Yatsyna I.V., Shumikhin A.E., Astakhova I.V. Modern methods of diagnostics and prevention of skin diseases among agro-industrial workers. Occupational Health and Human Ecology. 2024; 4: 6-23.

Correspondence: Artur E. Shumikhin, The Erisman Federal Scientific Center of Hygiene of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, dermatovenerologist; e-mail: arturka43@yandex.ru.

Funding: The study had no financial support.

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

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10401>

Заболевания кожи и подкожно-жировой клетчатки остаются значимой проблемой медицины труда, так как они не только ухудшают качество жизни рабочих, но и требуют сложной и дорогостоящей диагностики. На данные заболевания, особенно в начальных стадиях, часто не обращают внимания при проведении периодических медосмотров, учитывая тот факт, что кожная патология может развиваться постепенно. Сухость и трещины могут быть признаками не только начала заболевания, но и свидетельством повышенного поступления вредных веществ в организм работающего. В связи с существенной опасностью кожно-резорбтивного

действия пестицидов состояние здоровья кожи рабочих агропромышленного комплекса требует пристального внимания, как гигиенистов, так и клиницистов.

Несмотря на высокую эффективность современных методов, их применение в рутинной медицинской практике остается ограниченным из-за дороговизны оборудования и сложности его использования. В условиях стремительного развития технологий возникает потребность в создании доступных, мобильных и экономически выгодных решений для диагностики кожных заболеваний и дальнейшего совершенствования профилактических мероприятий. Это особенно актуально для сельскохозяйственных регионов, где доступность квалифицированной медицинской помощи снижена, а воздействие неблагоприятных факторов труда повышает риск профессиональных заболеваний кожи.

Современные неинвазивные методы диагностики заболеваний кожи, подкожно-жировой клетчатки, микроциркуляторного русла

Существующие неинвазивные методы исследования кожи по изучаемому признаку можно разделить на:

1. Методы изучения морфологических параметров кожи
 - Оптические: конфокальная лазерная сканирующая микроскопия (КЛСМ); дерматоскопия и др.; оптическая когерентная томография (ОКТ).
 - Звуковые: высокочастотное ультразвуковое сканирование.
2. Методы оценки физиологических параметров: барьерной функции (теваметрия); увлажненности (корнеометрия); шелушения (когезиометрия); секреторной функции (себуметрия); пигментации (мексаметрия); рельефа кожи (лазерная профилометрия, анализ реплик); pH (pH-метрия); эластичности (кутометрия).
3. Методы оценки микроциркуляции: лазерная доплеровская флоуметрия; поляризационная световая спектроскопия; капилляроскопия; термография и др.

При конфокальной микроскопии *in vivo* выполняется сканирование структур тканей без повреждения кожи, с высокой разрешающей способностью, сравнимой с классическим гистологическим исследованием, однако стоимость аппаратуры ограничивает использование данного метода. Главные отличия конфокальной сканирующей микроскопии от традиционного патоморфологического исследования: исследование выполняется без повреждения кожных покровов; быстрое получение результатов (в течение нескольких минут); исследование

производится в режиме реального времени; возможно многократное исследование одного и того же участка кожи; «срезы» ориентированы параллельно поверхности кожи; глубина изучаемых структур на уровне 200-250 мкм (поверхностный слой дермы); сканированные изображения представляют собой черно-белые (в оттенках серого) снимки [1, 2].

Дерматоскопия – это метод исследования кожных покровов с помощью дерматоскопа, инструмента, который увеличивает изображение и позволяет более детально рассмотреть структуры и цветовую гамму различных элементов кожи, выявить патогномичные дерматоскопические признаки для того или иного заболевания. Данный метод незаменим в диагностике кожных заболеваний, а также при дифференциальной диагностике новообразований. Предложен ряд терминов для использования дерматоскопии при диагностике различных заболеваний, например трихоскопия – для диагностики болезней волос, онихоскопия – для диагностики патологии ногтевых пластин, энтомодерматоскопия – для выявления инвазии в кожу паразитов, инфламмоскопия – диагностики воспалительных дерматозов, капилляроскопия – для обследования микроциркуляторного русла поверхности кожи. Метод является неинвазивным и простым в использовании, однако качество проведения дерматоскопии зависит от квалификации специалиста [3].

На основе дерматоскопии в сочетании с работой искусственного интеллекта разработаны такие методы диагностики поражений кожи, как мобильные цифровые системы DermoScan, FotoFinder и другие [2, 5].

Оптическая когерентная томография (ОКТ) – метод неинвазивного исследования, использующий ближний инфракрасный свет, которым освещают исследуемый участок ткани. Инфракрасный свет, попадая на границу двух сред с разной плотностью, частично отражается от нее и рассеивается. Анализируя коэффициент обратного рассеяния света, можно получить информацию о строении ткани на данном участке глубиной до 1,5 мм [2, 6].

Одним из основных неинвазивных методов исследования кожи, преимущественно дермы и гиподермы, является ультразвуковое сканирование частотой 20 МГц и выше. Ультрасонография позволяет изучить различные инфильтраты и новообразования, расположенные в коже, их размеры, плотность, глубину инвазии, особенности границ образований, толщину слоев кожи, оценить микроциркуляторное русло исследуемого участка. Достоинством метода является отсутствие повреждения тканей, быстрота результата, возможность многократного

исследования одного и того же участка. Из недостатков следует отметить сложность метода и необходимость высокого профессионализма специалиста, так как при недостаточном опыте исследователя информативность метода значительно снижается [7, 8].

Группа методов оценки физиологических параметров кожи рутинно, как правило, не используется для дифференциальной диагностики заболеваний кожи. Данные методы чаще применимы для оценки косметологических (эстетических) дефектов, возрастных изменений, а также в качестве объективных методов изучения кожи при научных исследованиях. Теваметрия позволяет оценить барьерную функцию кожи путем измерения трансэпидермальной потери воды. Осуществляется метод с помощью двух датчиков влажности, измеряется и сравнивается разница парциальных давлений на поверхности кожи и вблизи нее. Уровень гидратации эпидермиса можно измерить, используя корнеометрию. Ранее для оценки увлажненности кожи применяли микроволновые, тепловые, спектроскопические методы, в настоящее время корнеометрический метод определения диэлектрической постоянной рогового слоя является наиболее простым и применяемым. Когезиометрия – метод оценки степени шелушения кожи, осуществляется при использовании прозрачных клейких лент, к которым при прикладывании к коже прилипают кератиноциты, и последующем их фотографировании для расчета индекса шелушения. Себуметрия – количественное измерение кожного сала на поверхности кожи, данный метод основан на фотометрическом анализе сальных пятен на пленке, селективно адсорбирующей липиды, метод не зависит от степени гидратации кожи. Мексаметрия, также называемая эритемометрией, применяется для определения уровня меланина и степени эритемы, принцип метода основан на способности кожи отражать и поглощать свет разной длины волны в красных, зеленых и инфракрасных областях спектра. Ревискометрия, или ревискозиметрия, используется для оценки состояния соединительной ткани дермы, неоднородности ее свойств и анизотропии кожи. Акустический метод используется для определения анизотропии кожи путем прохождения акустической волны через нее в разных направлениях. Оптическая профилометрия и анализ силиконовых реплик (слепков) кожи позволяет оценить рельеф кожи, определить длину, глубину и плотность морщин. Кутометрия используется для оценки деформационных и эластических свойств кожи путем всасывания кожи под воздействием вакуума. Баллистометрия изучает вязкоэластические свойства кожи путем изучения глубины вдавливания и коэффициента затухания, а рН-метрия измеряет кислотность кожи [7, 9, 10].

В настоящее время развитие лазерных и оптических технологий приводит к разработке новых методов изучения состояния тканевого кровотока. Оптическая микроскопия используется для визуального мониторинга микроциркуляции крови и оценки таких показателей, как морфология и тонус микрососудов, но метод ограничен глубиной изучаемых тканей (до 300 мкм по толщине). Ультразвук с эффектом Доплера и магнитно-резонансная ангиография (МРА) обеспечивают измерение скорости кровотока в сосудах, но также имеют свои ограничения. Пространственное разрешение ультразвука ограничено до 200 мкм по глубине зондирования, МРА визуализирует в основном крупные кровеносные сосуды и не предоставляет информацию о периферическом сосудистом русле. Метод оптической когерентной томографии имеет свои недостатки, такие как высокая чувствительность к произвольным движениям объекта исследования и отсутствие возможности измерения потоков в лимфатических и кровеносных сосудах малого калибра. Вместе с тем различные методы оптической микроскопии позволяют объективно оценить состояние микроциркуляции крови, но только на поверхности тканей [11].

Метод диффузионной волновой спектроскопии является наиболее используемым и чувствительным методом регистрации динамики процессов микроциркуляции крови в биотканях (его аналог - метод лазерной доплеровской флуометрии, позволяет получать информацию о параметрах кровотока (скорости и интенсивности кровообращения) с любого участка поверхности тела в режиме реального времени, но требует дополнительной работы по анализу полученных данных. Данный метод основан на анализе отраженного от движущихся эритроцитов лазерного излучения и используется для определения типовых нарушений кровообращения микроциркуляторного русла, выраженности гемодинамических расстройств и оценки их компенсации преимущественно у больных аллергодерматозами [7, 11, 12].

Технология спектральной ортогональной поляризации (СОП) при помощи видеомикроскопа для создания высококонтрастных изображений крови в микроциркуляторном русле с использованием отраженного света позволяет неинвазивно оценить показатели микрогемодинамики и общего анализа крови. Оптимальная длина волны излучаемого света (548 нм) поглощается окси- и дезоксигемоглобином одинаково, визуализируя кровеносные сосуды микроциркуляторного русла. Было разработано новое устройство на базе технологии СОП-визуализации темного поля в боковом потоке, использующее светодиоды с длиной волны 530 нм, поглощаемые гемоглобином эритроцитов, для

визуализации перетекающих клеток. СОП-визуализация может быть использована для меры перфузии тканей и весьма перспективна для будущих клинических исследований *in vivo* [13, 14].

Инфракрасная термография (ИКТ) является наиболее точным методом регистрации температурных показателей тела человека. ИКТ осуществляется путем регистрации теплового излучения объектов в инфракрасном диапазоне с использованием специального тепловизионного оборудования (теповизор), которое преобразует инфракрасное излучение в изображение (термограмму). Тепловизор представляет собой фотоприемную камеру с фоточувствительной матрицей и германиевым объективом. Современные термовизоры могут быть подключены к компьютеру для сохранения и обработки данных. ИКТ является безопасной для человека и применяется для проведения диагностических и профилактических обследований. Термография может быть использована для контроля эффективности лечения заболеваний сосудов, особенно на начальных стадиях, когда клинические признаки болезни практически отсутствуют [15, 16, 17].

Малоинвазивным и информативным методом диагностики аллергодерматозов можно считать исследование крови путем полимеразной цепной реакции с применением реакции пиросеквенирования для выявления вариантов гена цитохрома P450 (CYP1A1, CYP3A4), глутатион S-трансферазы (GSTM1, GSTT1), микросомальной эпоксидгидролазы 1 (EPHX1), полиморфного варианта гена филаггрина *ins/del*, сочетание которых характеризуется неблагоприятным прогнозом в отношении профессиональной патологии кожи. Данное исследование является информативным и перспективным для дальнейшего изучения и использования, однако в настоящее время оно применимо лишь в научных целях [18, 19].

Несмотря на большое разнообразие и обилие неинвазивных методов диагностики заболеваний кожи, существует ряд сложностей в их использовании. Большинство методов осуществляется при использовании дорогостоящей аппаратуры, часть методов применяется при эксплуатации громоздкой, маломобильной техники, что, в свою очередь, ограничивает их применение непосредственно на предприятиях. Зачастую сельскохозяйственные угодья располагаются в удалении от крупных городов, где есть возможность использования такой аппаратуры. Кроме того, большая часть методов требует специализированной подготовки, углубленных знаний и достаточного опыта врача, осуществляющего диагностику. К сожалению, в отдаленных регионах отмечается нехватка данных специалистов.

В связи с выявленной нехваткой неинвазивных методов диагностики заболеваний кожи с использованием мобильного бюджетного оборудования проводится исследование нового метода диагностики с использованием цианакрилатного клея. С помощью данного клея производится удаление поверхностной части рогового слоя (толщиной 2-3 клетки). При заборе материала под небольшим давлением происходит полимеризация клея, образуется соединение с теми же оптическими свойствами, что и у стекла. Полученный материал дает возможность микроскопически получить информацию о состоянии рогового слоя *in vivo*, что позволяет провести дифференциальную диагностику различных заболеваний кожи [20].

Особенности труда рабочих сельского хозяйства, существующие методы профилактики

Решающую роль в совершенствовании аграрной промышленности играют состояние здоровья и трудовые возможности сотрудников данной сферы деятельности. С целью предотвращения развития профпатологий необходимо обеспечение достаточных мер профилактики заболеваний рабочих. Так как лечение уже существующих кожных заболеваний представляет более сложную задачу, важнейшее значение имеет развитие профилактического направления деятельности врача: около четверти заболеваний кожи переходят в хроническую и практически неизлечимую форму, до половины случаев заболеваний кожи имеют рецидивы. Как следствие, решением проблемы является системная, правильная и своевременная профилактика профессиональных дерматозов, состоящая из технических и организационных мероприятий, а также применения средств индивидуальной защиты, позволяющих избежать или уменьшить воздействие на кожу раздражителей и аллергенов [21].

Одним из важнейших методов обеспечения приверженности работников к соблюдению мер профилактики является санитарно-просветительная работа, так при анкетном опросе трудящихся в сельском хозяйстве выявлено что около половины работников считают санитарно-гигиеническое просвещение важным аспектом для актуализации мер первичной профилактики профессиональной патологии. Ведутся работы и постоянно совершенствуются методы для внедрения дистанционных онлайн-лекций о современных необходимых методах профилактики, регулярно обновляющихся средствах индивидуальной защиты (СИЗ) с целью своевременного информирования рабочего персонала [22].

Для трудящихся в сельском хозяйстве наиболее опасным принято считать воздействие пестицидов, причем в условиях защищенного грунта негативное влияние ксенобиотиков значительно усиливается.

Вся работа в теплицах, которая связана с применением пестицидов, требует обязательного использования СИЗ: хлопчатобумажных костюмов или комбинезонов, резиновых сапог, латексных перчаток, иногда фартуков и нарукавников, головных уборов и респираторов типа РПГ-67 или РУ-60М. Тепличницы могут готовить рабочий раствор на рабочем месте или в специализированном помещении. При этом в воздухе рабочей зоны концентрация активных веществ либо не обнаруживается совсем, либо обнаруживается на уровне чувствительности метода. Как правило, на коже вредные вещества также не обнаруживаются [23].

Работы в теплицах выполняются в неблагоприятных климатических условиях, в летний период температура воздуха достигает 36,9-41,1 °С при высокой влажности и минимальном движении воздуха со значительной физической нагрузкой, увеличивая риск воздействия пестицидов даже на уровне гигиенических норм [24]. Согласно последним исследованиям, условия труда самими овощеводами оцениваются как неблагоприятные и связанные с риском для здоровья [25]. Указанные выше данные следует учитывать при выполнении работ, которые не связаны непосредственно с применением пестицидов, но производятся в помещениях, где ранее проводилась обработка препаратами. Обычно эти работы (полив, окучивание, обрезка, подвязка растений, сбор урожая) выполняются без использования средств защиты для кожи и органов дыхания. Исследования отечественных ученых показали, что через 6 дней после обработки растений (цветов) абамектином на листьях вещество сохраняется, хотя в небольшом количестве - 0,000021 мкг/см²; через 3 дня после обработки листьев огурцов ацетамипридом на них обнаруживается до 0,012 мкг/см², что может привести к вторичному загрязнению кожи работников и, следовательно, создать угрозу продолжительного воздействия вещества транскутаным путем. Через 3 дня после обработки огурцов при окучивании на коже рук работников обнаружен тиаметоксам, что подтверждает возможность вторичного загрязнения кожи [23].

Предсевная обработка (протравливание) семян играет важную роль в системе мероприятий, направленных на повышение урожайности сельскохозяйственных культур [26]. В полевых условиях протравливание проводится на специализированных протравочных машинах, установленных в отдельном

помещении (в зернохранилище или под навесом). В процессе работы занято несколько человек, как правило: оператор протравочной машины и рабочий или рабочие в зависимости от объема работы. Оператор заливает в машину рабочий раствор препарата, а зерно поступает туда через транспортер. Задача оператора – следить за процессом и качеством протравливания. После обработки зерно из накопительного бункера грузчики вручную засыпают в мешки и переносят в складское помещение или грузят на транспортные средства [23].

Все работы, связанные с обработкой зерна препаратами, выполняются с использованием респираторов РПГ-67 или РУ-60М, латексных перчаток, спецодежды и сапог. В воздухе рабочей зоны оператора протравочной машины, как правило, содержится незначительное количество вредных веществ. Так как приготовление растворов и обработка проводятся в респираторах, небольшое превышение концентрации вредных веществ не представляет опасности для работников, однако свидетельствует о возможном загрязнении воздуха рабочей зоны во время заправки протравочной машины. Во время самой обработки содержание действующих веществ в зоне дыхания оператора и рабочих-грузчиков также незначительно: в половине изученных случаев содержание пестицидов ниже предела чувствительности метода. Несмотря на использование перчаток, содержание вредных веществ (в частности, карбоксина и тирама) на руках работников превышает среднюю фактическую величину, что указывает на несовершенство используемых средств индивидуальной защиты рук [23].

Нередко протравливание семян осуществляется промышленным способом. Работа осуществляется в 2 смены продолжительностью в 4 часа, в каждую смену работают два аппаратчика для обработки зерна, три машиниста расфасовочно-упаковочной машины и грузчики. Одинаково важным является обеспечение безопасности работников, поэтому работа осуществляется в специальных костюмах, включая респираторы, хлопчатобумажные костюмы, рукавицы или перчатки (латексные или резиновые общепромышленные) и головные уборы.

Анализы воздуха внутри помещений показывают, что содержание химикатов обычно находится на уровне или ниже предела определения, за исключением отделения, где происходит обработка зерна. На коже трудящихся также обнаружены вредные вещества. Кожа лица часто загрязняется, особенно у сеяльщиков, так как они в первую очередь подвержены попаданию зерновой пыли с пестицидами. На закрытых участках кожи, таких как предплечье, голень и грудь, обнаружено практически такое же количество пестицидов, что свидетельствует о

потенциальном неблагоприятном воздействии пестицидов на работников при попадании на кожу [23].

Кроме использования СИЗ, немаловажную роль играет превентивное регулярное использование увлажняющих кремов, поддерживающих увлажненность и эластичность кожи, предотвращая развитие дерматозов. Эмоментные кремы можно использовать во время и после работы для поддержания достаточной увлажненности кожи. Более того, их длительное применение может повысить восприимчивость кожи к заболеваниям [27, 28].

В Российской Федерации, согласно оценкам экспертов, число больных профессиональными дерматозами значительно превышает декларированную заболеваемость, что связано, прежде всего, с качеством проведения предварительных и периодических медицинских осмотров (ПМО) работающих [29]. Кроме того, страх потерять работу или профессию приводит к сокрытию работниками имеющихся у них заболеваний при прохождении медицинских осмотров, в том числе отсутствию жалоб, использованию медикаментов перед осмотром, отказу от своевременного проведения лечебно-профилактических и реабилитационных мероприятий.

Решение проблем, связанных с улучшением условий труда, находится в прямой зависимости от реализации механизма исполнения законодательства в области безопасности и гигиены труда. В настоящее время в медицине труда управление профессиональным риском осуществляется на основании организационно-технических, административно-правовых, экономических, лечебно-профилактических мероприятий, регламентированных правовыми и законодательными документами [30].

Кроме того, согласно данным обзорной работы Stayner L.T. et al. по результатам Конференции по эпидемиологии в области гигиены труда (EPICON), всемирной проблемой является отсутствие достаточного финансирования исследований в области охраны труда и техники безопасности. Политические и юридические конфликты, возникающие в результате проведения профессиональных эпидемиологических исследований, не удивительны, поскольку результаты таких работ могут иметь серьезные экономические последствия, которые, естественно, вызывают интенсивные научные дебаты, политические и правовые вопросы. Такие конфликты могут быть особенно острыми, когда речь идет о судебных разбирательствах. Со временем, по мере достижения научного консенсуса, данные проблемы могут исчезнуть, как это произошло в отношении многих

профессиональных рисков, например, связанных с воздействием асбеста, бензола и свинца [31].

Таким образом, профилактика профессиональных и профессионально обусловленных заболеваний кожи должна носить комплексный характер и включать в себя качественное проведение предварительных и периодических медицинских осмотров, которые позволяют выявить начальные признаки проявлений заболеваний кожи от воздействия производственных факторов, а также применение средств индивидуальной защиты.

Несмотря на достаточное количество проблем, препятствующих адекватной реализации профилактических мероприятий, остается актуальным продолжение исследовательских работ, проведение научных мероприятий, реализация обучающих программ о профессиональных болезнях и их предупреждении для врачей и пациентов с целью санитарно-просветительной работы.

Заключение. Исследование современных методов диагностики, изучение особенностей труда и существующих способов профилактики заболеваний кожи у рабочих сельского хозяйства является промежуточным этапом для дальнейшего совершенствования санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий по снижению воздействия факторов риска производственной среды на рабочих агропромышленного комплекса. Планируется разработка научно-методических документов по профилактике заболеваний кожи рабочего персонала сельского хозяйства. По результатам комплексных исследований планируется подготовить пособия и методические рекомендации по снижению риска заболеваний кожи сельскохозяйственных работников для врачей профпатологов и гигиенистов.

Список литературы:

1. Варданян К.Л., Ткаченко С.Б. Конфокальная сканирующая лазерная микроскопия - современный метод неинвазивной оценки морфофункционального состояния кожи у детей // Экспериментальная и клиническая дерматокосметология. - 2008. - №. 4. - С. 26-29.
2. Cristel Ruini, Sandra Schuh, Elke Sattler, Julia Welzel. Line-field confocal optical coherence tomography—Practical applications in dermatology and comparison with established imaging methods. *Skin Res. Technol.*. 2020;00:1–13.
3. Ring C., Cox N., Lee J.B. Dermatoscopy. // *Clin Dermatol.* - 2021 Jul-Aug. - №39(4). - С. 635-642. doi: 10.1016/j.clindermatol.2021.03.009. Epub 2021 Mar 19. PMID: 34809768.

4. Малышев, А.С. Дерматоскопия в дерматологии / А.С. Малышев, А.М. Бекетов, Н.В. Мартынова // Актуальные вопросы дерматовенерологии и косметологии : сборник научных трудов региональной конференции дерматовенерологов и косметологов, посвященной памяти профессора В.И. Прохоренкова, Красноярск, 18 ноября 2016 года / ФГБОУ ВО КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России. – Красноярск: ИД «Класс Плюс», 2016. – С. 163-166. – EDN XBLBWB.
5. Хрянин, А.А. Искусственный интеллект в дерматологии: возможности и перспективы / А.А. Хрянин, В.К. Бочарова // Клиническая дерматология и венерология. – 2024. – Т. 23, № 3. – С. 246-252. – DOI 10.17116/klinderma202423031246. – EDN LUKAFC.
6. Bouma B.E., de Boer J.F., Huang D., Jang I.K., Yonetsu T., Leggett C.L., Leitgeb R., Sampson D.D., Suter M., Vakoc B., Villiger M., Wojtkowski M. Optical coherence tomography. *Nat Rev Methods Primers*. 2022;2:79. doi: 10.1038/s43586-022-00162-2. Epub 2022 Oct 13. PMID: 36751306; PMCID: PMC9901537.
7. Резайкин, А.В. Неинвазивные методы исследования кожи / А.В. Резайкин, А.А. Кубанова, А.В. Резайкина // Вестник дерматологии и венерологии. – 2009. – № 6. – С. 28-32. – EDN KZVYSV.
8. Wortsman X. Top applications of dermatologic ultrasonography that can modify management. *Ultrasonography*. 2023 Apr;42(2):183-202. doi: 10.14366/usg.22130. Epub 2022 Oct 5. PMID: 36935604; PMCID: PMC10071066.
9. Утц С.Р., Каракаева А.В., Галкина Е.М. Методы неинвазивной оценки барьерных свойств кожи // Саратовский научно-медицинский журнал. 2014. №3.
10. Потекаев Н.Н., Фриго Н.В., Новожилова О.Л., Круглова Л.С. Современные диагностические технологии в дерматовенерологии (клиническая лекция) // Клиническая дерматология и венерология. - 2018. - №1. - С. 104-113.
11. Давыдова А.В., Моррисон, А.В., Утц, С.Р., Меглинский, И.В., Лычагов, В.В. Оценка состояния микроциркуляторного русла кожи лица методом лазерной доплеровской флоуметрии //Саратовский научно-медицинский журнал. – 2012. – Т. 8. – №. 2. – С. 615-621.
12. Luck J.C., Kunselman A.R., Herr M.D., Blaha C.A., Sinoway L.I., Cui J. Multiple Laser Doppler Flowmetry Probes Increase the Reproducibility of Skin Blood Flow Measurements // *Front Physiol*. - 2022 May. 30;13:876633. doi: 10.3389/fphys.2022.876633. PMID: 35711302; PMCID: PMC9197318.
13. Методы экспериментального мониторинга васкуляризации тканей / Н.А. Гусейнов, С.Г. Ивашкевич, С.В. Бопхоев [и др.] // Медицинский алфавит. – 2022. – № 34. – С. 65-72. – DOI 10.33667/2078-5631-2022-34-65-72. – EDN KIJIEG.
14. Lupi O., Semenovitch I., Treu C., Bouskela E. Orthogonal polarization technique in the assessment of human skin microcirculation // *Int J Dermatol*. - 2008 May;47(5):425-31. doi: 10.1111/j.1365-4632.2008.03694.x. PMID: 18412856.
15. Кожевникова И.С., Панков, М.Н., Грибанов, А.В., Старцева, Л.Ф., Ермошина, Н.А. Применение инфракрасной термографии в современной медицине (обзор литературы) //Экология человека. – 2017. – №. 2. – С. 39-46.
16. Ilo A., Romsis P, Mäkelä J. Infrared Thermography and Vascular Disorders in Diabetic Feet // *J Diabetes Sci Technol*. - 2020 Jan;14(1):28-36. doi: 10.1177/1932296819871270. Epub 2019 Aug 27. PMID: 31452395; PMCID: PMC7189167.
17. Speeckaert R., Hoorens I., Lambert J., Speeckaert M., van Geel N. Beyond visual inspection: The value of infrared thermography in skin diseases, a scoping review // *J Eur Acad Dermatol Venereol*. - 2024 Sep;38(9):1723-1737. doi: 10.1111/jdv.19796. Epub 2024 Jan 22. PMID: 38251780.

18. Полиморфизм генов системы биотрансформации ксенобиотиков у больных профессиональными аллергическими дерматозами / Н.Ф. Измеров, Л.П. Кузьмина, М.М. Коляскина [и др.] // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2012. – Т. 67, № 7. – С. 39-43. – DOI 10.15690/vramn.v67i7.339. – EDN NNTIFG.
19. Измерова, Н.И. Информативные критерии признаков раннего развития профессиональных аллергодерматозов / Н.И. Измерова, Л.П. Кузьмина, И.Я. Чистова // Медицина труда и промышленная экология. – 2024. – Т. 64, № 5. – С. 303-309. – DOI 10.31089/1026-9428-2024-64-5-303-309. – EDN HBQYLH.
20. Piérard G.E., Piérard-Franchimont C., Paquet P., Hermanns-Lê T., Radermacher J., Delvenne P. Cyanoacrylate skin surface stripping and the 3S-Biokit advent in tropical dermatology: a look from Liège // ScientificWorldJournal. - 2014;2014:462634. doi: 10.1155/2014/462634
21. Померанцев О.Н., Потекаев Н.Н. Заболеваемость населения болезнями кожи и подкожной клетчатки как медико-социальная проблема. Клиническая дерматология и венерология. 2013;11(6):4-6.
22. Каменева, О.В. Роль гигиенического воспитания в профилактике профессиональной заболеваемости работников сельского хозяйства / О.В. Каменева // Наука России: Цели и задачи : сборник научных трудов по материалам III международной научной конференции, Екатеринбург, 10 июня 2017 года / Международная Научно-Исследовательская Федерация «Общественная наука». Том Часть 2. – Екатеринбург: НИЦ «Л-Журнал», 2017. – С. 26-27. – DOI 10.18411/sr-10-06-2017-19. – EDN ZCUEAX.
23. Потапов А.И., Ракитский В.Н., Березняк И.В. Комплексное воздействие химических веществ в условиях промышленного и сельскохозяйственного производства / А.И. Потапов, В.Н. Ракитский, И.В. Березняк. - М.: Шико, 2012. С.132-134
24. Мигачева А.Г., Безрукова Г.А., Новикова Т.А., Спиринов В.Ф. Современное состояние условий труда и здоровья овощеводов защищенного грунта // Гигиена и санитария. - 2022. - №6
25. Елютина М.Э. Медико-социальные измерения условий профессиональной деятельности овощеводов защищенного грунта / М.Э. Елютина, А.Д. Трубецков, Т.В. Темаев // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2023. – Т. 31, № 3. – С. 428-434. – DOI 10.32687/0869-866X-2023-31-3-428-434. – EDN CVDCBN.
26. Лукомец В. М., Пивень В. Т., Семеренко С. А., Бушнева Н. А. Протравливание семян биологически активными композициями как основной элемент защиты подсолнечника от болезней и почвообитающих вредителей // Защита и карантин растений. - 2020. - №2. - С. 18-23. – DOI 10.47528/1026-8634_2020_2_18. – EDN KMDHRZ
27. Современные реалии коррекции нарушений кожного барьера при различных заболеваниях / О. В. Жукова, Г. П. Терещенко, Е. И. Касихина [и др.] // Медицинский совет. – 2024. – Т. 18, № 2. – С. 19-27. – DOI 10.21518/ms2024-017. – EDN WBELSY.
28. Измерова Н. И., Кузьмина Л. П., Чистова И. Я., Безрукавникова Л. М. Системный подход к оценке эффективности средств индивидуальной защиты кожи от воздействия производственных факторов // Медицина труда и промышленная экология. - 2023. - №9. - С. 596-604. – DOI 10.31089/1026-9428-2023-63-9-596-604. – EDN ZCIBOR.
29. Фомина А.В., Соловьева С.Ю. Медико-социальная характеристика пациентов с хроническими дерматозами // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 6.

30. Показатели профессиональной заболеваемости в Российской Федерации с 1998 по 2014 год / И. В. Яцына, А. Ю. Попова, Л. М. Сааркоппель, П. В. Серебряков и др. // Мед. труда и пром. экология. - 2015. - № 10. - С. 1-4.
31. Stayner LT, Collins JJ, Guo YL, Heederik D, Kogevinas M, Steenland K, Wesseling C, Demers PA. Challenges and Opportunities for Occupational Epidemiology in the Twenty-first Century. *Curr Environ Health Rep.* 2017 Sep;4(3):319-324. doi: 10.1007/s40572-017-0154-z. PMID: 28803393.

References:

1. Vardanyan K. L., Tkachenko S. B. Confocal scanning laser microscopy—a modern method for non-invasive assessment of the morphofunctional state of the skin in children // *Experimental and clinical dermatocosmetology.* - 2008. - No. 4. - P. 26-29.
2. Cristel Ruini, Sandra Schuh, Elke Sattler, Julia Welzel. Line-field confocal optical coherence tomography—Practical applications in dermatology and comparison with established imaging methods. *Skin Res. Technol.* 2020;00:1–13.
3. Ring C, Cox N, Lee JB. *Dermatoscopy.* // *Clin Dermatol.* - 2021 Jul-Aug. - No. 39 (4). - P. 635-642. doi: 10.1016/j.clindermatol.2021.03.009. Epub 2021 Mar 19. PMID: 34809768.
4. Malyshev, A. S. *Dermatoscopy in dermatology* / A. S. Malyshev, A. M. Beketov, N. V. Martynova // *Current issues of dermatovenereology and cosmetology: collection of scientific papers of the regional conference of dermatovenereologists and cosmetologists dedicated to the memory of professor V. I. Prokhorenkov, Krasnoyarsk, November 18, 2016* / FGBOU VO KrasSMU named after prof. V. F. Voyno-Yasenetsky Ministry of Health of the Russian Federation. - Krasnoyarsk: ID «Class Plus», 2016. - P. 163-166. - EDN XBLBWB.
5. Khryanin, A. A. *Artificial intelligence in dermatology: possibilities and prospects* / A. A. Khryanin, V. K. Bocharova // *Clinical dermatology and venereology.* - 2024. - Vol. 23, No. 3. - P. 246-252. - DOI 10.17116/klinderma202423031246. - EDN LUKAFC.
6. Bouma BE, de Boer JF, Huang D, Jang IK, Yonetsu T, Leggett CL, Leitgeb R, Sampson DD, Suter M, Vakoc B, Villiger M, Wojtkowski M. *Optical coherence tomography.* *Nat Rev Methods Primers.* 2022;2:79. doi: 10.1038/s43586-022-00162-2. Epub 2022 Oct 13. PMID: 36751306; PMCID: PMC9901537.
7. Rezaikin, A. V. *Non-invasive methods of skin examination* / A. V. Rezaikin, A. A. Kubanova, A. B. Rezaikina // *Bulletin of dermatology and venereology.* - 2009. - No. 6. - P. 28-32. - EDN KZVYSV.
8. Wortsman X. *Top applications of dermatologic ultrasonography that can modify management.* *Ultrasonography.* 2023 Apr;42(2):183-202. doi: 10.14366/usg.22130. Epub 2022 Oct 5. PMID: 36935604; PMCID: PMC10071066.
9. Utz S. R., Karakaeva A. V., Galkina E. M. *Methods of non-invasive assessment of skin barrier properties* // *Saratov Scientific Medical Journal.* 2014. No. 3.
10. Potekaev N. N., Frigo N. V., Novozhilova O. L., Kruglova L. S. *Modern diagnostic technologies in dermatovenereology (clinical lecture)* // *Clinical dermatology and venereology.* - 2018. - No. 1. - P. 104-113.
11. Davydova AV, Morrison AV, Utz SR, Meglinskiy IV, Lychagov VV *Assessment of the state of the microcirculatory bed of the facial skin using laser Doppler flowmetry* // *Saratov Journal of Medical Scientific Research.* - 2012. - Vol. 8. - No. 2. - P. 615-621.
12. Luck JC, Kunselman AR, Herr MD, Blaha CA, Sinoway LI, Cui J *Multiple Laser Doppler Flowmetry Probes Increase the Reproducibility of Skin Blood Flow Measurements* // *Front Physiol.* - 2022 May. 30;13:876633. doi: 10.3389/fphys.2022.876633. PMID: 35711302; PMCID: PMC9197318.

13. Methods of experimental monitoring of tissue vascularization / N. A. Guseinov, S. G. Ivashkevich, S. V. Bopkoev [et al.] // *Medical alphabet*. - 2022. - No. 34. - P. 65-72. - DOI 10.33667/2078-5631-2022-34-65-72. - EDN KIJIEG.
14. Lupi O, Semenovitch I, Treu C, Bouskela E. Orthogonal polarization technique in the assessment of human skin microcirculation // *Int J Dermatol*. - 2008 May;47(5):425-31. doi: 10.1111/j.1365-4632.2008.03694.x. PMID: 18412856.
15. Kozhevnikova I. S., Pankov, M. N., Gribanov, A. V., Startseva, L. F., Ermoshina, N. A.. Application of infrared thermography in modern medicine (literature review) // *Human ecology*. - 2017. - No. 2. - P. 39-46.
16. Ilo A, Romsis P, Mäkelä J. Infrared Thermography and Vascular Disorders in Diabetic Feet // *J Diabetes Sci Technol*. - 2020 Jan;14(1):28-36. doi: 10.1177/1932296819871270. Epub 2019 Aug 27. PMID: 31452395; PMCID: PMC7189167.
17. Speeckaert R, Hoorens I, Lambert J, Speeckaert M, van Geel N. Beyond visual inspection: The value of infrared thermography in skin diseases, a scoping review // *J Eur Acad Dermatol Venereol*. - 2024 Sep;38(9):1723-1737. doi: 10.1111/jdv.19796. Epub 2024 Jan 22. PMID: 38251780.
18. Polymorphism of the genes of the xenobiotic biotransformation system in patients with occupational allergic dermatoses / N. F. Izmerov, L. P. Kuzmina, M. M. Kolyaskina [et al.] // *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*. - 2012. - Vol. 67, No. 7. - P. 39-43. - DOI 10.15690/vramn.v67i7.339. - EDN NNTIFG.
19. Izmerova, N. I. Informative criteria of signs of early development of occupational allergodermatoses / N. I. Izmerova, L. P. Kuzmina, I. Ya. Chistova // *Occupational Medicine and Industrial Ecology*. - 2024. - Vol. 64, No. 5. - P. 303-309. - DOI 10.31089/1026-9428-2024-64-5-303-309. - EDN HBQYLH.
20. Piérard GE, Piérard-Franchimont C, Paquet P, Hermanns-Lê T, Radermacher J, Delvenne P. Cyanoacrylate skin surface stripping and the 3S-Biokit advent in tropical dermatology: a look from Liège // *ScientificWorldJournal*. - 2014;2014:462634. doi: 10.1155/2014/462634
21. Pomerantsev O.N., Potekaev N.N. Incidence of skin and subcutaneous tissue diseases in the population as a medical and social problem. *Clinical dermatology and venereology*. 2013;11(6):4-6.
22. Kameneva, O. V. The role of hygiene education in the prevention of occupational diseases of agricultural workers / O. V. Kameneva // *Science of Russia: Goals and objectives: collection of scientific papers based on the materials of the III international scientific conference, Yekaterinburg, June 10, 2017 / International Research Federation «Social Science». Volume Part 2. - Yekaterinburg: Research Center «L-Journal», 2017. - P. 26-27. - DOI 10.18411/sr-10-06-2017-19. - EDN ZCUEAX.*
23. Potapov A. I., Rakitsky V. N., Bereznyak I. V. Complex impact of chemicals in industrial and agricultural production / A. I. Potapov, V. N. Rakitsky, I. V. Bereznyak. - M.: Shiko, 2012. P.132-134
24. Migacheva A. G., Bezrukova G. A., Novikova T. A., Spirin V. F. Current state of working conditions and health of vegetable growers of protected soil // *Hygiene and Sanitation*. - 2022. - No. 6
25. Elutina, M. E. Medical and social measurements of the conditions of professional activity of greenhouse vegetable growers / M. E. Elutina, A. D. Trubetskov, T. V. Temaev // *Problems of social hygiene, health care and history of medicine*. - 2023. - V. 31, No. 3. - P. 428-434. - DOI 10.32687/0869-866X-2023-31-3-428-434. - EDN CVDCBN.
26. Lukomets V. M., Piven V. T., Semerenko S. A., Bushneva N. A. Seed treatment with biologically active compositions as the main element of sunflower protection from diseases and soil-dwelling pests //

Plant Protection and Quarantine. - 2020. - No. 2. - P. 18-23. – DOI 10.47528/1026-8634_2020_2_18. – EDN KMDHRZ

27. Modern realities of correction of skin barrier disorders in various diseases / O. V. Zhukova, G. P. Tereshchenko, E. I. Kasikhina [et al.] // Medical Council. – 2024. – Vol. 18, No. 2. – P. 19-27. – DOI 10.21518/ms2024-017. – EDN WBELSY.

28. Izmerova N. I., Kuzmina L. P., Chistova I. Ya., Bezrukavnikova L. M. Systems approach to assessing the effectiveness of personal protective equipment for skin from exposure to industrial factors // Occupational Medicine and Industrial Ecology. - 2023. - No. 9. - P. 596-604. – DOI 10.31089/1026-9428-2023-63-9-596-604. – EDN ZCIBOR.

29. Fomina A.V., Solovieva S.Yu. Medical and social characteristics of patients with chronic dermatoses // Modern problems of science and education. 2017. No. 6.

30. Indicators of occupational morbidity in the Russian Federation from 1998 to 2014 / I.V. Yatsyna, A.Yu. Popova, L.M. Saarkoppel, P.V. Serebryakov, et al. // Med. labor and industrial ecology. - 2015. - No. 10. - P. 1-4.

31. Stayner LT, Collins JJ, Guo YL, Heederik D, Kogevinas M, Steenland K, Wesseling C, Demers PA. Challenges and Opportunities for Occupational Epidemiology in the Twenty-first Century. *Curr Environ Health Rep.* 2017 Sep;4(3):319-324. doi:10.1007/s40572-017-0154-z. PMID: 28803393.

Поступила/Received: 18.11.2024

Принята в печать/Accepted: 28.11.2024

УДК 613.67;613.865;611.81

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ САМООЦЕНКИ ПСИХИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ И ТРЕВОЖНОСТИ У ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ПРИ УМСТВЕННОМ ТРУДЕ

Рахманов Р.С.¹, Богомолова Е.С.¹, Нарутдинов Д.А.², Разгулин С.А.¹, Антюганов С.Н.¹, Шуркин Д.А.¹

¹ ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, г. Нижний Новгород, Россия

² ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России, г. Красноярск, Россия

На профессионально важные качества специалистов, психофизиологическое состояние организма влияют условия труда.

Цель - сравнительный анализ показателей самооценки психических состояний и тревожности у военнослужащих при умственном труде.

Наблюдение вели среди военнослужащих, занимающихся умственным трудом, в зависимости от возраста, а также стажа работы до 5 (n=22), 5-10 (n=19) и 10-15 (n=17) лет. Оценили условия труда по степени вредности. Провели самооценку уровня тревожности и психических состояний (самочувствие, физическая и психическая активность, мотивация) с использованием психодиагностического комплекса «Мультипсихометр». Провели корреляционный анализ для определения связи между возрастом, стажем работ и показателями психофизиологического тестирования. Условия труда по напряженности трудового процесса вредные, класс 3.3. В возрастной группе № 2 отмечено ухудшение самочувствия (p=0,028), физической активности (p=0,025), мотивации (p=0,003), в группе № 3 - мотивации (p=0,013) по сравнению с данными в группе № 1. В группе № 2 присутствовала средней силы связь (r=+0,555) между возрастом и физической активностью (p=0,013). На 6,1% снижалась доля лиц с низкой ситуационной тревожностью во второй группе, в третьей – в 2,2 раза относительно группы № 1 за счет нарастания доли лиц с ухудшающимся самочувствием, со средней физической активностью за счет высокой. Во второй группе была наиболее низкая самооценка физической активности. У лиц этой и третьей группы соответственно на 6,7% и 22,2% увеличивались доли лиц, неудовлетворительно оценивающих свою психическую активность. Возрастали на 32,3% и 33,0% доли лиц, у которых отсутствовала мотивация. У военнослужащих с увеличением трудового стажа нарастала ситуационная тревожность, ухудшалось самочувствие, снижалась физическая

активность, нарастала неудовлетворительная психическая активность, снижалась мотивация. Это свидетельствовало об ухудшении профессиональной надежности обследованных специалистов.

Ключевые слова: военнослужащие, вредные условия труда, длительность работ, самооценка психических состояний, тревожность.

Для цитирования: Рахманов Р.С., Богомолова Е.С., Нарутдинов Д.А., Разгулин С.А., Антюганов С.Н., Шуркин Д.А. Сравнительный анализ показателей самооценки психических состояний и тревожности у военнослужащих при умственном труде. Медицина труда и экология человека. 2024; 4: 24-38.

Для корреспонденции: Рахманов Рафаиль Салыхович, профессор кафедры гигиены ФГБОУ ВО «ПИМУ» МЗ РФ, доктор медицинских наук, профессор, e-mail: raf53@mail.ru.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10402>

COMPARATIVE ANALYSIS OF INDICATORS OF SELF-ASSESSMENT OF MENTAL STATES AND ANXIETY IN MILITARY PERSONNEL DURING MENTAL WORK

Rakhmanov R.S.¹, Bogomolova E.S.¹, Narutdinov D.A.², Razgulin S.A.¹, Antyuganov S.N.¹, Shurkin D.A.¹.

¹ Privolzhsky Research Medical University, 10/1 Minin and Pozharsky Square, Nizhny Novgorod, Russia

² Krasnoyarsk State Medical University named after Prof. V.F. Voyno-Yasenetsky, Krasnoyarsk, Russia

Working conditions affect professionally important qualities of specialists and the psychophysiological state of the body. Objective: comparative analysis of self-assessment indicators of mental states and anxiety in military personnel during mental work. Observation was conducted among military personnel engaged in mental work in age groups that were statistically different, during work up to 5 (n=22), 5-10 (n=19) and 10-15 (n=17) years. Working conditions were assessed by the degree of harmfulness. Self-assessment of the level of anxiety and mental states (well-being, physical and mental activity, motivation) was conducted using the psychodiagnostic complex

«Multipsychometer». Correlation analysis was conducted to determine the relationship between age, length of service and indicators of psychophysiological testing. Working conditions by the intensity of the labor process are harmful, class 3.3. In age group No. 2, there was a deterioration in well-being ($p=0.028$), physical activity ($p=0.025$), motivation ($p=0.003$), in group No. 3 - motivation ($p=0.013$) compared with the data in group No. 1. In group No. 2, there was a medium-strength relationship ($r=+0.555$) between age and physical activity ($p=0.013$). The proportion of individuals with low situational anxiety in the second group decreased by 6.1%, in the third - by 2.2 times relative to group No. 1 due to an increase in the proportion of individuals with deteriorating well-being, with average physical activity due to high. The second group had the lowest self-assessment of physical activity. In individuals of this and the third groups, the proportion of individuals who unsatisfactorily assessed their mental activity increased by 6.7% and 22.2%, respectively. The proportion of individuals who lacked motivation increased by 32.3% and 33.0%. Among military personnel, with an increase in work experience, situational anxiety increased, well-being worsened, physical activity decreased, unsatisfactory mental activity increased, and motivation decreased. This indicated a deterioration in the professional reliability of the surveyed specialists.

Keywords: military personnel, harmful working conditions, duration of work, self-assessment of mental states, anxiety.

For citation: Rakhmanov R.S., Bogomolova E.S., Narutdinov D.A., Razgulin S.A., Antyuganov S.N., Shurkin D.A. Comparative analysis of indicators of self-assessment of mental states and anxiety in military personnel during mental work. *Occupational Medicine and Human Ecology*. 2024; 4: 24-38.

Correspondence: Rakhmanov Rofail Salykhovich, Professor of the Department of Hygiene of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «PIMU» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Doctor of Medical Sciences, Professor, e-mail: raf53@mail.ru

Funding: The study had no financial support.

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

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10402>

Факторы рабочей среды и трудового процесса, а также физиологическое и психологическое состояние человека влияют на производительность труда, в том

числе, и умственного. Наиболее значимо на них реагирует центральная нервная система, обеспечивающая умственную деятельность [1-5].

Развитию стресса, напряжению и перенапряжению функционального состояния организма способствуют нервно-эмоциональные нагрузки в ходе трудовой деятельности, вредные условия труда, организация работы, ускорение требований по срокам выполнения производственных заданий, взаимоотношения в трудовом коллективе [6-9]. Среди внутренних факторов – возраст, пол, состояние здоровья, свойства нервной системы, качества личности [9-11].

Стресс, тревожность и депрессия оказывают влияние на качество жизни, производительность труда [2, 12-14], приводят к потере рабочих дней в связи с прогулами и неявками на работу; его сила определяет развитие дезадаптационных нарушений здоровья [9, 15]. Выявлена значимая взаимосвязь между тяжестью депрессии и присутствием на работе [11, 16-20].

Цель работы – сравнительный анализ показателей самооценки психических состояний и тревожности у военнослужащих при умственном труде.

Материалы и методы. В исследовании принимали участие военнослужащие, проходящие службу по контракту, занимающиеся умственным трудом (n=58), различного возраста (участие добровольное, информированное). Оценили их условия труда по степени вредности и опасности.

Выделили три группы с различной длительностью трудового стажа: до 5 лет (n=22), от 5 до 10 лет (n=19) и 10-15 лет (n=17). Провели тестирование на психодиагностическом комплексе «Мультитсихометр», который позволяет проводить комплексную оценку, в том числе профессионально важных качеств. Провели самооценку их уровня тревожности, а также самооценку психических состояний.

Единицами оценки результатов были стеновые баллы. Тест тревожности: низкая (до 4); умеренная, ниже среднего (5-7); выше среднего (8-10 стеновых баллов). Показатели самооценки (в стеновых баллах):

- I. самочувствие: неудовлетворительное (до 4), удовлетворительное (5-10);
- II. физическая активность: не готов к выполнению задач, избегает трудностей, отсутствует мобилизация (до 4), средний уровень физической активности (5-7), готовность к деятельности, достаточная мобилизация ресурсов (8-10);
- III. психическая активность: низкий уровень (до 4), пониженный уровень (5-6), средний уровень (7-8), высокий уровень (9-10) психической активности;

IV. мотивация: отсутствует (до 4), жизнь без риска (5-7), приподнятое настроение, мотивация на достижения успеха (8-10).

Индивидуальные данные вносили в таблицу в программе Microsoft Excel на ПЭВМ. Статистический анализ проводили с использованием программы Statistica 6.1. При их нормальном распределении рассчитывали средние величины (M) и их доверительные интервалы (σ), при ненормальном - медианы (Me) и значения Q25 и Q75. Статистическую значимость различий в первом случае определяли по t-критерию Стьюдента, во втором – по Манна-Уитни для вероятности $p < 0,05$. По Пирсону провели корреляционный анализ для определения связи и ее силы между показателями возраста, стажа и психодиагностическими показателями; определяли величину и статистическую достоверность.

Результаты. Возраст всей когорты наблюдения составил $35,7 \pm 4,9$ лет, в нее входили лица от 22 до 45 лет. Возраст, длительность выполнения служебных обязанностей лиц второй группы были статистически значимо большими, чем первой, а третьей – чем во второй (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика лиц групп сравнения по длительности трудового стажа, годы

Table 1. Characteristics of Comparison Groups by Length of Work Experience, Years

Стажевые группы	Возраст, M \pm σ	Трудовой стаж, M \pm σ
№ 1	$31,2 \pm 3,5$	$3,6 \pm 1,2$
№ 2	$34,8 \pm 2,5$, $p_1-p_2=0,006$	$12,3 \pm 2,0$, $p_1-p_2=0,001$
№ 3	$42,6 \pm 2,3$, $p_1-p_3=0,001$; $p_2-p_3=0,001$	$18,2 \pm 3,2$, $p_1-p_3=0,001$; $p_2-p_3=0,001$

Труд по химическим факторам оценивался как класс 1 (оптимальный), по физическим (микроклимат, освещение) - класс 1 или класс 2 (допустимый). Биологические факторы отсутствовали. Тяжесть трудового процесса оценивалась как класс 1 (оптимальный).

По напряженности трудового процесса труд характеризовался высокими интеллектуальными и эмоциональными нагрузками, гиподинамией. Длительность рабочего дня превышала установленный регламент; военнослужащие привлекались к работе в ночное время, дни отдыха и праздничные дни;

регламентированные перерывы не соблюдались. Итоговая оценка – труд вредный, напряженный класс 3.3 (табл. 2).

Средние показатели ситуационной тревожности по группам наблюдения не имели статистически значимых различий. Вместе с тем она у более молодых военнослужащих с меньшим стажем воинского труда по показателям Q25-Q75 оценивалась в пределах «низкая» - «ниже среднего», в двух других – в границах «ниже среднего (умеренная)».

Таблица 2. Характеристика вредных условий умственного труда по типам нагрузок
Table 2. Characteristics of Harmful Conditions of Mental Work by Types of Workloads

Вредные условия труда по типам нагрузок	Класс вредности
I. Интеллектуальные	
Тип работы - эвристический	3.2
Комплексная оценка информации при восприятии	3.2
Контроль, предварительное распределение заданий другим (степень сложности)	3.2
Выполнение работы в условиях дефицита времени	3.1
II. Сенсорные	
Наблюдение за экранами видеотерминалов	3.1
III. Эмоциональные	
Ответственность	3.2
Вероятный риск для собственной жизни	3.2
Возможный риск за безопасность других лиц	3.2
IV. Режим работы	
Продолжительность рабочего времени	3.1
Наличие и продолжительность регламентированных перерывов	3.2
Итоговая характеристика	3.3

У лиц второй группы было определено статистически значимое ухудшение самочувствия, физической активности и мотивации по сравнению с первой. В третьей группе относительно данных первой статистически значимые различия были установлены только по показателю «мотивация». Значения оцениваемых показателей в группах №2 и №3 не имели статистически значимых различий (табл. 3).

По индивидуальным показателям во второй группе установили уменьшение на 6,1% доли лиц с низкой ситуационной тревожностью, а в третьей – в 2,2 раза относительно группы №1. Соответственно в группах №2-3 нарастали доли лиц с ухудшающимся самочувствием, со средней физической активностью за счет

высокой. Во второй группе была наиболее низкая самооценка физической активности. У лиц этой и третьей группы соответственно на 6,7% и 22,2% увеличивались доли лиц, неудовлетворительно оценивающих свою психическую активность. Возрастают на 32,3% и 33,0% доли лиц, у которых отсутствовала мотивация (табл. 4).

Таблица 3. Сравнительные данные самооценки лиц групп наблюдения, Me (Q25-Q75)

Table 3. Comparative Data on Self-Assessment of Observation Group Members, Me (Q25-Q75)

Группа сравнения	Тревожность	Самооценка			
		Самочувствие	Активность физическая	Активность психическая	Мотивация
Первая	5,0 (4,0-6,0)	6,5 (5,0-7,0)	7,0 (6,0-8,0)	6,0 (5,0-7,0)	7,0 (6,0-8,0)
Вторая	6,0 (5,0-7,0) p ₁₋₂ =0,08	6,0 (4,0-6,0) p ₁₋₂ =0,028	6,0 (4,0-6,0) p ₁₋₂ =0,025	6,0 (5,0-6,0) p ₁₋₂ =0,989	5,0 (4,0-6,0) p ₁₋₂ =0,003
Третья	5,0 (5,0-6,0) p ₁₋₃ =0,391 p ₂₋₃ =0,353	5,5 (5,0-6,0) p ₁₋₃ =0,083 p ₂₋₃ =0,894	6,0 (5,0-7,0) p ₁₋₃ =0,145 p ₂₋₃ =0,446	5,0 (4,0-6,0) p ₁₋₃ =0,183 p ₂₋₃ =0,226	5,0 (4,0-6,0) p ₁₋₃ =0,001 p ₂₋₃ =0,624

Таблица 4. Оценка индивидуальных показателей психофизиологической диагностики, %

Table 4. Assessment of Individual Psychophysiological Diagnostic Indicators, %

№ п/п	Критерии оценки	Группа наблюдения		
		№ 1	№ 2	№ 3
1	Ситуационная тревожность:			
	Низкая;	27,3	21,2	12,5
	Ниже среднего;	72,7	68,4	87,5
	Высокая	0	10,5	0
2	Самочувствие;			
	Неудовлетворительное;	9,1	26,3	18,8
	Удовлетворительное	90,9	73,7	81,3
3	Физическая активность:			
	Не готов;	9,1	31,6	6,3
	Средняя;	59,1	68,4	87,4
	Высокая	31,8	0	6,3
4	Психическая активность:			
	Неудовлетворительная;	9,1	15,8	31,3
	Пониженная;	59,1	52,6	50,0
	Средняя;	31,8	31,6	18,7
	Высокая	0	0	0
5	Мотивация:			
	Отсутствует;	4,5	36,8	37,5
	Без риска;	68,2	63,2	56,3
	Высокая	27,3	0	6,2

При проведении корреляционного анализа статистически значимых результатов, кроме как по показателям физической активности и возраста, в группе № 2, не было обнаружено: связь положительная, сила связи - средняя (табл. 5).

Таблица 5. Показатели корреляций данных психофизиологической диагностики, возраста и длительности профессиональной деятельности военнослужащих

Table 5. Correlation Indicators of Psychophysiological Diagnostic Data, Age, and Length of Military Service

№ п/п	Критерий оценки	Группа наблюдения		
		№ 1	№ 2	№ 3
1	Ситуационная тревожность Возраст; Стаж работ	0,201*/0,367** 0,005/0,982	-0,189/0,436 -0,005/0,98	0,118/0,662 0,05/0,851
2	Самочувствие: Возраст; Стаж работ	0,075/0,739 -0,06/0,757	0,326/0,173 0,352/0,138	0,202/0,451 0,353/0,176
3	Физическая активность: Возраст; Стаж работ	0,133/0,554 0,08/0,69	0,555/0,013 0,398/0,091	-0,149/0,58 -0,007/0,977
4	Психическая активность: Возраст; Стаж работ	0,105/0,639 0,01/0,931	0,107/0,662 0,242/0,317	-0,305/0,249 -0,143/0,362
5	Мотивация: Возраст; Стаж работ	-0,03/0,868 -0,07/0,738	0,003/0,989 0,225/0,353	-0,156/0,563 -0,106/0,694

Примечание: * - коэффициент Пирсона; ** - статистическая достоверность связи

Обсуждение. Вредные по напряженности трудового процесса условия труда оказывают влияние на здоровье и работоспособность человека, его устойчивость к стрессу [9, 21], приводят к снижению адаптационных возможностей организма, развитию нервно-психического напряжения [7]. Труд военнослужащих связан с влиянием экстремальных условий [9]. В связи с этим для профилактики таких состояний необходимо проведение физиолого-психологической оценки работника [22-28].

В проведенном нами исследовании были установлены негативные факторы условий труда, которые могли влиять на уровень тревожности и самооценку состояния военнослужащих. В частности, это интеллектуальные, эмоциональные нагрузки и режим работы.

Известно, что неблагоприятные условия труда (в данном наблюдении - по напряженности трудового процесса) выступают как потенциальные факторы риска

формирования синдрома хронического выгорания [16]. Среди группы наблюдения не были выявлены лица с подобным синдромом: ни один военнослужащий не обращался за медицинской помощью с признаками подобного состояния. Однако при увеличении длительности работ во второй группе на 8,7 лет наблюдались статистически значимые различия по самочувствию, физической активности и мотивации. Можно было бы связать ухудшение физической активности у лиц группы № 2 с возрастом: они входили во II группу, а лица группы № 1- в I-II возрастные группы. Это подтверждалось и наличием статистически достоверной корреляционной связи между возрастом и физической активностью в группе № 2.

Однако на влияние условий труда на работающих указывало нарастание ситуационной тревожности в группах № 2-3. Также нарастали доли лиц с неудовлетворительной самооценкой своего самочувствия, снижением психической активности.

В ходе исследования более половины лиц всех трех групп свою мотивацию оценивали как жизнь «без риска»: стремление к благоустройству жизни, риска что-то потерять. Она характерна для вялых эгоистичных людей, руководствующихся потребительской идеологией - обывательская затхлость жизни [29-30]. Среди более молодых людей присутствовала большая доля лиц с высокой мотивацией: в нашем случае, вероятно, стремящихся к достижению успехов в воинском труде. В дальнейшем с увеличением продолжительности профессиональной деятельности в данных условиях снижались доли лиц с высокой самооценкой мотивации своей деятельности, что доказывало их влияние на психическое состояние и тревожность.

При наибольшей продолжительности работ значимые различия с показателями самооценки среди лиц с меньшим стажем были определенными по критерию «мотивация». Несколько более высокие показатели по критериям «удовлетворительное самочувствие» и «средняя физическая активность» в группе № 3 по сравнению с данными в группе № 2, вероятно, связаны с адаптированностью этой группы лиц к условиям труда. Однако нарастание доли лиц с неудовлетворительной и снижение доли со средней психической активностью все же доказывало вредность напряженности труда для здоровья военнослужащих этой группы.

Наши данные согласуются с результатами других исследований. Так, у сотрудников правоохранительных органов, находящихся в состоянии стресса, была «низкая умственная работоспособность, особенно в середине и в конце выполнения работы, они тяжелее усваивали новый материал, учились чему-то новому, им было труднее быстро включиться в работу. У них отмечалась низкая способность к упражняемости, а также низкий уровень активности и быстрая утомляемость [2].

Определено ухудшение физического здоровья, обусловленное дистрессом; оно сопровождается депрессивностью, навязчивыми размышлениями о здоровье. При нервно-психических срывах более выражена социальная дезадаптация [31].

Заключение. Таким образом, у военнослужащих с увеличением трудового стажа нарастает ситуационная тревожность, ухудшается самочувствие, снижается физическая активность, нарастает неудовлетворительная психическая активность, снижается мотивация. Это свидетельствует об ухудшении профессиональной надежности обследованных специалистов.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости соблюдения регламента трудовой деятельности; определения возраста риска развития донозологических сдвигов в психофизиологическом состоянии организма; внедрения методов профилактики для сохранения профессиональной надежности лиц, занимающихся умственным трудом.

Список литературы:

1. Фомина Е.В., Оленко Е.С., Кодочигова А.И., Филиппов Д.Ю. Влияние стресса на когнитивные способности здорового человека: нейрофизиологические аспекты. Психосоматические и интегративные исследования. 2019; 5: 0402.
2. Николаева Н.В., Коноплева И.Н. Выраженность стрессового напряжения и работоспособность сотрудников правоохранительных органов [Электронный ресурс]. Психология и право. 2014; 4 (2): 87–100. URL: https://psyjournals.ru/journals/psylaw/archive/2014_n2/69869 (дата обращения: 07.11.2024).
3. Лебедева С.А., Швед Д.М., Гуцин В.И. Возможности компьютерного анализа акустических характеристик речи человека-оператора в условиях космического полета. Пилотируемые полеты в космос. 2020; 3(36): 109-24. DOI: 10.34131/MSF.20.3.109-124.
4. Koutsimani P, Montgomery A, Masoura E, Panagopoulou E. Burnout and cognitive performance. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(4):2145. DOI: 10.3390/ijerph18042145.
5. van Dijk DM, van Rhenen W, Murre JMJ, Verwijk E. Cognitive functioning, sleep quality, and work performance in non-clinical burnout: The role of working memory. *PLoS One*. 2020;15(4):e0231906. DOI: 10.1371/journal.pone.0231906.
6. Измеров Н.Ф., Бухтияров И.В., Прокопенко Л.В., Измерова Н.И., Кульмина Л.П. Труд и здоровье. М.: Литтерра, 2014. 416 с.
7. Бухтияров И.В., Матюхин В.В., Рубцов М.Ю. Профессиональный стресс в свете реализации глобального плана действий по здоровью работающих // Международный научно-исследовательский журнал. 2016; 3 (45. Часть 3): 53–55. DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.014.
8. Капустина А.В., Кузьмина Л.П., Юшкова О.И., Сериков В.В. Психофизиологическая оценка устойчивости к стрессу при нервно-эмоциональной умственной деятельности. Международный научно-исследовательский журнал. 2021; 5 (107. Часть 2): 83-89. DOI: 10.23670/IRJ.2021.107.5.050.
9. Кузьмина Л.П., Безрукавникова Л.М. Развитие и внедрение идей Ю.В. Мойкина о профессиональном стрессе. Медицина труда и промышленная экология. 2023; 63(4): 263-269. doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-4-263-269.

10. Яценко М.В. Особенности влияния исходного функционального состояния мозга на умственную работоспособность студентов в контексте их индивидуально-типологических особенностей. Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2018; 4 (1):168–178.
11. Меркулова А.Г., Калинина С.А., Дмитриева Е.В., Закревская А.А., Форверц А.Ю. Исследование профессионального выгорания у работников умственного труда с учетом половозрастных особенностей. Медицина труда и промышленная экология. 2023; 63 (10): 657-663. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-10-657-663.
12. Щербатых Ю.В. Методики диагностики тревоги и тревожности – сравнительная оценка. Вестник по педагогике и психологии Южной Сибири. 2021;2): 85-104. DOI:10.24412/2303-9744-2021-2-85-104.
13. Deady M., Collins D A J, Johnston D A, Glozier N, Calvo R A, Christensen H, Harvey S B. The impact of depression, anxiety and comorbidity on occupational outcomes. *Occup Med (Lond)*. 2022;72(1):17-24. DOI: 10.1093/occmed/kqab142.
14. de Freitas PHB, Meireles AL, da Silva Ribeiro IK, Silva Abreu MN, de Paula W, Silva Cardoso CS. Symptoms of depression, anxiety and stress in health students and impact on quality of life. *Rev Lat Am Enfermagem*. 2023;31:e3884. DOI: 10.1590/1518-8345.6315.3884
15. Johnston D A, Harvey S B , Glozier N, Calvo R A , Christensen H, Deady M. The relationship between depression symptoms, absenteeism and presenteeism. *J Affect Disord*. 2019;256:536-540. doi: 10.1016/j.jad.2019.06.041
16. Пряжников Н.С. Напряженность труда: методы оценки и профилактики. *Управленческие науки в современном мире*. 2015; 1(1): 533-538.
17. Shahidi FV, Gignac MAM, Oudyk J, Smith PM. Assessing the psychosocial work environment in relation to mental health: A comprehensive approach. *Ann Work Expo Health*. 2021;65(4):418-431. DOI:10.1093/annweh/wxaa130.
18. Kaushik A, Ravikiran SR, Suprasanna K, Nayak MG, Baliga K, Acharya SD. Depression, anxiety, stress and workplace stressors among nurses in tertiary health care settings. *Indian J Occup Environ Med*. 2021;25(1):27- 32. DOI: 10.4103/ijoom.IJOEM_123_20.
19. Machado ICK, Bernardes JW, Monteiro JK, Marin AH. Stress, anxiety and depression among gastronomes: Association with workplace mobbing and work-family interaction. *Int Arch Occup Environ Health*. 2021;94(8):1797-1807. DOI: 10.1007/s00420-021-01745-4.
20. Chalmers T, Maharaj S, Lal S. Associations between workplace factors and depression and anxiety in Australian heavy vehicle truck drivers. *Ann Work Expo Health*. 2021;65(5):581-590. DOI: 10.1093/annweh/wxaa134.
21. Федотова И.В., Некрасова М.М., Орлов А.Л., Васильева Т.Н., Телюпина В.П., Скворцова В.А. Оценка нейродинамических показателей у профессиональных водителей с использованием разработанной программы для ЭВМ «Теппинг-тест» (количественная оценка). *Медицина труда и экология человека*. 2024; 2): 20-31. DOI:10.24412/2411-3794-2024-10202.
22. Новикова А.В., Широков В.А., Егорова А.М. Напряженность труда как фактор риска развития синдрома эмоционального выгорания и тревожно-депрессивных расстройств в различных профессиональных группах (обзор литературы). *Здоровье населения и среда обитания*. 2022; 10): 67-74. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-10-67-74.
23. Ильин Е.П. Психомоторная организация человека. СПб.: Питер. 2003. 382 с.

24. Дорофеев В.В., Бажина И.А., Сафонова В.В. Использование методики теппинг-теста при определении вида двигательной активности студентов на занятиях по физической культуре. Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2022; 11(213):167-170. DOI:10.34835/issn.2308-1961.2022.11.167-170.
25. Austin D, McNames J, Klein K, Jimison H, Pavel M. A statistical characterization of the finger tapping test: modeling, estimation, and applications. IEEE J Biomed Health Inform. 2015;19(2):501-7. DOI: 10.1109/JBHI.2014.2384911.
26. Усенок Г.О., Кирпиченко А.А., Мартынова Е.В., Марцинкевич А.Ф. Использование приложения NEUROSMG:FOT для проведения теппинг-теста. Вестник ВГМУ. 2021; 20(5): 69-77. DOI: 10.22263/2312-4156.2021.5.69.
27. Плахов Н.Н., Буйнов Л.Г., Макарова Л.П. Функциональное состояние организма моряков-операторов в плавании. Гигиена и санитария. 2017; 96(3): 261-264. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-3-261-264.
28. Шумских Д.С., Рахманов Р.С., Орлов А.Л. Оценка успеваемости студентов с различным типом нервной системы с использованием разработанной программы для ПЭВМ «Теппинг-тест». Гигиена и санитария. 2015; 4(3): 116-119.
29. Зайкова Т.М. Пассионарная теория этногенеза и закономерности исторического развития. Austrian Journal of Humanities and Social Sciences. 2015; 1–2: 25–27. <https://cyberleninka.ru/article/n/passionarnaya-teoriya-etnogeneza-i-zakonomernosti-istoricheskogo-razvitiya>].
30. Долапчи М.Н. Феномен пассионарности в историософском дискурсе Л. Н. Гумилева. Электронный журнал «Язык. Культура. Коммуникации». 2016:1. URL: <https://journals.susu.ru/lcc/article/view/479/585>.
31. Хадарцев А.А., Стариков Н.Е., Грачев Р.В. Профессиональный стресс у военнослужащих (обзор литературы). Вестник новых медицинских технологий. 2020; 27(2):74–82. DOI: 10.24411/1609-2163-2020-16677.

References:

1. Fomina E.V., Olenko E.S., Kodochigova A.I., Filippov D.Yu. The influence of stress on the cognitive abilities of a healthy person: neurophysiological aspects. Psychosomatic and integrative studies. 2019; 5: 0402.
2. Nikolaeva N.V., Konopleva I.N. Severity of stress tension and performance of law enforcement officers [Electronic resource]. Psychology and Law. 2014; 4 (2): 87–100. URL: https://psyjournals.ru/journals/psylaw/archive/2014_n2/69869 (date of access: 07.11.2024).
3. Lebedeva S.A., Shved D.M., Gushchin V.I. Possibilities of computer analysis of acoustic characteristics of human operator speech in space flight conditions. Manned Space Flights. 2020; 3(36): 109-24. DOI: 10.34131/MSF.20.3.109-124.
4. Koutsimani P, Montgomery A, Masoura E, Panagopoulou E. Burnout and cognitive performance. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(4):2145. DOI: 10.3390/ijerph18042145.
5. van Dijk DM, van Rhenen W, Murre JMJ, Verwijk E. Cognitive functioning, sleep quality, and work performance in non-clinical burnout: The role of working memory. PLoS One. 2020;15(4):e0231906. DOI: 10.1371/ journal.pone.0231906.
6. Izmerov N.F., Bukhtiyarov I.V., Prokopenko L.V., Izmerova N.I., Kulmina L.P. Labor and Health. Moscow: Litterra, 2014.

7. Bukhtiyarov I.V., Matyukhin V.V., Rubtsov M.Yu. Professional stress in light of the implementation of the global plan of action on workers' health. *International Research Journal*. 2016; 3 (45. Part 3): 53–55. DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.014.
8. Kapustina A.V., Kuzmina L.P., Yushkova O.I., Serikov V.V. Psychophysiological assessment of stress resistance during neuro-emotional mental activity. *International Research Journal*. 2021; 5 (107. Part 2): 83-89. DOI: 10.23670/IRJ.2021.107.5.050.
9. Kuzmina L.P., Bezrukavnikova L.M. Development and implementation of Yu.V. Moikin's ideas on professional stress. *Occupational Medicine and Industrial Ecology*. 2023; 63(4): 263-269. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-4-263-269.
10. Yatsenko M.V. Features of the influence of the initial functional state of the brain on the mental performance of students in the context of their individual typological characteristics. *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*. 2018; 4 (1): 168–178..
11. Merkulova A.G., Kalinina S.A., Dmitrieva E.V., Zakrevskaya A.A., Forverts A.Yu. Study of professional burnout in mental workers taking into account gender and age characteristics. *Occupational Medicine and Industrial Ecology*. 2023; 63 (10): 657-663. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-10-657-663.
12. Shcherbatykh Yu.V. Methods of diagnosing anxiety and restlessness - a comparative assessment. *Bulletin of Pedagogy and Psychology of Southern Siberia*. 2021; 2): 85-104. DOI: 10.24412/2303-9744-2021-2-85-104.
13. Deady M., Collins D A J, Johnston D A, Glozier N, Calvo R A, Christensen H, Harvey S B. The impact of depression, anxiety and comorbidity on occupational outcomes. *Occup Med (Lond)*. 2022;72(1):17-24. DOI: 10.1093/occmed/kqab142.
14. de Freitas PHB, Meireles AL, da Silva Ribeiro IK, Silva Abreu MN, de Paula W, Silva Cardoso CS. Symptoms of depression, anxiety and stress in health students and impact on quality of life. *Rev Lat Am Enfermagem*. 2023;31:e3884. DOI: 10.1590/1518-8345.6315.3884
15. Johnston D A, Harvey S B , Glozier N, Calvo R A , Christensen H, Deady M. The relationship between depression symptoms, absenteeism and presenteeism. *J Affect Disord*. 2019;256:536-540. DOI: 10.1016/j.jad.2019.06.041.
16. Pryazhnikov N.S. Labor intensity: methods of assessment and prevention. *Management sciences in the modern world*. 2015; 1(1): 533-538.
17. Shahidi FV, Gignac MAM, Oudyk J, Smith PM. Assessing the psychosocial work environment in relation to mental health: A comprehensive approach. *Ann Work Expo Health*. 2021;65(4):418-431. DOI: 10.1093/annweh/wxaa130.
18. Kaushik A, Ravikiran SR, Suprasanna K, Nayak MG, Baliga K, Acharya SD. Depression, anxiety, stress and workplace stressors among nurses in tertiary health care settings. *Indian J Occup Environ Med*. 2021;25(1):27- 32. DOI: 10.4103/ijjem.IJOEM_123_20.
19. Machado ICK, Bernardes JW, Monteiro JK, Marin AH. Stress, anxiety and depression among gastronomes: Association with workplace mobbing and work-family interaction. *Int Arch Occup Environ Health*. 2021;94(8):1797-1807. DOI: 10.1007/s00420-021-01745-4.
20. Chalmers T, Maharaj S, Lal S. Associations between workplace factors and depression and anxiety in Australian heavy vehicle truck drivers. *Ann Work Expo Health*. 2021;65(5):581-590. DOI: 10.1093/annweh/wxaa134.
21. Fedotova I.V., Nekrasova M.M., Orlov A.L., Vasilyeva T.N., Telyupina V.P., Skvortsova V.A. Evaluation of neurodynamic parameters in professional drivers using the developed computer program

- "Tapping test" (quantitative assessment. Occupational Medicine and Human Ecology. 2024; 2): 20-31. DOI: 10.24412/2411-3794-2024-10202.
22. Novikova A.V., Shirokov V.A., Egorova A.M. Labor stress as a risk factor for the development of burnout syndrome and anxiety-depressive disorders in various professional groups (literature review). Population Health and Habitat. 2022; 10: 67-74. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-10-67-74.
23. Ilyin E.P. Psychomotor organization of man. St. Petersburg: Piter. 2003.
24. Dorofeev V.V., Bazhina I.A., Safonova V.V. Using the tapping test technique to determine the type of students' motor activity in physical education classes. Scientific notes of P.F. Lesgaft University. 2022; 11(213):167-170. DOI:10.34835/issn.2308-1961.2022.11.167-170.
25. Austin D, McNames J, Klein K, Jimison H, Pavel M. A statistical characterization of the finger tapping test: modeling, estimation, and applications. IEEE J Biomed Health Inform. 2015;19(2):501-7. DOI: 10.1109/JBHI.2014.2384911
26. Usenok G.O., Kirpichenko A.A., Martynova E.V., Martsinkevich A.F. Using the NEUROSMG:FOT application to conduct a tapping test. VSMU Bulletin. 2021; 20(5): 69-77. DOI: 10.22263/2312-4156.2021.5.69.
27. Plakhov N.N., Buinov L.G., Makarova L.P. Functional state of the body of seafarers-operators at sea. Hygiene and Sanitation. 2017; 96(3): 261-264. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-3-261-264.
28. Shumskikh D.S., Rakhmanov R.S., Orlov A.L. Evaluation of academic performance of students with different types of nervous system using the developed program for PC «Tapping test». Hygiene and Sanitation. 2015; 4(3): 116-119.
29. Zaykova T.M. Passionary theory of ethnogenesis and patterns of historical development. Austrian Journal of Humanities and Social Sciences. 2015; 1–2: 25–27. <https://cyberleninka.ru/article/n/passionarnaya-teoriya-etnogeneza-i-zakonomernosti-istoricheskogo-razvitiya>].
30. Dolapchi M.N. Phenomenon of passionarity in the historiosophical discourse of L.N. Gumilev. Electronic journal «Language. Culture. Communications». 2016:1. URL: <https://journals.susu.ru/lcc/article/view/479/585>.
31. Khadartsev A.A., Starikov N.E., Professional r.v. stress in military service (literature review). Grachevjournal of new medical technologies. 2020; 27(2): 74–82. DOI: 10.24411/1609-2163-2020-16677.

Поступила/Received: 13.11.2024
Принята в печать/Accepted: 27.11.2024

УДК 631.879.4

ВЛИЯНИЕ ОТХОДОВ КРУПНЫХ ПТИЦЕФАБРИК НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Янь Ли¹, Лемешевский В.О.^{2,3}, Максимова С.Л.⁴

¹ МГЭИ им. А.Д.Сахарова БГУ, Минск, Белоруссия

² ПолесГУ, Пинск, Белоруссия

³ Всероссийский НИИ физиологии, биохимии и питания животных – филиал ФИЦ животноводства – ВИЖ им. ак. Л. К. Эрнста, Боровск, Россия

⁴ Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Белоруссия

Мировое производство мяса птицы неуклонно растет с использованием современных крупномасштабных методов ведения сельского хозяйства. Масштабный подход к росту привел к значительному воздействию на окружающую среду. Отходы, такие как птичий помет, могут представлять серьезную угрозу для окружающей среды и требуют надлежащего обращения.

Цель исследования – оценить влияние крупного птицеводства на окружающую среду, проанализировать его вредные факторы.

Результаты. Крупное птицеводство, составляющее основу современного птицеводства, оказывает существенное воздействие на окружающую среду и требует надлежащего управления для минимизации его неблагоприятных последствий. Птицеводство и выбрасываемые побочные продукты могут содержать остатки пестицидов, микроорганизмы, патогены, лекарственные препараты (антибиотики), тяжелые металлы, макроэлементы и другие загрязнители, которые могут привести к загрязнению воздуха, почвы и воды, включая парниковые газы.

Выводы. Воздействие на окружающую среду необходимо контролировать с помощью соответствующих методов, включая рациональные схемы кормления, эффективное использование и утилизацию помета и отходов, контроль эмиссии и т. д.

Ключевые слова: птичий помет, окружающая среда, загрязнение, устойчивое развитие, птицефабрика.

Для цитирования: Янь Ли, Лемешевский В.О., Максимова С.Л. Влияние отходов крупных птицефабрик на состояние окружающей среды: обзор литературы. Медицина труда и экология человека. 2024; 4: 39-53.

Для корреспонденции: Янь Ли; e-mail: wxpxueshu_phd@163.com.

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10403>

IMPACT OF WASTE FROM LARGE POULTRY FARMS ON THE ENVIRONMENT (REVIEW OF FOREIGN LITERATURE)

Yan Li¹, Lemeshevsky V.O.^{2,3}, Maksimova S.L.⁴

¹A.D. Sakharov International State Environmental Institute of Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

²Polesky State University, Pinsk, Republic of Belarus

³All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry, and Animal Nutrition – Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry – L.K. Ernst Institute, pos. Institut, Borovsk, Russian Federation

⁴Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Global poultry meat production is steadily increasing using modern large-scale farming methods. The large-scale approach to growth has resulted in significant environmental impacts. Wastes such as poultry litter can pose a serious threat to the environment and require proper management. The purpose of the study is to assess the impact of large-scale poultry production on the environment and analyze its harmful factors. Results. Large-scale poultry production, which forms the backbone of modern poultry production, has significant environmental impacts and requires proper management to minimize its adverse effects. Poultry production and discarded by-products may contain pesticide residues, microorganisms, pathogens, pharmaceuticals (antibiotics), heavy metals, macronutrients and other pollutants that can lead to air, soil and water pollution, including greenhouse gases. Conclusions. Environmental impacts need to be controlled through appropriate methods, including rational feeding schemes, efficient utilization and disposal of manure and waste, emission control, etc.

Keywords: poultry manure, environment, pollution, sustainable development, poultry farm.

For citation: Yan Li, Lemeshevsky V.O., Maksimova S.L. Impact of large poultry farm waste on the environment: a literature review. Occupational health and human ecology, 2024; 4: 39-53.

Correspondence: Yan Li; e-mail: e-mail: wxpxueshu_phd@163.com.

Funding. The study did not receive any financial support.

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10403>

С момента развития сельского хозяйства основным производством продуктов питания всегда было выращивание птицы для получения мяса, яиц и других пищевых продуктов. Птицеводство – это не только основа для улучшения питания, обеспечивающая стабильное снабжение белком и пищевую безопасность для больших групп населения, но и дополнительного развития. Показано, что птицеводство является одним из наиболее эффективных методов животноводства благодаря возможности использовать отходы сельского хозяйства и домашних хозяйств в качестве источника корма для птицеводства. В настоящее время, помимо семейных фермерских хозяйств, одним из основных видов животноводства являются и крупные птицефабрики. Крупномасштабное птицеводство (главным образом цыплята, далее следуют утки, гуси, индейки и др.) составляет подавляющую часть мирового производства птицы (до 98% мяса и до 92% яиц) [1]. В целом мировой объем мяса птицы повышался линейно в период с 1961 по 2022 годы, с ежегодным увеличением почти в 12 раз [2].

Республика Беларусь относится к странам, где птицеводство организовано на высоком уровне. Страна имеет более 50 птицеводческих предприятий, из которых 26 специализируются на производстве яиц и 24 – на мясе птицы [3]. Формами организации ведения птицеводства в Беларуси являются: государственные племенные организации, частные фермы и подсобные хозяйства. Поголовье племенной птицы только в 2022 г. составило 48108,7 тыс. голов (табл. 1) [4].

Таблица 1. Поголовье птицы по типу хозяйства (на начало года; тыс. голов)

Table 1. Poultry Population by Farm Type (as of the Beginning of the Year; Thousand Heads)

Форма хозяйствования	2018	2019	2020	2021	2022
Сельскохозяйственные организации	45671,7	46293,0	48190,9	42998,1	43939,5
Частные фермы	162,3	131,9	287,3	166,4	193,4
Приусадебные участки	4880,0	4722,8	4527,4	4367,0	3975,8
<i>Всего</i>	<i>509714,0</i>	<i>51147,4</i>	<i>53005,6</i>	<i>47531,5</i>	<i>48108,7</i>

Исследованиями показано, что крупные птицефабрики являются основной формой хозяйствования. С 2018 по 2022 годы общее количество птицеводческих предприятий в Беларуси демонстрирует колеблющуюся тенденцию к росту.

Причина может заключаться в том, что в результате корректировки политики птицеводческая отрасль подверглась интеграции. Например, выделение земли под птицефабрики может в значительной степени решить проблему обеспечения птицеводческих предприятий продовольствием, а строительство собственных комбикормовых заводов – снизить затраты для улучшения качества используемых кормов [3].

Хотя крупномасштабное птицеводство развивается, оно по-прежнему оказывает значительное влияние на здоровье человека и окружающую среду [5]. Большинство крупномасштабных птицеводческих хозяйств, специализирующихся на выращивании бройлеров (для производства мяса) и несушек (для производства яиц), содержатся на крупных фермах, в основном в закрытых помещениях, где поголовье варьирует от нескольких тысяч до сотен тысяч голов. Фермы оборудованы напольными птичниками или клетками с автоматическими системами кормления и поения [1] и имеют очень высокую плотность посадки птицы (33 кг м² или выше) [6]. Из-за интенсивного характера крупномасштабного птицеводства это приводит к очень заметному воздействию на окружающую среду.

Поставка корма в птицеводстве является необходимым условием для производства, и часто птицефермы могут быть значительно далеко расположены от места приготовления корма, что обуславливает необходимость его транспортировки на птицефабрику [7]. Это приводит к предъявлению строгих требований к сохранению корма и недопущению таких проблем, как порча корма, гниение, а также обеспечению питьевого водоснабжения птицы. Имеющийся спрос на воду увеличивает нагрузку на водные ресурсы.

Выбросы при интенсивном ведении птицеводства воздействуют на различные компоненты окружающей среды, включая воздух, воду и почву. Сельскохозяйственные отходы, такие как птичий помет и подстилка, часто производятся в объемах, превышающих возможности их вторичного использования в виде удобрения местных сельскохозяйственных угодий. Это может привести к чрезмерному использованию и представлять серьезную угрозу для почвы и качества воды. Следовательно, избыточные отходы часто требуют применения рациональных методов транспортировки, хранения и переработки для предотвращения загрязнения воздуха, почвы, воды и негативного воздействия на здоровье человека [6]. Кроме того, птичий помет также может содержать бактерии и лекарственные препараты (например, антибиотики), используемые в птицеводстве, приводя к обнаружению антибиотиков и микробному загрязнению, что способствует резистентности микробных патогенов к противомикробным препаратам, вызывает контаминацию почвы и водных ресурсов.

В то же время в птичниках образуются пылевидные твердые частицы, содержащие фрагменты пера, кожи, навоза, кормовые гранулы, микроорганизмы и различные химические вещества (например, лекарства) [6], кетоны, альдегиды,

органические кислоты и другие соединения, отрицательно влияющие на птицу, здоровье обслуживающего персонала (работников) и населения близлежащих населенных пунктов [8]. Электроэнергия и ископаемое топливо, необходимые для птицеводства, а также отходы, образующиеся в результате механизированных операций и систем вентиляции, также являются факторами, ухудшающими окружающую среду и влияющими на здоровье человека. Поэтому экологические проблемы, вызванные крупномасштабным птицеводством, становятся все более серьезными и выступают острой проблемой, требующей срочного решения в современном мире.

Цель исследования – изучить влияние крупного птицеводства на окружающую среду, проанализировать его вредные факторы и предложить передовой опыт для устойчивого развития крупного птицеводства.

Материалы и методы. В этой рукописи нами проведен комплексный анализ литературы с использованием академических баз данных, таких как Google Scholar, Elsevier Science Direct, Web of Science и Китайской национальной инфраструктуры знаний (China National Knowledge Infrastructure – CNKI). Для проведения систематического поиска использовались ключевые слова: птичий помет, загрязнение окружающей среды, тяжелые металлы, биодоступность. Кроме того, была изучена существующая литература о вреде, наносимом экологической среде и здоровью человека остатками пестицидов, болезнетворными микроорганизмами, лекарствами (антибиотиками), тяжелыми металлами, макроэлементами и другими загрязнителями, которые могут содержаться в побочных продуктах птицеводческой отрасли.

Результаты. Анализ химического состава фекалий и помета. В последние годы индустрия птицеводства во всем мире получила колоссальное развитие, эта тенденция наблюдается и в Китае, который является крупнейшим в мире производителем мяса птицы, а по количеству выращиваемой птицы и яиц птицы остается на первом месте в мире много лет подряд [9]. Согласно Стандартам выбросов загрязняющих веществ в животноводстве и птицеводстве, изданным Министерством экологии и окружающей среды Китая, к отходам относятся твердые отходы, такие как экскременты скота и птицы, подстилка, отходы кормов и выпавшие перья [9]. Очевидно, что расширение и модернизация птицеводства стимулировали образование органических отходов, в основном состоящих из навоза и птичьего помета.

Птичий помет представляет собой смесь птичьих экскрементов с кормовыми отходами, перьями и подстилкой, такой как древесная стружка или опилки. Состав птичьего помета и подстилки зависит от нескольких факторов: типа содержания,

состава корма, типа и количества подстилки, плотности содержания животных в птичнике, времени, проведенного в птичнике, и сезонности [10]. В связи с особым физиологическим строением пищеварительной системы птицы химический состав птичьих экскрементов считается источником питательных и биологически активных веществ. Что касается сухого вещества, экскременты содержат от 20 до 23% сырого белка, 12–14% сырой клетчатки, 30–37% безазотистого экстракта, 3–5% сырого жира, 11–13% золы, 2,84% кальция, 1,72% фосфора, большое количество микроэлементов [11], включая фитонутриенты, такие как азот, фосфор и калий [12]. В то же время в птичьем помете и подстилке присутствуют патогенные микроорганизмы, включая бактерии, грибы, вирусы, паразитические простейшие и гельминты, а также антибиотики и патогенные микроорганизмы с генами лекарственной устойчивости, тяжелые металлы, ростовые и половые гормоны (эстроген, β -эстрадиол, тестостерон), пестициды, такие как диоксины, фураны, полихлорированные бифенилы и полициклические ароматические углеводороды [13]. Длительное использование загрязненного помета скота и птицы ведет к накоплению поллютантов в почве сельскохозяйственных угодий, повышению ее потенциальной биологической и экологической токсичности.

Воздействие на почву. При бурном развитии сельского хозяйства в последние десятилетия неоспорима роль куриного помета как недорогого органического удобрения в сельском хозяйстве. Его использование положительно влияет на рост и урожайность различных сельскохозяйственных культур, способствует восстановлению экологических функций почвы [14]. В целом птичий помет имеет высокое содержание органических и питательных веществ, которые положительно влияют на физические, химические и биологические свойства почвы [15]. Добавляя различные соединения к птичьему помету, можно увеличить содержание органического вещества в почве, улучшить ее свойства, структуру и устойчивость агрегатов, тем самым повышая аэрацию, буферную реакцию почвы, водоудерживающую способность, емкость катионного обмена и микробную активность [16].

С точки зрения физики и химии, исследования, проведенные в Hoover, N.L., показали, что длительное использование птичьего помета может значительно увеличить количество твердых частиц органического вещества (нестабильный компонент органического вещества, способный стабилизировать частицы почвы), что приведет к повышению проницаемости почвы, ее водоудерживающей способности и благотворно скажется на окружающей среде почвы [14]. Ibrahim M. El-Samnoudi показал в исследовании, что птичий помет может изменить объемную плотность почвы, электрическую проводимость, рН почвы, гидравлическую проводимость и общую пористость [17]. По биологическим свойствам в целом можно отметить положительное влияние применения птичьего помета на биологические свойства почвы. Например, Джон П. Брукс и др. показали, что внесение птичьего помета изменяет популяцию микроорганизмов в почве, в

результате чего индикаторные бактерии птичьего помета не обнаруживаются в почве [18].

До сих пор исследования куриного помета в основном свидетельствовали о его полезности [19]. Предыдущие исследования показали, что внесение навоза домашнего скота и птицы служит основным источником (после атмосферных осадков) большинства тяжелых металлов в сельскохозяйственных почвах [20]. В то же время чрезмерное и неоднократное использование птичьего помета, а также нерациональное обращение с отходами птицеводства и их утилизации могут привести к попаданию в почву антибиотиков широкого спектра действия, тяжелых металлов, стероидов и микроорганизмов [21]. В исследовании, проведенном в Бразилии, установлено, что самые высокие средние концентрации тяжелых металлов в птичьем помете отмечены по содержанию Mn (525 мг кг⁻¹), Zn (146 мг кг⁻¹), Cu (94,4 мг кг⁻¹), тогда как в почве концентрации тех же тяжелых металлов были выше: Mn (906 мг кг⁻¹), Zn (111 мг кг⁻¹) и Cu (26,3 мг кг⁻¹) [22].

Таким образом, исследования по составу птичьего помета, его влиянию на качество почвы и значение внесения удобрений носят относительно комплексный характер, но потенциальное влияние патогенов и лекарственных средств (антибиотиков) и других вредных веществ, содержащихся в птичьем помете, на почвенную среду все еще нуждается в изучении. В связи с этим требуется наладить регулярный мониторинг изменений состава птичьего помета и научную предварительную обработку птичьего помета перед внесением удобрений.

Воздействие на воздушную среду. Поскольку крупномасштабное птицеводство обычно сосредоточено в одном или нескольких зданиях с численностью от тысяч до сотен тысяч птиц, это может быть серьезной проблемой в региональных условиях и служить источником физического, химического и микробиологического загрязнения. Системы вентиляции этих зданий обеспечивают свежим воздухом выращиваемую птицу. В то же время будет происходить выброс воздуха с загрязняющими веществами из производственных помещений, образующимися в результате выращивания, в окружающую среду. Это может привести к сильной контаминации воздушной среды на прилегающей территории.

К источникам загрязнения атмосферного воздуха, обусловленным производственной деятельностью крупных птицефабрик, в основном относятся: аммиак (NH₃), метан (CH₄), закись азота (N₂O), пыль, в том числе взвешенные частицы PM₁₀ и PM_{2,5} (газ после нагрева и продукты сгорания). Так, PM_{2,5} содержит диоксид серы (SO₂), диоксид азота (NO₂), монооксид углерода (CO), пыль и шум [23]. Птицефабрики также производят диметиламин, углекислый газ и кетоны, альдегиды, органические кислоты и другие ароматические (пахучие) соединения [24]. Запах, обусловленный наличием ароматических соединений, также является важным загрязнителем воздуха, образующихся на крупных птицеводческих хозяйствах. Он возникает в результате деятельности аэробных и анаэробных

микробов в процессе разложения отходов. В результате микробной деятельности образуются вещества, являющиеся источниками неприятных запахов. Эти дурно пахнущие соединения содержат органические частицы, состоящие из летучих жирных кислот, серы (H_2S , меркаптаны) и азота (NH_3) [25]. Например, K. Fakkaew et al. провели обширное исследование образцов сточных вод куриного помета с помощью портативных ручных газоанализаторов в закрытой системе, чтобы охарактеризовать запах и химический состав. Результаты работы K. Fakkaew et al. показали, что общее количество соединений ($n=153$), обнаруженных в курином помете, пробах сточных вод, обладают различными характеристиками. Большинство ароматических соединений, проявляющих раздражающие свойства и неприятный запах, могут вызывать такие последствия для здоровья человека, как раздражение, ожоги и канцерогенный эффект [26].

Микробиологическая пыль, присутствующая в птичниках, может иметь высокие концентрации микроорганизмов и потенциально содержать патогены в подстилке. De Rooij и Gladding, T.L. показали, что птицефабрики с интенсивным выращиванием птицы потенциально выступают источником выбросов сапрофитных и условно-патогенных микроорганизмов в наружный воздух [27]. В Корее уровни воздействия внутри помещений и интенсивность выбросов переносимых по воздуху микроорганизмов были количественно определены отдельно для трех типов птичников (клетки для несушек, птичники для бройлеров и птичники для несушек с лентами для навоза). Результаты исследований показали средние уровни воздействия всех переносимых по воздуху бактерий и грибов. Так, интенсивность переносимых по воздуху микробных выбросов из птицефабрик оценивалась в $0,263 (\pm 0,088) \log$ (КОЕ м⁻²ч⁻¹), $0,839 (\pm 0,371) \log$ (КОЕ м⁻²ч⁻¹) и $0,066 (\pm 0,031) \log$ (КОЕ м⁻²ч⁻¹) и $0,617 (\pm 0,235) \log$ (КОЕ м⁻²ч⁻¹) общего количества переносимых по воздуху грибов. Отмечено, что модели распределения общего количества переносимых по воздуху бактерий и грибов были одинаковыми независимо от типа птичника. Птичники с бройлерами имели самый высокий уровень общего воздействия и выброса переносимых по воздуху бактерий и грибов, за ними следовали птичники с несушками в клетках ($p < 0,05$) [28].

Анализируя вышеприведенное, можно сделать вывод, что загрязняющие вещества, выбрасываемые крупными птицефабриками, являются важным источником загрязнения атмосферного воздуха, потенциально вредны для здоровья работников фермы и людей, проживающих в близлежащих районах. Ввиду серьезности этой проблемы рекомендуется реализовать эффективные методы борьбы с загрязнением.

Воздействие на водные ресурсы. Чрезмерный выброс органических элементов (например, азота, фосфора), загрязняющих веществ (например, лекарственных средств, стероидных гормонов, тяжелых металлов) и патогенов (включая бактерии, грибки и вирусы) из сельскохозяйственных отходов в водные экосистемы может нарушить функционирование водных экосистем и способствовать поражению

растений, а также беспозвоночных и позвоночных животных [29]. Выделяют три аспекта: физико-химический, остаточный и микробиологический.

С точки зрения физической химии, такие соединения можно анализировать с двух сторон: как питательные вещества (азот, фосфор) и тяжелые металлы. Известно, в процессе ведения птицеводства в озера и реки попадают не прошедшие эффективную и своевременную очистку фекалии животных. Большое количество органических веществ в фекалиях приведет к эвтрофикации водоема, и в результате снижается качество воды. Некоторые изучения также были сосредоточены на влиянии тяжелых металлов, содержащихся в отходах птицеводства, на водную среду. В Китае Лю Ванг-Ронг и др., согласно анализу содержания 8 тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Hg, As, Ni) в сельскохозяйственных почвах, установлено, что Zn и Cu в основном поступают из помета скота и птицы. Указанные загрязнители могут мигрировать путем выщелачивания. При этом поверхностные стоки косвенно загрязняют поверхностные и даже подземные воды [30]. Тем временем Хан М. Н. и др. обнаружили, что азотистые соединения и тяжелые металлы из осадков сточных вод могут проникать ниже уровня 0,8 м и потенциально контаминировать неглубокие водоносные горизонты [31].

Что касается лекарственных средств, то важными синтетическими соединениями, используемыми в птицеводстве, являются экзогенные антибиотики, и существует вероятность попадания лекарственных средств в экскременты, формирования лекарственной устойчивости во время применения фармацевтических средств. Как правило, препараты, применяемые на птицефабриках, выделяются с фекалиями и мочой. При правильном сборе и хранении в навозохранилищах они не попадают в поверхностные воды. Однако в некоторых случаях данные соединения могут выделяться непосредственно в водные экосистемы или просачиваться в них из-за неправильного обращения и хранения. В результате экологические проблемы, возникающие в связи с остатками лекарственных препаратов и резистентностью к ним, становятся все более актуальными в области охраны водных ресурсов. Использование антибиотиков в качестве стимуляторов роста было запрещено в Европе и совсем недавно, с 2005 года, в Китае, но они все еще практикуются, особенно в развивающихся странах. В настоящее время широко применяемыми антибиотиками в животноводстве считаются сульфаниламиды, фторхинолоны, тетрациклины, метоксibenзилметазин, метронидазол, β -лактамазы и макролидные антибиотики [32]. При этом наиболее часто используются пенициллины (31%), тетрациклины (27%) и сульфаниламиды (10%) [33]. По данным M. S. Gaballah, около 28–88% антибиотиков, используемых в кормлении животных, выводятся с фекалиями, и порядок скорости их выведения следующий: сульфаниламиды и тетрациклины > триметоприм > метронидазол > фторхинолоны > макроциклические сложные эфиры [34]. Исходя из использования антибиотиков на крупных фермах, они присутствуют в окружающей среде вокруг региона разведения. Таким образом,

повторное использование птичьего помета в качестве удобрения может являться источником поступления данных веществ в водный бассейн [35].

Хлорорганические инсектициды (например, диазинон, малатион) применяют для уничтожения сельскохозяйственных вредителей в птицеводстве. По состоянию на 2022 г., Список наблюдения за поверхностными водами ЕС включал 1 бензопиразоловый инсектицид (фипронил), 7 азольных инсектицидов (имидазол, изоконазол, меконазол, пентаконазол, циклоконазол, тебуконазол, тетраконазол) и 3 других фунгицида (кизастробин, азоксистробин, оксафлуконазол) [36].

Таким образом, выброс избыточных органических элементов (например, азота, фосфора), загрязняющих веществ (например, антибиотиков, тяжелых металлов) и патогенов из отходов птицеводства в водный бассейн может нарушить баланс водных экосистем и таким образом повлиять на здоровье человека.

Выбросы углерода. Углеродный след представляет собой сумму всех выбросов парниковых газов, прямо или косвенно произведенных отдельным лицом, организацией, действием или продуктом. Парниковые газы, в том числе двуокись углерода (CO_2) и метан (CH_4), могут выделяться при расчистке земель, производстве и потреблении продуктов питания, топлива, промышленных товаров, материалов, древесины, дорог, зданий, транспорта и других услуг [37]. Парниковые газы, выбрасываемые в цепочку пищевой и сельскохозяйственной промышленности, в основном включают метан, закись азота и двуокись углерода. В цепочке поставок птицы выбросы в основном связаны с производством кормов, при котором используются корма с высоким уровнем выбросов. А в производстве яиц важными источниками выбросов также является хранение и переработка навоза. Согласно статистическим данным FAO [38], выбросы парниковых газов в глобальной цепочке поставок куриного мяса составляют 606 млн т, что находится на уровне 8% выбросов отрасли, а доля выбросов при производстве кормов в цепочке поставок куриного мяса и яиц соответствует 57%. В то же время навоз, как источник выбросов, приходится 20% эмиссии при производстве яиц и только 6% при производстве бройлеров. Кроме того, на выбросы от потребления энергии, включая прямую энергию, CO_2 в кормах и внехозяйственные выбросы CO_2 , приходится от 35% до 40% выбросов. Представленный анализ показывает, что крупные фермы как источник выбросов являются важным фактором выбросов углерода.

Заключение. В течение десятилетий бурного развития в мире птицеводческая отрасль переживала быстрый и устойчивый рост в связи с бурным ростом населения и увеличением спроса на продукты питания и продовольственную безопасность. Крупномасштабное птицеводство, являющееся основой современного птицеводства, оказывает сильное воздействие на окружающую среду и нуждается в надлежащем управлении, чтобы свести к минимуму его негативные последствия. Анализ существующих исследований по данной теме

свидетельствует о том, что с академической точки зрения важно изучить экологические последствия интенсивного птицеводства в более широком контексте. Как уже упоминалось ранее, различные экологические аспекты (воздух, вода, почва и выбросы углерода), связанные с птицеводством, охватывают выбросы и экологическое воздействие на загрязняющие вещества, такие как питательные вещества (N, P), тяжелые металлы, микроорганизмы, фармацевтические препараты и выбросы углерода (парниковые газы). Тем не менее мы должны признать, что в нашем понимании существуют определенные пробелы, особенно в отношении основных факторов риска и их количественных показателей негативного воздействия птицеводческих предприятий на окружающую среду, которые должны быть тщательно оценены и изучены для смягчения любых потенциальных негативных последствий.

Таким образом, негативные факторы загрязнения окружающей среды от крупномасштабного птицеводства в основном состоят в следующем.

- Сброс сточных вод: крупномасштабное птицеводство производит большое количество сточных вод, содержащих высокую концентрацию азота, фосфора, тяжелых металлов и других загрязняющих веществ.
- Фекальное загрязнение: фекалии птицы содержат большое количество азота и фосфора, что приведет к эвтрофикации почвы и водоемов, если их не очищать должным образом.
- Выброс газов: крупномасштабное птицеводство производит метан, аммиак, переносит патогены и другие вредные газы, которые негативно влияют на атмосферную среду и здоровье человека.
- Остатки корма: остатки антибиотиков и лекарств в корме могут попадать в окружающую среду через фекалии, влияя на микробные сообщества и экосистемы.

По этой причине необходимо провести эффективную оценку и обозначить количественные показатели загрязнения. Например:

1. Выбросы азота и фосфора: измеряются количеством азота и фосфора, выделяемых на одну птицу в день, как способ измерения общего объема выбросов крупных птицефабрик.
2. Выбросы газов: измеряются количеством метана и аммиака, выделяемых на одну птицу в день, при этом необходимо обращать внимание на концентрацию аммиака, которая является показателем степени загрязнения воздуха аммиаком.
3. Эффективность очистки сточных вод и навоза: измеряется эффективностью работы очистных сооружений и оценивается степень переработки навоза. Стоит обратить внимание на химическую потребность в кислороде, которая является мерой количества органических загрязнителей в водоеме.

4. Концентрация остатков корма: оценивается путем определения концентрации остатков корма в фекалиях и сточных водах, где необходимо обратить внимание на общий азот, общий фосфор и остатки антибиотиков, которые являются мерой количества азота, фосфора и остатков антибиотиков в водоеме и в почве.

Для Беларуси птицеводство является важной частью ее сельскохозяйственного развития. На территории страны существует много крупных птицефабрик. Воздействие на окружающую среду следует контролировать с помощью соответствующих методов, включая рациональные схемы кормления, эффективное использование и утилизацию помета и отходов, контроль эмиссии и т. д. Например, крупным производителям мяса птицы рекомендуется принять необходимые меры для мониторинга и сокращения выбросов. Производителям кормов и фармацевтических препаратов необходимо модифицировать свою продукцию, чтобы минимизировать эмиссию и свести к минимуму негативное воздействие при их использовании.

Список литературы:

- 1, 5, 8-36, 38 см. References
2. Сайт данных нашего мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ourworldindata.org>. – Дата доступа: 15.02.2023.
3. Официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://produkt.by>. – Дата доступа: 15.02.2023.
4. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 15.02.2023.
6. Портал Европейского парламента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.europarl.europa.eu>. – Дата доступа: 15.02.2023.
7. Выявление проблем работы предприятий промышленного птицеводства закрытого типа / А.Э. Правосудова, Е.Г. Лаврушина, Е.В. Кийкова // Интеллектуальный потенциал XXI века: 37. Официальный сайт Википедии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org>. – Дата доступа: 16.02.2023.

References:

1. Livestock: on our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate / A Mottet [et al.] // Global Food Security. – 2017. – Vo. 14. – P. 1–8.
2. Data Site of Our World [Electronic resource]. – Access mode: <https://ourworldindata.org>. – Access date: 15.02.2023.
3. Official Product Website [Electronic resource]. – Access mode: <https://produkt.by>. – Access date: 15.02.2023.
4. National Statistical Committee of the Republic of Belarus [Electronic resource]. – Access mode: <http://belstat.gov.by/>. – Access date: 15.02.2023.

5. Environmental and human health challenges of industrial livestock and poultry farming in China and their mitigation / Yuanan Hu, Hefa Cheng, Shu Tao // *Environment International*. – 2017. – Vo. 107 – P. 111–130.
6. European Parliament Portal [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.europarl.europa.eu>. – Access date: 15.02.2023.
7. Identifying Problems in the Operations of Closed-Type Industrial Poultry Enterprises / A.E. Pravosudova, E.G. Lavrushina, E.V. Kiiikova // *Intellectual Potential of the 21st Century: Stages of Cognition*. – 2015. – No. 30. – pp. 72–78.
8. Cytotoxicity of odorous compounds from poultry manure / A. Nowak [et al.] // *International journal of environmental research and public health*. – 2016. – Vo. 13, №. 11. – 1046.
9. Progress of research on the application of Internet of Things technology in poultry farming / Xing Weijie [et al.] // *Anhui Agricultural Science*. – 2020. – Vo. 48, №. 17. – P. 15-17. (in Chinese).
10. Composition of poultry litter in Southern Brazil / D A Rogeri [et al.] // *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. – 2016. – 40 P.
11. Li, Y. Prospective environmental solutions for poultry manure recycling / Y. Li, V. Lemiasheuski // *Actual Environmental Problems: Proceedings of the XII International Scientific Conference of young scientists, graduates, master and PhD students, December 1–2, 2022, Minsk, Republic of Belarus / ISEI BSU; edited by S. Maskevitch, M. Germenchuk*. – Minsk, 2022. – P. 110-111.
12. Distribution characteristics, potential contribution, and management strategy of crop straw and livestock-poultry manure in multi-ethnic regions of China: A critical evaluation / Bin Wang [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – Vo. 274. – 123174.
13. How Safe is Chicken Litter for Land Application as an Organic Fertilizer?: A Review / Margaret Kyakuwaire [et al.] // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2019. – Vo. 16, №. 19. – 3521.
14. Hoover, N.L., Long-term impact of poultry manure on crop yield, soil and water quality, and crop revenue / N.L. Hoover [et al.] // *J. Environ. Manag.* – 2019. – Vo. 252. – 109582.
15. Biochar and animal manure impact on soil, crop yield and quality / G F Antonious // *J. Agricultural Waste and Residues*. – 2018. – Vo. 2. – P. 65–67.
16. Effects of poultry manure on soil infiltration, organic matter contents and maize performance on two contrasting degraded alfisols in southwestern Nigeria / A J Adeyemo [et al.] // *Int J Recycl Org Waste Agricult.* – 2019. – Vo. 8. – P. 73–80.
17. Combined effect of poultry manure and soil mulching on soil properties, physiological responses, yields and water-use efficiencies of sorghum plants under water stress / I M El-Samnoudi [et al.] // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. – 2019. – Vo. 50, №. 20. – P. 2626–2639.
18. Effects of Subsurface Banding and Broadcast of Poultry Litter and Cover Crop on Soil Microbial Populations / J P Brooks [et al.] // *Journal of Environmental Quality*. – 2019. – Vo. 47, №. 3. – P. 427–435.
19. Muhammad, J., Khan, S., Su, J.Q. et al. Antibiotics in poultry manure and their associated health issues: a systematic review / J Muhammad [et al.] // *J Soils Sediments*. – 2020. – Vo. 20. – P. 486–497.

20. Guan, Q., Wang, F., Xu, C., Pan, N., Lin, J., Zhao, R., Yang, Y., Luo, H. Source apportionment of heavy metals in agricultural soil based on PMF: a case study in Hexi corridor, Northwest China / Q Guan [et al.] // *Chemosphere*. – 2018. – Vo. 193. – P. 189–197.
21. Pollution by antibiotics and antimicrobial resistance in livestock and poultry manure in China and countermeasures // M Tian [et al.] // *Antibiotics*. – 2021. – Vo. 10, №. 5. – 539.
22. Parente C E T, Multi-temporal accumulation and risk assessment of available heavy metals in poultry litter fertilized soils from Rio de Janeiro upland region / C E T Parente [et al.] // *Environmental monitoring and assessment*. – 2019. – Vo. 191. – P. 1-13.
23. Management of poultry manure in Poland Current state and future perspectives / D. Drózd [et al.] // *Journal of Environmental Management*. – 2020. – Vo. 264. – 110327.
24. Waste from rearing and slaughter of poultry—treat to the environment or feedstock for energy / S Myszograj, E Puchalska // *J. Medycyna Środowiskowa*. – 2012. – Vol. 15, №. 3. – P. 106-115.
25. Rapid health impact assessment of a proposed poultry processing plant in Millsboro, Delaware / L Baskin-Graves [et al.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2019. – Vol. 16, №. 18. – P. 3429.
26. Characteristics of Gases Emitted from Chicken Manure Wastewater and Potential Effects on Human Health / K Fackaew [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022. – Vol. 29, №. 42. – P. 63227-63232.
27. Endotoxin and particulate matter emitted by livestock farms and respiratory health effects in neighboring residents / M M T. de Rooij [et al.] // *Environment international*. – 2019. – Vol. 132. – 105009.
28. On-Site Investigation of Airborne Bacteria and Fungi According to Type of Poultry Houses in South Korea / S J Lee, K Y Kim // *J. Processes*. – 2021. – Vol. 9, Iss. 9. – P. 1534.
29. Environmental and human health challenges of industrial livestock and poultry farming in China and their mitigation / Y Hu, H Cheng, S Tao // *Environment international*. – 2017. – Vol. 107. – P. 111–130.
30. Comparisons of pollution characteristics, emission situations, and mass loads for heavy metals in the manures of different livestock and poultry in China / Liu Wang-Rong [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2020. – Vol. 734. – P. 139023.
31. Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater / M N Khan [et al.] // *J. Encyclopedia of the Anthropocene*. – 2018. – Vol. 5. – P. 225-240.
32. Invited review: Fate of antibiotic residues, antibiotic-resistant bacteria, and antibiotic resistance genes in US dairy manure management systems / J P Oliver, C A Gooch [et al.] // *J. Journal of dairy science*. – 2020. – Vol. 103, №. 2. – P. 1051-1071.
33. EMA, 2021. Sales of veterinary antimicrobial agents in 31 European countries in 2019 and 2020 – trends from 2010 to 2020.
34. A review targeting veterinary antibiotics removal from livestock manure management systems and future outlook / M S Gaballah [et al.] // *J. Bioresource Technology*. – 2021. – Vol. 333. – P. 125069.
35. Towards the understanding of antibiotic occurrence and transport in groundwater: Findings from the Baix Fluvià alluvial aquifer (NE Catalonia, Spain) / M Boy-Roura [et al.] // *J. Science of the total environment*. – 2018. – Vol. 612, – P. 1387-1406.

36. EU, 2022. Commission Implementing Decision (EU) 2022/1307 of 22 July 2022 establishing a watch list of substances for Union-wide monitoring in the field of water policy pursuant to Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council.
37. Official Wikipedia Website [Electronic resource]. – Access mode: <https://en.wikipedia.org>. – Access date: 16.02.2023.
38. Responding to climate change with livestock farming: global greenhouse gas emissions assessment and mitigation / edited by Food and Agriculture Organization of the United Nations; translated by Zhu Cong. – Beijing: China Agricultural Press, 2018.8. (in Chinese).

Поступила/Received: 21.10.2024

Принята в печать/Accepted: 15.11.2024

УДК: 613.15:543.42

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА МЕТАЛЛАМИ НОВЫХ ГОРОДОВ-УЧАСТНИКОВ ФЕДЕРАЛЬНОГО ПРОЕКТА «ЧИСТЫЙ ВОЗДУХ»

Родионов А.С.¹, Егорова М.В.^{1,2}, Горячева Л.В.¹, Федорова Н.Е.¹, Богданова Ю.Ю.¹

¹ ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»

Роспотребнадзор, Мытищи, Россия

² ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава России, Москва, Россия

Основным «инструментом» борьбы с одной из глобальных проблем современности – загрязнением атмосферного воздуха в Российской Федерации – является действующий с 2018 года Федеральный проект «Чистый воздух», в рамках реализации которого проводятся масштабные исследования и практические мероприятия, нацеленные на сокращение выбросов в воздушную среду в результате усовершенствования существующей системы контроля качества ее состояния, подразумевающие автоматизацию процесса сбора и обработки данных, повышение оперативности представления результатов наблюдений, а также актуализацию нормативно-методической базы.

В качестве контаминантов атмосферы отдельное внимание уделяется тяжелым металлам, ввиду их высокой токсичности, канцерогенности, особенностям биоаккумуляции и транспорта по пищевым цепям.

В статье представлены результаты апробации разработанного авторами метода для оценки загрязнения атмосферного воздуха металлами в городах Ростов-на-Дону и Новочеркасск, включенных с 2023 года в список участников Федерального проекта «Чистый воздух».

Целью исследования являлось проведение количественной оценки содержания металлов, в том числе тяжелых, в атмосферном воздухе городов Ростов-на-Дону (2 мониторинговые точки) и Новочеркасск (1 мониторинговая точка).

Материалы и методы. Для измерения концентрации металлических загрязнителей воздух аспирировали на фильтры из целлюлозы с диаметром 37 мм и пористостью 0,8 мкм (Millipore-MF). Деструкцию фильтра проводили методом микроволновой минерализации с применением азотной кислоты. Анализ содержания металлов выполнялся на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Agilent 7800

ICP-MS. Все процедуры выполняли в чистой комнате для исключения привнесения загрязнений из внешней среды помещения.

Результаты. В результате проведенного исследования не отмечено превышений ПДК (м.р). выявленных элементов на маршрутных точках городов Ростов-на-Дону и Новочеркасск. Результаты исследования показали наличие в атмосферном воздухе Ростова-на-Дону следовых количеств натрия, алюминия, кальция, железа, бария, бора, индия, магния, марганца, стронция. Отмечено десятикратное увеличение содержания цинка в 2023 году относительно данных мониторинговых наблюдений ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» в 2022 г., при этом превышения гигиенического норматива не зафиксировано. В атмосферном воздухе Новочеркаска идентифицировано присутствие алюминия ($0,0004 \pm 0,0001$ мг/м³), железа ($0,0017 \pm 0,0004$ мг/м³) и марганца ($0,0000006 \pm 0,0000001$ мг/м³). Разработанный метод продемонстрировал высокую эффективность определения следовых количеств металлов при существенном сокращении времени пробоотбора.

Ключевые слова: аэрозольные фильтры; атмосферный воздух; тяжелые металлы; микроволновая минерализация; масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой.

Для цитирования: Родионов А.С., Егорова М.В., Горячева Л.В., Федорова Н.Е., Богданова Ю.Ю. Применение метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой для оценки загрязнения атмосферного воздуха металлами новых городов-участников Федерального проекта «Чистый воздух». Медицина труда и экология человека. 2024; 4: 54-68.

Для корреспонденции: Родионов Александр Сергеевич, младший научный сотрудник отдела аналитических методов контроля ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, e-mail: rodionov.as@fncg.ru.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10404>

APPLICATION OF THE INDUCTIVELY COUPLED PLASMA MASS SPECTROMETRY METHOD FOR ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION BY METALS IN NEW CITIES PARTICIPATING IN THE FEDERAL PROJECT «CLEAN AIR»

Rodionov A.S.¹, Egorova M.V.^{1,2}, Goryacheva L.V.¹, Fedorova N.E.¹, Bogdanova Y.Y.¹

¹ FBUZ «Federal Scientific Center for Hygiene named after F.F. Erisman» of Rospotrebnadzor, Mytishchi, Russia

² FSBEI DPO Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia

The main «tool» of air pollution control in the Russian Federation is the Federal Project «Clean Air», which has been acting since 2018. Within the framework of its implementation for reducing emissions of harmful substances into the atmosphere large-scale experiments are being carried out. These experiments included measures to improve the existing system for monitoring atmosphere condition, implying automation of the process of collecting and processing data, increasing the efficiency of presenting observation results, as well as updating the regulatory and methodological framework.

The study pays special attention to heavy metals as atmospheric contaminants, due to their toxicity, carcinogenicity, peculiarities of bioaccumulation and transport through food chains.

This study examined the state of atmospheric air in the cities where the level of pollution was assessed as «high» by an analytical method which combined inductively coupled plasma mass spectrometry with sampling on Millipore-MF filters, developed by the Erisman Federal Research Center of Hygiene.

The aim of the research was to quantitatively investigate the content of heavy metals in the ambient air the cities of Rostov-on-Don and Novocherkassk, included in the list of participants of the Federal Project «Clean Air» from 2023.

Materials and methods. Sampling of atmospheric air was carried out on Millipore-MF filters made of mixed cellulose ethers, 37 mm in diameter, with a pore size of 0.8 µm. The filters were converted into solution by microwave mineralisation at elevated pressure in a closed reactor-type system. Quantitative analysis of heavy metal content was performed by inductively coupled plasma mass spectrometry using an Agilent 7800 ICP-MS spectrometer. All stages of sample preparation, including opening of «sample cassettes», sample dilution procedures and preparation of standard solutions, were carried out in a «clean workplace».

Results. The study revealed no exceedances of maximum permissible concentrations (MPCs) for the detected elements at monitoring points in Rostov-on-Don and Novocherkassk. The research included a comparative analysis of metal content in the atmospheric air of major industrial centers in the Rostov region (Rostov-on-Don and Novocherkassk) between 2022 and 2023. The research methodology was based on monitoring data from the North Caucasus Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring using standardized sampling methods with AFA filters and research results from the Erisman Federal Research Center of Hygiene using Merck Millipore-MF filters. The results showed stable concentrations of iron and manganese in Rostov-on-Don's atmosphere, with a tenfold increase in zinc content in 2023 compared to 2022, however, no exceedances of established hygienic standards were recorded. In Novocherkassk's atmospheric air, the presence of aluminum (0.0004 ± 0.0001 mg/m³), iron (0.0017 ± 0.004 mg/m³), and manganese (0.0000006 ± 0.0000001 mg/m³) was identified. The developed method demonstrated high efficiency in determining trace amounts of metals while significantly reducing sampling time.

Keywords: aerosol filters; atmospheric air; heavy metals; microwave mineralization; inductively coupled plasma mass spectrometry.

For citation: Rodionov A.S., Egorova M.V., Goryacheva L.V., Fedorova N.E., Bogdanova Y.Y. Application of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry for Assessing Air Pollution by Metals in New Cities Participating in the Federal Project «Clean Air». Occupational health and human ecology. 2024; 4: 54-68.

Correspondence: Rodionov Alexander Sergeevich, Junior researcher of an analytical control methods department of Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman; e-mail: rodionov.as@fncg.ru

Funding: The study had no financial support.

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

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10404>.

Загрязнение атмосферного воздуха, являясь одной из глобальных проблем современности, наиболее выражено в странах, занимающих ведущее место в мировой экономике, характеризующихся форсированной индустриализацией. Согласно данным ВОЗ на ноябрь 2023 года, сочетанное воздействие загрязнения воздушной среды и загрязнения воздуха в жилых помещениях ежегодно приводит к 7 миллионам преждевременных смертей [1].

Термин «загрязнение» трактуется в п. 6.1 ГОСТ 30772-2001¹ как «любой агент, имеющий природное или техногенное происхождение (прежде всего, физический агент, химическое вещество и биологический вид - главным образом микроорганизмы), попадающий в окружающую среду или возникающий в ней в количествах, выходящих за рамки обычных предельных естественных колебаний или среднего долгосрочного природного фона, и негативно влияющий на качество окружающей природной среды и здоровье человека».

Загрязнение атмосферы представляет угрозу не только из-за непосредственного влияния загрязнителей на здоровье людей, но и из-за их потенциала изменять характеристики атмосферы, что, в свою очередь, может вызвать климатические изменения [2]. К тому же аккумуляция токсичных веществ в воздухе может оказывать опосредованное воздействие на водные объекты, почву и другие экосистемы [3].

Доказана взаимосвязь между двумя перечисленными глобальными кризисами: изменением климата, вызванным загрязнениями атмосферы, и эпидемией неинфекционных заболеваний (НИЗ). По данным ВОЗ [4], ежегодно от НИЗ умирает 41 миллион человек, что соответствует 74% всех смертей в мире, из них - 17 миллионов в возрасте до 70 лет, к причинам которых относят сердечно-сосудистые, раковые и хронические респираторные заболевания, диабет. Помимо того, климатические аномалии могут вызывать и социально-экономические последствия, например, продолжительные засухи вызывают снижение урожайности сельскохозяйственных культур, угрожая продовольственной безопасности [5].

Таким образом, наличие эффективной экологической политики становится первоочередным фактором для формирования высокого качества жизни и реализации территориальной модели устойчивого развития [6].

На территории Российской Федерации обеспечение экологической безопасности страны за счет сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу реализуется в рамках Федерального проекта «Чистый воздух» Национального проекта «Экология» и Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года», направленных на достижение к 2030 году национальной цели «Комфортная и безопасная среда для жизни» [7]. С 1 сентября 2023 года на

¹ ГОСТ 30772-2001. Межгосударственный стандарт. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения.

основании мониторинговых исследований Росгидромета в список участников включены еще 29 городов.

В процессе выполнения проекта особое внимание акцентируется не только на действиях по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, но также на улучшении текущей системы мониторинга состояния воздуха., подразумевающей автоматизацию процесса сбора и обработки данных, повышение оперативности представления результатов наблюдений, а также актуализацию нормативно-методической базы. При этом речь идет не только о совершенствовании способов интерпретации данных мониторинга, положенных в основу оценки риска [8], но и непосредственно о методах аналитического контроля вредных веществ.

Предметом отдельного обсуждения является количественное определение тяжелых металлов в воздухе, ввиду их высокой токсичности, канцерогенности отдельных элементов и способности проникать в организм человека по пищевым цепям [9].

Развитию методов аналитического контроля содержания тяжелых металлов в атмосферном воздухе посвящен ряд исследований [10, 11], в которых освещены способы снижения пределов количественного определения и повышения достоверности получаемых результатов за счет применения более «чистого» пробоотборного материала, свободного от фоновых загрязнений. В качестве наиболее подходящей пробоотборной среды предлагается использовать аэрозольные фильтры Millipore-MF, изготавливаемые из смешанных эфиров целлюлозы.

Методические подходы, подразумевающие использование описанного фильтроматериала, в совокупности с микроволновой минерализацией экспонированных фильтров, легли в основу соответствующих методических указаний [12], апробированных в городах-участниках Федерального проекта «Чистый воздух» - Липецк и Череповец [13, 14]. Показано, что применение предлагаемого метода позволяет получать сопоставимые результаты, ограничиваясь отбором существенно меньшего объема воздуха, и, соответственно, снизить временные затраты на отбор проб. Апробация разработанного метода была дополнена проведением сличительных испытаний с областными центрами ФБУЗ «ФЦГиЭ» Роспотребнадзора указанных городов, помогла подтвердить адекватность данных, получаемых на маршрутных постах Липецка и Череповца.

В результате всей совокупности мероприятий по уменьшению выбросов, включающих и совершенствование аналитических методик, согласно отчетным данным, удалось снизить уровень загрязнения в Липецке и Череповце с «повышенного» до «низкого» [15]. В целом на начало 2024 года количество городов с очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха снизилось с 8 (Братск, Красноярск, Магнитогорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Челябинск, Чита) до 0.

Одними из крупнейших областных и промышленных центров среди новых участников Федерального проекта «Чистый воздух», отнесенных к зонам повышенного потенциала загрязнения атмосферы, ввиду большого количества машиностроительных и металлургических предприятий, являются города Ростов-на-Дону и Новочеркасск [16]. При этом, основываясь на данных мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в режиме реального времени, индекс загрязнения атмосферы (AQI) находится в диапазоне от 40 (средний уровень загрязнения) до 140 (высокий уровень загрязнения) в обоих городах. К загрязнителям, по которым проводится оценка состояния воздуха в режиме онлайн, относятся озон, PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, SO₂, CO.

Помимо этого, данные, полученные при проведении мониторинговых исследований, проводимых ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» в Ростове-на-Дону [17] по всем неорганическим загрязнителям, показывают превышение гигиенических нормативов для марганца (1,1 ПДК, среднегодовая концентрация), а общий уровень загрязнения воздуха оценивается как высокий (ИЗА5=11, СИ = 4,8, НП = 12,9%). В Новочеркасске данные по содержанию тяжелых металлов не представлены, однако общий уровень загрязнения воздуха оценивается как очень высокий (ИЗА5=18, СИ = 6,5, НП = 48,4%). Исходя из вышесказанного, указанные города представляют интерес для проведения дальнейших исследований атмосферного воздуха на содержание тяжелых металлов с применением ранее разработанного в ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» метода и сопоставления результатов с данными мониторинговых исследований, получаемыми организациями, контролирующими загрязнение атмосферы в период с 2018 по 2022 г.

Таким образом, **цель** настоящей работы состояла в оценке содержания металлов, в том числе тяжелых, в атмосферном воздухе городов Ростов-на-Дону (2 мониторинговые точки) и Новочеркасск (1 мониторинговая точка).

Данное исследование представляет интерес не только с точки зрения повышения актуальности и эффективности применяемых аналитических методик, но и для дополнительной оценки качества реализуемой в городах экологической политики.

Материалы и методы. Отборы проб атмосферного воздуха проводились в г. Ростов-на-Дону и г. Новочеркасск на трех маршрутных постах (передвижные мониторинговые точки), расположенных в зонах влияния выбросов: маршрутная точка №1 – г. Ростов-на-Дону, ул. Новаторов, 12А, маршрутная точка №2 – г. Ростов-на-Дону, ул. Страна Советов, 20-24, маршрутная точка №3 – Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Свободы, 3. На каждой маршрутной точке отбиралось по 2 пробы одновременно.

Аэрозоли металлов контролировали после их аспирации с использованием мониторов для контроля атмосферы производства Merck Millipore. Технические параметры используемых вспомогательных материалов характеризуются диаметром 37 мм и пористостью 0,8 мкм. Условия отбора выбраны согласно ГОСТ 17.2.3.01-86 «Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов»² и МУК 4.1.3773-22 [12]. Загрязнения фильтров при перевозке к месту анализа удалось избежать благодаря конструкционным особенностям используемых пробоотборных кассет.

После доставки образцов в лабораторию кассеты для отбора проб вскрывались для изъятия фильтров. Извлеченные фильтры немедленно перемещались в контейнеры, предназначенные для микроволнового разложения. Далее проводили минерализацию с 4 см³ азотной кислоты по специальной программе для обработки целлюлозных материалов. После завершения процесса для обесцвечивания растворов применяли пероксид водорода. Прозрачный минерализат переносился в пробирки и разбавлялся деионизированной водой до нужного объема.

Количественный анализ 22 элементов проводился с помощью масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой Agilent 7800 ICP-MS. Определяемые элементы включали Na, Mg, Al, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Ag, Sr, Ba, Tl, Pb, B, In, W и Bi.

Во избежание контаминации фильтров и используемых растворов из атмосферы лабораторного помещения хранение, вскрытие, разбавление проб, приготовление стандартных растворов, помещение в сосуды для минерализации проводилось в комплексе «Чистое рабочее место» [18]. Для минерализации фильтров

² ГОСТ 17.2.3.01-86 «Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов».

использовались коммерческие реактивы квалификации ACS и деионизированная вода I класса чистоты по ГОСТ 52501-2005.

Для обработки полученных данных использовались математико-статистические инструменты, доступные в программе Microsoft Excel.

Результаты. Результаты элементного анализа атмосферного воздуха городов при отборе на фильтры Millipore MF представлены в таблице 1 в виде среднего из двух измерений с учетом относительной погрешности метода.

Таблица. Содержание металлов в атмосферном воздухе, мониторинговые точки № 1, 2, 3

Table. Metal Content in Ambient Air, Monitoring Points No. 1, 2, 3

Определяемые показатели	Результаты измерений/ испытаний, с учетом относительной погрешности метода, мг/м ³ ×10 ⁻³			ПДК ³ (м.р.), мг/м ³	Предел обнаружения, мг/м ³ ×10 ⁻³
	№1: г. Ростов-на-Дону, ул. Новаторов, 12 А	№2: г. Ростов-на-Дону, ул. Страна Советов, 20-24	№3: Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Свободы, 3.		
Натрий	0,58±0,15	Менее 0,1*	0,63±0,16	-	0,1
Магний	Менее 0,06*	0,10± 0,03	Менее 0,06*	-	0,06
Алюминий	1,0±0,3	0,45± 0,11	0,4±0,1	-	0,002
Калий	Менее 1	Менее 1	Менее 1*	-	1
Кальций	1,6±0,4	Менее 1	Менее 1*	0,03	1
Хром	Менее 0,1*	Менее 0,1	Менее 0,1*	-	0,1
Марганец	Менее 0,0005*	0,04± 0,01	0,0006±0,000 1	0,01	0,0005
Железо	1,1± 0,3	Менее 0,9*	1,7± 0,4	-	0,9

³ СанПин 1.2.3685-21. «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

Продолжение таблицы.

Continuation of Table.

Определяемые показатели	Результаты измерений/ испытаний, с учетом относительной погрешности метода, мг/м ³ ×10 ⁻³			ПДК ⁴ (м.р.), мг/м ³	Предел обнаружения, мг/м ³ ×10 ⁻³
	№1: г. Ростов-на-Дону, ул. Новаторов, 12 А	№2: г. Ростов-на-Дону, ул. Страна Советов, 20-24	№3: Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Свободы, 3.		
Кобальт	Менее 0,0004*	Менее 0,0004*	Менее 0,0004*	-	0,0004
Никель	Менее 0,0007*	Менее 0,0007*	Менее 0,0007*	0,002	0,0007
Медь	Менее 0,03*	Менее 0,03*	Менее 0,03*	0,002	0,03
Цинк	Менее 0,5*	Менее 0,5*	Менее 0,5*	-	0,5
Кадмий	Менее 0,0006*	Менее 0,0006*	Менее 0,0006*	0,0003	0,0006
Серебро	0,0030± 0,0008	Менее 0,002*	0,0010± 0,0003	-	0,002
Стронций	0,020± 0,005	0,016±0,004	Менее 0,0003	-	0,0003
Барий	7,5±1,9	Менее 0,04*	0,5± 0,1	0,015	0,04
Таллий	н/о**	н/о**	н/о**	-	-
Свинец	Менее 0,01*	Менее 0,01*	Менее 0,01*	0,001	0,01
Бор	0,020± 0,005	-	-	-	-
Индий	0,20± 0,05	0,010±0,003	0,10± 0,02	-	-
Вольфрам	н/о**	н/о**	н/о**	-	-
Висмут	н/о**	н/о**	н/о**	-	-

* - Предел количественного определения металла в атмосферном воздухе

** - Не обнаружено (менее предела детектирования используемого оборудования)

Обсуждение. При анализе полученных результатов количественного определения металлов в атмосферном воздухе городов Ростов-на-Дону и Новочеркасск превышений ПДК _(м.р.) не обнаружено, что согласуется с опубликованными данными

⁴ СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

[17], позволяющими проследить тенденцию к снижению загрязнения атмосферного воздуха в период с 2018 по 2022 годы.

В период 2022 – 2023 годов для анализа изменений в уровне загрязнения атмосферы использовались данные, сопоставленные с информацией из открытых источников, полученной в ходе мониторинговых исследований качества воздуха в Ростове-на-Дону и Новочеркасске.

Для оценки качества воздуха в Ростове-на-Дону были использованы результаты работы группы мониторинга загрязнения атмосферы комплексной лаборатории мониторинга окружающей среды ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС». В 2022 году данные были собраны на трех типах станций: городские фоновые (станция №55), промышленные в районах, находящихся под влиянием промышленных объектов (станция №52), и автомобильные, расположенные возле крупных дорог или в районах с высокой транспортной активностью (станция №51).

Отбор и количественный анализ проб атмосферного воздуха проводились в соответствии с нормами и рекомендациями РД.52.04.186-89⁵ после отбора на фильтры АФА.

Для прослеживания динамики загрязнения атмосферного воздуха в 2022 – 2023 г. значения, полученные в настоящем исследовании, сравнивали с данными из открытых источников, получаемыми при мониторинговых исследованиях качества атмосферного воздуха в городах Ростов-на-Дону и Новочеркасске.

При сопоставлении данных для Ростова-на-Дону, полученных в ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» и ФГБУ «Северо-Кавказского УГМС», отмечены близкие результаты по содержанию железа и марганца. Концентрация цинка, обнаруженная ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» в 2023 г., в 10 раз превышает показатели, представленные ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» в 2022 г., однако оба значения намного ниже установленного норматива. Помимо указанных элементов, мониторинговые службы г. Ростов-на-Дону в 2022 году фиксировали в воздухе никель, хром, свинец и медь на уровнях выше пределов количественного определения используемого метода, но ниже установленных гигиенических нормативов. По результатам 2023 г., присутствие данных элементов в атмосферном воздухе не обнаружено.

Для определения основных загрязнителей атмосферного воздуха г. Новочеркасска выбраны данные по основным компонентам выбросов [19], в число которых входят

⁵ РД.52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы.

алюминий, железо, марганец, цинк, медь, никель, олово, свинец, пятиокись ванадия, хромовый ангидрид (доминируют медь, цинк, свинец). Однако, как видно из результатов проведенных нами исследований, в атмосферном воздухе выбранной мониторинговой точки отмечают присутствие только алюминия ($0,0004 \pm 0,0001$ мг/м³), железа ($0,0017 \pm 0,004$ мг/м³), марганца ($0,0000006 \pm 0,0000001$ мг/м³), остальные компоненты выбросов не обнаружены.

Результаты исследования свидетельствуют о возможности успешного применения разработанного метода для определения следовых количеств металлов в атмосферном воздухе. Существенным преимуществом предложенного подхода является значительное сокращение продолжительности пробоотбора. Данное обстоятельство имеет принципиальное значение, поскольку традиционные методики, направленные на достижение требуемых пределов количественного определения и минимизацию погрешности пробоотбора, предполагают отбор значительных объемов воздуха (1-2 м³), что затруднительно реализовать в рамках нормативных требований² к времени отбора проб при определении разовых концентраций. В дополнение к вышесказанному неоднократно отмечаемым преимуществом фильтров Millipore-MF, выражающимся в значительно меньшем загрязнении фильтроматериала по сравнению с используемыми на территории РФ фильтрами АФА, является значительное снижение пределов количественного определения метода.

Заключение. Проведены исследования состояния атмосферного воздуха в отношении содержания тяжелых металлов во включенных в список участников Федерального проекта «Чистый воздух» с 01.09.2023 г. городах Ростов-на-Дону и Новочеркасск с использованием разработанного в ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» метода, включающего отбор проб на фильтры Millipore-MF, последующую микроволновую минерализацию и определение методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Полученные результаты показали отсутствие превышений предельно допустимых концентраций в воздушной среде обоих городов. По результатам аналитических исследований, в атмосфере г. Ростова-на-Дону зафиксированы следовые количества натрия, алюминия, кальция, железа, бария, бора, индия, магния, марганца, стронция, также установлено существенное (десятикратное) увеличение концентрации цинка в 2023 г. относительно предшествующего периода наблюдений, однако данные показатели не превысили предельно допустимой концентрации согласно действующим санитарно-гигиеническим нормативам.

Мониторинг атмосферного воздуха г. Новочеркаска позволил идентифицировать присутствие следующих металлов: Al ($0,0004 \pm 0,0001$ мг/м³), Fe ($0,0017 \pm 0,004$ мг/м³) и Mn ($0,0000006 \pm 0,0000001$ мг/м³).

Использование методических подходов с отбором на фильтры Millipore-MF в комбинации с высокочувствительным методом ИСП-МС позволило достичь низких пределов количественного определения анализируемых элементов и оптимизировать временные затраты при полном соответствии нормативным требованиям к процедурам отбора.

Список литературы:

1. WHO – Air Pollution [Электронный ресурс], 2024 [Дата обращения: 12.03.2024]. Доступно по: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_2.
2. Макоско А.А., Матешева А.В. Загрязнение атмосферы и изменение климата. В Кн.: Загрязнение атмосферы и качество жизни населения в XXI веке: угрозы и перспективы. М.: Российская академия наук; 2020. с. 46 – 73.
3. Malathi R., Sellamuthu S., Arundhati R., Swetha R. Monitoring and analyzing the effect of heavy metals in air based on ecological and health risks in Coimbatore. IOP Conference series: Earth and Environmental Science. 2022; 1125(1):012002 : 1 – 11.
4. WHO – Climate change and noncommunicable diseases: connections. [Электронный ресурс], 2024 [Дата обращения: 12.03.2024]. Доступно по: <https://www.who.int/news/item/02-11-2023-climate-change-and-noncommunicable-diseases-connections>.
5. Макоско А.А., Матешева А.В. Повышение качества жизни населения в условиях загрязнения атмосферы и изменения климата на основе экологического риск-менеджмента. В Кн.: Загрязнение атмосферы и качество жизни населения в XXI веке: угрозы и перспективы. М.: Российская академия наук; 2020. с. 177 – 228.
6. Шпакова Р.Н. Региональные и иные проблемы разработки и реализации Федерального проекта «Чистый воздух». Модернизация России: приоритеты, проблемы, решения. 2021; 16., 1: 1129 – 1134.
7. Рекомендации Общественной палаты Российской Федерации по итогам круглого стола на тему «О расширении сроков реализации федерального проекта «Чистый воздух» [Электронный ресурс], 2022 [Дата обращения: 12.03.2024]. Доступно по: <https://files.oprf.ru/storage/documents/rek-chistiy-vozd-17102022.pdf>.
8. Т. А. Шашина, М. В. Егорова, А. В. Воронова. К уточнению оценки среднегодовых концентраций при мониторинговых исследованиях атмосферных загрязнений. Развивая вековые традиции, обеспечивая "Санитарный щит" страны: Материалы XIII Всероссийского съезда гигиенистов, токсикологов и санитарных врачей с международным участием, посвященного 100-летию основания Государственной санитарно-эпидемиологической службы России. 2022: 438-441.
9. Yaman M. Comprehensive comparison of trace metal concentrations in inhaled air samples. В кн.: Khare M. Редактор. Air pollution. Monitoring, modeling, health and control. China: Intech; 2012. с. 2 – 66.
10. Burtseva L.V., Golubeva N.I. Development of quality assurance methods of heavy metal measurements in the atmospheric air and precipitations in the integrated background monitoring system of Roshydromet. Monitoring systems of environment. 2019; 4: 20-26.
11. Родионов А.С., Егорова М.В. Проблематика определения низких концентраций тяжелых металлов в атмосферном воздухе при оценке риска здоровью населения. Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены: Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора, Ростов-на-Дону. 2020: 231-234.

12. МУК 4.1.3773-22 «Измерение массовых концентраций алюминия, сурьмы, хрома, кобальта, меди, железа, свинца, кадмия, магния, марганца, никеля, цинка в атмосферном воздухе методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой». 2022
13. Егорова М.В., Коротков В.В., Родионов А.С., Григорьева Е.В., Гнездилова В.В. Сравнительная оценка качества аэрозольных фильтров для анализа загрязнений атмосферного воздуха. Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. 2021; 29, 8: 33-38.
14. Родионов А.С., Егорова М.В., Федорова Н.Е. Апробация методических подходов определения тяжелых металлов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в атмосферном воздухе промышленного города. Медицина труда и экология человека. 2023; 3(35): 205-222.
15. Общественный совет при Министерстве природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Актуализация федерального проекта «Чистый воздух» Национального проекта «Экология. [Электронный ресурс], 2019 [Дата обращения: 12.03.2024]. Доступно по: http://www.prisp.ru/images/pdf/doklad_chistyi_vozduh_pdfio.pdf.
16. Морина В.А., Юрьева А.А. Мониторинг реализации Федерального проекта «Чистый воздух». Актуальные вопросы современной экономики. 2021; 10: 171 – 183.
17. Коркина Д., Кларк-Карская Ю., Иванова А., Захарова А, Кузин А., Гринштейн И. Чистое рабочее место – комплексное решение проблемы загрязнений проб при проведении следового элементного анализа. Аналитика. 2016; 2:58-68.
18. Правительство Ростовской области. Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области. Экологический вестник Дона: «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2022 году» [Электронный ресурс], 2023 [Дата обращения: 12.03.2024]. Доступно по: <https://www.kalitvaland.ru/upload/iblock/1c3/5ubuta3rhrpjxj16ilxtdgobl7h85a.pdf?ysclid=ltsqrbhshy414453246>
19. Минкина Т. М., Назаренко О. Г., Мотузова Г. В. Групповой состав соединений тяжелых металлов в почвах агроценозов, загрязненных аэрозольными выбросами Новочеркасской ГРЭС. Агрохимия. 2011, № 6: 68-77.

References:

1. WHO – Air Pollution [Internet], 2024 [Cited 12/03/2024]. Available from: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_2.
2. Makosko A.A., Matesheva A.V. Zagryazneniye atmosfery i izmeneniye klimata. In: Zagryazneniye atmosfery i kachestvo zhizni naseleniya v XXI veke: ugrozy i perspektivy. M.: Rossiyskaya akademiya nauk; 2020. p. 46 – 73. (In Russian).
3. Malathi R., Sellamuthu S., Arundhathi R., Swetha R. Monitoring and analyzing the effect of heavy metals in air based on ecological and health risks in Coimbatore. IOP Conference series: Earth and Environmental Science. 2022, 1125(1):012002 : 1 – 11.
4. WHO – Climate change and noncommunicable diseases: connections. [Internet], 2024 [Cited: 12/03/2024]. Available from: <https://www.who.int/news/item/02-11-2023-climate-change-and-noncommunicable-diseases-connections>. (In Russian).
5. Makosko A.A., Matesheva A.V. Povysheniye kachestva zhizni naseleniya v usloviyakh zagryazneniya atmosfery i izmeneniya klimata na osnove ekologicheskogo risk-menedzhmenta. In: Zagryazneniye atmosfery i kachestvo zhizni naseleniya v XXI veke: ugrozy i perspektivy. M.: Rossiyskaya akademiya nauk; 2020. p. 177 – 228. (In Russian).
6. Shpakova R.N. Regional'nyye i inyye problemy razrabotki i realizatsii Federal'nogo proyekta «Chistyy vozdukh». Modernizatsiya Rossii: priority, problemy, resheniya. 2021;16, 1: 1129 – 1134
7. Рекомендации Общественной палаты Российской Федерации по итогам круглого стола на тему «О расширении сроков реализации федерального проекта «Чистый воздух» [Internet], 2022 [Cited: 12/03/2024]. Available from: <https://files.oprf.ru/storage/documents/rek-chistiy-vozd-17102022.pdf>. (In Russian).
8. Т. А. Shashina, М. V. Egorova, А. V. Voronova. К уточнению отсенки среднегодovykh kontsentratsiy pri monitoringovykh issledovaniyakh atmosferykh zagryazneniy. Razvivaya vekovyye traditsii, obespechivaya

«Sanitarnyy shchit» strany: Materialy XIII Vserossiyskogo zvezda gigiyenistov, toksikologov i sanitarnykh vrachey s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennogo 100-letiyu osnovaniya Gosudarstvennoy sanitarno-epidemiologicheskoy sluzhby Rossii. 2022: p. 438-441. (In Russian).

9. Yaman M. Comprehensive comparison of trace metal concentrations in inhaled air samples. In.: Khare M. Editor. Air pollution. Monitoring, modeling, health and control. China: Intech; 2012. p.2 – 66.

10. Burtseva L.V., Golubeva N.I. Development of quality assurance methods of heavy metal measurements in the atmospheric air and precipitations in the integrated background monitoring system of Roshydromet. Monitoring systems of environment. 2019; 4: p. 20-26.

11. Rodionov A.S., Egorova M.V. Problematika opredeleniya nizkikh kontsentratsiy tyazhelykh metallov v atmosfernom vozduke pri otsenke riska zdorov'yu naseleniya. Sovremennyye problemy epidemiologii, mikrobiologii i gigiyeny: Materialy XII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov Rospotrebnadzora, Rostov-na-Donu. 2020: p. 231-234 (In Russian).

12. MUK 4.1.3773-22 «Izmereniye massovykh kontsentratsiy alyuminiya, sur'my, khroma, kobal'ta, medi, zheleza, svintsa, kadmiya, magniya, margantsa, nikelya, tsinka v atmosfernom vozduke metodom mass-spektrometrii s induktivno-svyazannoy plazmoy». 2022 (In Russian).

13. Egorova M.V., Korotkov V.V., Rodionov A.S., Grigor'yeva Ye.V., Gnezdilova V.V. Sravnitel'naya otsenka kachestva aerol'nykh fil'trov dlya analiza zagryazneniy atmosfernogo vozdukh. Zdorov'ye naseleniya i sreda obitaniya - ZNiSO. 2021; 29, 8: p. 33-38 (In Russian).

14. Rodionov A.S., Egorova M.V., Fedorova N.Ye. Aprobatsiya metodicheskikh podkhodov opredeleniya tyazhelykh metallov metodom mass-spektrometrii s induktivno-svyazannoy plazmoy v atmosfernom vozduke promyshlennogo goroda. Meditsina truda i ekologiya cheloveka. 2023; 3(35): p. 205-222 (In Russian).

15. Obshchestvennyy sovet pri ministerstve prirodnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii. Aktualizatsiya federal'nogo proyekta «Chisty y vozdukh» Natsional'nogo proyekta «Ekologiya. [Internet], 2019 [Cited: 12/03/2024]. Available from: http://www.prisp.ru/images/pdf/doklad_chisty_y_vozduh_pdfio.pdf. (In Russian).

16. Morina V.A., Yur'yeva A.A. Monitoring realizatsii federal'nogo proyekta «Chisty y vozdukh». Aktual'nyye voprosy sovremennoy ekonomiki. 2021; 10: p. 171 – 183. (In Russian).

17. Pravitel'stvo Rostovskoy oblasti. Ministerstvo prirodnykh resursov i ekologii Rostovskoy oblasti. Ekologicheskyy vestnik Dona: «O sostoyanii okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov Rostovskoy oblasti v 2022 godu» [Internet], 2023 [Cited: 12/03/2024]. Available from: <https://www.kalitvaland.ru/upload/iblock/1c3/5ubuta3rhrpjxj16ilxtdgobl7h85a.pdf?ysclid=ltsqrbhshy414453246> (In Russian).

18. Korkina D., Clark-Karskaya Yu., Ivanova A., Zakharova A., Kuzin A., Grinshtein I. Chistoye rabocheye mesto – kompleksnoye resheniye problemy zagryazneniy prob pri provedenii sledovogo elementnogo analiza. Analitika. 2016. 2:58-68. (In Russian).

19. Minkina T. M., Nazarenko O. G., Motuzova G. V. Group composition of heavy metal compounds in soils of agrocenoses contaminated with aerosol emissions from Novocherkassk State District Power Plant. Agrochemistry. 2011, No. 6: 68-77. (In Russian).

Поступила/Received: 15.10.2024

Принята в печать/Accepted: 18.11.2024

УДК 556.314

СОДЕРЖАНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

Щучинов Л.В.¹, Кац В.Е.², Вторушина О.О.², Савенко К.С.³, Новикова И.И.¹

¹ ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены», Новосибирск, Россия

² АО «Алтай-Гео», Республика Алтай, Горно-Алтайск, Россия

³ ФГБУН Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения
Российской академии наук, Барнаул, Россия

В связи с развитием высоких технологий в последние годы чрезвычайно востребованными стали редкоземельные элементы (РЗЭ), относящиеся к критически важному сырью. Не случайно Распоряжением Правительства РФ от 11 июля 2024 г. № 1838-р был утвержден новый вариант «Стратегии развития минерально-сырьевой базы до 2050 года». В этом документе указано, что наиболее важные полезные ископаемые, в число которых входят РЗЭ, должны добываться и перерабатываться в России, обеспечивая социально-экономическое развитие страны и поддерживая ее экономическую и энергетическую безопасность. В стратегии также отмечено, что бесценным ресурсом для обеспечения жизнедеятельности населения РФ являются подземные воды. Важность исследований подземных вод на РЗЭ связана с тем, что их присутствие может иметь последствия для здоровья населения. При этом наличие этих элементов в подземных водах обуславливается чаще всего составом водовмещающих пород, но в отдельных случаях свидетельствует об антропогенном загрязнении водоисточников. В Республике Алтай содержание РЗЭ в подземных водах, являющихся основными источниками питьевого водоснабжения, до настоящего времени практически не изучалось.

Цель работы – экологическая оценка общего геохимического фона концентраций растворенных форм РЗЭ в подземных водах Республики Алтай.

Материалы и методы. Проанализированы протоколы лабораторных исследований 162 проб подземных вод. Пробы отбирали в 2013-2024 годах во всех районах Республики Алтай при проведении Государственного мониторинга состояния недр. Исследования на РЗЭ проводились методом масс-спектрометрии в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета. Статистический анализ выполнялся в программе

Statistica 10.0 и Microsoft Excel с использованием параметрических методов, корреляционного и регрессионного анализа. Сравнения двух групп из совокупностей с нормальным распределением проводили с помощью t-критерия Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Результаты. Настоящим исследованием выявлено, что суммарное содержание РЗЭ в подземных водах Республики Алтай составило в среднем $1,38 \text{ мкг/дм}^3$.

Установлено 6 объектов подземных вод, где максимальные суммарные концентрации РЗЭ в 5 и более раз превышали среднюю концентрацию по Республике Алтай. Среди РЗЭ преобладали легкие элементы (71,7-88,5%). В группе ЛРЗЭ доминировали церий ($< 0,0005\text{-}20 \text{ мкг/дм}^3$), неодим ($< 0,0005\text{-}8,2 \text{ мкг/дм}^3$) и лантан ($< 0,0005\text{-}8,1 \text{ мкг/дм}^3$), в группе ТРЗЭ – гадолиний ($0,38\text{-}1,8 \text{ мкг/дм}^3$).

Выявлена закономерность в накоплении РЗЭ в подземных водах Республики Алтай по мере роста уровня минерализации (при увеличении последней свыше $850\text{-}860 \text{ мг/дм}^3$).

Наиболее высокие концентрации РЗЭ отмечались в воде из скважины, находящейся рядом с отходами золотодобывающего предприятия, что указывает на необходимость исследования отработанной руды с целью оценки возможности вторичной переработки для добычи РЗЭ.

Ключевые слова: подземные воды, редкоземельные элементы (РЗЭ), концентрации, мониторинг, горные предприятия, отходы, Республика Алтай.

Для цитирования: Щучинов Л.В., Кац В.Е., Вторушина О.О., Савенко К.С., Новикова И.И. Содержание редкоземельных элементов в подземных водах Республики Алтай. Медицина труда и экология человека. 2024; 4: 69-85.

Для корреспонденции: Щучинов Леонид Васильевич, к.м.н., ведущий научный сотрудник ФБУН «Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены» Роспотребнадзора; e-mail: leo2106@mail.ru.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10405>

RARE EARTH ELEMENTS CONCENTRATIONS IN GROUNDWATER OF THE ALTAI REPUBLIC

Shchuchinov L.V.¹, Kats V.E.², Vtorushina O.O.², Savenko K.S.³, Novikova I.I.¹

¹Novosibirsk Research Institute of Hygiene, Novosibirsk, Russia

²JSC «Altai-Geo», Gorno-Altai, Russia

³Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia

Over the recent years, due to the development of high technologies rare earth elements (REE), which are critical raw materials, have become extremely popular. Not by chance that the Order of the Russian Government of July 11, 2024 No. 1838-r approved a new version of the «Strategy for the Development of the Mineral Resource Base until 2050». This document states that the most important minerals, which include REE, should be mined and processed in Russia, ensuring the socio-economic development of the country and maintaining its economic and energy security. The strategy also notes that groundwater is an invaluable resource for ensuring the life of the population of the Russian Federation. The importance of groundwater research for REE is due to the fact that their presence can have consequences for public health. At the same time, the presence of these elements in groundwater is most often due to the composition of water-bearing rocks, but in some cases it indicates anthropogenic pollution of water sources. In the Altai Republic, the REE concentration in groundwater, which is the main source of drinking water supply, has not been studied to date.

The purpose of the work is an environmental assessment of the general geochemical background of concentrations of REE dissolved forms in groundwater in the Altai Republic.

Materials and methods. Laboratory research protocols for 162 groundwater samples were analyzed. Samples were taken in 2013-2024 in all Altai regions during the State Monitoring of the State of Subsoil. Research on rare earth elements was carried out by mass spectrometry in the problem research laboratory of hydrogeochemistry of Tomsk Polytechnic University. The statistical analysis was performed in Statistica 10.0 system and Microsoft Excel using parametric methods, correlation and regression analyses. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

Results. This study revealed that the REE concentration in groundwater of the Altai Republic averaged $1.38 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. 6 groundwater objects were identified where the maximum total REE concentrations were 5 or more times higher than the average concentration in the Altai Republic. Light REEs predominated (71.7-88.5%). In the LREE

group, cerium ($<0.0005-20 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), neodymium ($<0.0005-8.2 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) and lanthanum ($<0.0005-8.1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) dominated. In the HREE group, gadolinium dominated ($0.38-1.8 \mu\text{g}/\text{dm}^3$). A relationship has been revealed between the REE concentration in groundwater and total mineralization when the latter increases above $850-860 \text{ mg}/\text{dm}^3$.

The highest concentrations of REE were observed in water from a well located next to the waste of a gold mining enterprise, which indicates the possibility of recycling waste ore for REE extraction.

Keywords: groundwater, rare earth elements (REE), concentrations, monitoring, mining enterprises, waste, the Altai Republic.

For citation: Shchuchinov L.V., Kats V.E., Vtorushina O.O., Savenko K.S., Novikova I.I. Rare earth elements concentrations in groundwater of the Altai Republic. Occupational health and human ecology. 2024; 4: 69-85.

Correspondence: Shchuchinov Leonid Vasilievich, Ph.D. in Medicine, Leading Researcher at the Federal Budgetary Institution «Novosibirsk Research Institute of Hygiene» of Rospotrebnadzor; e-mail: leo2106@mail.ru.

Funding: the study had no financial support.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10405>

К РЗЭ относится группа из 17 элементов, включающая скандий (Sc), иттрий (Y), лантан (La) и 14 элементов, следующих за лантаном (лантаноидов) – церий (Ce), празеодим (Pr), неодим (Nd), прометий (Pm), самарий (Sm), европий (Eu), гадолиний (Gd), тербий (Tb), диспрозий (Dy), гольмий (Ho), эрбий (Er), тулий (Tm), иттербий (Yb), лютеций (Lu). Международным союзом теоретической и прикладной химии (International Union of Pure and Applied Chemistry) по атомной массе лантаноиды разделены на легкие (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) и тяжелые (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu). Иногда в группу тяжелых РЗЭ (ТРЗЭ) включают иттрий, а в группу легких (ЛРЗЭ) – скандий [1, 2]. Считается, что легкие РЗЭ более распространены в природе, чем тяжелые.

В последние десятилетия в связи с развитием современных технологий редкоземельные элементы (РЗЭ) стали относить к стратегически важному сырью. РЗЭ и их сплавы используются в мобильных телефонах и компьютерах, аккумуляторных батареях, супермагнитах, сверхпроводниках, солнечных панелях, при изготовлении искусственных алмазов, стекла, керамики [3, 4, 5]. В медицине они задействованы в приборах, а также используются в качестве контрастных веществ

при магнитно-резонансной томографии и для люминесцентных меток при клинической диагностике. Очень широко применяются РЗЭ в космической отрасли, самолетостроении, электротранспорте [5, 6]. Так, в современном автомобиле (гибридном или электромобиле) может содержаться 12-16 килограммов РЗЭ, в морских судах и самолетах – сотни и тысячи килограммов. Активным потребителем РЗЭ является оборонная промышленность, где эти стратегически важные элементы используются при производстве высокоточных вооружений и приборов [7, 8, 9].

В условиях введения западных санкций остро встал вопрос импортозамещения критически важных полезных ископаемых, поэтому 11 июля 2024 г. Распоряжением Правительства РФ № 1838-р была утверждена обновленная «Стратегия развития минерально-сырьевой базы до 2050 года». Наиболее дефицитные (импортируемые) виды полезных ископаемых, в том числе редкоземельные элементы, попали в третью группу. В стратегии указано, что эти стратегически важные элементы должны добываться и перерабатываться в России, обеспечивая социально-экономическое развитие страны и поддерживая ее экономическую и энергетическую безопасность.

Учитывая постоянно растущую потребность в РЗЭ в различных отраслях современной промышленности, добыча их в мире постоянно растет. Вместе с тем растут и отходы производств, где используются РЗЭ, в связи с чем закономерно возникает проблема загрязнения окружающей среды и влияния этих элементов на здоровье человека.

Актуальность исследований подземных вод на РЗЭ связана с тем, что их присутствие может иметь последствия для здоровья населения. При этом наличие редкоземельных металлов в подземных водах обуславливается чаще всего составом водовмещающих пород, а в отдельных случаях свидетельствует об антропогенном загрязнении водоисточников, например, отходами горно-перерабатывающих предприятий. В Республике Алтай, где население использует для питья подземные воды, содержание РЗЭ в них ранее практически не изучалось.

Цель работы – экологическая оценка общего геохимического фона концентраций растворенных форм РЗЭ в подземных водах Республики Алтай.

Материалы и методы. Объектами исследования были подземные воды Республики Алтай. Пробы отбирали в 2013-2024 годах во всех районах Республики Алтай при проведении Государственного мониторинга состояния недр (ГМСН) и изучении родников республики с целью возможного разлива воды. Исследования на РЗЭ

проводились методом масс-спектрометрии (НД на методику НСАМ №480-Х) в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета. Анализ содержания РЗЭ проводили при изучении протоколов лабораторных исследований 162 проб подземных вод, в т.ч. 89 проб из 59 скважин и 73 проб из 59 родников. К группе легких РЗЭ (ЛРЗЭ) относили La-Eu, к группе тяжелых (ТРЗЭ) – Gd-Lu. Отдельно анализировали Sc и Y.

Статистический анализ проводился в программе Statistica 10.0 и Microsoft Excel с использованием параметрических методов, корреляционного и регрессионного анализа. Сравнения двух групп из совокупностей с нормальным распределением выполняли с помощью t-критерия Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Результаты. Настоящим исследованием выявлено, что в 16% проб концентрации РЗЭ были ниже предела обнаружения методики ($< 0,005$ мкг/дм³). В остальных случаях суммарная концентрация РЗЭ в подземных водах республики варьировала от 0,01 мкг/дм³ до 45,44 мкг/дм³, составляя в среднем 1,38 мкг/дм³, в т.ч. в скважинах – 2,18 мкг/дм³ и в родниках – 0,219 мкг/дм³.

Установлено 6 объектов подземных вод, где максимальные суммарные концентрации РЗЭ в 5 и более раз превышали среднюю концентрацию по Республике Алтай:

№1. Наблюдательная скважина около с. Сейка Чойского района глубиной 10 м, находящаяся в 50 м ниже хвостохранилища золотодобывающего предприятия «Рудник Веселый» (ООО «Горно-добывающая компания «Сибирь»). Вода для хозяйственно-питьевого водоснабжения (ХПВ) не используется, скважина является пунктом мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на предприятии;

№2. Трубчатый колодец глубиной 10 м, расположенный в г. Горно-Алтайске на улице Северной, который известен повышениями температуры воды, связанными с энергией сейсмических событий. Колодец с 2004 года является пунктом Государственной наблюдательной сети за подземными водами (ГНП «Северный»). Мониторинг показывает, что косейсмические изменения температуры воды продолжаются до настоящего времени. Вода этого колодца для ХПВ не используется;

№3. Трубчатый колодец в с. Балыкча Улаганского района глубиной 5 м. Примечательно место его нахождения – вблизи зоны падения фрагментов вторых ступеней ракет-носителей (РН) «Протон» и «Протон-М», стартующих с

космодрома Байконур. Вода этого колодца, являющегося наблюдательным пунктом для изучения гидродинамического режима подземных вод, в ХПВ не используется.

№4. Скважина в с. Оро Усть-Канского района глубиной 60 м, используется в ХПВ, действующая, нецентрализованная, водой пользуется 45 человек.

№5. Скважина в с. Элекмонар Чемальского района глубиной 40 м, используется в ХПВ, действующая, централизованная, водой пользуется 473 человека.

№6. Скважина в с. Паспарта Улаганского района глубиной 32 м, используется в ХПВ, действующая, нецентрализованная, водой пользуется 91 человек.

Ниже представлены максимальные концентрации всех редкоземельных металлов, выявленные на перечисленных объектах (табл. 1).

Таблица 1. Максимальные концентрации редкоземельных элементов в водоисточниках, отличающихся их повышенным содержанием

Table 1. Maximum concentrations of rare earth elements in water sources with elevated levels of these elements

П/П	РЗЭ	Максимальные концентрации РЗЭ (мкг/дм ³) в воде на показательных объектах					
		№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	La	8,10	6,3	3,8	3,0	0,85	1,2
2	Ce	20,0	13,0	7,9	6,4	5,6	2,4
3	Pr	2,1	1,6	0,93	0,82	0,280	0,29
4	Nd	8,2	6,7	3,6	3,3	1,4	1,4
5	Pm						
6	Sm	1,7	1,5	0,66	0,68	0,32	0,34
7	Eu	0,4	0,36	0,16	0,16	0,064	0,089
8	Gd	1,8	1,6	0,72	0,67	0,38	0,53
9	Tb	0,25	0,2	0,090	0,11	0,051	0,075
10	Dy	2,3	1,1	0,49	0,53	0,31	0,47

Продолжение таблицы 1.

Continuation of Table 1.

П/П	РЗЭ	Максимальные концентрации РЗЭ (мкг/дм ³) в воде на показательных объектах					
		№1	№2	№3	№4	№5	№6
11	Ho	0,24	0,2	0,093	0,086	0,064	0,12
12	Er	0,65	0,51	0,30	0,25	0,170	0,43
13	Tm	0,09	0,074	0,042	0,035	0,025	0,065
14	Yb	0,53	0,43	0,27	0,19	0,14	0,43
15	Lu	0,081	0,064	0,048	0,029	0,024	0,078
16	Sc	0,14	0,67	2,6	0,81	1,08	2
17	Y	6,6	4,5	1,28	2,6	1,9	5,2

Из таблицы 1 видно, что в воде перечисленных водоисточников обнаружен весь спектр РЗЭ, кроме прометия, который не встречается в естественных условиях из-за отсутствия стабильных изотопов и короткого периода полураспада в окружающей среде [10].

Среди РЗЭ на этих объектах во всех случаях преобладали легкие элементы, доля которых составляла от 71,7 до 88,5% (табл. 2).

Таблица 2. Содержание легких и тяжелых лантаноидов (мкг/ дм³) в аномальных подземных водах Республики Алтай

Table 2. Content of light and heavy lanthanoids ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$) in anomalous groundwater of the Altai Republic

№ объекта	Σ ЛРЗЭ (max)	Σ ЛРЗЭ (%)	Σ ТРЗЭ (max)	Σ ТРЗЭ (%)	Σ РЗЭ (max)
1	40,1	88,3	5,34	11,7	45,44
2	29,1	86,7	4,53	13,3	33,63
3	16,89	88,5	2,21	11,5	19,1
4	14,2	86,4	2,06	12,6	16,26
5	8,45	85,5	1,18	14,5	9,63
6	5,63	71,7	2,28	28,3	7,91

В группе ЛРЗЭ доминировали церий (диапазон его концентраций от минимальной до максимальной составлял $<0,0005-20$ мкг/дм³), неодим ($<0,0005-8,2$ мкг/дм³) и лантан ($<0,0005-8,1$ мкг/дм³), в группе ТРЗЭ – гадолиний (0,38-1,8 мкг/дм³). Кроме того, повышенные концентрации иттрия обнаружены на объектах №1, №2 и №6, то есть в воде скважины с. Сейка (0,015-6,6 мкг/дм³), ГНП «Северный» (3,5-4,5 мкг/дм³) и с. Паспарта (2,0-5,2 мкг/дм³). А повышенные концентрации скандия выявлены на объекте №3 – в воде скважины с. Балыкча (0,17-2,6 мкг/дм³).

При анализе нами была выявлена закономерность в накоплении РЗЭ в подземных водах Республики Алтай по мере роста уровня минерализации. На графике (рис. 1) довольно хорошо читаются два облака данных, со значениями минерализации 850-860 мг/дм³ и свыше 860 мг/дм³.

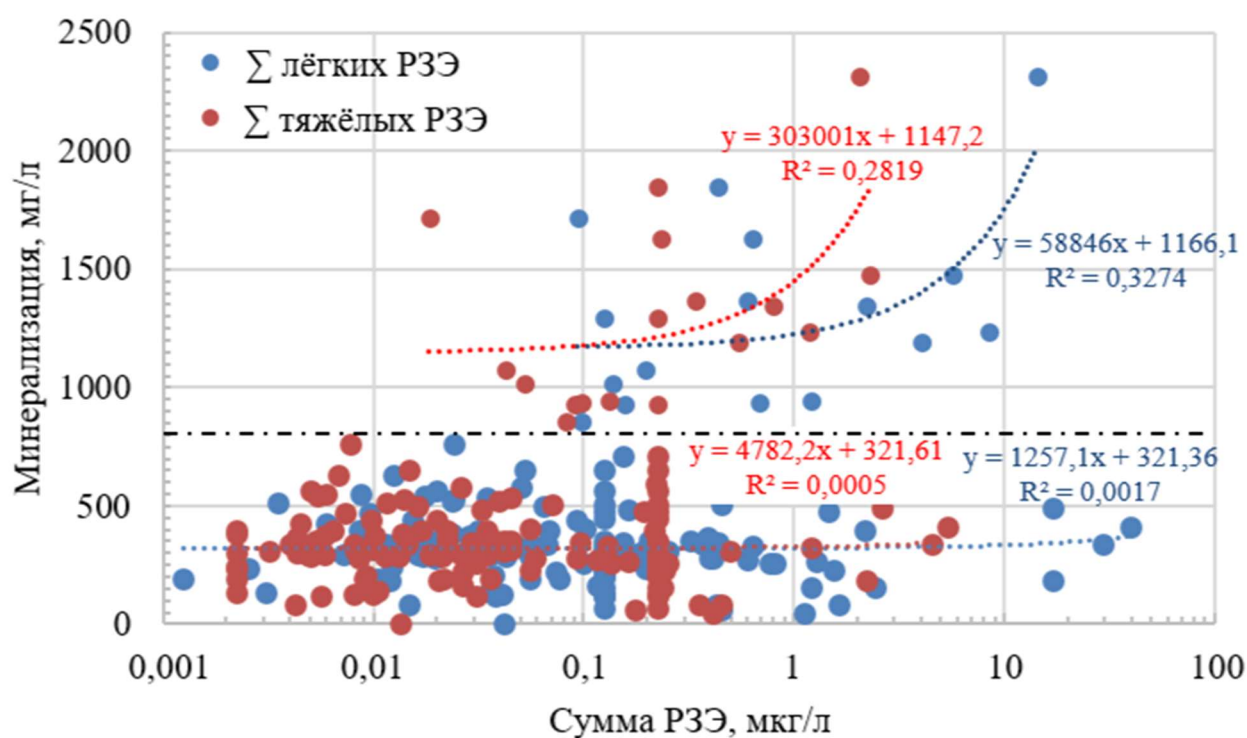


Рисунок 1. Зависимость суммы легких и тяжелых РЗЭ от общей минерализации с уравнениями линейной зависимости и величиной достоверности аппроксимаций

Figure 1. Dependence of the sum of light and heavy rare earth elements (REE) on total mineralization with linear regression equations and the reliability of approximations

В первом случае четкой связи между показателями не наблюдается, что подтверждается низкими значениями коэффициента корреляции ($r_{\text{лег.РЗЭ}} = 0,04$; $r_{\text{тяж.РЗЭ}} = 0,02$, при $n=131$ и уровне значимости $p_{0,05} = 0,21$). Во втором, напротив,

имеет место прямая линейная зависимость ($r_{\text{лег.РЗЭ}} = 0,57$; $r_{\text{тяж.РЗЭ}} = 0,53$, при $n=17$ и $p_{0,05} = 0,48$), когда по мере роста уровней минерализации растет суммарная концентрация тяжелых и легких РЗЭ.

Обсуждение. Исследование показало, что наиболее насыщенной РЗЭ ($\Sigma\text{РЗЭ} = 45,44$ мкг/дм³) является вода из скважины села Сейка, которая находится в 50 м от хвостохранилища действующего Сейкинского золото-колчеданного месторождения. Известно, что добыча золота приводит к высокому уровню загрязнения и обогащению почвы редкоземельными элементами из-за выноса глубоких пород на поверхность [11]. Вода этой скважины, находящейся в непосредственной близости к отходам рудника, свидетельствует о наличии РЗЭ в почве и отвалах.

Второй по содержанию РЗЭ ($\Sigma\text{РЗЭ} = 33,63$ мкг/дм³) был горно-алтайский трубчатый колодец (ГНП «Северный»). Многолетние мониторинговые исследования выявили повышения температуры подземных вод с 7°C до 32°C в этом колодце после землетрясений, которые продолжаются до настоящего времени: так, в 2023 году температура после подземных толчков повышалась до 28,7°C [12]. Учитывая, что изменение температурного режима связано с подъемом глубинных термальных вод во время сейсмических событий, следует предположить, что при сейсмической активации можно ожидать также изменение содержания РЗЭ. Проверка этой гипотезы будет темой нашего следующего исследования.

На третьем месте по уровню РЗЭ ($\Sigma\text{РЗЭ} = 19,1$ мкг/дм³) была вода трубчатого колодца в с. Балыкча. Наличие в ней РЗЭ может быть связано как с естественным фактором (водовмещающими породами), так и с антропогенным фактором, ввиду того, что колодец находится в непосредственной близости от зоны пролетов космических аппаратов и падения вторых ступеней. По данным открытых источников в интернете, всего с 1965 по 2016 гг. было произведено более 380 запусков РН «Протон». Упавшие части космических аппаратов могли содержать РЗЭ и быть причиной загрязнения почвы и подземных вод. В пользу этого вывода говорит самая высокая концентрация скандия из всех исследованных проб. Несмотря на то, что токсическая роль скандия отрицается, этот элемент, чрезвычайно плотный, легкий и термоустойчивый, широко применяется в аэрокосмической области, поэтому нахождение скандия в воде с.Балыкча требует дополнительного исследования.

Подземные воды остальных 3 скважин (в селах Оро, Элекмонар, Паспорта) содержат РЗЭ, наличие которых объясняется геологическими особенностями

территории – содержанием разновозрастных массивов гранитоидного состава. Все эти скважины являются действующими. В целом водой из них пользуется 609 жителей.

Исследования зарубежных ученых показывают, что РЗЭ влияют на здоровье людей. В частности, лантан и лантаноиды в организме животных и человека способны замещать жизненно необходимые кальций и магний, вызывая патологические изменения клеток печени, почек, семенников даже в небольших концентрациях [13, 14]. Также лантан действует на нервную систему, что влечет расстройства памяти и внимания, способствуя ухудшению обучения [15]. При вдыхании пыли с высокими концентрациями лантана может возникнуть фиброз легких [16]. Из-за нарушения обмена кальция и фосфора при воздействии лантана снижается минеральная плотность костей [17].

Среди негативных влияний церия нужно отметить возможность развития пневмокониоза [18], анемии [19], нарушений репродуктивных функций и задержки роста детей [20]. Неодим способен воздействовать на плод, вызывая дефекты нервной трубки [21] и аномалии сердечно-сосудистой системы [22]. Гадолиний накапливается в головном мозге и тканях человека, вызывая их поражение [23, 24]. Описаны также случаи неонатальных смертей, связанные с этим элементом [25]. Действие иттрия на организм человека сходно с действием лантаноидов.

Перечисленные примеры показывают, что необходимо проводить дальнейшие исследования токсического воздействия каждого из РЗЭ на организм человека, а также установить пороги безопасности и ввести нормы содержания РЗЭ в средах, в том числе в питьевой воде. В настоящее время в РФ установлены ориентировочно допустимые уровни только для соединений самария (SmCl_3) – 24 мкг/дм³ и европия (Eu_2O_3) – 300 мкг/дм³ (СанПиН 1.2.3685-21). Во всех исследованных пробах содержание Sm и Eu было ниже допустимых значений.

Выявленная нами закономерность в накоплении РЗЭ в подземных водах Республики Алтай по мере роста минерализации отмечалась и другими исследователями [26, 27], показавшими, что в слабощелочных водах, к каковым можно отнести подземные воды Республики Алтай (где в среднем pH = 7,49), может складываться благоприятная обстановка для водной миграции РЗЭ с образованием их комплексных соединений с карбонатными ионами. В совокупности с продолжительным временем взаимодействия подземных вод с породами, по-видимому, и происходит значительное их обогащение РЗЭ.

По оценкам экспертов, рост добычи РЗЭ в мире составляет 4,4% в год [10], растет и количество устройств, где используются эти элементы, поэтому закономерно возникает проблема загрязнения окружающей среды отходами с РЗЭ, так как редкоземельные металлы могут накапливаться в воде, почве, растениях и в организме животных [28-30].

Снабжение населения чистыми подземными водами является ключевым фактором безопасности и качества жизни каждого человека. Население Республики Алтай составляет 210769 человек. Источниками питьевого водоснабжения в регионе являются только подземные воды: 165243 (78,4%) человека обеспечены централизованным типом водоснабжения, 44566 человек (21,14%) пользуются нецентрализованными источниками водоснабжения, 960 человек (0,46%) обеспечиваются привозной водой (из скважин). На территории Республики Алтай находится 395 скважин, используемых в ХПВ, из которых в наше исследование вошла 51 скважина (35 централизованных, 16 нецентрализованных) остальные 8 скважин были техническими, наблюдательными. В республике насчитывается 6000 родников, мы исследовали воду из 59 родников, пользующихся популярностью у населения. Таким образом, исследование было выборочным – в работу вошли лишь 12,9% действующих скважин. Учитывая выявленное на территории Республики Алтай повышенное содержание РЗЭ в подземных водах, представляется необходимым дальнейшее исследование подземных вод региона, а также изучение влияния питьевой воды с повышенным содержанием РЗЭ на здоровье населения. Необходимо расширить исследования подземных вод на наличие РЗЭ особенно из скважин, находящиеся в населенных пунктах, расположенных вблизи горнодобывающих предприятий (как действующих, так и законсервированных). Отходы этих предприятий должны быть оценены на предмет вторичной переработки для получения РЗЭ. Индикатором наличия РЗЭ в хвостохранилищах может служить не только отработанная руда, но и близлежащие подземные воды.

Заключение. Настоящим исследованием выявлено, что содержание РЗЭ в подземных водах Республики Алтай в целом низкое. В 16% проб подземных вод Республики Алтай концентрации РЗЭ были ниже предела обнаружения, а в остальных 84% проб концентрации лантаноидов составили в среднем 1,38 мкг/дм³, находясь в широком диапазоне – от 0,01 мкг/дм³ до 45,4 мкг/дм³.

Установлено 6 объектов подземных вод, где максимальные суммарные концентрации РЗЭ в 5 и более раз превышали среднюю концентрацию по Республике Алтай. При этом в них преобладали ЛРЗЭ, составляя 71,7-88,5%. Среди

РЗЭ установлены все известные элементы, кроме прометия. В группе ЛРЗЭ преобладали церий ($<0,0005 - 20$ мкг/дм³), неодим ($<0,0005-8,2$ мкг/дм³) и лантан ($<0,0005 - 8,1$ мкг/дм³), в группе ТРЗЭ – гадолиний ($0,38-1,8$ мкг/дм³). Выявлена зависимость между концентрацией РЗЭ и общей минерализацией, при увеличении последней свыше 850-860 мг/дм³.

Наиболее высокие концентрации РЗЭ (Σ РЗЭ = 45,44 мкг/дм³) установлены в воде из скважины, находящейся рядом с хвостохранилищем золотодобывающего предприятия, что требует последующих исследований переработанных руд с целью определения возможности вторичной переработки отходов этого рудника для извлечения РЗЭ.

Необходимо также уточнить вклад в загрязнение воды и почвы РЗЭ упавшими фрагментами вторых ступеней ракет-носителей «Протон» и «Протон-М».

Следует изучить влияние РЗЭ на здоровье населения в населенных пунктах, где в подземных водах обнаружены высокие концентрации РЗЭ (в селах Сейка, Элекмонар, Оро, Паспарта, Балыкча).

Учитывая токсичность РЗЭ, остается проблемой отсутствие нормирования большинства элементов в средах (в том числе в подземных водах).

Необходимо продолжить исследование подземных вод на наличие РЗЭ, так как их нахождение может служить сигналом присутствия этих элементов в водовмещающих породах. Особенный интерес представляют скважины населенных пунктов, расположенных рядом с горными предприятиями, чтобы исключить их загрязнение отходами.

Список литературы:

1. Zhang W., Noble A., Yang X., Honaker R. A comprehensive review of rare earth elements recovery from coal-related materials. *Minerals*. 2020; 10: 451. <https://doi.org/10.3390/min10050451>
2. Soroaga L.V., Amarandei C., Negru A.G., Olariu R.I., Arsene C. Assessment of the Anthropogenic Impact and Distribution of Potentially Toxic and Rare Earth Elements in Lake Sediments from North-Eastern Romania. *Toxics*. 2022; 10: 242. <https://doi.org/10.3390/toxics10050242>.
3. Zhuang M., Zhao J., Li S., Liu D., Wang K., Xiao P., Yu L., Jiang Y., Song J., Zhou J., et al. Concentrations and Health Risk Assessment of Rare Earth Elements in Vegetables from Mining Area in Shandong, China. *Chemosphere*. 2017;168: 578–582. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.023>
4. Zhang J., Wang Z., Wu Q., An Y., Jia H., Shen Y. Anthropogenic Rare Earth Elements: Gadolinium in a Small Catchment in Guizhou Province, Southwest China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019; 16: 4052. <https://doi.org/10.3390/ijerph16204052>

5. Balaram V. Rare Earth Elements: A Review of Applications, Occurrence, Exploration, Analysis, Recycling, and Environmental Impact. *Geosci. Front.* 2019; 10: 1285–1303. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.005>.
6. Drobniaк A., Mastalerz M. Rare Earth Elements – A brief overview. *Indiana J. Earth Sci.* 2022; 4: 33628. <https://doi.org/10.14434/ijes.v4i1.33628>
7. Витязь П., Федосюк В., Янушкевич К. Редкоземельные элементы в производстве и материаловедении. *Наука и инновации.* 2023; (5): 38-43. <http://innosfera.by> | <https://innosfera.belnauka.by>
8. Дегтерева Е.А. Редкоземельные металлы в производственных цепочках военно-промышленного комплекса США. *Вооружение и экономика.* 2012; 3 (19): 85-92.
9. Кондратьев В.Б. Минеральные ресурсы и будущее Арктики. *Горная промышленность.* 2020; 1: 87–96. <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2020-1-87-96>
10. Golroudbary S.R., Makarava I., Kraslawski A., Repo E. Global Environmental Cost of Using Rare Earth Elements in Green Energy Technologies. *Sci. Total Environ.* 2022; 832: 155022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155022>
11. Pereira W.V.D.S., Ramos S.J., Melo L.C.A., Dias Y.N., Martins G.C., Ferreira L.C.G., Fernandes A.R. Human and Environmental Exposure to Rare Earth Elements in Gold Mining Areas in the Northeastern Amazon. *Chemosphere.* 2023; 340: 139824. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139824>
12. Щучинов Л.В., Кац В.Е., Ролдугин В.В., Новикова И.И. Исследование косейсмических геотермических реакций подземных вод Горно-Алтайска в афтершоковый период Чуйского землетрясения (2004-2023 гг.). *Медицина труда и экология человека.* 2024; 39(3): 132-146. DOI: 10.24412/2411-3794-2024-10308
13. Paiva A.V., De Oliveira M. S., Yunes S.N., De Oliveira L.G., Cabral-Neto J.B., and De Almeida C.E. B. Effects of lanthanum on human lymphocytes viability and DNA strand break. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2009; 82: 423-427. <https://doi.org/10.1007/s00128-008-9596-1>
14. Brouziotis A.A., Giarra A., Libralato G., Pagano G., Guida M., Trifuoggi M. Toxicity of rare earth elements: an overview on human health impact. *Front Environ Sci.* 2022; 10: 948041. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.948041>
15. Lin C.H., Liu G.F., Chen J., Chen Y., Lin R.H., He H.X., Chen J.P. Rare-earth Nanoparticle-induced Cytotoxicity on Spatial Cognition Memory of Mouse Brain. *Chin. Med. J.* 2017; 130: 2720-2725. <https://doi.org/10.4103/0366-6999.218024>
16. Censi P., Tamburo E., Speziale S., Zuddas P., Randazzo L.A., Punturo R., Cuttitta A., Aricò P. Yttrium and lanthanides in human lung fluids, probing the exposure to atmospheric fallout. *J. Hazard. Mater.* 2011; 186: 1103-1110. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.11.113>
17. Shankar V.S., Alam A.S., Bax C.M., Bax B.E., Pazianas M., Huang C.L., Zaidi M. Activation and inactivation of the osteoclast Ca²⁺ receptor by the trivalent cation, La³⁺ *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1992; 187: 907–912. [https://doi.org/10.1016/0006-291x\(92\)91283-v](https://doi.org/10.1016/0006-291x(92)91283-v)
18. Gong H., Jr. Uncommon causes of occupational interstitial lung diseases. *Curr. Opin. Pulm. Med.* 1996; 2: 405-411. <https://doi.org/10.1097/00063198-199609000-00010>
19. Gaman L., Delia C.E., Luzardo O.P., Zumbado M., Badea M., Stoian I., Gilca M., Boada L.D., Henríquez-Hernández L.A. Serum concentration of toxic metals and rare earth elements in children and adolescent. *Int. J. Environ. Health Res.* 2020; 30: 696-712. <https://doi.org/10.1080/09603123.2019.1626353>
20. Qin F., Shen T., Li J., Qian J., Zhang J., Zhou G., Tong J. SF-1 mediates reproductive toxicity induced by Cerium oxide nanoparticles in male mice. *J. Nanobiotechnol.* 2019; 17: 41. <https://doi.org/10.1186/s12951-019-0474-2>

21. Wei J., Wang C., Yin S., Pi X., Jin L., Li Z., Liu J., Wang L., Yin C., Ren A. Concentrations of rare earth elements in maternal serum during pregnancy and risk for fetal neural tube defects. *Environ. Int.* 2020; 137: 105542. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105542>
22. Chen Y., Zhu W., Shu F., Fan Y., Yang N., Wu T., Ji L., Xie W., Bade R., Jiang S., et al. Nd203 Nanoparticles Induce Toxicity and Cardiac/Cerebrovascular Abnormality in Zebrafish Embryos via the Apoptosis Pathway. *Int. J. Nanomed.* 2020; 15: 387–400. <https://doi.org/2147/IJN.S220785>
23. Gaman L., Radoi M.P., Delia C.E., Luzardo O.P., Zumbado M., Rodríguez-Hernández Á., et al. Concentration of heavy metals and rare earth elements in patients with brain tumours: Analysis in tumour tissue, non-tumour tissue, and blood. *Int. J. Environ. Health Res.* 2021; 31: 741-754. <https://doi.org/10.1080/09603123.2019.1685079>
24. Gao J., Wang S., Tang G., Wang Z., Wang Y., Wu Q., et al. Inflammation and accompanied disrupted hematopoiesis in adult mouse induced by rare earth element nanoparticles. *Sci. Total Environ.* 2022; 831: 155416. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155416>
25. Ray J.G., Vermeulen M.J., Bharatha A., Montanera W.J., Park A.L. Association Between MRI Exposure During Pregnancy and Fetal and Childhood Outcomes. *JAMA.* 2016; 316: 952–961. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.12126>
26. Гусева Н.В., Копылова Ю.Г., Леушина С.К. Распространенность редкоземельных элементов в природных водах междуречья Юньяхи и Ензорьяхи (восточный склон Полярного Урала). *Вода: химия и экология.* 2012; 12: 121-129.
27. Гусева Н.В., Копылова Ю.Г., Леушина С.К. Распространенность редкоземельных элементов в природных водах Хакасии. *Известия ТПУ.* 2013; 322 (1): 141-146.
28. Jenkins J.A., Musgrove M., White S.J.O. Outlining Potential Biomarkers of Exposure and Effect to Critical Minerals: Nutritionally Essential Trace Elements and the Rare Earth Elements. *Toxics.* 2023; 11: 188. <https://doi.org/10.3390/toxics11020188>
29. Martín-León V., Rubio C., Rodríguez-Hernández Á., Zumbado M., Acosta-Dacal A., Henríquez-Hernández L.A., et al. Evaluation of Essential, Toxic and Potentially Toxic Elements in Leafy Vegetables Grown in the Canary Islands. *Toxics.* 2023; 11: 442. <https://doi.org/10.3390/toxics11050442>
30. Krasavtseva E., Maksimova V., Slukovskaya M., Ivanova T., Mosendz I., Elizarova I. Accumulation and Translocation of Rare Trace Elements in Plants near the Rare Metal Enterprise in the Subarctic. *Toxics.* 2023; 11: 898. <https://doi.org/10.3390/toxics11110898>

References:

1. Zhang W., Noble A., Yang X., Honaker R. A comprehensive review of rare earth elements recovery from coal-related materials. *Minerals.* 2020; 10: 451. <https://doi.org/10.3390/min10050451>
2. Soroaga L.V., Amarandei C., Negru A.G., Olariu R.I., Arsene C. Assessment of the Anthropogenic Impact and Distribution of Potentially Toxic and Rare Earth Elements in Lake Sediments from North-Eastern Romania. *Toxics.* 2022; 10: 242. <https://doi.org/10.3390/toxics10050242>
3. Zhuang M., Zhao J., Li S., Liu D., Wang K., Xiao P., Yu L., Jiang Y., Song J., Zhou J., et al. Concentrations and Health Risk Assessment of Rare Earth Elements in Vegetables from Mining Area in Shandong, China. *Chemosphere.* 2017; 168: 578-582. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.023>
4. Zhang J., Wang Z., Wu Q., An Y., Jia H., Shen Y. Anthropogenic Rare Earth Elements: Gadolinium in a Small Catchment in Guizhou Province, Southwest China. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019; 16: 4052. <https://doi.org/10.3390/ijerph16204052>
5. Balaram V. Rare Earth Elements: A Review of Applications, Occurrence, Exploration, Analysis, Recycling, and Environmental Impact. *Geosci. Front.* 2019; 10:1285-1303. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.005>
6. Drobniak A., Mastalerz M. Rare Earth Elements – A brief overview. *Indiana J. Earth Sci.* 2022; 4: 33628. <https://doi.org/10.14434/ijes.v4i1.33628>

7. Vityaz' P., Fedosyuk V., YAnushkevich K. Rare earth elements in production and materials science: analysis of mining and use. *Nauka i innovacii*. 2023;(5):38-43. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54272682> (In Russ.)
8. Degtereva E.A. Rare-earth metals in production chains of the us military-industrial complex. *Vooruzhenie i ekonomika*. 2012; 3(19): 85-92. (In Russ.)
9. Kondrat'ev V.B. Mineral'nye resursy i budushchee Arktiki. *Gornaya promyshlennost'*. 2020; 1: 87-96. <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2020-1-87-96>
10. Golroudbary S.R., Makarava I., Kraslawski A., Repo E. Global Environmental Cost of Using Rare Earth Elements in Green Energy Technologies. *Sci. Total Environ*. 2022; 832: 155022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155022>
11. Pereira W.V.D.S., Ramos S.J., Melo L.C.A., Dias Y.N., Martins G.C., Ferreira L.C.G., Fernandes A.R. Human and Environmental Exposure to Rare Earth Elements in Gold Mining Areas in the Northeastern Amazon. *Chemosphere*. 2023; 340: 139824. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139824>
12. Shchuchinov L.V., Kats V.E., Roldugin V.V., Novikova I.I. Study of coseismic geothermal reactions of groundwaters in the town of Gorno-Altaiisk during the aftershock period of the chuye earthquake (2004-2023) *Medicina truda i ekologiya cheloveka*. 2024; 3: 132-146. DOI: 10.24412/2411-3794-2024-10308 (In Russ.)
13. Paiva A.V., De Oliveira M.S., Yunes S.N., De Oliveira L.G., Cabral-Neto J.B., De Almeida C.E.B. Effects of lanthanum on human lymphocytes viability and DNA strand break. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*. 2009; 82: 423-427. <https://doi.org/10.1007/s00128-008-9596-1>
14. Brouziotis A.A., Giarra A., Libralato G., Pagano G., Guida M., Trifuoggi M. Toxicity of rare earth elements: an overview on human health impact. *Front Environ Sci*. 2022; 10: 948041. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.948041>
15. Lin C.H., Liu G.F., Chen J., Chen Y., Lin R.H., He H.X., Chen J.P. Rare-earth Nanoparticle-induced Cytotoxicity on Spatial Cognition Memory of Mouse Brain. *Chin. Med. J*. 2017; 130: 2720-2725. <https://doi.org/10.4103/0366-6999.218024>
16. Censi P., Tamburo E., Speziale S., Zuddas P., Randazzo L.A., Punturo R., Cuttitta A., Aricò P. Yttrium and lanthanides in human lung fluids, probing the exposure to atmospheric fallout. *J. Hazard. Mater*. 2011; 186: 1103–1110. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.11.113>
17. Shankar V.S., Alam A.S., Bax C.M., Bax B.E., Pazianas M., Huang C.L., Zaidi M. Activation and inactivation of the osteoclast Ca²⁺ receptor by the trivalent cation, La³⁺ *Biochem. Biophys. Res. Commun*. 1992; 187: 907-912. [https://doi.org/10.1016/0006-291x\(92\)91283-v](https://doi.org/10.1016/0006-291x(92)91283-v)
18. Gong H.Jr. Uncommon causes of occupational interstitial lung diseases. *Curr. Opin. Pulm. Med*. 1996; 2: 405-411. <https://doi.org/10.1097/00063198-199609000-00010>
19. Gaman L., Delia C.E., Luzardo O.P., Zumbado M., Badea M., Stoian I., Gilca M., Boada L.D., Henríquez-Hernández L.A. Serum concentration of toxic metals and rare earth elements in children and adolescent. *Int. J. Environ. Health Res*. 2020; 30: 696-712. <https://doi.org/10.1080/09603123.2019.1626353>
20. Qin F., Shen T., Li J., Qian J., Zhang J., Zhou G., Tong J. SF-1 mediates reproductive toxicity induced by Cerium oxide nanoparticles in male mice. *J. Nanobiotechnol*. 2019; 17: 41. <https://doi.org/10.1186/s12951-019-0474-2>
21. Wei J., Wang C., Yin S., Pi X., Jin L., Li Z., Liu J., Wang L., Yin C., Ren A. Concentrations of rare earth elements in maternal serum during pregnancy and risk for fetal neural tube defects. *Environ. Int*. 2020; 137: 105542. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105542>

22. Chen Y., Zhu W., Shu F., Fan Y., Yang N., Wu T., Ji L., Xie W., Bade R., Jiang S., et al. Nd2O3 Nanoparticles Induce Toxicity and Cardiac/Cerebrovascular Abnormality in Zebrafish Embryos via the Apoptosis Pathway. *Int. J. Nanomed.* 2020; 15: 387–400. <https://doi.org/2147/IJN.S220785>
23. Gaman L., Radoi M.P., Delia C.E., Luzardo O.P., Zumbado M., Rodríguez-Hernández Á., et al. Henríquez-Hernández L.A. Concentration of heavy metals and rare earth elements in patients with brain tumours: Analysis in tumour tissue, non-tumour tissue, and blood. *Int. J. Environ. Health Res.* 2021; 31: 741-754. <https://doi.org/10.1080/09603123.2019.1685079>
24. Gao J., Wang S., Tang G., Wang Z., Wang Y., Wu Q., et al. Inflammation and accompanied disrupted hematopoiesis in adult mouse induced by rare earth element nanoparticles. *Sci. Total Environ.* 2022; 831: 155416. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155416>
25. Ray J.G., Vermeulen M.J., Bharatha A., Montanera W.J., Park A.L. Association Between MRI Exposure During Pregnancy and Fetal and Childhood Outcomes. *JAMA.* 2016; 316: 952-961. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.12126>
26. Guseva N.V., Kopylova Yu.G., Leushina S.K. Dispersal of rare earth elements in natural water of interstream area of the rivers Yun'yakha and enzor'yakha (east hang of the Polar Urals) . *Voda: himiya i ekologiya.* 2012; 12:121-129. (In Russ.)
27. Guseva N.V., Kopylova YU.G., Leushina S.K. Rasprostranennost' redkozemel'nyh elementov v prirodnyh vodah Hakasii. *Izvestiya TPU,* 2013. T.322. №1. S. 141-146. (In Russ.)
28. Jenkins J.A., Musgrove M., White S.J.O. Outlining Potential Biomarkers of Exposure and Effect to Critical Minerals: Nutritionally Essential Trace Elements and the Rare Earth Elements. *Toxics.* 2023; 11: 188. <https://doi.org/10.3390/toxics11020188>
29. Martín-León V., Rubio C., Rodríguez-Hernández Á., Zumbado M., Acosta-Dacal A., Henríquez-Hernández L.A., et al. Evaluation of Essential, Toxic and Potentially Toxic Elements in Leafy Vegetables Grown in the Canary Islands. *Toxics.* 2023; 11: 442. <https://doi.org/10.3390/toxics11050442>
30. Krasavtseva E., Maksimova V., Slukovskaya M., Ivanova T., Mosendz I., Elizarova I. Accumulation and Translocation of Rare Trace Elements in Plants near the Rare Metal Enterprise in the Subarctic. *Toxics.* 2023; 11: 898. <https://doi.org/10.3390/toxics11110898>

Поступила/Received: 18.11.2024

Принята в печать/Accepted: 02.12.2024

УДК 613.22(470.54)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ РАЗНЫХ ФОРМАХ ОРГАНИЗАЦИИ ПИТАНИЯ В ШКОЛАХ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Мажаева Т.В.^{1,2,3}, Сеницына С.В.¹, Козубская В.И.¹

¹ ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора, Екатеринбург, Россия

² ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», Екатеринбург, Россия

³ ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, Екатеринбург, Россия

Для обеспечения качественного и безопасного питания школьников и сохранения их здоровья необходимо выполнение норм физиологической потребности в основных пищевых веществах и энергии, обязательных требований к процессам изготовления пищевой продукции независимо от формы организации питания.

Цель исследования – провести сравнительную оценку качества и безопасности пищевой продукции при различных формах организации питания школьников Свердловской области, проанализировать эффективность профилактических мероприятий.

Материалы и методы. Оценка качества и безопасности продукции проведена по пищевым блокам школ с различными формами организации питания (без привлечения сторонних организаций и с их привлечением) с использованием данных надзорных и профилактических мероприятий, лабораторных испытаний продукции за 2021 - 2022 гг.

Результаты. Удельный вес пищевой продукции, несоответствующей по микробиологическим показателям, при организации питания без привлечения сторонних организаций и с их привлечением отличается незначительно (от 0,7% до 1%). При исследовании готовой продукции максимальный удельный вес несоответствий установленным требованиям приходится на физико-химические показатели (от 9,3% до 14,7%), в большей степени на пищевую ценность (выше у пищевых блоков, организующих питание самостоятельно). Установлен рост неудовлетворительных результатов исследований сырья по микробиологическим и физико-химическим показателям при разных формах организации питания.

Пищевые организации, организующие питание самостоятельно, не уделяют должного внимания фальсификации сырья. Результаты надзорных проверок после профилактических визитов показали, что в 10 из 11 пищевых организаций устранены ранее выявленные нарушения обязательных требований законодательства, но обнаружены новые.

Заключение. Сравнительная оценка показала, что качество и безопасность пищевой продукции при разных формах организации питания отличаются незначительно. Общей проблемой является несоответствие продукции по пищевой ценности. Актуальным является проведение лабораторных испытаний сырья по фальсификации. После профилактических мероприятий не всегда отмечается положительная динамика, что говорит об отсутствии у пищевых организаций системных управленческих мер по всей цепочке производства, приводящих к нарушению обязательных требований законодательства. Полученные результаты могут применяться при проведении профилактических и надзорных мероприятий.

Ключевые слова: качество и безопасность продукции, формы организации питания.

Для цитирования: Мажаева Т.В., Синицына С.В., Козубская В.И. Сравнительная оценка качества и безопасности пищевой продукции при разных формах организации питания в школах Свердловской области. Медицина труда и экология человека. 2024; 4: 86-106.

Для корреспонденции: Мажаева Татьяна Васильевна – к.м.н., ведущий научный сотрудник, заведующий отделом гигиены питания, качества и безопасности продукции ФБУН «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промышленных предприятий» Роспотребнадзора; e-mail: mazhaeva@ymrc.ru.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10406>

COMPARATIVE ASSESSMENT OF FOOD QUALITY AND SAFETY IN SVERDLOVSK REGION
SCHOOLS WITH DIFFERENT TYPES OF CATERING

Mazhaeva T.V.^{1,2,3}, Sinitsyna S.V.¹, Kozubskaya V.I.¹

¹ Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection among Industrial Workers, Yekaterinburg, Russia

² Ural State Economic University, Yekaterinburg, Russia

³ Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

To ensure high-quality and safe school feeding, regardless of the type of catering, and maintain children's health, it is important to comply with physiological needs for basic nutrients and energy and the mandatory requirements for food manufacturing processes.

The purpose of the study was to compare food quality and safety in the Sverdlovsk Region schools with on-site and off-site catering and to analyze the effectiveness of preventive measures.

Materials and methods. Food quality and safety was assessed in schools with both types of catering based on data collected during surveillance and preventive activities and laboratory test results between 2021 and 2022.

Results. For both types of catering, microbiological non-compliances differ slightly (from 0.7 % to 1 %) with an increase of 0.3 % observed. The proportion of samples of cooked food non-compliant with physicochemical standards was the highest (ranging from 9.3 % to 14.7 %), mostly in terms of nutritional value (higher in school kitchens). An increase in the number of unsatisfactory results of microbiological and physicochemical testing of food raw materials has been established for both on-site and off-site catering. School kitchens do not pay due attention to raw food fraud. The results of inspections following preventive visits showed that in 10 out of 11 kitchens, previously identified violations of mandatory legal requirements were eliminated, but new ones were discovered.

Conclusion. Comparative results showed that food quality and safety in schools with on-site and off-site catering differ slightly. Poor nutritional value of meals is a common problem. It is relevant to test food raw materials for authenticity. Positive changes are not always observed following preventive actions, which indicates the lack of systemic quality management along the entire production chain in catering facilities, leading to violations. Our findings can be used in carrying out preventive and surveillance activities.

Keywords: food quality and safety, on-site and off-site catering.

For citation: Mazhaeva T.V., Sinitsyna S.V., Kozubskaya V.I. Comparative assessment of food quality and safety in Sverdlovsk Region schools with different types of catering. *Occupational Medicine and Human Ecology*. 2024; 4: 86-106.

Correspondence: Tatyana V. Mazhaeva, Cand. Sc. (Medicine), Leading Researcher, Head of the Department of Nutrition Hygiene, Food Quality and Safety, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection among Industrial Workers; e-mail: mazhaeva@ymrc.ru.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10406>

Введение. Качественное, полноценное, безопасное школьное питание является обязательным условием и важнейшей составляющей для обеспечения здоровья, а также успеваемости обучающихся [1, 2, 3, 4]. В соответствии с Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации¹, Стратегией повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года², федеральными законами «О качестве и безопасности пищевых продуктов»³ и «Об образовании в Российской Федерации»⁴ государством большое внимание уделяется проблемам школьного питания, особенно в части обеспечения физиологической потребности детей в основных пищевых веществах и энергии. Учитывая интенсивность нагрузок в процессе обучения, рациональное и здоровое школьное питание имеет особое значение и регламентируется санитарными правилами и нормами, а также Федеральным законом «О качестве и безопасности пищевых продуктов»³, в соответствии с которым предусматривается проведение научных исследований в области оценки риска здоровья детей, ассоциированного с питанием [5]. Полноценное питание может зависеть от формы его организации. С каждым годом все больше школ переходят на аутсорсинг, что может быть связано со снижением затрат на содержание пищеблока. При самостоятельной организации питания не всегда достаточно бюджетных средств на комплексное содержание помещений, их ремонт, закупку кухонного оборудования и инвентаря, обучение персонала и др. [6, 7]. При любой форме организации питания приоритетным направлением является обеспечение качества и безопасности пищевой продукции

¹ Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденная Указом Президента РФ от 21.01.2020 № 20

² Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года, утвержденная Распоряжением Правительства РФ от 29.06.2016 N 1364-р

⁴ Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ "Об образовании в Российской Федерации"

с целью снижения риска для здоровья детей. В связи с чем уделяется особое внимание профилактическим мероприятиям, стимулирующим предприятия на соблюдение обязательных требований законодательства [8, 9, 10, 11].

Цель исследования: провести сравнительную оценку качества и безопасности пищевой продукции при разных формах организации питания школьников Свердловской области, проанализировать эффективность профилактических мероприятий.

Материалы и методы. В статье проанализированы данные по качеству и безопасности пищевой продукции по двум формам организации питания школьников Свердловской области: пищеблоку, организующие питание самостоятельно (далее – пищеблоку СОП), и пищеблоку с привлечением сторонних организаций (далее – пищеблоку СПСО), осуществляющих закупку сырья, изготовление и реализацию готовой продукции. Сравнительная оценка качества и безопасности сырья и готовой продукции за 2021 – 2022 гг. проведена по 300 школам, организующим питание с привлечением 41 сторонней организации, и 304 школам, организующим питание самостоятельно. Для анализа использованы данные контрольных (надзорных) мероприятий Управления Роспотребнадзора по Свердловской области (программное средство «Надзорно-информационная система»), а также результаты лабораторных испытаний ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области» (программное средство «Лабораторно-информационная система») по пищеблокам, организующим питание самостоятельно (в 2021 г. – 10730 исследований, в 2022 г. – 10 535), и пищеблокам с привлечением сторонних организаций (в 2021 г. – 8442 исследований, в 2022 г. – 8675). Анализ соответствия готовой пищевой продукции и сырья по показателям качества и безопасности осуществлялся в объеме исследованной и несоответствующей продукции с использованием данных государственного контроля (надзора) и производственного контроля.

Для повышения качества и безопасности питания школьников в 2022 г. в 138 школах разных форм организации питания осуществлялись профилактические визиты с консультированием (далее – профилактические визиты). Для оценки их эффективности проведено сравнение выявленных нарушений при надзорных проверках, результатов лабораторных испытаний до проведения профилактических визитов в 2021 г. и после их проведения в 2022 г. В качестве критериев эффективности рассмотрено снижение нарушений обязательных требований законодательства и неудовлетворительных результатов лабораторных испытаний.

Эффективность профилактических визитов оценена по 11 пищеблокам СПСО, так как в остальных школах после профилактических визитов контрольные (надзорные) мероприятия не проводились.

При анализе использовался сравнительно-аналитический метод, пакет Microsoft Excel и программа IBM SPSS Statistics 20. Статистическая значимость различий средних величин определена по t-критерию Стьюдента.

Результаты. Общее количество исследуемой продукции всеми пищеблоками как в 2021 г., так и в 2022 г. отличается незначительно (19 172 и 19 210 исследований соответственно), при этом пищеблоками СОП больше внимания уделяется лабораторным испытаниям. Сравнительные результаты представлены на рисунке 1.

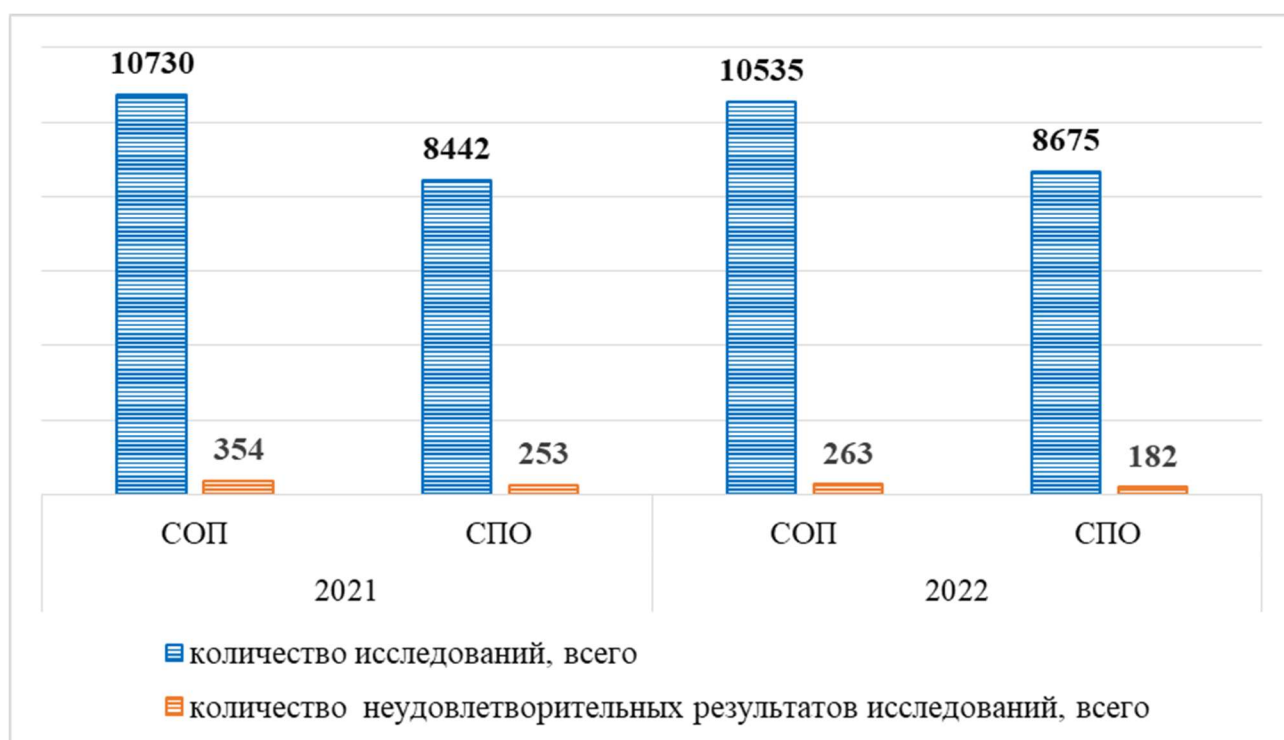


Рисунок 1. Сравнительная оценка количества исследованных проб по пищеблокам СОП и СПСО за 2021 - 2022 гг.

Figure 1. Comparative assessment of the number of samples studied in the catering units of SRC and TPC between 2021 and 2022

Из рисунка 1 следует, что количество исследований пищевой продукции в пищеблоках СОП больше на 12% в 2021 г. и на 9,6% в 2022 г., чем у пищеблоков СПСО.

Из всех проанализированных исследований пищевой продукции несоответствия выявлены в основном по физико-химическим и микробиологическим показателям,

по которым проведена сравнительная оценка при разных формах организации питания (табл. 1 и 2).

Таблица 1. Сравнительная оценка неудовлетворительных результатов исследований продукции по микробиологическим показателям на пищеблоках школ при разных формах организации питания в 2021 - 2022 гг.

Table 1. Comparative assessment of unsatisfactory results of product studies by microbiological indicators in school catering units with different forms of catering between 2021 and 2022

Показатель	2021 год		2022 год	
	СОП	СПСО	СОП	СПСО
Количество исследований по микробиологическим показателям	7959	5178	6796	5604
Удельный вес неудовлетворительных результатов исследований по микробиологическим показателям	0,7	0,7	0,8	1,0
t – критерий Стьюдента	0,87	0,89	0,67	0,66
p – значение	0,38	0,37	0,50	0,50
95% доверительный интервал разности средних (ДИ)	-0,1643	-0,1577	-0,4887	-0,4955
ДИ нижняя граница				
ДИ верхняя граница	0,4264	0,4264	0,2381	0,2381

Неудовлетворительные результаты испытаний продукции по микробиологической безопасности при разных формах организации питания в 2021 г. установлены на одном уровне и составляют 0,7% от всех исследований, а в 2022 г. отмечается незначительный рост их удельного веса ($p > 0,05$). Стоит обратить внимание, что организаторы питания уделяют серьезное внимание микробиологическим показателям, исследования которых превышают более чем в 3 раза физико-химические. Однако наибольший удельный вес неудовлетворительных результатов пищевой продукции приходится на физико-химические показатели, причем в большей степени у пищеблоков СОП.

Таблица 2. Сравнительная оценка неудовлетворительных результатов исследований продукции по физико-химическим показателям на пищеблоках школ при разных формах организации питания в 2021 - 2022 гг.

Table 2. Comparative assessment of unsatisfactory results of product studies by physical and chemical indicators in school catering units with different forms of catering between 2021 and 2022

Показатель	2021 год		2022 год	
	СОП	СПСО	СОП	СПСО
Количество исследований по физико-химическим показателям	2036	1818	1462	1804
Удельный вес неудовлетворительных результатов исследований по физико-химическим показателям	14,7	11,3	11,4	9,3
t – критерий Стьюдента	3,32	3,33	2,57	2,66
p – значение	0,001	0,001	0,01	0,008
95% доверительный интервал разности средних (ДИ)	0,015	0,015	0,0063	0,0069
ДИ нижняя граница				
ДИ верхняя граница	0,059	0,059	0,046	0,046

Таблица 2 показывает, что у пищеблоков СПСО количество проведенных исследований практически не изменилось, а у пищеблоков СОП уменьшилось на 574. Отмечается позитивная тенденция снижения некачественной продукции по данным показателям: у пищеблоков СОП - на 3,3% и пищеблоков СПСО – на 2%. В структуре физико-химических показателей основная часть несоответствий приходится на пищевую ценность, причем в большей степени у пищеблоков СОП (рис. 2).

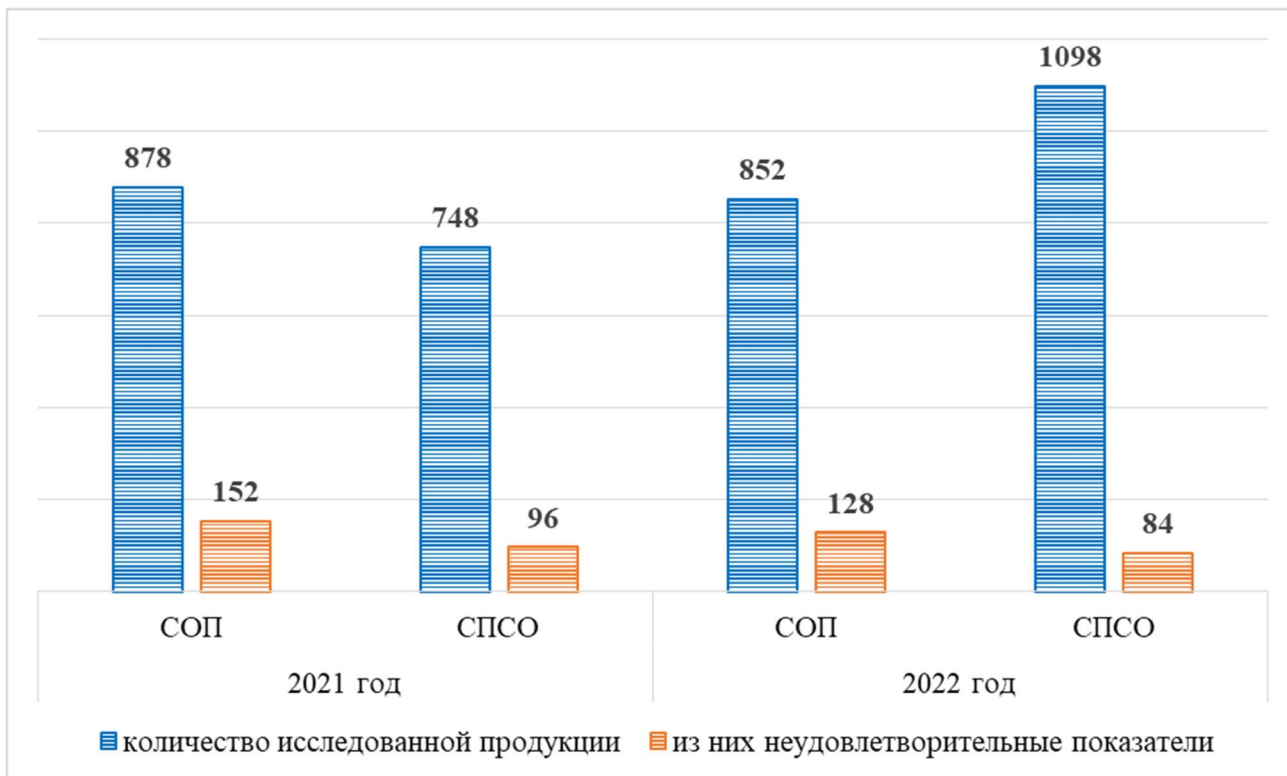


Рисунок 2. Результаты исследований продукции по показателям пищевой ценности, включая витамины и минералы, в школах с разными формами организации питания за 2021 и 2022 гг.

Figure 2. Results of product studies by on nutritional value, including vitamins and minerals, in schools with different forms of catering between 2021 and 2022

Несмотря на меньшее количество исследований продукции за два года (1730) по показателям пищевой ценности пищеблоками СОП, количество неудовлетворительных показателей (280) у них больше по сравнению с пищеблоками СПСО (180). При этом в 2022 г. отмечается незначительное снижение несоответствующей продукции по данным показателям у пищеблоков рассматриваемых форм организации питания (СОП - на 24 показателя, а у СПСО - на 12). Основные несоответствия пищевой ценности готовых блюд установлены по содержанию белков, жиров, углеводов и энергетической ценности (табл. 3).

Таблица 3. Удельный вес неудовлетворительных результатов исследований по содержанию белков, жиров, углеводов и энергетической ценности в пищеблоках с разными формами организации питания в 2021 - 2022 гг.

Table 3. The share of unsatisfactory research results on the content of proteins, fats, carbohydrates and energy value in catering units with different forms of catering between 2021 and 2022

Показатель	Удельный вес неудовлетворительных результатов исследований, %				Средний удельный вес неудовлетворительных результатов исследований, %	
	2021 год		2022 год		2021 и 2022 гг.	
	СОП	СПСО	СОП	СПСО	СОП	СПСО
Белки	13,5	16,5	11,7	8,0	12,6	12,3
Жиры	19,6	16,5	17,3	10,2	18,5	13,4
Углеводы	15,0	9,0	13,6	5,5	14,3	7,3
Энергетическая ценность	14,9	12,4	18,4	7,9	16,7	10,2

Из таблицы 3 следует, что уровень несоответствий по указанным показателям у пищеблоков СОП выше, чем у пищеблоков СПСО, особенно по содержанию жиров, углеводов и энергетической ценности. В целом у пищеблоков с разными формами организации питания наблюдается положительная динамика снижения удельного веса неудовлетворительных испытаний в 2022 году (за исключением показателя «энергетическая ценность» у СОП).

Кроме готовой продукции, проведен анализ результатов исследований сырья, продуктов и полуфабрикатов, используемых для изготовления блюд и изделий (молочная, рыбная, мясная, овощная, масложировая продукция, вода питьевая, соль, яйцо пищевое), по показателям качества и безопасности (микробиологические, физико-химические, гигиенические, органолептические; табл. 4).

Установлено, что в 2022 г. по сравнению с 2021 г. пищеблоки СОП снизили частоту испытаний сырья по показателям качества и безопасности, а пищеблоки СПСО увеличили, при этом наблюдается рост несоответствующей продукции у всех организаторов питания. Большая часть несоответствующей продукции в среднем

за два года приходится на молочную (масло сливочное и сыр), в основном по массовой доле жира (1,8%). Проведена оценка сырья на наличие фальсификации, которая показала, что пищеблоки СОП в 2021 г. исследовали незначительное количество (28 показателей), а в 2022 г. испытания не проводились, чем можно объяснить отсутствие неудовлетворительных результатов. В свою очередь, у пищеблоков СПСО в 2022 г. отмечается рост исследований в 3,2 раза (с 72 до 228) и увеличение выявленной фальсифицированной молочной продукции по жирно-кислотному составу в 3,4 раза.

Таблица 4. Результаты лабораторных испытаний сырья и компонентов, используемых пищеблоками с разными формами организации питания в 2021 - 2022 гг.

Table 4. Results of laboratory tests of raw materials and components used by catering units with different forms of catering between 2021 and 2022.

Показатель	2021 год		2022 год	
	СОП	СПСО	СОП	СПСО
Количество исследованных показателей сырья (всего)	957	381	742	602
Удельный вес неудовлетворительных показателей качества и безопасности от исследуемого сырья (всего, %)	1,3	2,9	2,7	4,5
в т.ч. по микробиологическим показателям	0,7	0	1,1	1,5
в т.ч. по физико-химическим показателям	0,3	2,1	1,1	2,5
Количество исследованных показателей сырья на наличие фальсификации	28	72	0	228
Удельный вес показателей, подтверждающих наличие фальсификации сырья, %	-	1,9	-	6,5

Для оценки эффективности профилактических мероприятий проанализированы соблюдение хозяйствующими субъектами обязательных требований законодательства (СанПиН 2.3/2.4.3590-20⁵, ТР ТС 021/2011⁶) и результаты

5 СанПиН 2.3/2.4.3590-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения» (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 27 октября 2020 года № 32).

6 ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880).

лабораторных исследований на качество и безопасность пищевой продукции (табл. 5).

Таблица 5. Результаты оценки эффективности профилактических визитов по пищеблокам СПСО

Table 5. Results of assessing the effectiveness of preventive visits to food units of the TPC

Школы	Количество нарушенных пунктов СанПиН, ТР ТС		Количество неудовлетворительных показателей продукции		Критерии эффективности профилактических визитов	
	2021	2022	2021	2022	снижение нарушения НД	снижение неудовлетворительных результатов лабораторных испытаний
1	7	1	0	4	1 новое нарушение	4 новых несоответствия по пищевой ценности
2	8	6	0	0	6 новых нарушений	+
3	10	9	2	0	7 новых нарушений	+
4	1	3	0	0	3 новых нарушения	+
5	3	4	3	2	4 новых нарушения	2 новых несоответствия по микробиологическим показателям (устранены 3 несоответствия по пищевой ценности)
6	1	23	0	1	23 новых нарушения	несоответствие по микробиологическим показателям
7	9	5	3	0	5 новых нарушений	+

Продолжение таблицы 5.

Continuation of Table 5.

Школы	Количество нарушенных пунктов СанПиН, ТР ТС		Количество неудовлетворительных показателей продукции		Критерии эффективности профилактических визитов	
	2021	2022	2021	2022	снижение нарушения НД	снижение неудовлетворительных результатов лабораторных испытаний
8	5	1	0	0	1 нарушение не устранено	+
9	10	5	0	0	5 новых нарушений	+
10	3	3	0	0	3 новых нарушения	+
11	0	7	1	3	7 новых нарушений	3 новых несоответствия по показателям химической безопасности (устранено несоответствие по микробиологическим показателям)

Оценка эффективности профилактических визитов по 11 пищеблокам СПСО показала, что при проведении надзорных мероприятий в 2022 г. в 10 пищеблоках школ выявлено устранение нарушений законодательства, но при этом обнаружены новые нарушения. Стоит отметить, что как в 2021 г., так и в 2022 г. чаще выявлялись нарушения обязательных требований СанПиН 2.3/2.4.3590-20 и ТР ТС 021/2011, касающиеся поточности технологических операций изготовления пищевой продукции; содержания инвентаря, оборудования, кухонной и столовой посуды; контроля температуры блюд на раздаче; хранения и маркировки уборочного инвентаря. Данные нарушения способствуют возникновению рисков микробиологического, физического загрязнения пищевой продукции и, как

следствие, рисков пищевых отравлений и инфекционных заболеваний. Также в отдельных пищеблоках нарушались требования к отбору и хранению суточных проб, которые важны для проведения лабораторных исследований, установления причины заболевания, исключения пищевого пути передачи инфекции в случае возникновения массовых инфекционных заболеваний.

В 7 пищеблоках в рамках проведенных лабораторных исследований неудовлетворительные результаты отсутствовали. В четырех пищеблоках отмечали рост числа проб, не соответствующих требованиям преимущественно по микробиологическим показателям и пищевой ценности (молоко питьевое: КМАФАнМ, БГКП; рис с биточком: белки, жиры, энергетическая ценность; каша молочная: *S. aureus*), в одном пищеблоке обнаружено использование воды питьевой бутилированной, не соответствующей гигиеническим требованиям по содержанию натрия, гидрокарбонатов, нитратов. Продукция, не соответствующая по микробиологическим показателям, является наиболее потенциально опасной для потребителей в связи с рисками пищевых токсикоинфекций или отравлений, а нарушение пищевой ценности продукции приводит к неполному обеспечению физиологических потребностей школьников в макро- и микронутриентах.

Обсуждение. Сравнительная оценка организации питания на пищеблоках СОП и СПСО в школах Свердловской области показала, что пищеблоками СОП больше проведено лабораторных исследований и выявлено неудовлетворительных показателей пищевой продукции (за исключением фальсификации). Основная часть несоответствий касается физико-химических (от 9,3% до 14,7%) и микробиологических показателей (от 0,7% до 1%). Удельный вес неудовлетворительных результатов по физико-химическим показателям остается высоким в большей мере у пищеблоков СОП, хотя отмечается его снижение. Основная проблема связана с несоответствием показателей пищевой ценности готовой продукции, причем в большей степени у СОП, особенно по содержанию жиров, углеводов и энергетической ценности. Одной из причин отклонения пищевой ценности готовых блюд от указанной в технологических документах является используемое для их приготовления сырье, которое может оказать влияние не только на качество блюд, но и увеличить риски для здоровья детей. Большая часть несоответствий в среднем за два года приходится на молочную продукцию (масло сливочное и сыр), в основном по массовой доле жира.

Результаты лабораторных испытаний пищевого сырья показали снижение его качества и безопасности. Данная проблема по образовательным учреждениям

отмечается на протяжении нескольких лет в различных регионах Российской Федерации, а также за рубежом, что подтверждается научными статьями [12, 13, 14, 15]. Несоблюдение требований по пищевой ценности может быть связано с высокой вариабельностью фактического содержания жиров, белков, углеводов, витаминов, минеральных веществ в пищевых продуктах и отличием их от справочных показателей [16, 17, 18]. Кроме несоответствия показателей пищевой ценности, на пищеблоках СПСО выявлена фальсифицированная молочная продукция. Пищеблоки СОП практически не уделяют внимание исследованиям на фальсификацию сырья.

С целью снижения риска для здоровья школьников, нормального их развития и роста важно контролировать сырье по показателям пищевой ценности и фальсификации как в рамках контрольных (надзорных) мероприятий, так и производственного контроля, пищеблокам следует проводить работу с поставщиками и правильно оформлять техническую документацию [19, 20, 21]. При закупках сырья в приоритете должны рассматриваться показатели качества и безопасности, что закреплено на законодательном уровне в России [22, 23]. Важную роль качества сырья, используемого при изготовлении блюд на школьных пищеблоках, подчеркивает и мировая практика. Например, принципиальным решением Правительства Финляндии является установление выполнения критериев качества при проведении тендеров при государственных закупках пищевой продукции независимо от формы организации питания школьников (самостоятельные учреждения образования или сторонние организации (аутсорсинг) [24]. В США и Бразилии для обеспечения качественного и рационального питания все школы должны неукоснительно соблюдать рационы питания согласно установленным нормам. Правительство Японии постоянно мониторирует вопросы качества школьного питания, возможные факторы рисков, влияющие на показатели здоровья детей [25].

Для соблюдения обязательных требований к качеству и безопасности пищевой продукции и сохранения здоровья детей необходимо совершенствовать систему организации школьного питания, что актуально не только в Российской Федерации. Так, например, в Республике Беларусь вопросы организации здорового питания учащихся также приоритетны. Нерациональное питание, дисбаланс поступления с пищей макро- и микронутриентов неблагоприятно сказывается на состоянии здоровья учащихся (рост сахарного диабета, ожирения и других заболеваний) и определяет необходимость продолжения работы по улучшению системы питания в школах [26].

На качество и безопасность пищевой продукции влияет соблюдение хозяйствующими субъектами обязательных требований СанПиН 2.3/2.4.3590-20, ТР ТС 021/2011, анализ которых при проведении надзорных проверок после профилактических мероприятий показал, что 99% пищеблоков устранили выявленные нарушения. При этом у 90% предприятий обнаружены новые нарушения законодательства, то есть сохраняется «пассивный» подход к управлению качеством и безопасностью, направленный на устранение несоответствий, выявленных при надзорных мероприятиях. Стоит отметить, что большая часть пищеблоков (64%) изготавливает качественную и безопасную продукцию, а у 36% пищеблоков наблюдается рост несоответствий по микробиологическим и физико-химическим показателям.

Анализ проведенных профилактических визитов на пищеблоках общеобразовательных организаций показал с одной стороны их эффективность, а с другой стороны отсутствие аспекта системности, включающего не только устранение выявленных нарушений, но и недопущение возникновения новых. Поэтому независимо от формы организации школьного питания в системе управления качеством и безопасностью пищевой продукции существенную роль играет квалификация персонала [27, 28, 29]. Важно формирование у персонала понимания рисков при нарушении обязательных требований законодательства, а также расширение взаимодействия контрольных (надзорных) органов с подконтрольными предприятиями (семинары, круглые столы, онлайн-консультирование и др.), проведение методической работы, направленной на повышение квалификации и компетентности персонала (листовки, памятки, видеоролики и др.) и социологических исследований по оценке эффективности профилактических мероприятий (например, анкетирование). Кроме того, должен проводиться ежегодный мониторинг профилактических мероприятий контрольными (надзорными) органами, в рамках которого пересматриваются индикаторы и показатели их эффективности с учетом предыдущих результатов оценки.

Заключение. Сравнительная оценка качества и безопасности пищевой продукции при разных формах организации питания в школах Свердловской области показала:

- пищеблоки СПСО и СОП уделяют серьезное внимание микробиологическим показателям, определяющим безопасность, что подтверждает большое количество исследований и низкий удельный вес несоответствий;

- проблемы с качеством готовой продукции (по физико-химическим показателям) выявлены в большей мере у пищеблоков СОП, в том числе с пищевой ценностью;
- рост несоответствий пищевого сырья по микробиологическим и физико-химическим показателям, как у пищеблоков СПСО, так и СОП;
- рост результатов неудовлетворительных исследований по фальсификации у пищеблоков СПСО и отсутствие испытаний по данному показателю у пищеблоков СОП, что говорит о необходимости усиления лабораторного контроля всеми организаторами питания.

Оценка профилактических мероприятий при организации питания в школах Свердловской области показала сохранение пищеблоками «пассивной» модели управления, ориентированной на устранение нарушений законодательства, выявленных в рамках надзорных мероприятий, и отсутствие системных управленческих решений при изготовлении и реализации продукции. В соответствии со статьей 10 ТР ТС 021/2011 на пищеблоках образовательных организаций необходимо внедрять и поддерживать процедуры, основанные на принципах ХАССП, анализировать риски для потребителя на разных этапах от поступления сырья до раздачи блюд, выделять среди них самые критичные и проводить системную работу по их снижению. Для повышения эффективности профилактических мероприятий одним из механизмов стимулирования обеспечения здорового, рационального, безопасного питания детей можно рассмотреть акцентирование внимания надзорными органами на рисках для здоровья школьников при нарушении обязательных требований законодательства. Полученные результаты могут быть использованы при планировании, проведении профилактических и контрольных (надзорных) мероприятий.

Список литературы:

1. Попова А.Ю., Шевкун И.Г., Яновская Г.В., Новикова И.И. Гигиеническая оценка организации питания школьников в общеобразовательных организациях Российской Федерации //Здоровье населения и среда обитания. 2022; 30(2): 7–12.
2. Тармаева И.Ю., Ханхареев С.С., Богданова О.Г. Оценка питания обучающихся общеобразовательных учреждений различного типа //Гигиена и санитария. 2016; 95(12): 1213–6.
3. Ronto R., Rathi N., Worsley A., Sanders T., Lonsdale C., Wolfenden L. Enablers and barriers to implementation of and compliance with school-based healthy food and beverage policies: A systematic literature review and meta-synthesis. *Public Health Nutrition*. 2020 Oct; 23(15): 2840–55. DOI: 10.1017/S1368980019004865

4. Jeruszka-Bielak M., Górnicka M. Healthy and sustainable school meals –proposal for a new quality index SMI-LE. *Ann Agric Environ Med.* 2024 Mar 25; 31(1): 57–64. DOI: 10.26444/aaem/171610
5. Миндзаева Э.В. Разработка и внедрение системы мониторинга и оценки организации питания в образовательных организациях Российской Федерации как управленческая проблема // *Человек и образование.* 2020; (3(64)):124-30.
6. Старовойтова Н.П., Стукач В.Ф., Александрова Н.В. Школьное питание в системе государственного и муниципального управления региона: организация, инфраструктура, источники финансирования // *Международный научно-исследовательский журнал.* 2021; (5-3(107)): 58–65.
7. Darmody M. A kitchen at the heart of a school – An investigation into school meals in the Republic of Ireland. *Ir Educ Stud.* 2023; 42(2): 165–81. DOI: 10.1080/03323315.2021.1929393
8. Переседов А.М. Принципы административно-правовой превенции в контрольной (надзорной) деятельности // *Административное право и процесс.* Учредители: ООО Издательская группа Юрист. 2021; (10): 44–7.
9. Козубская В.И., Сеницына С.В., Мажаева Т.В. Возможные механизмы мотивации участников оборота пищевой продукции в ее качестве и безопасности // *Индустрия питания/ Food Industry.* 2019; 4(1): 63–71.
10. Смирнова Е.Н. О некоторых вопросах совершенствования законодательства Российской Федерации, о комплексной профилактике нарушений обязательных требований при осуществлении государственного контроля (надзора) // *Юридическая наука.* 2019; (8): 106–9.
11. Зырянов С.М., Калмыкова А.В. Подходы к оценке эффективности деятельности контрольно-надзорных органов по предупреждению нарушений обязательных требований // *Вопросы государственного и муниципального управления.* 2019; (3): 31–66.
12. Кучма В.Р., Горелова Ж.Ю. Международный опыт организации школьного питания // *Вопросы современной педиатрии.* 2008; 7(2): 14–21.
13. Matela H., Panchal P., Yadav S.S., Muley A., Medithi S., Menon K. A critical comparison of the Indian school food and nutrition guidelines with the WHO–nutrition friendly school initiative and the review of existing implementation scenario. *Nutr Health.* 2023 Mar; 29(1): 47–59. DOI: 10.1177/02601060221105734
14. Горелова Ж.Ю., Соловьева Ю.В., Летучая Т.А. Особенности пищевых предпочтений школьников при выборе альтернативного питания для профилактики алиментарно-зависимых заболеваний // *Медицинский алфавит.* 2021; (21): 38-40.
15. Потапкина Е.П., Мажаева Т.В., Носова И.А., Козубская В.И., Сеницына С.В., Дубенко С.Э. Система управления рисками в организации питания детей в муниципальных образовательных учреждениях // *Здоровье населения и среда обитания.* 2022; 30(9): 59–66.
16. Рождественская Л.Н. Организация питания в общеобразовательных учреждениях: проблемы и пути решения // *Мир экономики и управления.* 2013; 13(2): 84–94.
17. Суплотова Л.А., Герасимов Г.А., Трошина Е.А., Макарова О.Б., Денисов П.М., Зайдулина А.С. и соавт. Оценка потребления йода с йодированной солью в организованном питании детей дошкольного и школьного возраста в Тюменской области // *Вопросы питания.* 2023; (4(548)): 29–37.
18. Ульданова Д.С., Жалсапова Д.З., Чеканенко И.А., Старновская А.С., Шемышевская М.Ж. Реализация федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография» в Забайкальском крае в 2022-2023 гг. // *Ф94 Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения – 2023: материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием/под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2023: 89–96.*

19. Андреев А.В., Фирсова А.П., Соломинова А.Р. Фальсификация качества молока и молочной продукции как ключевая угроза продовольственной безопасности страны //Международный научно-практический электронный журнал «Агропродовольственная экономика», Нижний Новгород: НОО «Профессиональная наука». 2022; (5): 32–42.
20. Choudhary A., Gupta N., Hameed F., Choton S. An overview of food adulteration: Concept, sources, impact, challenges and detection. *Int J Chem Stud.* 2020; 8(1): 2564–73. DOI: 10.22271/chemi.2020.v8.i1am.8655
21. Потапкина Е.П., Мажаева Т.В., Сеницына С.В., Козубская В.И., Чугунова О.В., Гращенков Д.В. Интегрированный подход к обеспечению качественного, безопасного и здорового питания школьников //Индустрия питания/Food Industry. 2024; 9(1): 91–103.
22. Балыхин М.Г., Лисицын А.Б., Эдварс Р.А., Щетинин М.П., Дыдыкин А.С., Деревицкая О.К. и соавт. Развитие системы школьного питания в рамках реализации Федерального закона № 47-ФЗ //Хранение и переработка сельхозсырья. 2022; (1): 194–211.
23. Юрова А.С., Чемисова Л.Э. Необходимость определения точек контроля при оценке качества и безопасности пищевой продукции в сфере общественного питания //Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020; (61(1)): 182–97.
24. Масанский С.Л. Программы школьного питания как конвергентный опыт: Опыт Финляндии (обзор) //Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. 2021; (2(31)): 3–31.
25. Ураимова А.А., Касымова Р.О., Касымов О.Т. Мировая практика - опыт решения проблем организации школьного питания (обзор) //Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2020; (7): 70–8.
26. Гузик Е.О. Организация школьного питания в Республике Беларусь //Здоровье населения и среда обитания. 2022; 30(10): 92–100.
27. Sauer K., Roberts K., Paez P., Cole K., Shanklin C. Food defense practices in school nutrition programs. *J Child Nutr Manag.* 2021; 45(1). Accessed June 21, 2024. <https://schoolnutrition.org/journal/spring-2021-food-defense-practices-in-school-nutrition-programs/#full-article>
28. Kamboj S., Gupta N., Bandral J.D., Gandotra G., Anjum N. Food safety and hygiene: A review. *Int J Chem Stud.* 2020; 8(2): 358–68. DOI: 10.22271/chemi.2020.v8.i2f.8794
29. Awuchi C.G. HACCP, quality, and food safety management in food and agricultural systems. *Cogent Food Agric.* 2023; 9(1): 2176280. DOI: 10.1080/23311932.2023.2176280.

References:

1. Popova A.Yu., Shevkun I.G., Yanovskaya G.V., Novikova I.I. Hygienic assessment of organizing school nutrition in the Russian Federation. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya.* 2022; 30(2): 7–12. (In Russ). DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-2-7-12
2. Tarmaeva I.Yu., Khankhareev S.S., Bogdanova O.G. Assessment of nutrition of different educational institutions students. *Gigiena i sanitariya.* 2016; 95(12): 1213–6. (In Russ.) DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1213-1216
3. Ronto R., Rathi N., Worsley A., Sanders T., Lonsdale C., Wolfenden L. Enablers and barriers to implementation of and compliance with school-based healthy food and beverage policies: A systematic literature review and meta-synthesis. *Public Health Nutrition.* 2020 Oct; 23(15): 2840–55. DOI: 10.1017/S1368980019004865
4. Jeruszka-Bielak M., Górnicka M. Healthy and sustainable school meals –proposal for a new quality index SMI-LE. *Ann Agric Environ Med.* 2024 Mar 25; 31(1): 57–64. DOI: 10.26444/aaem/171610
5. Mindzaeva E.V. Development and implementation of monitoring and evaluation system of catering in educational organizations of the Russian Federation as a management problem. *Chelovek i obrazovanie.* 2020; (3(64)): 124–30. (In Russ). DOI: 10.54884/S181570410020903-8

6. Starovoytova N.P., Stukach V.F., Aleksandrova N.V. School meals in the system of state and municipal administration of a region: organization, infrastructure, sources of funding. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2021; (5-3(107)): 58–65. (In Russ). DOI: 10.23670/IRJ.2021.107.5.076
7. Darmody M. A kitchen at the heart of a school – An investigation into school meals in the Republic of Ireland. *Ir Educ Stud*. 2023; 42(2): 165–81. DOI: 10.1080/03323315.2021.1929393
8. Peresedov A.M. Principles of administrative law prevention in control (supervisory) activities. *Administrativnoe pravo i protsess*. 2021; (10): 44–7. (In Russ). DOI: 10.18572/2071-1166-2021-10-44-47
9. Kozubskaya V.I., Sinitsyna S.V., Mazhaeva T.V. Possible motivation mechanisms in the quality and safety for the food turnover participants. *Industriya pitaniya*. 2019; 4(1): 63–71. (In Russ).
10. Smirnova E.N. On some issues of improving the legislation of the Russian Federation on the comprehensive prevention of violations of mandatory requirements in the implementation of state control (supervision). *Yuridicheskaya nauka*. 2019; (8): 106–9. (In Russ).
11. Zyryanov S.M., Kalmykova A.V. Approaches to assessing the effectiveness of state control bodies (surveillance) to prevent violations of mandatory requirements. *Voprosy gosudarstvennogo i munitsipal'nogo upravleniya*. 2019; (3): 31–66. (In Russ).
12. Kuchma V.R., Gorelova Zh.Y. International experience of organizing school nutrition. *Voprosy sovremennoy pediatrii*. 2008; 7(2): 14–21. (In Russ).
13. Matela H., Panchal P., Yadav S.S., Muley A., Medithi S., Menon K. A critical comparison of the Indian school food and nutrition guidelines with the WHO–nutrition friendly school initiative and the review of existing implementation scenario. *Nutr Health*. 2023 Mar; 29(1): 47–59. DOI: 10.1177/02601060221105734
14. Gorelova Zh.Yu., Solovyova Ju.V., Letuchaya T.A. Features of food preferences of schoolchildren when choosing alternative diet for prevention of alimentary-dependent diseases. *Meditsinskiy alfavit*. 2021; (21): 38–40. (In Russ). DOI: 10.33667/2078-5631-2021-21-38-40
15. Potapkina E.P., Mazhaeva T.V., Nosova I.A., Kozubskaya V.I., Sinitsyna S.V., Dubenko S.E. Risk management system in municipal school catering. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2022; 30(9): 59–66. (In Russ). DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-9-59-66
16. Rozhdestvenskaya L.N. Catering in educational institutions: Problems and solutions. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sotsial'no-ekonomicheskie nauki*. 2013; 13(2): 84–94. (In Russ).
17. Suplotova L.A., Gerasimov G.A., Troshina E.A., Makarova O.B., Denisov P.M., Zaidulina A.S., et al. Assessing of iodine consumption with iodized salt in organized nutrition of children of preschool and school age in the Tyumen region. *Voprosy pitaniya*. 2023; (4(548)): 29–37. (In Russ). DOI: 10.33029/0042-8833-2023-92-4-29-37
18. Uldanova D.S., Zhalsapova D.Z., Semenshchikova V.Yu., Starnovskaya A.S., Shemyshevskaya M.Zh. Realizatsiya federal'nogo proyekta "Ukrepleniye obshchestvennogo zdorov'ya" natsional'nogo proyekta "Demografiya" v Zabaykal'skom kraye v 2022–2023 gg. [Implementation of the Federal Project on Public Health Strengthening within the National Demography Project in the Zabaykalsky Krai in 2022–2023.] In: Popova A.Yu., Zaitseva N.V., eds. *Fundamental and Applied Aspects of Health Risk Analysis – 2023: Proceedings of the Russian scientific and practical Internet conference of young scientists and Rospotrebnadzor specialists with international participation, Perm, October 11–13, 2023*. Perm: Perm. nats. issled. polytechn. un-t Publ.; 2023: 89–96. (In Russ). Accessed June 21, 2024. https://fcrisk.ru/sites/default/files/upload/conference/2542/fcrisk_conf_2023-10_materials.pdf
19. Andreev A.V., Firsova A.P., Solominova A.R. Falsification of the quality of milk and dairy products, a key threat to the country's food security. *Agroprodovol'stvennaya ekonomika*. 2022; (5): 32–42. (In Russ). DOI: 10.54092/24122521_2022_5_32

20. Choudhary A., Gupta N., Hameed F., Choton S. An overview of food adulteration: Concept, sources, impact, challenges and detection. *Int J Chem Stud.* 2020; 8(1): 2564–73. DOI: 10.22271/chemi.2020.v8.i1am.8655
21. Potapkina E.P., Mazhaeva T.V., Sinitsyna S.V., Kozubskaya V.I., Chugunova O.V., Grashchenkov D.V. An integrated approach to the high-quality, safe and healthy nutrition provision for schoolchildren. *Industriya pitaniya.* 2024; 9(1): 91–103. (In Russ). DOI: 10.29141/2500-1922-2024-9-1-10
22. Balykhin M.G., Lisitsyn A.B., Edvars R.A., Shchetinin M.P., Dydykin A.S., Derevitskaya O.K., et al. Development of the school feeding system as part of the implementation of the 47-th Federal Law. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya.* 2022; (1): 194–211. (In Russ). DOI: 10.36107/spfp.2022.230
23. Yurova A.S., Chemisova L.E. The need to determine the control points when assessing the quality and safety of food products in canteen feeding. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii.* 2020; (61(1)): 182–97. (In Russ). DOI: 10.30679/2219-5335-2020-1-61-182-197
24. Masansky S.L. School feeding programs as a convergent experience: experience of Finland (overview). *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta pishchevykh i khimicheskikh tekhnologiy.* 2021; (2(31)): 3–31. (In Russ).
25. Uraimova A.A., Kasymova R.O., Kasymov O.T. World practice – experience in solving problems of the organization of school feeding (review). *Nauka, novye tekhnologii i innovatsii Kyrgyzstana.* 2020; (7): 70–8. (In Russ). DOI: 10.26104/NNTIK.2019.45.557
26. Guzik E.O. School feeding in the Republic of Belarus. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya.* 2022; 30(10): 92–100. (In Russ). DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-10-92-100
27. Sauer K., Roberts K., Paez P., Cole K., Shanklin C. Food defense practices in school nutrition programs. *J Child Nutr Manag.* 2021; 45(1). Accessed June 21, 2024. <https://schoolnutrition.org/journal/spring-2021-food-defense-practices-in-school-nutrition-programs/#full-article>
28. Kamboj S., Gupta N., Bandral J.D., Gandotra G., Anjum N. Food safety and hygiene: A review. *Int J Chem Stud.* 2020; 8(2): 358–68. DOI: 10.22271/chemi.2020.v8.i2f.8794
29. Awuchi C.G. HACCP, quality, and food safety management in food and agricultural systems. *Cogent Food Agric.* 2023; 9(1): 2176280. DOI: 10.1080/23311932.2023.2176280

Поступила/Received: 26.06.2024

Принята в печать/Accepted: 17.09.2024

УДК 614.2 (470.57)

**РОЛЬ СЕМАШКО Н. А. В СТАНОВЛЕНИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ БАССР.
ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ (к 150-летию со дня рождения)**

Рахматуллин Н.Р.

ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», Уфа, Россия



В связи с исполняющейся в этом году 150-й годовщиной со дня рождения выдающегося организатора здравоохранения академика Н.А. Семашко распоряжением Правительства РФ от 31 июля 2024 г. № 2035-р образован оргкомитет под председательством заместителя Председателя Правительства РФ Голиковой Т.А. и утвержден план мероприятий по подготовке и проведению празднования данного события в масштабе всей страны, в том числе ФБУН «Уфимский НИИ МТ и ЭЧ» [1, 2].

Биография и деятельность Н.А. Семашко довольно хорошо и подробно изучены отечественными исследователями, но некоторые этапы его жизни освещены все еще не полностью. Советский период в истории нашей страны и республики охватывает сравнительно небольшой период времени (1917–1991 гг.). Однако произошедшие за эти годы значительные преобразования в социально-

экономических отношениях, развитии науки и здравоохранения не имеют себе равных в предшествовавшем и дальнейшем развитии человечества.

Основным принципом политики нашего государства была и остается забота о человеке труда и охрана его здоровья. Ярким доказательством этого является создание в стране и Башкирской АССР после Великой Октябрьской социалистической революции новой системы здравоохранения [3, 4]. Ее основные особенности: общедоступность, бесплатность и профилактическая направленность [5, 6]. Самые первые результаты исследований по развитию здравоохранения и медицинской науки в БАССР были доложены, обсуждены и опубликованы на I и II Всероссийских съездах историков медицины (гг. Кишинев, 1973 и Ташкент, 1980) [5, 6].

В связи с вышеизложенным личность Семашко Н.А. как талантливого организатора здравоохранения, поставившего на первое место профилактическую медицину и гигиеническую науку, представлял несомненный интерес для своего времени и продолжает быть актуальным и для нынешних поколений. В жизни и профессии его окружали единомышленники и мудрые учителя, которые сыграли важную роль в становлении личности первого народного комиссара здравоохранения РСФСР. Его учителями и преподавателями в свое время были И.М. Сеченов, Н.В. Склифосовский, Ф.Ф. Эрисман и др. корифеи отечественной медицины [7, 8].

Ключевые слова: Семашко Николай Александрович, становление здравоохранения, Башкирская Автономная Советская Социалистическая Республика.

Для цитирования: Рахматуллин Н.Р. Роль Семашко Н. А. в становлении здравоохранения БАССР. Обзор литературы (к 150-летию со дня рождения). Медицина труда и экология человека. 2024; 4: 107-119.

Для корреспонденции: Рахматуллин Наиль Равилович, кандидат медицинских наук, доцент, старший научный сотрудник отдела комплексных проблем гигиены и экологии человека ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», e-mail: rnrnii@mail.ru.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10407>

THE CONTRIBUTION OF NIKOLAY SEMASHKO TO THE FORMATION OF THE HEALTH CARE SYSTEM IN THE BASSR. LITERATURE REVIEW
(to the 150th anniversary)

Rakhmatullin N.R.

¹ Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia

In connection with the 150th anniversary of the birth of Academician Nikolay A. Semashko, the outstanding healthcare organizer, which is celebrated this year, an organizing committee was formed under the chairmanship of Deputy Chairman of the Russian Government T.A. Golikova according to order of the Russian Government of July 31, 2024 No. 2035-r. An action plan was approved for the preparation and holding of the event on a national scale, including the Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology [1, 2]. The biography and activities of N.A. Semashko has been studied quite well and in detail by domestic researchers, but some stages of his life are still not fully covered. The Soviet period in the history of this country and republic covers a relatively short period of time (1917 - 1991). However, the significant transformations that have occurred over these years in socio-economic relations, the development of science and healthcare are unparalleled in the previous and further development of mankind.

The main principle of our state's policy has been and remains concern for the working people and the protection of their health. A clear proof of this is the creation of a new healthcare system in the country and the Bashkirian Autonomous Soviet Socialist Republic after the Great October Socialist Revolution [3, 4]. Its main features: general availability, free of charge and preventive orientation [5, 6]. The very first results of research on the development of healthcare and medical science in the BASSR were reported, discussed and published at the I and II All-Russian Congresses of Medical Historians (Kishinev, 1973 and Tashkent, 1980) [5, 6].

In view of the above, the personality of N. A. Semashko, as a talented health care organizer who put preventive medicine and hygienic science in the first place, was of undoubted interest for his time and continues to be relevant for current generations. In life and profession, he was surrounded by like-minded people and wise teachers who played an important role in the development of the personality of the first People's Commissar of Health of the RSFSR. His teachers and lecturers at one time were I.M. Sechenov, N.V. Sklifosovsky, F.F. Erisman and others are luminaries of Russian medicine [7, 8].

Keywords: Semashko Nikolay Aleksandrovich, formation of healthcare, Bashkirian Autonomous Soviet Socialist Republic.

For citation: Rakhmatullin N.R. The contribution of Nikolay A. Semashko N.A. to the formation of the healthcare system in the BASSR. Literature review (to the 150th anniversary). Occupational medicine and human ecology. 2024; 4: 107-119.

Correspondence: Nail R. Rakhmatullin, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor, Senior Researcher at the Department of Complex Problems of Hygiene and Human Ecology of the Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, e-mail: rnrnii@mail.ru.

Funding: The study had no financial support.

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

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10407>

Семашко Николай Александрович (26.09.1874 – 18.05.1949) - видный партийный и государственный деятель, первый народный комиссар здравоохранения РСФСР, выдающийся теоретик и организатор советского здравоохранения, академик Академии медицинских наук (1944) и Академии педагогических наук РСФСР (1945).

Сто пятьдесят лет назад, в сентябре 1874 года, в Орловской губернии (сейчас территория Липецкой области) в семье учителя гимназии родился Николай Александрович Семашко. В 1891 году окончил Елецкую мужскую гимназию и поступил на медицинский факультет Московского университета. Он вошел в историю страны как один из первых основоположников и создателей системы советского и российского здравоохранения.

Свою трудовую деятельность Семашко Н.А. начал в 1901 году в Самарской губернии. После этого три года работал земским врачом в Орловской губернии, а затем – в Нижнем Новгороде. Он уже тогда преподавал на организованных земством курсах для санитаров и проводил исследования по выявлению и профилактике распространения инфекционных заболеваний среди населения. Революция в феврале 1905 года закончилась для него арестом и 10-месячным тюремным заключением, а затем десятилетней эмиграцией во Францию, Швейцарию и Сербию. В Россию вернулся в 1917 году и начал активное участие в медицинском обустройстве страны, выступив с идеей о создании государственной системы здравоохранения. Сначала он возглавил медико-санитарный отдел Московского Совета, а в июле 1918 года стал первым наркомом здравоохранения

РСФСР. С первых дней Советской власти и до конца своей жизни Николай Александрович был вдохновителем и организатором профилактической направленности советского здравоохранения.

Под руководством и при личном участии первого наркома здравоохранения страны проводилась работа по борьбе с эпидемиями, были созданы системы охраны материнства, младенчества, здоровья детей и подростков. Семашко также способствовал созданию сети научно-исследовательских и медицинских институтов. Он возглавлял нарком здравоохранения РСФСР на протяжении почти 12 лет в очень тяжелые для страны годы, когда формировались будущие союзные и автономные республики, шла гражданская война и в стране бушевали эпидемии. Семашко принимал участие в разработке противоэпидемических программ. При нем активно развивалось санаторно-курортное направление, а система высшего и среднего медицинского образования претерпела значительные преобразования.

Многочисленные реформы здравоохранения привели к появлению «системы Семашко» – революционного подхода к медицине. В основе предложенной им системы здравоохранения лежали шесть основных принципов:

- 1) единая организация и централизация управления;
- 2) равная доступность для всех граждан;
- 3) первоочередное внимание к материнству и детству;
- 4) единство профилактики и лечения;
- 5) ликвидация социальных причин болезней;
- 6) привлечение общественности к делу здравоохранения.

Все эти принципы разрабатывались ведущими организаторами здравоохранения во многих передовых странах, однако впервые они были включены в государственную политику РСФСР и далее СССР. Буквально за несколько лет эта модель дала впечатляющие плоды. Изменения произошли во всех сферах медицины, что позволило ей выйти на принципиально новый уровень. Ставка Семашко на улучшение качества образования и подготовки медиков также сработала. Благодаря активному развитию научно-исследовательских институтов и университетов страна получила большое количество молодых и квалифицированных специалистов. Советский Союз в 1930-х годах превратился в одно из ведущих государств в мире по производству различных лекарственных препаратов, вакцин и сывороток. Огромный скачок произошел в исследовании болезней и, соответственно, методах их лечения. В итоге люди получали

качественную, прогрессивную и, главное, бесплатную медицинскую помощь. Вот за этим успехом в довоенные и последующие годы, наряду с сотнями и тысячами врачей и др. медработников, по праву стоял непосредственно и Николай Александрович Семашко.

В сентябре 1919 года, буквально через несколько месяцев после образования БАССР, отдел здравоохранения при Комиссариате внутренних дел был преобразован в Народный Комиссариат здравоохранения Башкирской АССР (начал функционировать в г. Стерлитамаке – столице Малой Башкирии). Первым наркомом здравоохранения республики был назначен Гумер Галимович Куватов, который в течение 9 последующих лет возглавлял это ведомство. Кстати, аппарат Наркомздрава был в составе наркома, одного провизора, двух аптекарских помощников и двух сестер милосердия. По данным ведомства, в 1919 г. на территории Малой Башкирии работало всего 7 врачей, 2 зубных врача, 84 фельдшера, 7 акушерок и 15 сестер милосердия. На одного врача приходилось 113100 жителей, а на каждого фельдшера – 12156 человек. Насколько критическим было положение с медицинскими кадрами в тот период, можно судить из того, что даже во времена земской медицины и, в частности, в 1880 г. на одного земского врача приходилось 83,5 тысячи жителей, а в 1912 г. уже 45,5 тысячи.

В первые годы установления советской власти в Уфимской губернии была высокая заболеваемость тифами, оспой, дизентерией, дифтерией, скарлатиной, трахомой, кожно-венерическими и др. заболеваниями. Почти сплошная неграмотность, отсутствие элементарных медицинских и санитарно-гигиенических знаний среди всех слоев населения были обычными явлениями тех лет. Наркомздрав БАССР сосредоточил свое основное внимание на борьбе с паразитарными тифами, организуя бесплатное медобслуживание больных. При активном содействии Н.А. Семашко для Башкирии были выделены: медицинское оборудование, пять зубоврачебных кабинетов, два госпиталя, медицинские и др. работники. По инициативе Николая Александровича в 1919 г. в Уфимской губернии состоялось чрезвычайное совещание и была создана чрезвычайная комиссия по борьбе с тифом (так называемая Губчекатиф), которая под руководством тогдашнего председателя Всероссийской чрезвычайной санитарной полномочной комиссии по борьбе с тифами Наркомздрава РСФСР Михаила Сергеевича Кедрова выработала план мероприятий по ликвидации этой эпидемии. В Стерлитамаке были открыты 1-й Башкирский сводный госпиталь на 220 коек и 1-й инфекционный госпиталь на 520 коек. Из Москвы и др. центральных городов по распоряжению Наркомздрава РСФСР для борьбы с эпидемией в помощь местным органам здравоохранения

республики были направлены: госпиталь № 615, дезинфекционный отряд, более 2 тысяч комплектов нательного и свыше 500 комплектов постельного белья для больниц. Уже к концу 1919 г. в республике было открыто 62 ЛПУ, в том числе два госпиталя на 520 коек, 11 больниц на 220 коек, заразных бараков на 1045 коек, три амбулатории, 21 фельдшерский пункт, один зубной кабинет, одна аптека и один аптекарский магазин. В 1920 году единственную в то время кумысолечебницу в Шафраново под личный контроль (патронаж) взял нарком Семашко [9].

В результате напряженного труда медицинских работников, санитарного актива и населения под непосредственным руководством «Губчекатифа» весной 1920 г. эпидемия паразитарных тифов в Башкирии в основном была почти ликвидирована. Начались предохранительные противотифозные прививки части населения региона. Эту работу санитарных врачей и др. медработников в 20–30-е годы Н.А. Семашко назвал «боевым фронтом социальной гигиены»[7, 8].

В годы ВОВ в республику было эвакуировано более 100 организаций и учреждений со всех регионов и прифронтовых территорий СССР, в том числе в Уфе располагались: Президиум Коминтерна; Народные комиссариаты (НК): Госконтроля, нефтяной промышленности и связи СССР, НК здравоохранения РСФСР, Президиум Верховного Совета и Совет НК; ЦК КПСС Литовской ССР; Академия наук Украинской ССР; более 20 НИИ и др.

В период эвакуации мединститута из Москвы в годы Великой Отечественной войны в Уфе жил и самоотверженно трудился Николай Александрович Семашко. Крупный ученый социал-гигиенист, заведующий (1921-1949 гг.) первой в стране кафедрой социальной гигиены и организации здравоохранения в 1-м Московском мединституте им. И.М. Сеченова. Профессор Семашко с первых дней своего приезда (октябрь 1941 г.) в Уфу очень активно включился в большую, разностороннюю и напряженную работу военного времени, оказывал большую консультационно-методическую помощь в подготовке научных кадров молодого в то время Башкирского государственного медицинского института им. 15-летия ВЛКСМ (БГМИ, ныне БГМУ). Он предложил тогдашнему наркому здравоохранения Башкирской АССР С.З. Лукманову свою помощь по организации деятельности эвакуогоспиталей и др. лечебно-профилактических учреждений республики.

Так, на территории БАССР в период ВОВ было сформировано 58, а дислоцировалось 56 эвакуогоспиталей с общим количеством коек 22500, из них 36 эвакуогоспиталей функционировали в г. Уфе. За все время войны через эвакуогоспитали республики прошло и получило лечение 249 тыс. 805 раненых и больных. С помощью Н.А.

Семашко удавалось устранить основные трудности с организацией работы госпиталей. Медицинским обслуживанием раненых в эвакуогоспиталях были заняты более 340 врачей, несколько тысяч медсестер и санитарок. Н.А. Семашко состоял членом Госпитального совета и содействовал улучшению медицинского обслуживания рабочих промышленных и др. предприятий, пополнивших в годы войны свои ряды не подлежащими мобилизации женщинами, несовершеннолетними детьми, подростками, людьми пожилого возраста и инвалидами. В Уфе он не только выступал с докладами и лекциями перед организаторами здравоохранения, врачами и медицинскими работниками, но и вел интенсивную патриотическую, политическую, лечебно-профилактическую и научно-педагогическую работу в госпиталях, ЛПУ и БГМИ. В эвакуированных в Уфу 1-м ордена Ленина Московском медицинском институте и институтах Академии наук Украинской ССР занимался повышением квалификации врачей и медработников нашего и соседних регионов по организации госпитального дела, медико-санитарному обслуживанию эвакуированных раненых и больных, городского и сельского населения.

Совместная, почти двухлетняя работа в начале войны в г. Уфе, как результат содружества ученых и врачей трех вышеназванных научных учреждений страны оказала положительное влияние на организацию высококвалифицированного лечения военно-травматических повреждений и раневого сепсиса воинов Советской Армии, а также научной и учебно-методической работы БГМИ в последующие годы ВОВ, и особенно, на послевоенное развитие и решение актуальных проблем здравоохранения и медицинской науки региона [10].

Яркие и доходчивые выступления снискали высокое одобрение слушателей и постоянно вызывали самый большой интерес, поднимали патриотизм, нацеливали самоотверженно трудиться, лечить эвакуированных больных и раненых бойцов в тылу и этим помогать фронту. Николай Александрович близко к сердцу и самоотверженно воспринял нужды здравоохранения и науки г. Уфы и республики. За короткое время своего проживания в республике он сумел оставить глубокий след и светлую память о себе не только среди ученых, медицинских, педагогических работников, но и всей общественности нашего региона. По свидетельству и воспоминаниям тогдашних коллег и современников он изумлял всех своей кипучей деятельностью. Целыми днями был занят, но внешне оставался всегда бодрым и своим примером вдохновлял других коллег. Из своей скромности он наотрез отказался воспользоваться готовыми удобствами для своей семьи за счет

стеснения кого-либо из научных сотрудников и разместился в обыкновенной комнате студенческого общежития № 3 (ул. Ленина, д. 1а).

В 70-90-е гг. здесь жили студенты впервые открывшегося в 1970 г. санитарно-гигиенического факультета БГМИ, в т.ч. бывшие и настоящие работники ФБУН «УфНИИ МТЭЧ»: д.м.н., профессор Н.Х. Шарафутдинова, д.м.н. Р.Б. Ибатуллина, к.м.н., доцент Н.Р. Рахматуллин, к.м.н. А.М. Магасумов, будущие главврачи санэпидслужбы городов и районов РБ: Р.Р. Галимов, супруги Гареевы, к.м.н. Р.М. Такаев, к.м.н. Н.С. Кондрова, К.Л. Акчурин и многие др. Профессор Н.Х. Шарафутдинова жила в той же комнате, где жил Семашко с семьей на 2-м этаже, с балконом и видом на Национальную библиотеку РБ им. Ахмет-Заки Валиди. Она также уже многие годы, как и Николай Александрович, успешно возглавляет кафедру социальной гигиены и организации здравоохранения, только БГМУ.

В память о пребывании Н.А. Семашко в г. Уфе и Башкортостане на зданиях БГМУ (ул. Ленина, дом 1а, ул. Фрунзе, дом 47, ул. Ленина, дом 3) ему в разные годы были установлены три мемориальные доски и его именем названа одна из улиц Уфы. Во время ВОВ и в последующие годы выросла целая научная школа учеников и продолжателей его дела. Под его руководством и при личной поддержке успешно защитили диссертации на степень доктора наук С.З. Лукманов (кафедра норм. анатомии), В.А. Жухин (к. пат. анатомии), Е.М. Губарев (к. биохимии), Н.И. Чурбанов (к. гистологии), Н.А. Шерстенников (к. социальной гигиены и ОЗ), Н.И. Мельников (к. микробиологии) и многие др.

Стиль руководства, продемонстрированный Н.А. Семашко, его принципиальность, упорство в достижении цели, решительность, требовательность к себе, уважение к людям, умение объединять и направлять их для решения трудных и сложных задач страны и регионов были востребованы полностью. Все эти личные черты характера и методы работы видного врача-ученого, организатора практического здравоохранения и медицинской науки достойны уважения и всеобщей поддержки даже спустя многие десятилетия со дня его кончины.

Реформы Семашко Н.А. и его учеников охватили множество аспектов, включая организацию медицинского обслуживания, подготовку кадров и внедрение новых методов лечения. Он сам стал одним из главных архитекторов советской системы здравоохранения, сделав ее доступной для широкой массы населения.

Большое внимание в области здравоохранения, особенно в предвоенные и годы ВОВ, Н.А. Семашко уделял организации лечебно-профилактической помощи труженикам тыла в целях обеспечения санитарно-противоэпидемиологического

благополучия в стране и республиках. Несмотря на прибытие в наш регион нескольких сотен тысяч беженцев, эвакуированных, раненых с фронта и всех западных областей и республик страны, эпидемии заразных болезней не было допущено. В результате этих мер РСФСР, БАССР и др. регионы были избавлены от распространения на их территориях массовых инфекционных и эпидемических заболеваний. Если на начало ВОВ в БАССР под руководством (1942-1983 гг.) тогдашнего главного санитарного врача Савиновой Татьяны Ивановны работало 19 районных санэпидстанций, то к концу их стало 45.

Заключение. Сегодня, спустя 150 лет со дня его рождения, наследие Николая Александровича Семашко продолжает вдохновлять медицинских работников и исследователей, подтверждая важность здравоохранения как одного из ключевых аспектов жизни общества. Понятно, что Николай Александрович не один создал систему, получившую его имя. Но именно Семашко четко реализовывал государственную линию, воплощал в жизнь самые смелые идеи и задачи, стоящие перед практическим здравоохранением и медицинской наукой РСФСР, союзных и автономных республик, краев и областей.

Процесс совершенствования здравоохранения в Республике Башкортостан и Российской Федерации продолжается. Сегодня в стране созданы реальные условия для успешного решения основной задачи здравоохранения – полного обеспечения потребностей населения всеми видами высококвалифицированной и высокотехнологической специализированной медицинской помощи.

С начала 2019 г. в стране и регионах, несмотря на объявленную ВОЗ пандемию коронавируса COVID-19, начало СВО, успешно реализуется Национальный проект РФ «Здравоохранение» [11], который включает ряд основных целевых показателей, в т. ч. такие показатели, которые более 100 лет назад ставил еще тогдашний Наркомздрав РСФСР Семашко Н.А. Так, в начале прошлого века и сегодня в нашей стране основными целями были и остаются актуальными: ликвидация кадрового дефицита в организациях, оказывающих медико-санитарную помощь; обеспечение к концу 2024 г. не менее 70% охвата всех граждан профилактическими медицинскими осмотрами не реже одного раза в год; повышение доступности и качества первичной медицинской помощи. К концу этого года планируется завершить формирование сети 27 национальных медицинских исследовательских центров и т.д.

На прошедшей в день его рождения, 26 сентября 2024 г., торжественной церемонии открытия в Москве сквера и бюста «Николай Семашко – основоположник системы

здравоохранения в советской России», которая состоялась во внутреннем дворе Научно-образовательного института, носящего его имя, в своем выступлении заместитель председателя Правительства РФ Татьяна Голикова сказала «Николай Александрович очень хорошо знал, что нужно людям, что нужно медицине. Он создал государственную, бюджетную систему здравоохранения. Сегодня эта система работает, реагируя на самые сложные ситуации, которые складываются в нашей жизни и с которыми сталкивается наша с вами страна». Выступивший на церемонии министр здравоохранения РФ (зам. председателя оргкомитета) Михаил Мурашко отметил: «Этот клинический центр, который в период пандемии, по сути дела, начал работу, и сегодня не остался в стороне, он оказывает медицинскую помощь, в том числе нуждающимся, которые получили травмы и ранения в результате боевых действий на специальной военной операции».

В результате:

- снижение смертности населения трудоспособного возраста с 455 случаев на 100 тысяч населения в 2018 году до 350 (здесь и далее к концу 2024 г. и в последующие годы);
- снижение смертности от болезней системы кровообращения с 565 случаев на 100 тысяч населения в 2018 году до 450;
- снижение смертности от новообразований, в том числе от злокачественных, с 199,9 случая на 100 тысяч населения до 185;
- снижение младенческой смертности с 5,5 случая на 1 тысячу родившихся детей до 4,5;
- охват всех граждан профилактическими медицинскими осмотрами с 39,7% в 2018 году до 70% .

В рамках вышеназванных мероприятий в ФГБНУ «Национальный НИИ общественного здоровья им. Н.А. Семашко» состоялись также презентации памятной книги, документального фильма о Николае Александровиче и заработала постоянная выставка, посвященная истории отечественной медицины.

В рамках плана мероприятий ФБУН «УфНИИ МТЭЧ» по данному вопросу все девять запланированных мероприятий ответственными исполнителями института выполнены полностью и в назначенные сроки.

Список литературы:

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 июля 2024 г. № 2035-р.
2. План мероприятий по подготовке и проведению празднования в 2024 году 150-летия со дня рождения выдающегося организатора здравоохранения академика Николая Александровича Семашко в ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» (задание руководителя Роспотребнадзора Поповой А.Ю. от 30.09.2024 №02/16835-2024-27).
3. Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976. - С.41-42.
4. Камалов М.Х., Сафин М.С. / Здравоохранение БАССР за 60 лет // Советское здравоохранение. 1979, № 5. – С. 4 – 5.
5. Кулагина А.А., Мухаметова Г.М., Карамова Л.М., Камалов М.Х. Монография «История развития здравоохранения и медицинской науки в Башкирской АССР (1917 – 1980 гг.)», 1981 г. Башкирское книжное издательство. 408 с.
6. Второй Всесоюзный съезд историков медицины. (Ташкент, 10-13 сент. 1980 г.) Постановления съезда и руководящие органы о-ва. – Москва : ВНИИМИ, 1980. – 32 с.
7. Шерстенников Н.А. Здравоохранение в Башкирской АССР, докторская диссертация. Уфа, 1940 г. (научный руководитель - консультант Н.А. Семашко).
8. Шерстенников Н.А. Воспоминания о Н.А. Семашко (рукопись), 1973 г. (ЦГА БАССР).
9. Куватов Г.Г. Пять лет советской медицины в Башкирской Республике. Вестник Башкирского народного комиссариата здравоохранения. Уфа, 1924, № 1-2, - С. 20 – 21.
10. Решетников В.А. Деятельность Н.А. Семашко в годы эвакуации с 1-м Московским ордена Ленина медицинским институтом в Уфу (1941-1942 гг.) / В.А. Решетников, Стрижкова З.А. Киньябулатов А.У., Хазиманова А.А., Стрижков А.Е. // Терапевтический архив. 2023. Том 95, № 1. – С. 103 – 107.
11. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

References:

1. Order of the Government of the Russian Federation of July 31, 2024 No. 2035-r.
2. Plan of activities for preparing and holding the celebration in 2024 of the 150th anniversary of the birth of the outstanding health care organizer Academician Nikolai Aleksandrovich Semashko at the Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology (assignment from the head of Rospotrebnadzor Popova A.Yu. dated September 30, 2024 No. 02/16835-2024-27).
3. Materials of the XXV Congress of the CPSU. M., Politizdat, 1976, p.41.
4. Kamalov M.Kh. , Safin M.S. / Healthcare of the BASSR over 60 years // Soviet healthcare. 1979, No. 5. – P. 4 – 5.
5. Kulagina A.A., Mukhametova G.M., Karamova L.M., Kamalov M.Kh. Monograph «History of the development of healthcare and medical science in the Bashkir Autonomous Soviet Socialist Republic (1917 – 1980)», 1981. Bashkir book publishing house. 408 p.
6. Second All-Union Congress of Medical Historians. (Tashkent, September 10-13, 1980) Resolutions of the congress and governing bodies of the island. - Moscow: VNIIMI, 1980. - 32 p.
7. Sherstennikov N.A. Healthcare in the Bashkir Autonomous Soviet Socialist Republic, doctoral dissertation. Ufa, 1940 (scientific supervisor - consultant N.A. Semashko).

8. Sherstennikov N.A. Memories of N.A. Semashko (manuscript), 1973 (Central State Archive of the BASSR).
9. Kuvatov G.G. Five years of Soviet medicine in the Bashkir Republic. Bulletin of the Bashkir People's Commissariat of Health. Ufa, 1924, No. 1-2, - pp. 20 – 21.
10. Reshetnikov V.A. Activities of N.A. Semashko during the years of evacuation with the 1st Moscow Order of Lenin Medical Institute in Ufa (1941-1942) / V.A. Reshetnikov, Strizhkova Z.A. Kinyabulatov A.U., Khazimanova A.A., Strizhkov A.E. // Therapeutic archive. 2023. Volume 95, No. 1. – P. 103 – 107.
11. Decree of the President of the Russian Federation dated May 7, 2018 No. 204. «On national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period until 2024».

Поступила/Received: 02.11.2024

Принята в печать/Accepted: 28.11.2024

УДК 613.6 (470.57)

ЗДОРОВЬЕ ПОДРОСТКОВ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Карамова Л.М.¹, Насертдинова А.Ф.², Фесенко М.А.³, Башарова Г.Р.⁴, Гайнуллина М.К.¹, Власова Н.В.¹

¹ ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», Уфа, Россия

² ГБУЗ «Республиканская детская клиническая больница», Уфа, Россия

³ ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. акад. Н.Ф. Измерова», Москва, Россия

⁴ ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Уфа, Россия

В связи с интенсивным ростом промышленного производства в стране имеется высокая потребность в высококвалифицированных специалистах среднего звена, подготовленных на основе современных технологических достижений. Однако санитарно-гигиенических исследований оценки современных рисков здоровью учащихся единицы. В связи с этим изучение показателей здоровья подростков – потенциально будущих учащихся профессионально-технических образовательных учреждений – весьма актуальна.

Цель работы. Проанализировать состояние здоровья подростков, особенности заболеваемости среди юношей и девушек в Республике Башкортостан за 2018-2022 гг; определить приоритетные направления по сохранению здоровья подростков.

Материалы и методы. Выполнен обзор литературы, посвященной здоровью подростков и учащихся среднего профессионального образования (СПО) за 2015-2024 гг. Обобщены материалы многолетних научных исследований Уфимского научно-исследовательского института медицины труда и экологии человека. Проведен анализ общей и вновь выявленной заболеваемости подростков Республики Башкортостан за 2018-2022 гг. по данным отчета Министерства здравоохранения Республики Башкортостан¹.

Результаты. Исследования показали, что последние 10 лет публикаций о здоровье подростков и учащихся (СПО) крайне мало. Сведений о здоровье учащихся по профессиям нефтехимических производств, крайне важных для республики, не

¹ Официальные отчеты Минздрава Республики Башкортостан «Здоровье населения и деятельность медицинских организаций Республики Башкортостан за 2018-2022 гг.» (<https://xn----7sbezt1a4b.xn--p1ai/activities/sborniki.php>)

обнаружено. Лишь в работах Уфимского научно-исследовательского института медицины труда и экологии человека за 1960-1980 гг. отражены условия формирования здоровья подростков, обучающихся на машинистов, аппаратчиков, лаборантов нефтехимических производств. Установлены неблагоприятные факторы в процессе обучения и практики, влияющие на здоровье. Подростковый возраст рассматривается как фактор риска для работы в производственных условиях нефтехимического предприятия. Настоящее исследование показало, что заболеваемость среди подростков республики увеличилась с 2555,4 в 2018 г. до 2750,1 случаев на 1000 человек населения в 2022 г. и является самой высокой, чем у всего населения в 1,0-1,2 раза, взрослого в 1,3-1,4 раза и детского в 1,1-1,2 раза населения. Основными заболеваниями, формирующими здоровье подростков, являются болезни органов дыхания (29,3-34,5%), травмы (7,4-9,9%), органы пищеварения (6,9-8,7%), нервной (8,7-9,0%), костно-мышечной (6,8-7,2%) систем. Девушки болеют чаще, чем юноши, однако темп роста заболеваемости среди последних выше. Заболеваемость подростков Республики Башкортостан и в 2015 г., и в 2020 г. в 1,2-1,4 раза выше, чем в Российской Федерации.

Ограничения исследования. В статью включены материалы исследований Уфимского научно-исследовательского института медицины труда и экологии человека за 1969-1980 гг., посвященные санитарно-гигиеническим условиям обучения и состоянию здоровья учащихся ПТУ нефтяного профиля, и показатели заболеваемости подростков из официальных отчетов МЗ Республики Башкортостан за 2018-2022 гг.

Заключение. Интенсивный рост производства в стране, дефицит кадров с профессиональной подготовкой определяет необходимость разработки специальной программы по сохранению здоровья подростков и учащихся, включающей мероприятия по изучению их как особой социальной группы.

Ключевые слова: подростки, состояние здоровья, особенности заболеваемости среди юношей и девушек.

Для цитирования: Карамова Л.М., Насертдинова А.Ф., Фесенко М.А., Башарова Г.Р., Гайнуллина М.К., Власова Н.В. Здоровье подростков Республики Башкортостан. Медицина труда и экология человека. 2024; 4: 120-145.

Для корреспонденции: Власова Наталья Викторовна, к.б.н., научный сотрудник отдела медицины труда ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека»; e-mail: vnv.vlasova@yandex.ru.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10408>

HEALTH OF ADOLESCENTS IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

L.M. Karamova ¹, A.F. Nasertdinova ², M.A. Fesenko ³, G.R. Basharova ⁴, M.K. Gainullina ¹, N.V. Vlasova ¹

¹ Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia

² GBUZ «Republican Children's Clinical Hospital», Ufa, Russia

³ FGBNU «Scientific Research Institute of Occupational Medicine named after N.F. Izmerova Academy», Moscow, Russia

⁴ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ufa, Russia

Due to the intensive growth of industrial production in the country, there is a high need for highly qualified mid-level specialists trained on the basis of modern technological advances. However, there are very few sanitary and hygienic studies assessing current health risks for students. In this regard, the study of health indicators of adolescents - potentially future students of vocational educational institutions - is very relevant.

Purpose of work. Analysis of the health status of adolescents, morbidity characteristics among boys and girls in the Republic of Bashkortostan between 2018 and 2022. Determine priority areas for adolescents' health maintenance.

Materials and methods. A review of the literature on the health of adolescents and students of secondary vocational education (SVE) between 2015 and 2024 was carried out. The materials of many years of scientific research at the Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology are summarized. An analysis of the general and newly identified morbidity of adolescents in the Republic of Bashkortostan between 2018 and 2022 was carried out according to the report of the Bashkortostan Health Ministry¹

Results. Research has shown that over the past 10 years there have been very few publications on the health of adolescents and students (SHE). No information was found on the health of students in petrochemical production occupations, which are extremely important for the republic. Only the works of the Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology for the period of 1960 and 1980 reflect the conditions for health promotion of adolescents training to become machinists, machine operators, and

laboratory assistants in petrochemical production. In the process of education and practice unfavorable impact on health has been established. Clinical and functional changes in the blood, nervous, and cardiovascular systems were revealed. Adolescence is considered as a risk factor for working in the occupational environment of a petrochemical enterprise. This study showed that the incidence among adolescents in the republic increased from 2555,4 in 2018 up to 2750,1 cases per 1000 population in 2022 and is the highest than that of the entire population of 1,0-1,2 times, the adult (1,3-1,4 times) and child (1,1-1,2 times) population. The main diseases that shape the health of adolescents are respiratory diseases (29.3-34.5%), injuries (7,4-9,9%), digestive organs (6,9-8,7%), nervous system (8,7-9,0%), musculoskeletal (6,8-7,2%) systems. Girls get sick more often than boys, but the rate of increase in incidence among the latter is higher. The incidence of adolescents in the Republic of Bashkortostan in both 2015 and 2020 is 1,2-1,4 times higher than in the Russian Federation.

Limitations of the study. The article includes research materials from the Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology for the years 1969-1980, devoted to the sanitary and hygienic conditions of education and the health status of students in vocational schools of the oil industry and morbidity rates among adolescents in official reports of the Bashkortostan Health Ministry between 2018 and 2022.

Conclusion. The intensive growth of production in the country and the shortage of personnel with professional training determine the need to develop a special program to maintain health of adolescents and students, including activities to study them as a special social group.

Key words: teenagers, health status, features of morbidity among boys and girls.

For citation: Karamova L.M., Nasertdinova A.F., Fesenko M.A., Basharova G.R., Gainullina M.K., Vlasova N.V. Health of Adolescents in the Republic of Bashkortostan. Occupational Medicine and Human Ecology. 2024; 4: 120-145.

Correspondence: Vlasova Natalya Viktorovna, Candidate of Sci. Biol., Ufa Institute of Occupational Health and Human Ecology; e- mail: vnv.vlasova@yandex.ru.

Funding: The study did not have sponsorship.

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

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10408>

Процесс развития общества во многом определяется уровнем популяционного здоровья подростков, который оказывает значимое влияние на здоровье нации в целом и формирует ее культурный, интеллектуальный,

производственный и репродуктивный потенциал. На долю молодых людей в возрасте 10-24 лет приходится более 25% жителей Земли, что составляет около 1,8 млрд человек [1-3]. По данным ВОЗ, в мире сейчас молодежи больше, чем когда-либо в истории. Они составляют 42% населения планеты. Подростковый возраст важен для здоровья в будущем, т.к. в этот период впервые проявляются многие хронические заболевания, приобретаются дурные привычки, которые будут влиять на благополучие человека в течение его жизни. В связи со значительным ухудшением здоровья детской популяции и распространенностью социальных и поведенческих рисков ВОЗ проблему охраны здоровья подростков признал одной из приоритетных [4]. Детский Фонд ООН (ЮНИСЕФ) считает, что вопросы охраны здоровья подростков многие годы оставались без внимания и определил благополучие их одним из своих приоритетов [1].

Дети подросткового возраста находятся в критическом периоде активного роста и развития, потому наиболее уязвимы и чувствительны к полифакторному и многокомпонентному воздействию окружающей среды. Оценка здоровья подростков требует особого подхода, что обусловлено специфическими особенностями их возраста. Факторами, оказывающими неблагоприятное влияние на формирование здоровья подростков, являются социально-гигиенические (материальное положение, полнота семьи, питание, вредные привычки, условия образовательной среды и т.д.); биологические (возраст матери при рождении, наличие патологии беременности или родов, наследственность, заболевания и аномалии развития); экологические (загрязненность объектов окружающей среды, качество питьевой воды и продуктов питания и т.д.); условия образовательного процесса (интенсивность образовательного процесса, нагрузки, режим классных и практических занятий, наличие вредных производственных факторов и т.д.) [5].

Однако исследований, посвященных здоровью подростков, в последние годы совсем мало. Ряд авторов [3] в обзоре отечественной и зарубежной литературы за 2011-2013 гг. показал, что структура заболеваемости подростков в возрасте 15-17 лет остается относительно стабильной. Первые три рейтинговые места занимают болезни органов дыхания (50,2%), травмы, отравления и другие последствия воздействия внешних причин (10,6%), болезни кожи (6,1%), далее - болезни пищеварительной (5,1%), костно-мышечной (4,3%), мочеполовой (4,2%) систем, глаза и придаточного аппарата (4,0%) и заболевания нервной системы (2,7%). Особое место в силу своей значимости влияния на будущее здоровье занимает артериальная гипертензия - от 2,4 до 18,0%. Авторы большое внимание уделяют синдрому недифференцированной дисплазии соединительной ткани, которая

приводит к нарушению клеточного и тканевого гомеостаза и формированию полиорганной патологии. Признаки этого синдрома среди подростков выявляются у 45-50% обследованных. Причинами болезней авторы называют нейроэндокринную перестройку, комплекс стрессовых факторов, повышенную учебную перегрузку, обстановку в семье, курение, алкоголизм, наркоманию, режим и характер питания и т.д. Авторы отмечают увеличение распространенности абдоминального ожирения и метаболического синдрома среди подростков во всем мире. Так, в США распространенность избыточного веса за последнее время увеличилась с 15,4 до 25,6%, в Китае – с 6,4 до 7,7%. В России исследование, включавшее обследование 12000 детей в возрасте 12-17 лет, выявило избыточный вес у 11,0% мальчиков и 7,7% девочек, а ожирение – у 2,5 и 1,6% соответственно. Наличие избыточного веса и ожирения в подростковом возрасте является важным предиктором развития заболеваний сердечно-сосудистой системы и сахарного диабета во взрослом периоде. Не менее важной проблемой является высокая распространенность дефицита массы тела, распространенность которого среди девушек-подростков 15-18 лет составляет 19,2%, среди юношей допризывного возраста (15-17 лет) – 29,4%. Отмечено высокое распространение за рубежом и в нашей стране репродуктивной патологии как среди девочек, так и среди юношей (от 0,97 до 1,96 случаев на 1 подростка) [3].

Фактором, влияющим на здоровье, являются вредные привычки. По данным опроса, табакокурение выявлено у 35% российских подростков (41,0% мальчиков и 29,0% девочек). Употребление алкоголя составило 80,7 на 100 юношей и 83,8 на 100 опрошенных девушек. Приобщение к наркотическим веществам в нашей стране составило 17,3% и 11,6% на обследованных юношей и девушек. В специальных исследованиях показано, что различные неврастенические расстройства наблюдаются у 82,0% девушек и 70,0% юношей. Авторы делают заключение, что оптимизация системы диспансеризации и реабилитации подростков должна основываться на интегральной оценке состояния их здоровья [3].

Подростки, проживающие в городах с химической промышленностью, болеют в 1,7 раза чаще, чем в контрольной группе. Наиболее частым видом патологии являются заболевания системы органов дыхания. Исследования микроэкологии слизистых верхних дыхательных путей подростков, проживающих в городах с химической промышленностью, выявили более высокую микробную обсемененность, снижение защитных свойств слюны и кожных покровов [6-9].

Переход подростка из общеобразовательной школы в профессиональную ведет к резкой смене его социальной позиции. Происходит ломка сложившегося «школьного» стереотипа, увеличивается суммарная нагрузка, происходит первый контакт с факторами производственной среды. Подростки, обучающиеся в системе профессионального обучения (СПО), представляют собой особую социальную группу населения, объединенную определенными возрастными границами, физиолого-гигиеническими особенностями, интенсивным умственным трудом, освоением производственного процесса, образом жизни [10,11]. Учащиеся профессионально-технических учебных заведений (ПТУ), проходящих практику на рабочих местах, по критериям Международной организации труда (МОТ), относятся к уязвимым группам, требующим дополнительной защиты [1,12,13]. Однако источников литературы о состоянии здоровья подростков - учащихся средних профессионально-технических образовательных учреждений (СПО) за последние 10 лет немного. У учащихся в СПО различного профиля отечественные и зарубежные исследователи [1, 2, 4, 5, 8, 9, 12-17] отмечают вариабельность сердечного ритма, напряженность зрительного анализатора, региональную статическую нагрузку на мышцы шеи, спины, верхних конечностей, психоэмоциональное напряжение. Показатели здоровья 1-го и 3-го курса обучения условно «легким» профессиям по большинству оценочных параметров здоровья не имели различий. Отмечена тенденция роста числа учащихся, имеющих повышенную утомляемость. Показатели качества жизни у них к 3-му году обучения указывают на повышение ролевого физического функционирования (РФ), что свидетельствует о тренировке профессионально-значимых качеств. Показатели качества жизни снижены по физическому функционированию (ФФ) и общему уровню здоровья (ОЗ), ролевому эмоциональному функционированию (РЭФ) и психологическому здоровью (ПЗ) [18]. Среди студентов, обучающихся в группе условно «тяжелых» профессий, число лиц, предъявляющих жалобы на здоровье, увеличилось с 15,1 до 31,5%, а лиц с хроническими заболеваниями с 6,5 до 12,5%. Увеличилось число жалоб на слабость (с 13,0 до 31,2%), на органы пищеварения (с 34,8 до 68,7%), на опорно-двигательную систему (с 26,1 до 46,9%) и т.д. Однако в этих работах не имеются сведения об условиях труда и обучения, показатели здоровья не рассматриваются в связи с факторами среды обитания, не выделены критерии «легких» и «тяжелых» профессий и т.д. Публикаций, отражающих здоровье подростков, обучающихся профессиям нефтеперерабатывающего, нефтехимического, химического профиля мы за последние 10 лет не обнаружили. Учеба и практика в таких учебных заведениях связана с воздействием

неблагоприятных производственных факторов. Для Республики Башкортостан с высокой концентрацией предприятий нефтяной, нефтехимической, промышленности такие исследования имеют особо важное значение. Однако последние работы, отражающие условия учебы и состояние здоровья учащихся ПТУ профильного направления, относятся к 60-80-м гг. прошлого столетия. Это в основном работы Уфимского НИИ гигиены и профзаболеваний (ныне Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека), в структуре которого существовала научная лаборатория гигиены труда подростков, где проводились исследования гигиенических условий обучения и состояния здоровья учащихся профессионально-технических училищ (ПТУ) нефтеперерабатывающего и нефтехимического профиля. В работах ученых [6, 19-27] показано, что процесс обучения в этих учреждениях характеризуется недостатком двигательной активности, отклонением в режиме дня, отмечен также недостаток сна, прием пищи в разное время дня, 7-8 уроков вместо привычных 5-6; домашнее задание занимает время до 3 часов вместо 1,0-1,5 часа; практически отсутствует гимнастика, занятие физической культурой и т.д. Производственное обучение (практика) на I-II курсе занимает 6 часов времени, на III-IV курсе – 8 часов, при этом физическая работа вместо 20-25% рабочего времени достигает 35-45% и связана с подъемом и переносом груза до 20-30 кг. Работа проходит на открытом воздухе на площадках предприятия, где климатические особенности дня и загрязнение атмосферного воздуха нефтепродуктами оказывает неблагоприятное воздействие на молодой организм учащихся. Организм подростков характеризуется повышенной реактивностью, утомляемостью, меньшей тренированностью и приспособляемостью к воздействию внешней среды.

Особенностью обучения в ПТУ нефтехимического профиля является воздействие на организм подростков в период производственного обучения на базовом предприятии комплекса токсических веществ. В условиях башкирской нефтехимии – это предельные, непредельные, ароматические углеводороды, сероводород, оксид и диоксид углерода, фенол, аммиак, пыль полистирола и силикагеля. Большинство химических веществ в воздухе рабочей зоны находилось в пределах ПДК. Однако содержание сероводорода, окиси углерода, ароматических углеводородов, фенолов в 25-32% превышало ПДК в 2-4 раза [19-21]. У учащихся выявлялись вегетативно-сосудистая неустойчивость, утомляемость. В начале обучения были установлены изменения в крови в виде снижения количества эритроцитов у 54%, гемоглобина у 36% обследованных [22]. Клинико-физиологическими исследованиями подростков в процессе обучения профессии

машиниста и помощника оператора по переработке нефти и газа было установлено, что к концу обучения у них появлялись сдвиги в функциональном состоянии нервной системы (укорочение латентного периода зрительно-моторной реакции коры головного мозга, снижение обоняния, пороги раздражения на 2-3 мм), в крови (лейкопения, ретикулоцитопения, тромбоцитопения), сосудисто-вегетативные реакции (неустойчивость артериального давления, головные боли, дермографизм и т.д.) [19-24].

У девушек в динамике обучения у 52-66% были выявлены различные неврологические нарушения, нарушения менструальной функции, мозговой гемодинамики, низкий уровень работоспособности. Все эти нарушения были более выражены у девушек-аппаратчиков, чем у девушек-лаборантов [24-26]. Авторы исследования рассматривали девушек как группу риска неблагоприятного воздействия факторов производственной среды при обучении в ПТУ и последующей работе в производствах нефтехимии.

Особое место в период производственного обучения занимала преддипломная практика на штатных рабочих местах, когда подростки в течение 3-4 месяцев выполняли все обязанности взрослого рабочего, в том числе и газоопасные операции, работали по вахтам в три смены. В период практики на нефтеперерабатывающем заводе у подростков происходили изменения физиологических функций со стороны сердечно-сосудистой системы: повышение артериального давления на 20-25 мм рт. ст., пульс учащался на 32-48 ударов в минуту, который сохранялся до конца рабочей смены; со стороны центральной нервной системы: увеличивался латентный период зрительно-моторной реакции на 50-70%, возросло количество ошибок при выполнении дозированных заданий в 2,0-2,5 раза, снижалась выносливость к статическому напряжению на 40-60%. Несмотря на наличие функциональных сдвигов в организме подростки к концу обучения оставались практически здоровыми [22]. Авторы рекомендовали не принимать на работу подростков моложе 19 лет, а в процессе работы ограничить контакт с высокотоксическими хлорорганическими углеводородами [19, 22, 23]. Результаты многолетних исследований этой научной лаборатории легли в основу десятка нормативно-методических документов, регулирующих условия труда и охрану здоровья подростков, были включены в «Перечень тяжелых работ и работ с вредными или опасными условиями труда, при выполнении которых запрещается применение труда лиц моложе восемнадцати лет» (постановление Правительства Российской Федерации от 25.02.2000 № 163). В настоящее время появление новых видов экономической деятельности в современных социально-экономических

условиях, модернизация и автоматизация производств, использование улучшенных средств коллективной и индивидуальной защиты требуют актуализации данного документа.

С наступлением перестройки в стране, когда совершенно прекратилось финансирование науки, перестали поступать заявки на научные исследования от правительства, отраслевых министерств и отдельных предприятий, произошло резкое сокращение научной тематики, исчезла и подростковая тема. В стране сократилось число техникумов и училищ профессионально-технического образования.

В последнее десятилетие уделяется большое внимание развитию среднего профессионального образования, подготовке высококвалифицированных специалистов на основе современных научно-технических достижений. Однако санитарно-гигиенических исследований, оценки современных рисков здоровью учащихся пока не видно.

В стране в последние годы происходит сокращение населения, особенно выраженное в трудоспособном возрасте, наметилась тенденция снижения трудовых ресурсов, а в некоторых отраслях экономики образовался их дефицит. В связи с этим изучение показателей здоровья подростков – потенциально будущих учащихся профессионально-технических образовательных учреждений – приобретает важное значение.

Цель работы. Провести анализ состояния здоровья подростков, особенностей заболеваемости среди юношей и девушек в Республике Башкортостан за 2018-2022 гг. Определить приоритетные направления по сохранению здоровья подростков.

Материалы и методы. Выполнен обзор литературы, посвященной здоровью подростков и учащихся среднего профессионального образования за 2015-2024 гг. Обобщены результаты многолетних исследований основных научных публикаций, выполненных учеными Уфимского НИИ гигиены и профзаболеваний (ныне - Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека). Проведен сравнительный анализ заболеваемости подростков Республики Башкортостан и России за 2005-2022 гг. Выполнен анализ заболеваемости подростков 15-17 лет по данным официальных отчетов Минздрава Республики Башкортостан «Здоровье населения и деятельность медицинских организаций Республики Башкортостан» за 2018-2022 гг. Изучена динамика и сравнительные показатели распространенности, структура заболеваемости в целом у подростков и с учетом гендерных особенностей среди юношей и девушек. Определены особенности формирования заболеваемости по

гендерному признаку, выделены основные формы болезней, формирующие уровень заболеваемости. Выделены основные направления мероприятий по охране здоровья подростков.

Результаты. В Республике Башкортостан в 2018 г. насчитывалось 127011 подростков (15-17 лет). В 2022 г. их стало 131624 человека. Удельный вес среди всего населения увеличился с 3,1 до 3,8%. Таким образом, количество населения 15-17-летнего возраста увеличилось на 4613 человек, когда общее население уменьшилось на 61615 человек. На 1000 подростков республики в 2018 году зарегистрировано 2555,4 заболевания. В последующие два года (2019-2020 гг.) распространенность их постепенно снизилась до 2386,0‰. Однако в 2021 г. уровень заболеваемости резко возрос до 2609,1‰, а в 2022 г. достиг 2750,0‰, т.е. увеличился в 1,2 раза. Такая закономерность характерна для динамики заболеваемости всего населения республики в целом и в разных возрастных категориях. При этом важно заметить, что за все эти годы уровень заболеваемости подростков в 1,2-1,3 раза выше, чем у всего населения, в 1,3-1,4 раза выше, чем у взрослого населения, в 1,1-1,2 раза - у детей (табл. 1).

Таблица 1. Уровень заболеваемости населения разных возрастных групп за 2018-2022 гг. в Республике Башкортостан (на 1000 населения)

Table 1. Morbidity rates of different age groups in the Republic of Bashkortostan for 2018–2022 (per 1000 population)

Годы	Все население	Взрослые	Подростки (15-17 лет)	Дети (0-14 лет)
2018 г.	1874,8	1775,3	2555,4	2164,5
2019 г.	1892,0	1809,2	2498,8	2123,2
2020 г.	1925,2	1886,2	2386,0	2003,9
2021 г.	2076,8	2026,3	2609,1	2189,1
2022 г.	2194,9	2122,0	2750,1	2392,2
Рост за 5 лет	+320,1	+346,7	+194,6	+22,7

Среди подростков девушки болели чаще (2879,9-2957,3‰), чем юноши (2168,8-2625,3‰) в 1,2-1,4 раза. Динамика заболеваемости у юношей и девушек совершенно разная. У девушек за эти 5 лет уровень заболеваемости находился в пределах 2879,9-2957,3‰ с незначительной тенденцией к снижению, а у юношей заболеваемость все годы наблюдения постепенно нарастала от 2168,8 до 2625,3‰

и увеличилась в 1,2 раза, или плюс 456,5 заболевания на каждые 1000 юношей (рис. 1).

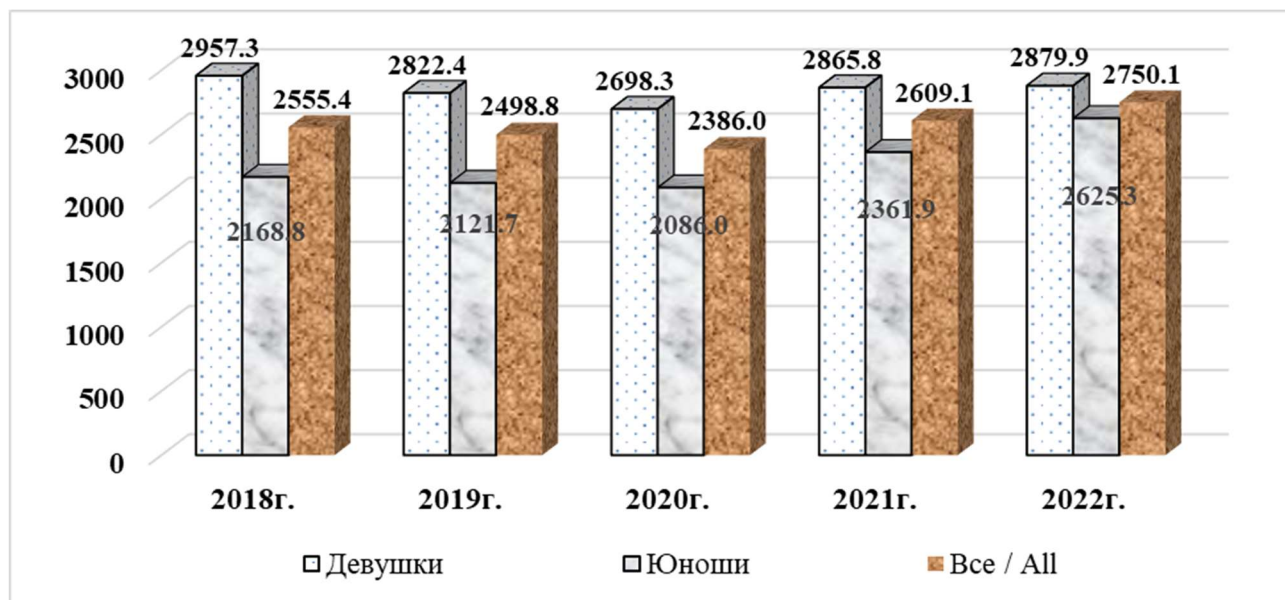


Рисунок 1. Динамика заболеваемости среди юношей и девушек за 2018-2022 гг. (на 1000 чел. соответственно)

Figure 1. Dynamics of morbidity among young men and women for 2018–2022 (per 1000 people, respectively)

Наиболее распространенными среди подростков являются болезни органов дыхания, пищеварения, нервной системы, костно-мышечной системы и соединительной ткани, травмы. За годы наблюдения частота болезней органов дыхания увеличилась с 750,9 до 948,1 случая на 1000 человек населения, т.е. в 1,2 раза, в т.ч. бронхиальной астмы с 12,8 до 14,5. В 2022 г. зарегистрировано 93,8% заболеваний COVID-19, в то время как уровень болезней органов дыхания достиг 1041,9%, что в 1,4 раза выше, чем в 2018 году. Возросла частота болезней нервной системы (с 222,9 до 249,5%), костно-мышечной системы и соединительной ткани (с 185,9 до 189,2%) и врожденных пороков (с 19,2 до 26,4%) в 1,4 раза. В 1,3 раза увеличилось число новообразований и в 1,5 раза – инфекционных заболеваний. Остальные формы патологии имели тенденцию к снижению, однако на фоне снижения общего уровня распространенности болезней эндокринной системы возросло число лиц с сахарным диабетом (табл. 2).

В 2018 г. заболевания по рангу в соответствии с частотой распространения распределились следующим образом: на 1-м месте – болезни органов дыхания

29,3%), на 2-м месте – травмы (9,9%), на 3-м – болезни органов пищеварения и болезни нервной системы (по 8,7%), на 4-м – болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани (7,2%).

Таблица 2. Заболеваемость подростков Республики Башкортостан в 2018 г. и 2022 г., на 1000 населения

Table 2. Morbidity of adolescents in the Republic of Bashkortostan in 2018 and 2022 (per 1000 population)

Болезни	Подростки		Юноши		Девушки	
	2018 г.	2022 г.	2018 г.	2022 г.	2018 г.	2022 г.
Всего	2555,4	2750,1	2168,8	2625,3	2957,3	2879,9
Инфекционные	28,6	43,2	22,4	41,6	35,0	44,8
Новообразования	9,1	11,7	8,1	11,8	10,2	11,5
Злокачественные	1,3	1,4	1,2	1,3	1,3	1,5
Крови	55,7	45,6	30,6	24,8	81,8	67,2
Эндокринные, в т.ч. сахарный диабет	121,8	111,6	96,4	108,9	148,2	114,3
	2,7	3,0	2,6	3,1	2,8	2,9
Психические расстройства	69,1	48,3	45,0	56,2	94,2	40,1
Нервной системы	222,9	249,5	193,8	222,7	253,1	277,5
Системы кровообращения	45,6	32,8	45,4	40,6	45,8	24,7
Органов дыхания, в т.ч. бронхиальная астма	750,9	948,1	664,8	926,6	840,5	970,5
	12,8	14,5	14,5	17,0	11,0	11,8
Органов пищеварения	223,5	191,2	180,9	170,6	267,8	212,6
Кожи и подкожной клетчатки	106,1	60,6	87,3	107,3	125,6	115,8
Костно-мышечной системы и соединительной ткани	185,9	189,2	185,0	201,8	186,8	176,1
Мочеполовой системы	112,1	87,9	45,7	32,5	181,2	145,6

Продолжение таблицы 2.

Continuation of Table 2.

Болезни	Подростки		Юноши		Девушки	
	2018 г.	2022 г.	2018 г.	2022 г.	2018 г.	2022 г.
Врожденные пороки развития	19,2	26,4	19,8	28,4	18,4	24,4
Травмы	252,8	205,2	259,7	250,2	245,6	158,3
COVID-19	-	93,8	-	89,3	-	98,5

Следующие места заняли болезни эндокринной (4,7%) и мочеполовой (4,3%) систем. Вместе они составили 72,8% всей заболеваемости подростков в 2018 году. В 2022 году структура была несколько иная: болезни органов дыхания заняли уже 34,5%, а вместе с COVID-19 (3,4%) составили 37,9% среди всех заболеваний, на 2-е место поднялись болезни нервной системы (9,0%), далее травмы (7,4%), болезни органов пищеварения (6,9%), болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани (6,8%), эндокринной (4,0%) и мочеполовой (3,2%) систем, составив 75,2% всей заболеваемости в 2022 г. (рис. 2).

Так, среди юношей несмотря на то, что уровень заболеваемости в целом ниже, чем среди девушек, большинство болезней по отдельным классам имели тенденцию к росту. Особенно заметно увеличилась частота новообразований, врожденных пороков (в 1,4 раза), инфекционных болезней (в 1,8 раза). Снижение заболеваемости у юношей произошло только по заболеваниям крови, сердечно-сосудистой, мочеполовой систем. Среди девушек, наоборот, большинство заболеваний стало регистрироваться меньше, особенно эндокринных (в 1,3 раза), травм (в 1,5 раза), болезней системы кровообращения (в 1,8 раза), психических (в 2,1 раза) заболеваний.

Рост заболеваемости в 1,3 раза отмечен по инфекционным заболеваниям и врожденным порокам. Следует заметить, что у юношей выше темп роста заболеваемости, чем у девушек по инфекционным заболеваниям (1,8 и 1,3 раза соответственно), новообразованиям (1,4 и 1,1 раза соответственно), врожденным порокам (1,4 и 1,3 раза соответственно). COVID-19 среди девушек регистрировался на 9,2% больше, чем среди юношей.

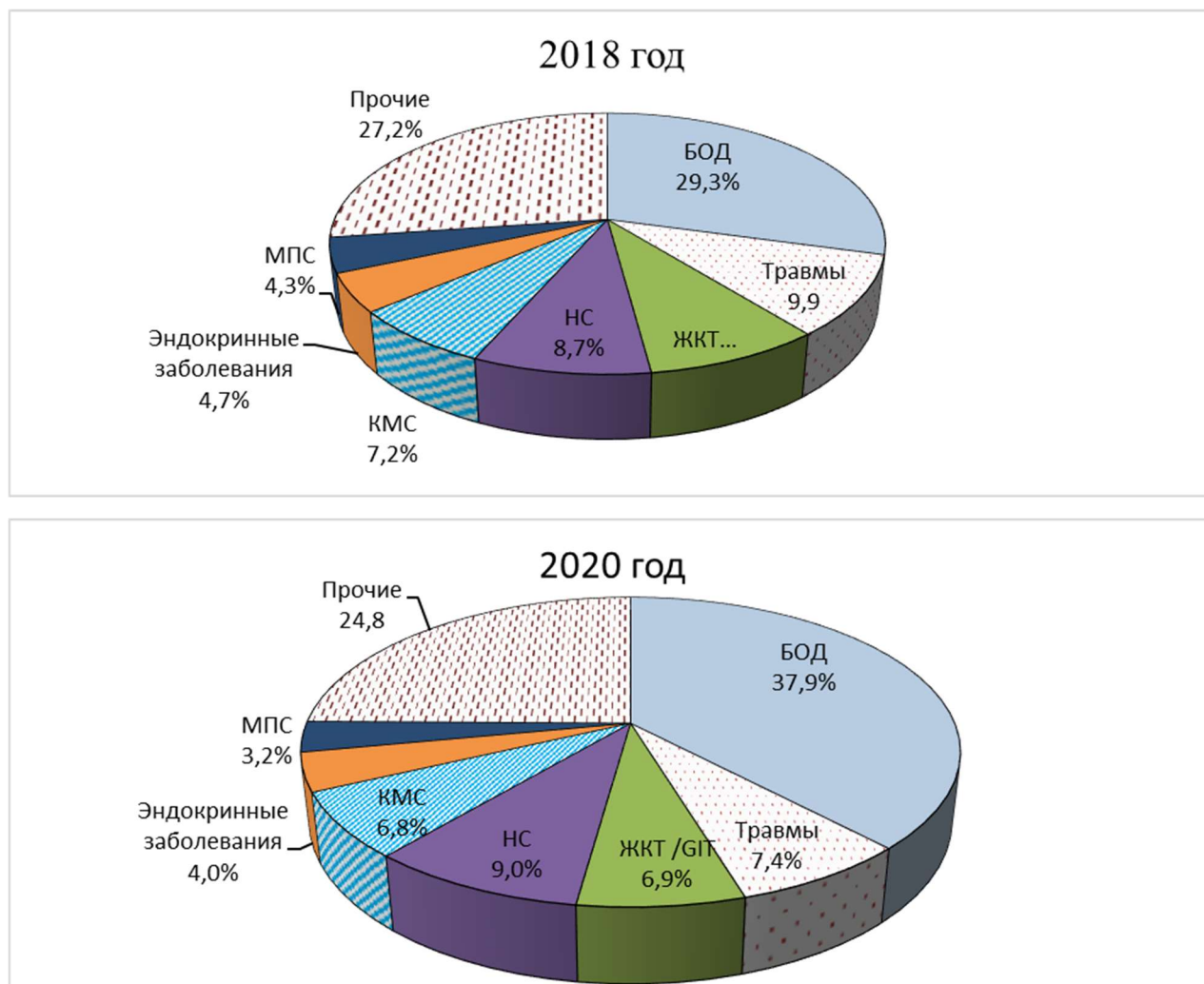


Рисунок 2. Структура заболеваемости подростков в 2018 и 2020 годах (в % к итогу)

Figure 2. Structure of adolescent morbidity in 2018 and 2020 (as a percentage of the total)

Примечания: ЖКТ – желудочно-кишечный тракт; НС – нервная система; КМС – костно-мышечная система; МПС – мочеполовая система

Структура заболеваемости и ранговые места отличаются у юношей и девушек (табл. 3). В структуре заболеваемости юношей первые два места так же, как в общей популяции подростков, заняты болезнями органов дыхания и травмами, на 3-м месте находятся болезни нервной системы, на 4-е перешли болезни костно-мышечной системы, на 5-е – болезни органов пищеварения. Удельный вес отдельных заболеваний изменился за годы наблюдения, но ранговые места их остались одинаковыми. Структура заболеваемости девушек отличается от общеподростковой и от юношеской и разная в начале (2018 г.) и в конце (2022 г.) наблюдения.

Таблица 3. Ранговые места наиболее распространенных заболеваний у юношей и девушек в 2018-2022 гг.

Table 3. Ranked positions of the most common diseases among young men and women in 2018–2022

Нозологические формы болезней по МКБ-10	Юноши				Девушки			
	2018 г.		2022 г.		2018 г.		2022 г.	
	ранг	%	ранг	%	ранг	%	ранг	%
Болезни органов дыхания	1	(30,5)	1	(38,1)	1	(28,4)	1	(37,0)
Травмы	2	(11,5)	2	(9,5)	4	(8,1)	5	(5,2)
Болезни нервной системы	3	(8,7)	3	(8,3)	3	(8,4)	2	(9,4)
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	4	(8,3)	4	(7,6)	5	(6,1)	4	(5,9)
Болезни органов пищеварения	4	(8,3)	5	(6,4)	2	(8,8)	3	(7,3)
Болезни эндокринной системы	5	(4,1)	6	(3,8)	3	(8,4)	7	(3,8)
Болезни кожи и подкожной клетчатки	6	(3,7)	6	(3,8)	6	(8,1)		(3,8)
Болезни мочеполовой системы	7	(1,8)			5	(6,1)	6	(4,8)

Так, у них в 2018 году на 1-м месте были болезни органов дыхания (28,4%), на 2-м – болезни органов пищеварения (8,1%), далее травмы и болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани, однако в 2022 г. наибольший удельный вес имеют болезни органов дыхания (37,0%), центральной нервной (8,4%), пищеварительной (7,3%), костно-мышечной (5,9%) систем.

Следует заметить, что вновь выявленная заболеваемость с 1444,03 в 2018 г. выросла до 1779,23 на тысячу подростков, или в 1,23 раза, так же, как и общая накопленная заболеваемость за счет инфекционных заболеваний (в 1,2 раза), врожденных пороков (в 2,0 раза), болезней нервной системы (в 1,4 раза), новообразований (в 1,4 раза), болезней органов дыхания (в 1,3 раза). В 2022 году в 1,45 раза больше диагностировано злокачественных новообразований и в 1,7 раза

больше бронхиальной астмы, а также зарегистрировано 93,8% случаев COVID-19 (табл. 4).

Выявленные нами закономерности в динамике общей (накопленной) заболеваемости и ее структуре характерны как для вновь выявленной, так и в целом для подростков, юношей и девушек: частота впервые выявленных болезней среди девушек больше, чем среди юношей, но среди последних растет более высоким (в 1,4 раза) темпом, чем среди первых. Ведущими вновь выявленными заболеваниями и в 2018, и в 2022 гг. среди подростков явились болезни органов дыхания (45,9 и 50,0% соответственно), травмы (17,5 и 11,5%, соответственно) и болезни органов пищеварения (6,1 и 5,2%, соответственно), составившие от 68,5 до 71,0% всей первичной заболеваемости. Эти же три формы заболеваний у юношей за годы наблюдения составили 67,9 и 75,2%, у девушек – 65,8 и 70,5%, причем с ростом болезней органов дыхания в 1,7 раза (вместе с COVID-19 – в 1,9 раза).

Среди юношей почти все формы болезней за годы наблюдения стали регистрироваться чаще, особенно заметный рост отмечен по инфекционным заболеваниям (в 2,4 раза), бронхиальной астме (в 2,4 раза), врожденным порокам (в 2,3 раза), сосудистым заболеваниям (в 1,7 раза), новообразованиям (в 1,5 раза), сахарному диабету (в 1,4 раза), болезням нервной системы (в 1,4 раза). Среди девушек, наоборот, новых случаев многих заболеваний стало меньше, но рост вновь выявленной заболеваемости произошел за счет врожденных пороков (в 1,8 раза), инфекционных болезней (в 1,6 раза), новообразований (в 1,4 раза; злокачественных форм в 1,9 раза), болезней органов дыхания (в 1,2 раза) (табл. 4).

В литературе [2] имеются данные о частоте впервые выявленных заболеваний среди подростков России в 2005 и 2020 годах. Сравнение их с аналогичными данными подростков Республики Башкортостан показало, что заболеваемость в республике в 1,2-1,4 раза выше, чем в России, однако в первой имеется тенденция к снижению, а во второй – к увеличению. При этом в республике снижение характерно для всех указанных в таблице заболеваний, кроме сахарного диабета, частота которого возросла в 1,6 раза. У российских подростков уровень первичной заболеваемости увеличился в основном за счет сахарного диабета (в 2,0 раза), новообразований (в 1,5 раза), психических расстройств (в 1,4 раза), болезней крови (в 1,2 раза) (табл. 5).

Таблица 4. Вновь выявленная (первичная) заболеваемость среди юношей и девушек, на 1000 человек

Table 4. Newly diagnosed (primary) morbidity among young men and women (per 1000 people)

Нозологические формы болезней по МКБ-10	Подростки		Юноши		Девушки	
	2018 г.	2022 г.	2018 г.	2022 г.	2018 г.	2022 г.
Всего	1444,0	1779,2	1220,5	1706,8	1676,3	1854,6
Инфекционные болезни	20,2	40,1	15,4	38,2	25,1	42,2
Новообразования	3,3	4,9	3,3	5,0	3,3	4,7
Злокачественные новообразования	0,1	0,1	0,09	0,09	0,1	0,2
Болезни крови	18,7	18,6	10,5	8,9	27,3	28,7
Болезни эндокринной системы, в т.ч. сахарный диабет	31,3	32,8	19,4	30,7	43,7	35,0
	0,2	0,2	0,15	0,2	0,2	0,2
Психические расстройства	8,9	5,6	8,8	6,1	8,9	5,1
Болезни нервной системы	53,4	75,2	41,6	62,3	65,7	88,6
Болезни системы кровообращения	12,0	12,1	13,7	17,1	10,3	6,8
Болезни органов дыхания, в т.ч. бронхиальная астма	664,2	891,9	511,0	867,4	740,3	917,3
	0,9	1,6	0,78	19,2	1,1	1,4
Болезни органов пищеварения	89,0	93,6	60,24	79,7	119,0	108,0
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	54,0	60,6	51,37	63,1	56,7	58,0
Мочеполовая система	56,5	50,0	12,2	14,4	102,5	87,1
Врожденные пороки развития	1,0	2,1	1,03	2,4	1,0	1,8
Травмы	252,8	205,2	259,7	250,2	245,6	158,3
Беременность, роды, п/родовой период	-	-	-	-	10,5	4,6
COVID-19		93,8	-	89,3	-	98,5

Таблица 5. Первичная заболеваемость подростков 15-17 лет в Российской Федерации и Республике Башкортостан в 2005 и 2020 гг. (на 1000 чел.)

Table 5. Primary morbidity of adolescents aged 15–17 in the Russian Federation and the Republic of Bashkortostan in 2005 and 2020 (per 1,000 people)

Болезни	Республика Башкортостан		Российская Федерация	
	2005 г.	2020 г.	2005 г.	2020 г.
Все болезни	1560,4	1535,4	1114,5	1218,8
Новообразования	3,2	3,5	3,1	4,6
Болезни нервной системы	43,7	40,0	30,6	31,6
Психические расстройства	3,7	2,3	1,4	2,0
Болезни глаз и его придаточного аппарата	61,5	39,2	46,4	47,2
Болезни крови/анемии	40,4/38,5	22,6/22,4	6,7/6,0	8,2/7,4
Болезни органов пищеварения	107,2	58,9	59,4	62,3
Сахарный диабет/ожирение	0,1/3,4	0,2/3,0	0,1/2,8	0,3/7,0
Травмы, отравления	118,4	142,1	121,1	139,3

Обсуждение. Исследование показало, что за последние 10 лет публикаций о здоровье подростков в стране крайне мало. В них содержатся сведения о здоровье подростков, факторами, влияющими на здоровье, названы социально-гигиенические, биологические, экологические и условия образовательного процесса. Однако работ, отражающих взаимосвязи здоровья и этих факторов, практически нет. Работ об учащих профессионально-образовательных учреждений единицы. Сведений о здоровье учащихся по профессиям нефтехимических производств, крайне важных для Республики Башкортостан, мы не обнаружили. Лишь публикации 60-80-х годов прошлого века, выполненные учеными Уфимского НИИ гигиены и профзаболеваний (ныне Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека), отражают процесс формирования здоровья у подростков (юношей и девушек), обучающихся на машинистов, аппаратчиков, лаборантов нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. Установлены неблагоприятные производственные факторы в процессе обучения и производственной практики, влияющие на здоровье: у них проявляются гемодинамические сдвиги, вегетососудистая неустойчивость, снижаются антиоксидантные показатели. У девушек наблюдаются нарушения менструального

цикла, более выражена утомляемость. Исследователи считают подростковый возраст фактором риска для работы в производственных условиях нефтехимического предприятия. Имеется ряд нормативных и методических документов, которые регулируют труд подростков, однако в настоящее время часть из них требует актуализации и пересмотра.

Подростки являются основным резервом трудовых ресурсов страны. В условиях, когда в республике за 2018-2020 гг. население сократилось на 61615 человек, рост числа подростков (15-17 лет) на 4613 человек представляет положительное явление. Однако заболеваемость среди подростков последние годы растет и является самой высокой относительно всей популяции (в 1,2-1,3 раза), взрослого (1,3-1,4 раза) и детского (1,1-1,2 раза) населения. Девушки болеют чаще, чем юноши, но темп роста заболеваемости среди последних выше.

Основными заболеваниями, формирующими здоровье подростков, являются болезни органов дыхания, пищеварения, костно-мышечной систем и травмы, что в принципе не отличается от данных, приведенных в обзоре отечественной и зарубежной литературы [3]. Среди юношей рост заболеваемости происходит за счет увеличения числа вновь выявленных заболеваний: инфекционных (2,4 раза), бронхиальной астмы (2,4 раза), сахарного диабета (1,4 раза), новообразований (1,5 раза), сердечно-сосудистых (1,7 раза), нервных (1,4 раза). Среди девушек динамика заболеваемости как общей, так и вновь выявленной остается стабильной, небольшой рост ее уровня происходит за счет болезней органов дыхания (1,7 раза), вместе с COVID-19 – в 1,9 раза. Следует заметить, что среди подростков Республики Башкортостан новых заболеваний и в 2015, и в 2020 году выявлено в 1,2-1,4 раза больше, чем в Российской Федерации [2].

Ограничения исследования. В статью включены материалы исследований Уфимского научно-исследовательского института медицины труда и экологии человека за 1969-1980-е годы, посвященные санитарно-гигиеническим условиям обучения и состоянию здоровья учащихся ПТУ нефтяного профиля, и показатели заболеваемости подростков из официальных отчетов МЗ Республики Башкортостан за 2018-2022 гг.

Заключение. В последние годы в стране происходит интенсивный рост производств, импортозамещение, заметный подъем экономики. В связи с этим возникает большая потребность в кадрах, в значительной части подготовленных в системе среднего профессионального образования. Результаты наших исследований показали, что имеется серьезная необходимость в разработке

специальной программы по сохранению здоровья подростков, включающей следующие мероприятия:

- проводить исследования подростков и учащихся профессионально-технических учебных заведений как особой социальной группы населения;
- идентифицировать действующие на подростков факторы и оценить степень их риска здоровью;
- изучать заболеваемость подростков с учетом их возрастных, гендерных особенностей в динамике лет роста и обучения в зависимости от будущей профессии;
- выделить приоритетные заболевания, формирующие показатели здоровья юношей и девушек;
- разработать комплекс мероприятий по ранней диагностике, диспансеризации, лечению и реабилитации, обратив особое внимание, что практически каждый подросток в течение года имеет новое заболевание органов дыхания (891,9‰), каждый десятый – органов пищеварения (93,6‰), каждый двенадцатый – заболевание нервной системы (75,2‰);
- определить медицинские показания и противопоказания к профессиональному отбору по отдельным профессиям в различных отраслях экономики с учетом неблагоприятных производственных факторов.

Особого внимания и изучения требуют факты роста частоты злокачественных новообразований, сахарного диабета, бронхиальной астмы, врожденных пороков развития; необходимо выяснить причины ускоренного темпа роста заболеваемости среди юношей. Травмы, частота которых достигает 1,0-1,5 случая на каждого четвертого требует разработки специальной программы по профилактике и снижению травматизма среди подростков.

Здоровье подростков формирует здоровье трудового потенциала страны. Программа по сохранению здоровья подростков должна разрабатываться на государственном уровне с определением конкретных задач всех заинтересованных структур власти и общества.

Список литературы:

1. Шубочкина Е.И. Охрана здоровья учащихся в организациях среднего профессионального образования в европейских странах (научный обзор). Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. 2020; 4: 21-31.
2. Мальцев С.В., Мансурова Г.Ш. Современная проблема состояния здоровья подростков. Практическая медицина. 2022; 7: 28-33.
<https://doi.org/10.32000/2072-1757-2022-7-28-33>
3. Тимофеева Е.П., Карцева Т.В., Рябиченко Т.И., Скосырева Г.А. Состояние здоровья современных подростков (обзор литературы). Journal of Siberian Medical Sciences. 2016; 4: 5.
4. WHO Recommendations on Adolescent Health. Geneva: World Health Organization; 2017 Aug. PMID: 30183215
5. Давлетнуров Н.Х., Степанов Е.Г., Жеребцов А.С., Туктарова И.О. Анализ состояния среды обитания человека и ее влияние на здоровье населения Республики Башкортостан. Медицина труда и экология человека. 2018; 4: 27-35.
6. Несмеянова Н. Н., Соседова Л. М. Состояние микроэкологии слизистых верхних дыхательных путей у подростков, проживающих в городах с химической промышленностью. Экология человека. 2015; 4: 32-38.
7. Вельтищев Ю.Е. Экологическая детерминированность патологии детского возраста. Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2001; 1: 6-10.
8. Галеев А.К. Гигиеническая оценка загрязнения окружающей среды и состояние здоровья подростков на территориях города с разным уровнем антропогенной нагрузки: автореферат дис. ... к.м.н.: 14.02.01 Казань, 2011; 22.
9. Кучма В.Р. Гигиена детей и подростков. М.: «Медицина»; 2011: 383.
10. Казаева О. В., Силкина А. О., Соколовская А. В. Факторы риска здоровью обучающихся в условиях реформирования системы среднего профессионального образования. Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2022; 1: 113–122. <https://doi.org/10.23888/НМЖ2022101113-122>.
11. Кучма В.Р., Соколова С.Б. Социально-гигиенический анализ современного поведения подростков, опасного в отношении собственного здоровья. Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. 2022; 3: 4-24.
12. Кучма В.Р., Киек О.В., Покровский В.М. Динамика функционального состояния обучающихся профессии «секретарь-референт» при прохождении производственной практики. Гигиена и санитария. 2023; 102(3): 265-271. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-3-265-27>
13. Шубочкина Е.И., Блинова Е.Г. Современные аспекты обучения в организациях среднего профессионального образования и здоровье обучающихся. Здоровье населения и среда обитания. 2021; (10): 53-59. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-10-53-59>
14. Michaud P-A., Jansen D., Schrier L. at al. An exploratory survey on the state of training in adolescent medicine and health in 36 European countries. Eur J Pediatr. 2019; 178(10): 1559-1565. <https://doi.org/10.1007/s00431-019-03445-1>
15. Zimmer J., Hartl S., Standfuß K. Handling of hazardous drugs - Effect of an innovative teaching session for nursing students. Nurse Educ Today. 2017; 49: 72-78. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2016.11.002>
16. Jaffee S. R., Ambler A., Merrick M. at al. Childhood Maltreatment Predicts Poor Economic and Educational Outcomes in the Transition to Adulthood. Am J Public Health. 2018; 108(9): 1142-1147. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2018.304587>.
17. Антонова Л.Т., Сердюковская Г.Н. Состояние здоровья учащихся профтехучилищ различного профиля. Гигиена и санитария. 1983; 6: 34-7.
18. Кучма В.Р., Шубочкина Е.И., Янушанец О.И., Чепрасов В.В. Оценка рисков здоровью учащихся профессиональных колледжей в зависимости от характера осваиваемых профессий.

Гигиена и санитария. 2019; 98(11): 1257-1261. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1257-1261>

19. Думкина Г.З., Суханова В.А., Головина Г.П. Динамика показателей физического развития и состояния здоровья учащихся среднего ПТУ нефтехимического профиля. Гигиена производственной среды в нефтяной, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и газовой промышленности. Сборник научных трудов. Т.V. М., 1974: 82-85.

20. Суханова В.А., Вирпша Л.В., Думкина Г.З., Полянский В.А. Динамика функционального состояния организма в период обучения подростков в среднем профессионально-техническом училище. Гигиена и санитария. 1974; 2: 33-36.

21. Бурдыгина М.Я., Думкина Г.З. Гигиеническая оценка различных режимов обучения подростков профессии аппаратчика химического завода при контакте с хлором и хлорированными углеводородами. Гигиена и санитария. 1971; 9: 39-41.

22. Суханова В.А., Лемехова Л.В., Думкина Г.З., Мустаева Н.Л. Материалы сравнительного изучения функциональных сдвигов в организме подростков и молодых рабочих под влиянием действия продуктов сернистой нефти. Гигиена труда и охрана здоровья рабочих в нефтяной и нефтехимической промышленности. Сборник научных трудов. Т.VII. Уфа, 1972.

23. Вирпша Л.В., Суханова В.А., Думкина Г.З. Влияние на подростков условий и режима обучения в среднем профессионально-техническом училище профессии слесаря-монтажника нефтеперерабатывающей промышленности и меры профилактики неблагоприятного воздействия. Методические рекомендации. МЗ РСФСР. 1974.

24. Лемехова Л.В., Думкина Г.З. Клинико-функциональное исследование подростков в процессе обучения профессии машиниста и помощника оператора по переработке нефти и газа. Материалы н/п конференции по итогам гигиенических исследований за 1966-1967 годы. г. Ставрополь, 1969. 298-299.

25. Набиева Г.М., Покало В.Н., Думкина Г.З. Влияние условий обучения в техническом училище нефтехимического производства на состояние здоровья девушек. Экология здоровья женщин и детей в Республике Башкортостан. Материалы докладов н/п конференции 27-28 ноября 1998 г.

26. Покало В.Н., Думкина Г.З., Дусеева Ф.А. Влияние учебной и производственной деятельности на организм девушек в условиях нефтехимического производства. Гигиена производственной и окружающей среды, охрана здоровья рабочих в нефтегазодобывающей и нефтехимической промышленности. Сборник научных трудов. М., 1988. Т.18. 63-67.

References:

1. Shubochkina E.I. Student health protection in secondary vocational education institutions in European countries (scientific review). Issues of school and university medicine and health. 2020; 4: 21-31 (in Russian).

2. Maltsev S.V., Mansurova G.Sh. Modern problem of adolescent health. Practical medicine. 2022; 7: 28-33 <https://doi.org/10.32000/2072-1757-2022-7-28-33> (in Russian).

3. Timofeeva E.P., Kartseva T.V., Ryabichenko T.I., Skosyreva G.A. The state of health of modern adolescents (literature review). Journal of Siberian Medical Sciences. 2016; 4:5 (in Russian).

4. WHO Recommendations on Adolescent Health. Geneva: World Health Organization; 2017 Aug. PMID: 30183215

5. Davletnurov N.Kh., Stepanov E.G., Zhrebtsov A.S., Tuktarova I.O. Analysis of the state of the human environment and its impact on the health of the population of the Republic of Bashkortostan. Occupational medicine and human ecology. 2018; 4: 27-35 (in Russian).

6. Nesmeyanova N. N., Sosedova L. M. The state of microecology of the mucous membranes of the upper respiratory tract in adolescents living in cities with the chemical industry. *Human ecology*. 2015; 4: 32-38 (in Russian).
7. Veltishchev Yu.E. Environmental determinism of childhood pathology. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2001; 1:6-10 (in Russian).
8. Galeev A.K. Hygienic assessment of environmental pollution and the health status of adolescents in city areas with different levels of anthropogenic load: abstract of thesis. ... Ph.D.: 02.14.01 Kazan; 2011: 22. (in Russian).
9. Kuchma V.R. Hygiene of children and adolescents. M.: «Medicine»; 2011: 383 (in Russian).
10. Kazaeva O. V., Silkina A. O., Sokolovskaya A. V. Risk factors for the health of students in the context of reforming the system of secondary vocational education. *Science of the Young (Eruditio Juvenium)*. 2022; 1: 113–122. <https://doi.org/10.23888/HMJ2022101113-122> (in Russian).
11. Kuchma V.R., Sokolova S.B. Social and hygienic analysis of modern behavior of adolescents that is dangerous in relation to their own health. *Issues of school and university medicine and health*. 2022; 3:4-24 (in Russian).
12. Kuchma V.R., Kiyok O.V., Pokrovsky V.M. Dynamics of the functional state of students of the «secretary-assistant» profession during practical training. *Hygiene and sanitation*. 2023; 102(3): 265-271. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-3-265-27> (in Russian).
13. Shubochkina E.I., Blinova E.G. Modern aspects of training in secondary vocational education organizations and the health of students. *Population health and habitat*. 2021; (10): 53-59. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-10-53-59> (in Russian).
14. Michaud P-A., Jansen D., Schrier L. at al. An exploratory survey on the state of training in adolescent medicine and health in 36 European countries. *Eur J Pediatr*. 2019; 178(10): 1559-1565. <https://doi.org/10.1007/s00431-019-03445-1>
15. Zimmer J., Hartl S., Standfuß K. Handling of hazardous drugs - Effect of an innovative teaching session for nursing students. *Nurse Educ Today*. 2017; 49: 72-78. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2016.11.002>
16. Jaffee S. R., Ambler A., Merrick M. at al. Childhood Maltreatment Predicts Poor Economic and Educational Outcomes in the Transition to Adulthood. *Am J Public Health*. 2018; 108(9): 1142-1147. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2018.304587>.
17. Antonova L.T., Serdyukovskaya G.N. The health status of students in vocational schools of various profiles. *Hygiene and sanitation*. 1983; 6: 34-7 (in Russian).
18. Kuchma V.R., Shubochkina E.I., Yanushanets O.I., Cheprasov V.V. Assessment of health risks for students of vocational colleges depending on the nature of the professions being mastered. *Hygiene and sanitation*. 2019; 98(11): 1257-1261. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1257-1261> (in Russian).
19. Dumkina G.Z., Sukhanova V.A., Golovina G.P. Dynamics of indicators of physical development and health status of students of secondary vocational schools with a petrochemical profile. *Hygiene of the working environment in the oil refining, petrochemical and gas industries. Collection of scientific works*. T.V. M., 1974: 82-85 (in Russian).

20. Sukhanova V.A., Virpsha L.V., Dumkina G.Z., Polyansky V.A. Dynamics of the functional state of the body during the period of adolescents' training in a secondary vocational school. Hygiene and sanitation. 1974; 2: 33-36 (in Russian).
21. Burdygina M.Ya., Dumkina G.Z. Hygienic assessment of various modes of training adolescents to be chemical plant operators in contact with chlorine and chlorinated hydrocarbons. Hygiene and sanitation. 1971; 9: 39-41 (in Russian).
22. Sukhanova V.A., Lemekhova L.V., Dumkina G.Z., Mustaeva N.L. Materials of a comparative study of the results in the workplace of adolescents and young people under the influence of sulfur petroleum products. Occupational hygiene and health protection of workers in the oil and petrochemical industries. Collection of scientific works. T.VII. Ufa, 1972. (in Russian).
23. Virpsha L.V., Sukhanova V.A., Dumkina G.Z. The impact on adolescents of the conditions and mode of training in a secondary vocational school for the profession of a fitter in the oil refining industry and measures to prevent adverse effects. Methodological recommendations. Ministry of Health of the RSFSR. 1974. (in Russian).
24. Lemekhova L.V., Dumkina G.Z. Clinical and functional study of adolescents in the process of learning the profession of a machinist and assistant operator in oil and gas processing. Materials of the scientific conference on the results of hygienic research for 1966-1967. Stavropol, 1969. 298-299 (in Russian).
25. Nabieva G.M., Pokalo V.N., Dumkina G.Z. The influence of learning conditions at a technical school of petrochemical production on the health of girls. Ecology of women's and children's health in the Republic of Bashkortostan. Materials of reports at the conference on November 27-28, 1998. (in Russian).
26. Pokalo V.N., Dumkina G.Z., Duseeva F.A. The influence of educational and production activities on the body of girls in the conditions of petrochemical production. Industrial and environmental hygiene, worker health protection in the oil and gas production and petrochemical industries. Collection of scientific works. M., 1988. T.18. 63-67 (in Russian).

Поступила/Received: 11.09.2024

Принята в печать/Accepted: 27.11.2024

УДК 575.113

ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОСТИ ТРАНСПОЗОНА LINE1 ПРИ ТОКСИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Каримов Д.Д.^{1,2}, Валова Я. В.^{1,3}, Гизатуллина А.А.¹, Смолянкин Д.А.¹, Кудояров Э.Р.¹, Каримов Д.О.^{1,4}

¹ ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», Уфа, Россия

² ФГБНУ «Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН», Уфа, Россия

³ ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Уфа, Россия

⁴ ФГБНУ «Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н.А. Семашко», Москва, Россия

Алюминий занимает одно из ведущих мест среди металлов, активно применяемых в пищевой, фармацевтической и других областях промышленности. Широкая распространенность изделий из алюминия обуславливает с заметное воздействие его соединений на организм человека. Данное исследование проводилось с целью изучения активации транспозонов LINE1 в печени и почках крыс при воздействии различных доз гидроксида алюминия в условиях подострой экспериментальной модели путем определения экспрессии РНК.

Материалы и методы. В работе использованы белые аутбредные крысы линии Wistar. Для определения токсичности алюминия животным в экспериментальных группах вводили раствор $Al(OH)_3$, смешанный с 2% крахмалом, в дозах 0,015 мг/кг, 0,15 мг/кг и 1,5 мг/кг. Оценка транскрипционной активности гена выполнялась с использованием метода ОТ-ПЦР.

Полученные результаты показали, что пероральное введение гидроксида алюминия в дозе 1,5 мг/кг в течение двух месяцев вело к увеличению уровня экспрессии транспозонов LINE1 в почках животных, тогда как в печени изменений не отмечалось. Эти результаты подтверждают данные о том, что почки являются одной из главных мишеней для токсического воздействия алюминиевых соединений.

Ключевые слова: тяжелые металлы, транспозон, LINE1, алюминий, гидроксид алюминия.

Для цитирования: Каримов Д.Д., Валова Я. В., Гизатуллина А.А., Смолянкин Д.А., Кудояров Э.Р., Каримов Д.О. Повышение активности транспозона LINE1 при

токсическом воздействии гидроксида алюминия. Медицина труда и экология человека. 2024; 4: 146-154.

Для корреспонденции: Каримов Денис Дмитриевич, к.б.н., лаборатория генетики отдела токсикологии и генетики ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», старший научный сотрудник; e-mail: karriden@gmail.com.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10409>

LINE1 TRANSPOSON ACTIVITY INCREASE BY ALUMINUM HYDROXIDE TOXIC EXPOSURE

Karimov D.D. ^{1,2}, Valova Ya.V. ^{1,3}, Gizatullina A.A. ¹, Smolyankin D.A. ¹, Kudoyarov E.R. ¹, Karimov D.O. ^{1,4}

¹ Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, Ufa, Russia

² Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

³ Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

⁴ National Research Institute of Public Health named after N.A. Semashko, Moscow, Russia

Aluminum occupies one of the leading places among metals actively used in food, pharmaceutical and other industries. The widespread use of aluminum products causes a noticeable effect of its compounds on the human body. **This study was conducted to** study the activation of LINE1 transposons in the liver and kidneys of rats exposed to various doses of aluminum hydroxide in a subacute experimental model by determining RNA expression.

Materials and methods . The work used white outbred Wistar rats. To determine aluminum toxicity, animals in the experimental groups were administered a solution of Al (OH) ₃ mixed with 2% starch at doses of 0.015 mg / kg, 0.15 mg / kg and 1.5 mg / kg. The transcriptional activity of the gene was assessed using the RT-PCR method.

The results showed that oral administration of aluminum hydroxide at a dose of 1.5 mg/kg for two months led to an increase in the expression level of LINE1 transposons in the kidneys of animals, while no changes were observed in the liver. These results

confirm the data that the kidneys are one of the main targets for the toxic effects of aluminum compounds.

Keywords: heavy metals, transposon, LINE1, aluminum, aluminum hydroxide.

Citation: Karimov D.D., Valova Ya.V., Gizatullina A.A., Smolyankin D.A., Kudoyarov E.R., Karimov D.O. LINE1 transposon activity increase by aluminum hydroxide toxic exposure Occupational Health and Human Ecology. 2024; 4: 146-154.

Correspondence: Denis Dmitrievich Karimov, PhD, Laboratory of Genetics, Department of Toxicology and Genetics, Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, Senior Researcher; e-mail: karriden@gmail.com.

Financing: the study did not have sponsorship.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10409>

Алюминий является одним из наиболее популярных металлов, используемых в самых различных секторах, включая производство продуктов питания и фармацевтику. В результате этого люди ежедневно подвергаются значительному влиянию алюминия и его производных. Это вызывает рост обеспокоенности по поводу того, что взаимодействие человека с алюминием из множества источников может увеличивать риск возникновения негативных последствий для здоровья.

Алюминий оказывает значительное воздействие на клеточный гомеостаз и способствует развитию окислительного стресса, окисления белков и липидов [1, 2]. В ответ на воздействие алюминия происходит активация экспрессии генов, инициирующих воспалительные и апоптотические процессы, что также влияет на активность ферментов и обмен аденозинтрифосфата (АТФ) [3]. Действие алюминия на биохимические процессы в клетках может играть важную роль в развитии различных патологических состояний и подчеркивает необходимость дальнейшего изучения его токсичности и механизма действия.

Длинные распределенные ядерные элементы (Long Interspersed Nuclear Elements 1, LINE-1, L1) являются распространенными мобильными элементами, занимают приблизительно 17% человеческого генома. Они относятся к классу ретротранспозонов non-LTR и распространяются по геному посредством процесса ретротранспозиции. Однако каждый молекулярный шаг ретротранспозиции регулируется настолько строго, что активность L1, как правило, подавляется в большинстве дифференцированных соматических клеток [4]. Экспрессия LINE-1 в соматических клетках подавляется посредством метилирования ДНК LINE-1 и

гистона H3K9 в районе вставок этих транспозонов, а также посредством RNA-интерференции LINE-РНК [5]. Тем не менее это угнетение на уровне соматических клеток не всегда оказывается полным, значительная часть РНК, связанной с LINE-1, может проявлять активность [6, 7]. Кроме того, повышенная подвижность LINE-1 наблюдалась в результате воздействия некоторых известных канцерогенов, таких как тяжелые металлы [8-11], бензо(а)пирен [12] и γ -излучение [13].

Цель исследования заключалась в оценке экспрессии РНК транспозонов LINE1 в печени крыс при интоксикации различными дозами гидроксида алюминия в подострой модели эксперимента.

Материалы и методы. Исследование проводилось на 48 крысах линии Wistar, весом от 170 до 230 г. Животные были случайным образом распределены на 4 группы по 12 особей (6 самцов и 6 самок) в каждой. Крысам из трех групп в течение двух месяцев ежедневно, пять раз в неделю, вводили раствор $Al(OH)_3$, разбавленный в 2% крахмальном растворе, в дозировках 0,015 мг/кг, 0,15 мг/кг и 1,5 мг/кг per os. Животные были выведены из эксперимента путем декапитации, после чего проводился забор материалов для исследования.

Экстракцию РНК из тканей печени и почек выполняли реагентом «Extract RNA» согласно инструкции производителя. РТ-ПЦР и Real-Time ПЦР проводили на приборе Bio-Rad CFX 96. Определение уровня относительной экспрессии LINE-1 проводилось согласно Gamdzyk et al. [14].

Анализ данных осуществляли с использованием Google Colab и библиотек Pandas, NumPy и SciPy для языка Python. Для оценки статистической значимости различий применялись H -критерий Краскала-Уоллиса и W -критерий Манна-Уитни. Значимость результатов определялась при уровне $p < 0,05$.

Результаты. Проведен сравнительный анализ активности (уровня относительной экспрессии (транскрипции)) ретротранспозонов семейства LINE1 у крыс, получавших разные дозы гидроксида алюминия на протяжении 2 месяцев (табл. 1).

Согласно полученным результатам, в печени не выявлено существенных различий в активности транспозонов LINE1 у крыс, получавших различные дозы токсического вещества. Однако при исследовании уровня относительной экспрессии в почках были обнаружены статистически значимые различия среди групп ($H=15,046$, $p=0,002$). Парный сравнительный анализ показал, что в группе, получавшей наибольшую дозу, уровень транскрипции LINE1 был значимо выше по сравнению с остальными группами ($p=0,002$, $p=0,0004$ и $p=0,03$ при сравнении с группами контроля, 0,015 мг/кг и 0,15 мг/кг соответственно).

Таблица 1. Уровни относительной экспрессии (транскрипции) ретротранспозонов семейства LINE1 у крыс, получавших разные дозы гидроксида алюминия на протяжении 2 месяцев

Table 1. Relative Expression (Transcription) of LINE1 Retrotransposon Family in Rats Exposed to Different Doses of Aluminum Hydroxide Over a 2-Month Period

Группа	N	Относительный уровень экспрессии в печени (среднее±SD)	Относительный уровень экспрессии в почках (среднее±SD)
Контроль	6	1,452±1,272	0,642±0,416
0,015 мг/кг	12	0,991±0,366	0,822 ±0,208
0,15 мг/кг	12	0,939±0,285	0,958±0,383
1,5 мг/кг	12	1,326±1,026	3,136±4,065
Тест Крускала-Уоллиса		H=0,707, p=0,872	H=15,046, p=0,002

Для анализа возможного влияния пола было проведено исследование активности транспозонов LINE1 среди самцов и самок отдельно (табл. 2).

Согласно полученным результатам, при разделении групп по признаку пола так же не было значимых различий в уровне транскрипции LINE1 в печени животных различных групп (H=2,139, p=0,544 при сравнении самцов и H=1,329, p=0,722 при сравнении самок). При анализе активности LINE1 в почках выявлено, что различия между группами самок статистически незначимы (H=7,628, p=0,054). В группах самцов значимость различий сохраняется (H=12,338, p=0,006). В результате попарного анализа было установлено, что у животных, получавших наибольшую дозу гидроксида алюминия, наблюдается значительно выше уровень экспрессии транспозона LINE1 по сравнению с контрольной группой (p=0,024) и группой, которой была предоставлена минимальная доза токсичного вещества (p=0,002). Различия между группой, принимавшей гидроксид алюминия в дозировке 0,15 мг/кг, оказались статистически незначимыми (p=0,240). Кроме того, отмечены существенные различия в уровнях экспрессии у самцов, принимавших гидроксид алюминия в дозах 0,15 мг/кг и 0,015 мг/кг (p=0,026).

Таблица 2. Уровни относительной экспрессии (транскрипции) ретротранспозонов семейства LINE1 у самцов и самок крыс, получавших разные дозы гидроксида алюминия на протяжении 2 месяцев

Table 2. Relative Expression (Transcription) of LINE1 Retrotransposon Family in Male and Female Rats Exposed to Different Doses of Aluminum Hydroxide Over a 2-Month Period

Пол	Группа	N	Относительный уровень экспрессии в печени (среднее±SD)	Относительный уровень экспрессии в почках (среднее±SD)
Самки	Контроль	3	1,8197±1,898	0,511±0,543
	0,015 мг/кг	6	1,127±0,469	0,938±0,133
	0,15 мг/кг	6	0,865±0,228	0,723±0,233
	1,5 мг/кг	6	1,348±0,902	2,245±1,947
	Тест Крускалла-Уоллиса		H=1,329, p=0,722	H=7,628, p=0,054
Самцы	Контроль	3	1,083±0,198	0,774±0,292
	0,015 мг/кг	6	0,856±0,173	0,706±0,213
	0,15 мг/кг	6	1,013±0,337	1,194±0,368
	1,5 мг/кг	6	1,304±1,22	4,026±5,537
	Тест Крускалла-Уоллиса		H=2,139, p=0,544	H=12,338, p=0,006

Обсуждение. Полученные результаты согласуются с данными литературных источников. Так, ранее была показана активация ретротранспозонов LINE1 вследствие воздействия солей кадмия [8], алюминия [11], ртути [10].

В соматических тканях многие факторы хозяина способствуют подавлению LINE-1 посредством метилирования ДНК, метилирования гистона H3K9 и РНК-интерференции [6]. Сообщалось, что химические вещества из окружающей среды, такие как загрязнители воздуха, тяжелые металлы и бисфенол-А, стимулируют гипометилирование LINE-1 [15-17]. Гипометилирование LINE-1 обычно использовалось в качестве альтернативного показателя уровней метилирования геномной ДНК. Обзор и метаанализ Барчитты и соавторов показали, что гипометилирование LINE-1 часто встречается у онкологических больных [18]. Таким образом, деметилирование транспозонов является основным механизмом активации транскрипции LINE-1.

Экспрессия LINE-1 коррелирует с репликационным стрессом, экспрессией белка p53 и повреждениями ДНК, по крайней мере, в определенных контекстах [19, 20]. Нокаут белка p53 способствует активации L1, что вызывает дестабилизацию геномов и воспалительные реакции, обычно наблюдаемые при раке с мутацией p53 [19]. Другим важным белком, подавляющим активность транспозонов LINE является сиртуин 6 (SIRT6). Предполагается, что генотоксические повреждения способствуют релокации SIRT6 в места повреждения ДНК, создавая окно возможностей для повышения активности L1. Обработка клеток гамма-облучением

или перекисью водорода вызывала быструю мобилизацию SIRT6 из 5'-UTR L1 и приводила к увеличению экспрессии L1. В этом контексте повышение активности L1 в ответ на мобилизацию SIRT6 для репарации ДНК представляет угрозу стабильности генома [21]. LINE-1 в процессе транспозиции способны продуцировать двухцепочечные разрывы (DSB) [22] и запускать апоптоз, опосредованный p53 [23].

Примерно 95% выводимого из организма Al выводится почками [24]. Исследования *In vitro* показывают, что около 10% Al в плазме крови подвергается клубочковой фильтрации [25]. Отфильтрованный Al, по-видимому, по крайней мере частично реабсорбируется, хотя механизмы реабсорбции не выяснены [26]. Есть некоторые намеки на то, что петля Генле - это основное место реабсорбции Al [27]. Также известно, что почки являются одним из органов, в которых происходит накопление поступившего в организм алюминия [28]. Al вызывает окислительные повреждения почек и печени, приводящие к дегенерации и некрозу тканей и связанным с ними биохимическим нарушениям сыворотки [29]. Полученные нами результаты согласуются с данными о почках как одной из основных мишеней токсического действия соединений алюминия.

Заключение. Таким образом, в данной работе мы показали, что субхроническое воздействие высоких доз солей алюминия способно вызвать повышение активности транспозона LINE1, что косвенно свидетельствует о наличии генотоксической активности алюминия.

Список литературы / References:

1. Exley C. Human exposure to aluminium //Environmental Science: Processes & Impacts. 2013. Т. 15. №. 10. С. 1807-1816.
2. Exley C. The pro-oxidant activity of aluminum //Free Radical Biology and Medicine. 2004. Т. 36. №. 3. С. 380-387.
3. Sushma N.J., Sivalah U., Suraj N.J., Rao K.J. Aluminium acetate: role in oxidative metabolism of albino mice //Int Zool Res. 2007. Т. 3. №. 1. С. 48-52.
4. Coufal N., Garcia-Perez J., Peng G. et al. L1 retrotransposition in human neural progenitor cells. Nature 460, 11271131 (2009). <https://doi.org/10.1038/nature08248>
5. Yang F., Wang P. J. Multiple LINEs of retrotransposon silencing mechanisms in the mammalian germline //Seminars in cell & developmental biology. Academic Press, 2016. Т. 59. С. 118-125.
6. Belancio V. P., Roy-Engel A. M., Pochampally R. R., Deininger P. Somatic expression of LINE-1 elements in human tissues //Nucleic acids research. 2010; 38(12): 3909-3922.

7. Navarro F.C. et al. TeXP: Deconvolving the effects of pervasive and autonomous transcription of transposable elements //PLOS Computational Biology. 2019. T. 15. №. 8. C. e1007293.
8. Kale S.P., Carmichael M.C., Harris K., Roy-Engel A.M. et al. The L1 retrotranspositional stimulation by particulate and soluble cadmium exposure is independent of the generation of DNA breaks //International journal of environmental research and public health. 2006. T. 3. №. 2. C. 121-128.
9. Habibi L., Shokrgozar M.A., Motamedi M., Akrami S.M. Effect of heavy metals on silencing of engineered long interspersed element-1 retrotransposon in nondividing neuroblastoma cell line //Iranian Biomedical Journal. 2013. T. 17. №. 4. C. 171.
10. Karimi A., Madjd Z., Habibi L., Akrami S. M. Evaluating the extent of LINE-1 mobility following exposure to heavy metals in HepG2 cells //Biological trace element research. 2014. T. 160. C. 143-151.
11. Karimi A., Madjd Z., Habibi L., Akrami S.M. Exposure of hepatocellular carcinoma cells to low-level As₂O₃ causes an extra toxicity pathway via L1 retrotransposition induction //Toxicology letters. 2014. T. 229. №. 1. C. 111-117.
12. Stribinskis V., Ramos K. S. Activation of human long interspersed nuclear element 1 retrotransposition by benzo (a) pyrene, an ubiquitous environmental carcinogen //Cancer research. 2006. T. 66. №. 5. C. 2616-2620.
13. Farkash E.A., Kao G.D., Horman S.R., Prak E.T.L. Gamma radiation increases endonuclease-dependent L1 retrotransposition in a cultured cell assay //Nucleic acids research. 2006; 34(4); 1196-1204.
14. Gamdzyk M. et al. cGAS/STING pathway activation contributes to delayed neurodegeneration in neonatal hypoxia-ischemia rat model: possible involvement of LINE-1 //Molecular neurobiology. – 2020. – T. 57. – №. 6. – C. 2600-2619.
15. Miao M., Zhou X., Li Y. et al. LINE-1 hypomethylation in spermatozoa is associated with Bisphenol A exposure //Andrology. 2014. T. 2. №. 1. C. 138-144.
16. Oldenburg J., Fürhacker M., Hartmann. et al. Different bisphenols induce non-monotonous changes in miRNA expression and LINE-1 methylation in two cell lines //Environmental Epigenetics. 2021. T. 7. №. 1. C. dvab011.
17. Yohannes Y.B., Nakayama S.M., Yabe J. et al. Methylation profiles of global LINE-1 DNA and the GSTP1 promoter region in children exposed to lead (Pb) // Epigenetics 2022. 17(13). 2377-2388.
18. Barchitta M., Quattrocchi A., Maugeri A., Vinciguerra M., Agodi A. LINE-1 hypomethylation in blood and tissue samples as an epigenetic marker for cancer risk: a systematic review and meta-analysis. PloS one, 2014, 9(10), e109478.
19. Tiwari B., Jones A.E., Caillet. et al. p53 directly represses human LINE1 transposons //Genes & development. 2020. T. 34. №. 21-22. C. 1439-1451.
20. McKerrow W., Wang X., Mendez-Dorantes C. et al. LINE-1 expression in cancer correlates with p53 mutation, copy number alteration, and S phase checkpoint //Proceedings of the National Academy of Sciences. 2022. T. 119. №. 8. C. e2115999119.
21. Van Meter M., Kashyap M., Rezazadeh S. et al. SIRT6 represses LINE1 retrotransposons by ribosylating KAP1 but this repression fails with stress and age //Nature communications. 2014. T. 5. №. 1. C. 5011.

22. Gasior S.L., Wakeman T.P., Xu B., Deininger P.L. The human LINE-1 retrotransposon creates DNA double-strand breaks //Journal of molecular biology. 2006. Т. 357. №. 5. С. 1383-1393.
23. Haoudi A., Semmes O.J., Mason J.M., Cannon R.E. Retrotransposition-competent human LINE-1 induces apoptosis in cancer cells with intact p53 //BioMed Research International. 2004. Т. 2004. №. 4. С. 185-194.
24. Oezen G. et al. Aluminum and ABC transporter activity //Environmental Toxicology and Pharmacology; 2024 108: 104451.
25. Shirley D. G., Lote C. J. Renal handling of aluminium //Nephron Physiology. 2005; 101(4): 99-103.
26. Lote C. J., Wood J. A., Saunders H. C. Renal filtration, reabsorption and excretion of aluminium in the rat //Clinical Science. – 1992. – Т. 82. – №. 1. – С. 13-18.
27. Shirley D. G. et al. Renal aluminium handling in the rat: a micropuncture assessment //Clinical Science 2004; 107(2): 159-165.
28. Aguilar F. et al. Safety of aluminium from dietary intake scientific opinion of the panel on food additives, flavourings, processing aids and food contact materials (AFC) //EFSA J. 2008; 754: 1-34.
29. Igbokwe I. O., Igwenagu E., Igbokwe N. A. Aluminium toxicosis: a review of toxic actions and effects //Interdisciplinary toxicology 2019; 12(2): 45.

Поступила/Received: 15.10.2024

Принята в печать/Accepted: 18.11.2024

УДК 576.08

ОЦЕНКА ЦИТОТОКСИЧНОСТИ АКРИЛАМИДА НА КЛЕТОЧНОЙ КУЛЬТУРЕ ГЕПАТОЦИТОВ МН-22А: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКСИЧЕСКИХ ДОЗ И АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК В УСЛОВИЯХ ИНДУЦИРОВАННОГО ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА

Якупова Т.Г.¹, Кудояров Э.Р.¹, Каримов Д.О.^{1,2}, Каримов Д.Д.¹, Бакиров А.Б.¹, Валова Я.В.¹, Гизатуллина А.А.¹, Гарипова З.Р.³

¹ ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», Уфа, Россия

² ФГБНУ «Национальный НИИ общественного здоровья имени Н.А. Семашко», Москва, Россия

³ ФГКОУ ВО УЮИ МВД России, Уфа, Россия

Акриламид — широко используемое в промышленности соединение с канцерогенными и нейротоксическими свойствами, представляющее риск для здоровья человека. С учетом его воздействия на клетки печени, особенно в продуктах питания, изучение механизмов цитотоксичности акриламида становится актуальной задачей.

Цель исследования: оценка дозозависимого цитотоксического воздействия акриламида на клеточную культуру МН-22а.

Материалы и методы. Для оценки цитотоксического воздействия акриламида использовали клеточную культуру гепатоцитов мыши МН-22а, выращенную в питательной среде Игла MEM с солями Хэнкса и 10% сывороткой крупного рогатого скота при +37,0°C, влажности 99% и уровне CO₂ в 5%. Для моделирования дозозависимого эффекта акриламида применялись концентрации от 0,000001 до 10 М в 96-луночных планшетах. Для проведения МТТ-теста клетки инкубировались с реактивом МТТ, после чего среда заменялась на диметилсульфоксид для растворения формазана. Оптическая плотность растворов измерялась на мультимодальном ридере при длинах волн 530 и 620 нм. Полученные данные были нормализованы и обработаны с использованием логистической функции для построения дозозависимой кривой. Для статистического анализа применялись критерии Краскела-Уоллиса и Манна-Уитни, а обработка данных проводилась в SPSS Statistics 21, где значимость различий определялась при уровне $p < 0,05$.

Результаты. При высоких концентрациях акриламида (от 10 М до 1 М) наблюдалось статистически значимое снижение выживаемости клеток по сравнению с контрольной группой ($p = 0,001$), что указывает на выраженную цитотоксичность. Концентрации от 10 М сопровождались полным разрушением клеток, с отрицательными значениями выживаемости. Логистическая аппроксимация дозозависимого ответа клеток позволила определить IC50 для акриламида, равную 0,88 М, что подтверждает его высокую токсичность при данных дозах.

Заключение. Акриламид оказывает выраженное цитотоксическое воздействие на клетки МН-22а, вызывая снижение их жизнеспособности при концентрациях выше 0,88 М, что подтверждает его токсичность даже при относительно низких дозах. При концентрациях выше 1 М клеточные повреждения становятся необратимыми, что указывает на предельные возможности клеточной репарации и устойчивости к окислительному стрессу.

Ключевые слова: акриламид, цитотоксичность, клеточная культура МН-22а, окислительный стресс, IC50.

Для цитирования: Якупова Т.Г., Каримов Д.О., Кудояров Э.Р., Каримов Д.Д., Бакиров А.Б., Валова Я.В., Гизатуллина А.А., Гарипова З.Р. Оценка цитотоксичности акриламида на клеточной культуре гепатоцитов МН-22а: определение токсических доз и анализ повреждений ДНК в условиях индуцированного окислительного стресса. Медицина труда и экология человека. 2024; 4: 155-168.

Для корреспонденции: Якупова Татьяна Георгиевна, младший научный сотрудник лаборатории генетики отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных; e-mail: tanya.kutlina.92@mail.ru.

Финансирование: работа проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках отраслевой научно-исследовательской программы Роспотребнадзора «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения России» на 2021-2025 гг. п. 6.1.8, № гос. регистрации 121062100058-8.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии явных или потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10410>

ASSESSMENT OF ACRYLAMIDE CYTOTOXICITY ON MH-22A HEPATOCYTE CELL CULTURE: DETERMINATION OF TOXIC DOSES AND ANALYSIS OF DNA DAMAGE UNDER INDUCED OXIDATIVE STRESS

Yakupova T.G.¹, Kudoyarov E.R.¹, Karimov D.O.^{1,2}, Karimov D.D.¹, Bakirov A.B.¹, Valova Ya.V.¹, Gizatullina A.A.¹, Garipova Z.R.³

¹ Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia

² National Research Institute of Public Health named after N.A. Semashko, Moscow, Russia

³ FSBEI HB ULI MIA of Russian Federation, Ufa, Russia

Acrylamide is a widely used industrial compound with carcinogenic and neurotoxic properties, posing a risk to human health. Given its effects on liver cells, especially in food products, studying the mechanisms of acrylamide cytotoxicity becomes an urgent task.

Objective: To evaluate the dose-dependent cytotoxic effect of acrylamide on the MH-22a cell culture.

Materials and Methods: To evaluate the cytotoxic effect of acrylamide, we used the MH-22a mouse hepatocyte cell culture grown in the MEM Eagle's nutrient medium with Hanks' salts and 10% bovine serum at +37.0°C, 99% humidity and 5% CO₂ level. To model the dose-dependent effect of acrylamide, concentrations from 0.000001 to 10 M in 96-well plates were used. To perform the MTT test, the cells were incubated with the MTT reagent, after which the medium was replaced with dimethyl sulfoxide to dissolve formazan. The optical density of the solutions was measured on a multimodal reader at wavelengths of 530 and 620 nm. The data obtained were normalized and processed using the logistic function to construct a dose-dependent curve. For statistical analysis, the Kruskal-Wallis and Mann-Whitney criteria were used, and data processing was carried out in SPSS Statistics 21, where the significance of differences was determined at the level of $p < 0.05$.

Results: At high concentrations of acrylamide (from 10 M to 1 M), a statistically significant decrease in cell survival was observed compared to the control group ($p = 0.001$), indicating pronounced cytotoxicity. Concentrations from 10 M were accompanied by complete destruction of cells, with negative survival values. Logistic approximation of the dose-response relationship of cells allowed us to determine the IC₅₀ for acrylamide equal to 0.88 M, which confirms its high toxicity at these doses.

Conclusion: Acrylamide has a pronounced cytotoxic effect on MH-22a cells, causing a decrease in their viability at concentrations above 0.88 M, which confirms its toxicity even at relatively low doses. At concentrations above 1 M, cellular damage becomes irreversible, indicating the ultimate capabilities of cellular repair and resistance to oxidative stress.

Keywords: acrylamide, cytotoxicity, MH-22a cell culture, oxidative stress, IC50.

For citation: Yakupova T.G., Kudoyarov E.R., Karimov D.O., Karimov D.D., Bakirov A.B., Valova Ya.V., Gizatullina A.A., Garipova Z.R. Assessment of acrylamide cytotoxicity on MH-22a hepatocyte cell culture: determination of toxic doses and analysis of dna damage under induced oxidative stress. *Occupational Health and Human Ecology*. 2024; 4: 155-168.

Correspondence: Tatyana G. Yakupova, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Department of Toxicology and Genetics with Experimental Clinic of Laboratory Animals; e-mail: tanya.kutlina.92@mail.ru.

Funding: This work was funded by a grant under the sectoral research program of Rospotrebnadzor «Scientific Justification of the National System for Ensuring Sanitary and Epidemiological Well-being, Risk Management for Health, and Improving the Quality of Life of the Russian Population» for 2021-2025, point 6.1.8, State Registration No. 121062100058-8.

Conflict of interest: the authors declare no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10410>

Акриламид – это химическое соединение, которое широко применяется в различных производственных процессах, включая синтез полимеров, очистку сточных вод и производство бумаги [1]. Однако его использование вызывает серьезную обеспокоенность из-за возможного влияния на здоровье человека, в частности из-за канцерогенных и нейротоксических свойств. Проблема акриламида выходит за рамки промышленных процессов: он может образовываться в продуктах питания при термической обработке [2, 3]. Например, такие популярные продукты, как жареный картофель, кофе и хлебобулочные изделия, нередко содержат акриламид, что делает его распространенным загрязнителем, воздействие которого неизбежно в повседневной жизни [4].

Вопросы, связанные с цитотоксичностью акриламида, остаются актуальными для специалистов в областях биологии, токсикологии и медицины [5-7]. Это соединение,

проникая в организм человека, способно вызывать широкий спектр токсических эффектов. Исследования указывают на его мутагенные и канцерогенные свойства, что усиливает беспокойство относительно возможного риска для здоровья. Одним из основных механизмов действия акриламида считается его способность повреждать ДНК, вызывать сбои в работе клеточных процессов и способствовать возникновению неопластических изменений [8].

Для углубленного изучения токсичности акриламида важную роль играют лабораторные исследования, проводимые на клеточных культурах. Одной из ключевых задач таких исследований является определение ингибирующей концентрации IC50 – показателя, при котором подавляется жизнедеятельность 50% клеток экспериментальной группы [9]. Это значение позволяет оценить токсичность вещества и служит критерием для определения его потенциальной опасности. В случае акриламида установление IC50 требует использования высокоточных методик, способных учитывать такие переменные, как тип клеток, концентрация вещества и длительность воздействия [10]. Все эти параметры имеют значительное влияние на результаты экспериментов и требуют комплексного подхода для корректной интерпретации полученных данных.

Проблема изучения акриламида и минимизации его вредного воздействия на здоровье человека становится особенно важной в контексте современных экологических и социальных вызовов. Необходимы исследования, которые позволят понять механизмы токсического действия этого соединения, определить безопасные уровни его содержания в продуктах питания и окружающей среде, а также разработать меры по снижению риска его воздействия. Это станет значительным шагом в деле защиты здоровья населения [11].

Особое внимание в исследованиях акриламида уделяется его влиянию на клетки печени, так как именно печень является основным органом, ответственным за метаболизм токсических соединений [12]. В рамках настоящего исследования для изучения цитотоксических эффектов акриламида применялась культура клеток мышины гепатомы линии MH-22a. Данная клеточная линия отличается высокой устойчивостью и сохранением ключевых характеристик мышинных гепатоцитов линии СЗНА, что делает ее удобной моделью для оценки влияния химических веществ. Определение реакций этих клеток на различные концентрации акриламида позволит углубить понимание его цитотоксического действия и выявить дозы, которые представляют наибольшую угрозу для организма [13].

Таким образом, изучение воздействия акриламида на биологические системы, включая клетки печени, является важным направлением, которое позволит разрабатывать меры для снижения риска его токсического воздействия на организм человека.

Цель исследования – оценить цитотоксическое воздействие акриламида на клеточную культуру МН-22а в широком диапазоне концентраций.

Материалы и методы. Для проведения эксперимента и оценки токсического воздействия акриламида была использована культура клеток гепатомы мыши МН-22а, предоставленная компанией «БиолоТ» (Россия). Методология исследования основывалась на рекомендациях Р.Я. Фрешни, изложенных в руководстве «Культура животных клеток» (2010), а также на положениях методики СТП14.621.21.0008.12-2015 «Методика определения цитотоксичности веществ МТТ-тестом на культуре нормальных клеток человека НЕК293».

Клеточная культура выращивалась в стерильной среде Игла MEM с солями Хэнкса и глутамином («ПанЭко», Россия). Питательная среда содержала 10% сыворотки крупного рогатого скота (Biosera, Франция) и поддерживалась в условиях +37°C, с влажностью 99% и содержанием углекислого газа 5%. Для обеспечения стабильного поддержания температурно-газового режима применялись инкубаторы NU-4950E (NuAire, США) и HF100 Tri-gas Incubator (Heal Force, Китай). Количество клеток при пассировании контролировалось с использованием автоматического программируемого счетчика клеток LUNA-II (Logos Biosystems, Южная Корея).

Наращивание клеточной массы выполнялось в 25 см² культуральных флаконах (SPL Life Sciences, Южная Корея). Реактив для МТТ-теста, а именно бромид 3-(4,5-диметилтиазол-2-ил)-2,5-тетразолия («ПанЭко», Россия), был подготовлен за 24 часа до начала эксперимента. Реактив разводился в стерильном 0,9% растворе хлорида натрия до концентрации 5 мг/мл и стерилизовался методом фильтрации через насадку со шприцом, оснащенной мембраной из полиэфирсульфона с размером пор 0,2 мкм (Corning Incorporated, США).

Эксперименты проводились в стерильных 96-луночных планшетах с адгезивным покрытием, выполненных из прозрачного пластика для культивирования клеток (Corning Incorporated, США). Для выполнения МТТ-теста клетки высевались с плотностью 30 000 клеток на одну лунку. Этот показатель был выбран с учетом размеров лунок планшета, что позволило обеспечить равномерное покрытие клетками дна в один слой. Перед началом эксперимента проводились ежедневные

визуальные наблюдения за состоянием культуры с использованием микроскопа Zeiss. Наблюдения осуществлялись в течение 1–3 минут для определения готовности клеток к эксперименту, а затем повторялись ежедневно или чаще, если это было необходимо.

Культивирование клеток с добавлением реактива МТТ проводилось при концентрации 0,5 мг/мл в питательной среде. После инкубации с реактивом в течение 3 часов питательная среда заменялась диметилсульфоксидом (100%) (PanReas AppliChem, Италия). Полученные растворы формазана инкубировались в мультимодальном планшетном ридере Feyond-A300 (Allsheng, Китай) при температуре +37°C в режиме орбитального перемешивания на скорости «Low» в течение 60 минут. Затем проводились измерения оптической плотности растворов при длинах волн 530 и 620 нм.

В рамках эксперимента клетки подвергались воздействию акриламида в концентрациях 10, 1, 0,1, 0,01, 0,001, 0,0001, 0,00001 и 0,000001 М, причем для каждой концентрации проводилось три повторения. Полученные данные нормализовались путем вычитания оптической плотности среды в лунках без клеток в соответствии с требованиями методики СТП14.621.21.0008.12-2015. Для каждой группы рассчитывались среднее арифметическое и стандартное отклонение.

Экспериментальные данные включали значения выживаемости клеток при воздействии различных концентраций акриламида. Основной задачей исследования было моделирование дозозависимого эффекта с использованием логистической функции, которая адекватно описывает S-образное поведение данных. Для подбора параметров логистической функции применялся метод нелинейной оптимизации, минимизирующий отклонение между фактическими и прогнозируемыми значениями. Также были протестированы альтернативные модели, такие как функции Гомпертца и Хилла, однако логистическая модель обеспечила наиболее точное описание данных.

Для статистической проверки различий между группами по показателям оптической плотности и выживаемости клеток использовались критерии Краскела-Уоллиса и Манна-Уитни. Обработка данных и выполнение анализа проводились с использованием программы SPSS Statistics 21.

Результаты. Для оценки цитотоксичности акриламида в настоящем исследовании были сформированы экспериментальные группы клеток (группы 1–9), которые инкубировались с различными концентрациями вещества (8 концентраций в трех повторностях). Контрольная группа (группа 1) состояла из клеток, культивируемых

в стандартной питательной среде без добавления акриламида. Состав экспериментальных групп и концентрации акриламида представлены в таблице 1.

Таблица 1. Экспериментальные группы клеток, затравленные разными концентрациями акриламида

Table 1. Experimental groups of cells inoculated with different concentrations of acrylamide

Группы	Концентрация акриламида, М	Лунка	ОЕ
1	Контроль	B3	1,621333
	Контроль	C3	2,021333
	Контроль	D3	1,943333
2	10М АА	B4	-0,02467
	10М АА	C4	-0,02167
	10М АА	D4	-0,02567
3	1М АА	B5	0,109333
	1М АА	C5	0,102333
	1М АА	D5	0,113333
4	0,1М АА	B6	1,958333
	0,1М АА	C6	2,080333
	0,1М АА	D6	2,113333
5	0,01М АА	B7	1,879333
	0,01М АА	C7	1,993333
	0,01М АА	D7	1,989333
6	0,001М АА	B8	1,964333
	0,001М АА	C8	2,054333
	0,001М АА	D8	2,051333
7	0,0001М АА	B9	2,059333
	0,0001М АА	C9	2,074333
	0,0001М АА	D9	2,067333
8	0,00001М АА	B10	2,090333
	0,00001М АА	C10	2,069333
	0,00001М АА	D10	2,065333

Продолжение таблицы 1.

Continuation of Table 1.

Группы	Концентрация акриламида, М	Лунка	ОЕ
9	0,000001М АА	В11	2,020333
	0,000001М АА	С11	1,922333
	0,000001М АА	Д11	2,080333

Таблица 1 демонстрирует различия в условиях эксперимента для каждой группы. Это позволило оценить влияние различных концентраций акриламида на жизнеспособность клеток и обеспечить репрезентативность результатов благодаря трехкратному повторению для каждой концентрации.

По итогам эксперимента был проведен статистический анализ данных, который показал, что влияние акриламида на выживаемость клеток является дозозависимым. Значимые различия по сравнению с контрольной группой были зафиксированы при высоких концентрациях вещества (10 М и 1 М), где наблюдалось резкое снижение жизнеспособности клеток. На концентрациях от 0,01 М до 0,00001 М влияние акриламида постепенно снижалось, приближаясь к уровням контрольной группы. Эти результаты представлены на рисунке 1, где отображена процентная выживаемость клеток в зависимости от концентрации акриламида.

На рисунке 1 показано, что при концентрациях акриламида от 10 М до 1 М наблюдались статистически значимые различия по сравнению с контрольной группой ($p=0,001$). Высокие концентрации акриламида приводили к резкому снижению выживаемости клеток, что проявлялось отрицательными значениями в группе 10, свидетельствующими о полном разрушении клеток.

Для более точного анализа был выполнен подбор параметров логистической функции, описывающей зависимость клеточной выживаемости от концентрации акриламида. Формула для кривой с подставленными коэффициентами:

$$y = \frac{109.9}{1 + e^{-23.04(x-0.88)}} - 1.3$$

На основании этих параметров была построена логистическая кривая (рис. 2), которая иллюстрирует плавный переход от высокой выживаемости клеток при низких концентрациях акриламида к резкому снижению жизнеспособности с увеличением дозы. Этот переход четко отражает дозозависимый характер токсичности акриламида.

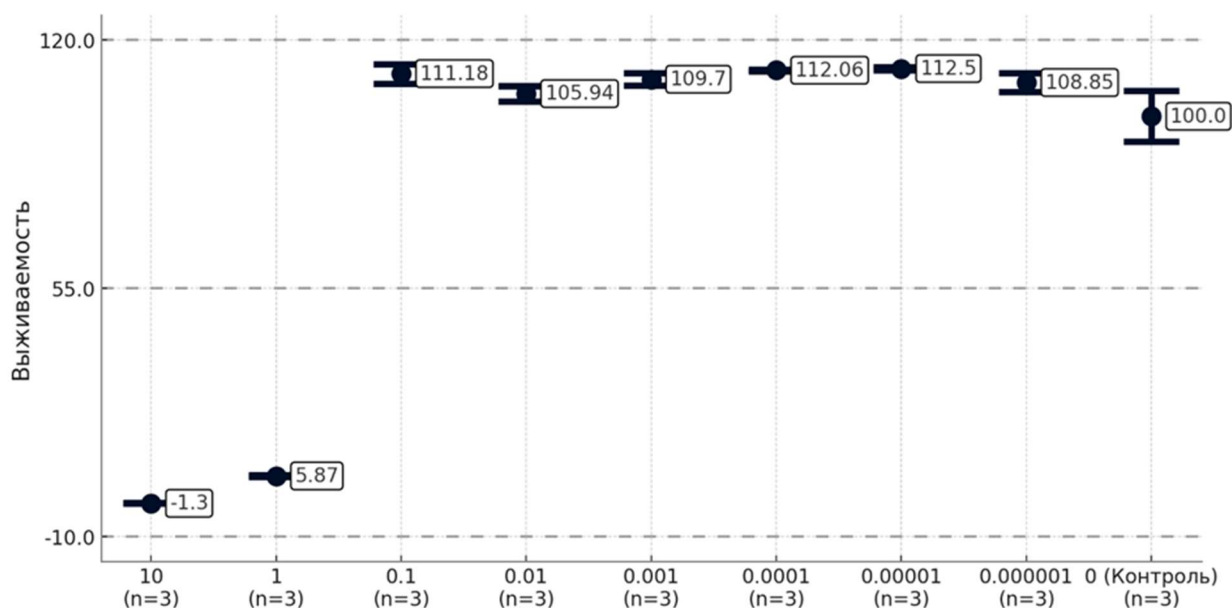


Рисунок 1. Процент выживаемости клеток в зависимости от концентрации акриламида (М) в МТТ-тесте

Figure 1. Percentage of cell survival depending on the concentration of acrylamide (M) in the MTT test

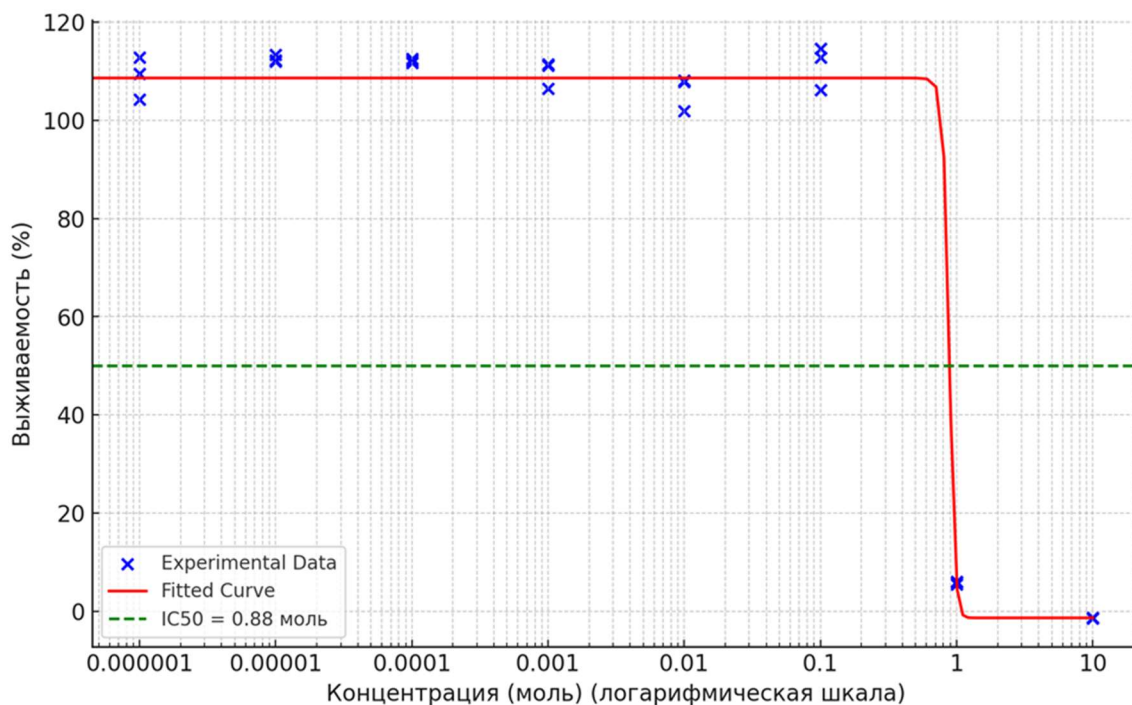


Рисунок 2. Дозозависимый ответ клеток на акриламид, логистическая аппроксимация

Figure 2. Dose-dependent response of cells to acrylamide, logistic approximation

Одним из ключевых результатов исследования стало определение значения IC50, которое соответствует концентрации акриламида, при которой жизнеспособность клеток снижается на 50%. Значение IC50, рассчитанное на основе логистической аппроксимации, составило 0,88 М. Это значение является важным параметром для оценки токсичности акриламида и свидетельствует о его выраженном воздействии даже при относительно низких концентрациях.

Полученные результаты подтверждают высокую цитотоксичность акриламида при определенных дозах и подчеркивают необходимость дальнейшего изучения механизмов его действия для разработки методов минимизации рисков, связанных с его воздействием.

Обсуждение. Для оценки токсического действия акриламида были проведены эксперименты, направленные на изучение его цитотоксического воздействия на клетки гепатомы мыши линии МН-22а [14]. Полученные данные свидетельствуют о выраженной токсичности акриламида при концентрациях выше 0,88 М. Анализ выживаемости клеточных популяций в экспериментальных группах по сравнению с контрольной группой продемонстрировал, что высокие концентрации акриламида приводят к значительному снижению числа жизнеспособных клеток, что согласуется с ранее опубликованными результатами исследований [15].

Так, например, работы Perez-Robles и He показали, что акриламид обладает способностью вызывать необратимые повреждения клеточных структур, влияя на их метаболическую активность и жизнеспособность [16, 17]. Другие исследователи отмечают, что при воздействии акриламида на клетки печени наблюдаются механизмы апоптоза, инициируемые как прямым повреждением ДНК, так и опосредованными эффектами через окислительный стресс [18]. В подобных исследованиях значения IC50 для акриламида варьировались в зависимости от используемой клеточной линии, однако полученные нами результаты находятся в пределах значений, ранее представленных в литературе для других экспериментальных моделей [19].

Особую значимость имеет факт резкого снижения количества жизнеспособных клеток при концентрации 0,88 М акриламида, что подтверждает его потенциал как цитотоксического агента. Эти результаты служат важной основой для дальнейшего изучения механизмов токсического действия акриламида на клеточные структуры. Литературные данные также указывают, что при хроническом воздействии акриламид способен индуцировать не только цитотоксические, но и мутагенные

изменения, которые могут повышать риск развития неопластических процессов [20].

Аналогично, исследования цитотоксичности акриламида, проведенные на клеточных линиях человека и животных, указывают на дозозависимый характер его действия. Например, в работе Li были описаны механизмы повреждения клеточных мембран и снижение активности митохондрий, что проявляется при концентрациях акриламида, сопоставимых с нашими экспериментальными данными [21]. В другом исследовании [22] изучалась реакция клеток гепатоцитов на низкие концентрации акриламида, где отмечалось лишь незначительное снижение метаболической активности, что подчеркивает сложность и многообразие механизмов токсичности данного соединения [23].

По итогам нашего эксперимента было установлено, что значение IC₅₀ для акриламида составляет 0,88 М, что согласуется с результатами других авторов. Эта концентрация была признана критической для выживаемости клеток гепатомы линии МН-22а и отражает токсическое влияние акриламида на биологические системы. Результаты эксперимента дополняют данные предыдущих исследований, демонстрируя, что акриламид может оказывать серьезное влияние на клетки печени, особенно в условиях высокого уровня потребления данного вещества.

Заключение. Результаты проведенного исследования подтверждают высокую цитотоксичность акриламида на клеточную культуру МН-22а, особенно при концентрациях выше 1 М, с установленным значением IC₅₀, равным 0,88 М. Этот показатель служит важным критерием оценки токсичности вещества и соответствует данным, представленным в литературе, что подчеркивает достоверность полученных результатов.

Наблюдаемое резкое снижение выживаемости клеток при высоких концентрациях акриламида подтверждает его значительный цитотоксический потенциал. Это свидетельствует о том, что акриламид способен вызывать выраженные повреждения клеточных структур, влияя на их метаболическую активность и жизнеспособность. Данные нашего исследования согласуются с выводами других авторов, которые отмечали сходный механизм действия акриламида, включающий повреждение ДНК, индукцию окислительного стресса и активацию апоптоза.

Важным выводом является то, что значение IC₅₀ позволяет не только оценить токсическое действие акриламида, но и служит отправной точкой для разработки дальнейших исследований, направленных на выявление механизмов его воздействия на клеточные структуры. Полученные результаты могут быть

использованы для моделирования последствий воздействия акриламида на клетки печени в условиях хронического или острого поступления данного вещества в организм.

Список литературы / References:

1. Sahinturk V, Kacar S, Vejselova D, Kutlu HM. Acrylamide exerts its cytotoxicity in NIH/3T3 fibroblast cells by apoptosis. *Toxicol Ind Health*. 2018; 34(7): 481-489. doi: 10.1177/0748233718769806.
2. Besaratinia A, Pfeifer G. Weak yet distinct mutagenicity of acrylamide in mammalian cells. *Journal of the National Cancer Institute*. 2013; 95(12): 889–896.
3. Chen J.H., Yang C.H., Wang Y.S., et al. Acrylamide-induced mitochondria collapse and apoptosis in human astrocytoma cells. *Food and Chemical Toxicology*. 2023; 51: 446–452.
4. Kacar S., Vejselova D., Kutlu H.M., et al. Acrylamide-derived cytotoxic, anti-proliferative, and apoptotic effects on A549 cells. *Human & Experimental Toxicology*. 2017; 1: 45-56. doi: 10.1177/0960327117712386.
5. Sellier C., Boulanger E., Maladry F., et al. Acrylamide induces accelerated endothelial aging in a human cell model. *Food and Chemical Toxicology*. 2015; 83: 140–145.
6. Tareke E., Rydberg P., Karlsson P., Eriksson S., and Törnqvist M. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012; 50 (17), 4998–5006. doi: 10.1021/jf020302f.
7. Rice J. M. The carcinogenicity of acrylamide. *Mutation Research*. 2015; 580 (1-2): 3–20. doi: 10.1016/j.mrgentox.2014.09.008.
8. Rodriguez-Ramiro I., Ramos S., Bravo L., Goya L., and Martín M. A. Procyanidin B2 and a cocoa polyphenolic extract inhibit acrylamide-induced apoptosis in human Caco-2 cells by preventing oxidative stress and activation of JNK pathway. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 2011; 22 (12): 1186–1194. doi: 10.1016/j.jnutbio.2010.10.005.
9. Zhang X., Jiang L., Geng C., Yoshimura H., Zhong L. Inhibition of acrylamide genotoxicity in human liver-derived HepG2 cells by the antioxidant hydroxytyrosol. *Chemico-Biological Interactions*. 2008; 176 (2-3): 173–178. doi: 10.1016/j.cbi.2008.08.002.
10. Prasad S. N. Evidence of acrylamide induced oxidative stress and neurotoxicity in *Drosophila melanogaster*: its amelioration with spice active enrichment: relevance to neuropathy. *NeuroToxicology*. 2012; 33 (5): 1254–1264. doi.org/10.1016/j.neuro.2012.07.006.
11. Ciesarova Z., Kiss E., Kolek E. Study of factors affecting acrylamide levels in model systems. *Czech J Food Sci*. 2006; 24:133.
12. Naiel M., Negm S., Ghazanfar S., Farid A., Shukry M. Acrylamide toxicity in aquatic animals and its mitigation approaches: an updated overview. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2023; 30(53):113297-113312. doi: 10.1007/s11356-023-30437-4.
13. Mehri S., Abnous K., Mousavi S.H., Shariaty V.M., Hosseinzadeh H. Neuroprotective effect of crocin on acrylamide-induced cytotoxicity in PC12 cells. *Cell Mol Neurobiol*. 2012; 32(2): 227-35. doi: 10.1007/s10571-011-9752-8.
14. Yuan J., Che S., Zhang L., Li X., Yang J., Sun X., Ruan Z. Assessing the combinatorial cytotoxicity of the exogenous contamination with BDE-209, bisphenol A, and acrylamide via high-content analysis. *Chemosphere*. 2021; 284: 131- 134. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131346.

15. Shen C., Wang C., Zhao S., Guo Q. Acrylamide, acrylic acid, or 2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid induced cytotoxic in *Photobacterium phosphoreum*, PC12, and SK-N-SH cells. *Environ Toxicol.* 2023; 38(3): 489-499. doi: 10.1002/tox.23673.
16. Perez-Robles S., Matute C., Lara J., Lopera S., Cortes F., Franco C. Effect of nanoparticles with different chemical nature on the stability and rheology of acrylamide sodium acrylate copolymer/chromium (III) acetate gel for conformance control operations. *Nanomaterials.* 2019; 10(1): 74 - 79. doi:10.3390/nano10010074.
17. He Y., Tan D., Mi Y., et al. Effect of epigallocatechin-3-gallate on acrylamide-induced oxidative stress and apoptosis in PC12 cells. *Hum Exp Toxicol.* 2017; 36: 1087-1099. doi:10.1177/0960327116681648.
18. Pan X., Zhu L., Lu H., Wang D., Lu Q., Yan H. Melatonin attenuates oxidative damage induced by acrylamide in vitro and in vivo. *Oxidative Med Cell Longev.* 2015; 2015: 703 - 709. doi:10.1155/2015/703709.
19. Semla M., Goc Z., Martiniakova M., Omelka R., Formicki G. Acrylamide: a common food toxin related to physiological functions and health. *Physiol Res.* 2017; 66: 205-217. doi:10.33549/physiolres.933381.
20. Chico Galdo V., Massart C., Jin L., et al. Acrylamide, an in vivo thyroid carcinogenic agent, induces DNA damage in rat thyroid cell lines and primary cultures. *Mol Cell Endocrinol.* 2006; 257-258: 6-14. doi:10.1016/j.mce.2006.06.003.
21. Li Y., Zhou A., Cui X., Zhang Y., Xie J. 6'-p-Coumaroylspinosin protects PC12 neuronal cells from acrylamide-induced oxidative stress and apoptosis. *J Food Biochem.* 2020; 44(9): e13321. doi:10.1111/jfbc.13321.
22. Khayat M.E., Rahim M.B., Shukor M.Y. Acrylamide toxicity and its biodegradation. *Biorem Sci Technol Res.* 2017; 5: 8-12.
23. Yang L., Dong L., Zhang L., Bai J., Chen F. Acrylamide induces abnormal mtDNA expression by causing mitochondrial ROS accumulation. *Biog Dyn Disord.* 2021; 69: 7765-7776. doi:10.1021/acs.jafc.1c02569.

Поступила/Received: 18.11.2024

Принята в печать/Accepted: 27.11.2024