

научно-практический
журнал

Гигиена и Санитария

Hygiene & Sanitation (Russian journal)



«ИЗДАТЕЛЬСТВО "МЕДИЦИНА"»

1

Том 95 • 2016

www.medlit.ru

- Гигиена окружающей среды и населенных мест
- Гигиена труда
- Гигиена детей и подростков
- Гигиена питания
- Методы гигиенических исследований
- Профилактическая токсикология и гигиеническое нормирование
- Методология и практика социально-гигиенического мониторинга

ISSN 0016-9900



9 770016 990008

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

*Тематический номер, посвященный 20-летию
ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических
технологий управления рисками здоровью населения»*

*The thematic issue of the Journal is dedicated to the 20th anniversary
of the foundation of the Federal Budget Institution of Science
“Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk
Management Technologies”*

ПРОБЛЕМНЫЕ СТАТЬИ

PROBLEM SOLVING ARTICLES

Зайцева Н.В., Попова А.Ю., Онищенко Г.Г., Май И.В. Актуальные проблемы правовой и научно-методической поддержки обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации как стратегической государственной задачи..... 5

Zaytseva N.V., Popova A.Yu., Onishchenko G.G., May I.V. Current problems of regulatory and scientific-medical support for the assurance of the sanitary and epidemiological welfare of population in the Russian Federation as the strategic government task

ГИГИЕНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
И НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ

HYGIENE OF THE ENVIRONMENT AND LOCALITIES

Клейн С.В., Вековшинина С.А., Сбоев А.С. Приоритетные факторы риска питьевой воды и связанный с этим экономический ущерб..... 10

Klein S.V., Vekovshinina S.A., Sboev A.S. Priority risk factors of drinking water and the related with it economical loss

Сбоев А.С., Романенко К.В. Анализ влияния хлорорганических соединений, содержащихся в воде сети хозяйственно-питьевого водоснабжения, на здоровье населения в городах Пермского края..... 14

Sboev A.S., Romanenko Ch.V. Analysis of the impact of organochlorine compounds contained in the water network of the domestic water supply on the health of population in cities of the Perm Krai

Зайцева Н.В., Устинова О.Ю., Сбоев А.С. Медико-профилактические технологии управления риском нарушений здоровья, ассоциированных с воздействием факторов среды обитания.. 17

Zaytseva N.V., Ustinova O.Yu., Sboev A.S. Medical and preventive technologies for risk management of health problems associated with exposure to environmental factors

Май И.В., Клейн С.В., Вековшинина С.А., Балашов С.Ю. Использование методологии оценки риска при разработке генерального плана городского поселения..... 22

May I.V., Kleyn S.V., Vekovshinina S.A., Balashov S.Yu. The use of the methodology of risk assessment in the elaboration of the general layout of an urban settlement

Никифорова Н.В., Кокоулина А.А., Загороднов С.Ю. Оценка загрязненности воздуха жилых помещений формальдегидом в условиях применения полимерсодержащих строительных и отделочных материалов..... 28

Nikiforova N.V., Kokoulina A.A., Zagorodnov S.Yu. Evaluation of indoor air pollution with formaldehyde in conditions of the use of constructional and finish materials with polymeric components

ГИГИЕНА ТРУДА

OCCUPATIONAL HYGIENE

Шляпников Д.М., Шур П.З., Алексеев В.Б., Лебедева Т.М., Костарев В.Г. Методические подходы к комплексному анализу экспозиции и стажа в оценке профессионального риска 33

Shlyapnikov D.M., Shur P.Z., Alekseev V.B., Lebedeva T.M., Kostarev V.G. Methodological approaches to the integrated evaluation of the exposure and length of service in the occupational risk assessment

Алексеев В.Б., Шляпников Д.М., Власова Е.М., Носов А.Е., Лебедева Т.М. Оценка риска и профилактика патологии органов дыхания у работников титаномагневых производств.. 37

Alekseev V.B., Shlyapnikov D.M., Vlasova E.M., Nosov A.E., Lebedeva T.M. Risk assessment and prevention of respiratory diseases in workers occupied in titanium and magnesium production

Носов А.Е., Байдина А.С., Власова Е.М., Алексеев В.Б. Анализ вариабельности ритма сердца при нарушении сердечной деятельности у работников нефтедобывающего предприятия.... 41

Nosov A.E., Baydina A.S., Vlasova E.M., Alekseev V.B. Analysis of the heart rate variability in cardiac abnormalities in workers employed in oil production

Долгих О.В., Старкова К.Г., Кривцов А.В., Бубнова О.А. Вариабельность иммунорегуляторных и генетических маркеров в условиях комбинированного воздействия факторов производственной среды..... 45

Dolgikh O.V., Starkova K.G., Kryvtsov A.V., Bubnova O.A. Variability of immunoregulatory and genetic markers in conditions of the combined effects of industrial environmental factors

Барг А.О. Особенности поведенческих факторов риска здоровью у работников промышленных предприятий..... 48

Barg A.O. Peculiarities of behavioral risk factors for health in workers of industrial enterprises

Дубель Е.В., Унгуряну Т.Н. Гигиеническая оценка условий труда медицинского персонала клинических и параклинических отделений стационара..... 53

Dubel E.V., Unguryanu T.N. Hygienic assessment of working conditions for medical personnel in clinical and paraclinical departments of the hospital

ГИГИЕНА ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

HYGIENE OF CHILDREN AND ADOLESCENTS

Устинова О.Ю., Валина С.Л., Кобякова О.А., Никифорова Н.В., Алексеева А.В. Обоснование оптимальной наполняемости групп дошкольных образовательных организаций общеразвивающей направленности..... 57

Ustinova O.Yu., Valina S.L., Kobyakova O.A., Nikiforova N.V., Alekseeva A.V. Rationale for the optimal group occupancy in preschool educational institutions of general enrichment orientation

Старкова К.Г., Долгих О.В., Дианова Д.Г., Лебедева Т.М. Иммуномодулирующие эффекты у детей в условиях воздействия стронция при поступлении с питьевой водой..... 63

Starkova K.G., Dolgikh O.V., Dianova D.G., Lebedeva T.M. Immunomodulatory effects in children in conditions of the exposure to strontium due to intake with drinking water

Лужецкий К.П., Маклакова О.А., Палагина Л.Н. Нарушения жирового и углеводного обмена у детей, потребляющих питьевую воду ненормативного качества..... 66

Luzhetsky K.P., Maklakova O.A., Palagina L.N. Disorders of lipid and carbohydrate metabolism in children consuming drinking water of a non-normative quality

Маклакова О.А., Валина С.Л. Кардиореспираторные нарушения у детей дошкольного возраста, ассоциированные с аэрогенным воздействием бензола, фенола и формальдегида..... 70

Maklakova O.A., Valina S.L. Cardiorespiratory disorders in preschool aged children associated with aerogenic impact of benzene, phenol and formaldehyde

ГИГИЕНА ПИТАНИЯ

FOOD HYGIENE

Родионова Н.С., Алексеева Т.В., Попов Е.С., Калгина Ю.О., Натарова А.А. Гигиенические аспекты и перспективы отечественного производства продуктов глубокой переработки зародышей пшеницы..... 74

Rodionova N.S., Alekseeva T.V., Popov E.S., Kalgina Yu.O., Natarova A.A. Hygiene aspects and prospects for the domestic production of products of deep processing of wheat germ

<i>Попов Е.С., Родионова Н.С., Соколова О.А., Мазуренко Н.Ю.</i> Оценка перспектив производства сбалансированных по полиненасыщенным жирным кислотам продуктов из отечественного растительного сырья.....	79	<i>Popov E.S., Rodionova N.S., Sokolova O.A., Mazurenko N.Yu.</i> Estimation of prospects of the production from domestic vegetable raw materials balanced in polyunsaturated fatty acids
<i>Антипова Л.В., Дворянинова О.П., Соколов А.В.</i> Прудовые рыбы в улучшении структуры питания населения: гигиенические аспекты.....	84	<i>Antipova L.V., Dvoryaninova O.P., Sokolov A.V.</i> Pрудовые рыбы в улучшении структуры питания населения: гигиенические аспекты
METHODS OF HYGIENE INVESTIGATIONS		
<i>Цинкер М.Ю.</i> Трехмерное моделирование дыхательной системы человека для задач оценки рисков здоровью при ингаляционной экспозиции химических веществ.....	90	<i>Tsinker M.Yu.</i> Three-dimensional modeling of human respiratory system for tasks of health risk assessment in the exposure to the chemicals inhalation
PREVENTIVE TOXICOLOGY AND HYGIENE RATING		
<i>Ланин Д.В., Лебедева Т.М.</i> Воздействие химических факторов среды обитания на функции и взаимосвязи регуляторных систем у детей.....	94	<i>Lanin D.V., Lebedeva T.M.</i> The influence of chemical environmental factors on functions and interrelationships of regulatory systems in children
<i>Землянова М.А., Пустовалова О.В., Мазунина Д.Л., Сбоев А.С.</i> Биохимические маркерные показатели негативных эффектов у детей при воздействии хлорорганических соединений с питьевой водой.....	97	<i>Zemlyanova M.A., Pustovalova O.V., Mazunina D.L., Sboev A.S.</i> Biochemical marker indices of negative impacts in children under the exposure to the chlororganic compounds with drinking water
<i>Карпова М.В., Землянова М.А., Мазунина Д.Л.</i> Биомаркеры цитогенетических нарушений при воздействии марганца и стабильного стронция питьевой воды.....	102	<i>Karpova M.V., Zemlyanova M.A., Mazunina D.L.</i> Biomarkers of cytogenetic disorders under the external environmental related exposure of manganese and stable strontium from drinking water
METHODOLOGY AND PRACTICE OF SOCIO-HYGIENIC MONITORING		
<i>Зайцева Н.В., Шур П.З., Май И.В., Кирьянов Д.А.</i> К вопросу о применении прогнозирования эволюции риска здоровью в гигиенических оценках.....	106	<i>Zaitseva N.V., Shur P.Z., May I.V., Kiryanov D.A.</i> On the question of the application of the prediction of the evolution of health risk in hygienic assessments
<i>Уланова Т.С., Нурисламова Т.В., Карнажицкая Т.Д., Гилева О.В.</i> Методические особенности определения химических соединений и элементов в биологических средах.....	112	<i>Ulanova T.S., Nurislamova T.V., Karnazhitskaya T.D., Gileva O.V.</i> Methodical peculiarities and guidelines for the determination of chemical compounds and elements in the biological matrices
<i>Гилева О.В., Уланова Т.С., Вейхман Г.А., Недошитова А.В., Стенно Е.В.</i> Методическое обеспечение определения токсичных и эссенциальных элементов в биологических средах человека.....	116	<i>Gileva O.V., Ulanova T.S., Vekhman G.A., Nedoshitova A.V., Stenno E.V.</i> Methodical assurance of the assessment of toxic and essential elements in human biological matrices
<i>Нурисламова Т.В., Уланова Т.С., Попова Н.А., Мальцева О.А.</i> Методическое обеспечение социально-гигиенического мониторинга акрилонитрила в атмосферном, выдыхаемом воздухе и крови.....	122	<i>Nurislamova T.V., Ulanova T.S., Popova N.A., Mal'tseva O.A.</i> Methodical support of social-hygienic and medical-biological monitoring of acrylonitrile in atmospheric, expired air and blood

Полнотекстовый архив 2012–2014
на сайтах www.cyberleninka.ru и www.elibrary.ru в открытом доступе

Уважаемые авторы!

Правила оформления статей можно найти на сайте Издательства "Медицина" www.medlit.ru на странице нашего журнала.

Художественный редактор
А. В. Минаичев
Корректор Т. Д. Малышева
Переводчик Л. Д. Шакина
Верстка С. М. Мешкорудникова

Все права защищены. Ни одна часть этого издания не может быть занесена в память компьютера либо воспроизведена любым способом без предварительного письменного разрешения издателя.

Сдано в набор 21.12.2015.
Подписано в печать 25.01.2016.
Формат 60 × 88 1/8. Печать офсетная.
Печ. л. 12,0. Усл. печ. л. 11,76.
Уч.-изд. л. 12,5. Заказ 12.
Отпечатано в ООО "Подольская Периодика",
142110, г. Подольск, ул. Кирова, 15

- cardiopulmonary disease. *Environ. Health Perspect.* 1997; 105(6): 614–20.
12. Babisch W., Ising H., Gallacher J. E., Sweetnam P.M., P.C. Elwood. Traffic noise and cardiovascular risk: the Caerphilly and Speedwell Studies, third phase – 10-year follow up. *Arch. Environ. Health.* 1999; 54(3): 210–6.
13. MR 2.1.10-033–11. Assessment of risk to human health from exposure to traffic noise. Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology; 2011. (in Russian)
14. MR 2.2.10.0059–12. Quantitative assessment of carcinogenic risk when exposed to chemicals on the basis of construction of evolutionary models. Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology; 2012. (in Russian)
15. Izmerov N.F., ed. *Professional Pathology. National Leadership [Professional'naya patologiya. Natsional'noe rukovodstvo]*. Moscow; 2011. (in Russian)
16. Onishchenko G.G., Popova A.Yu., Tutel'yan V.A., Zaytseva N.V., Shur P.Z., Khotimchenko S.A. et al. About the human health safety estimation of ractopamine intake together with the food. *Vestnik RAMN.* 2013; (6): 4–8. (in Russian)

Поступила 26.06.15

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2016

УДК 614.7:616-008.82]:001.8

Уланова Т.С.^{1,2}, Нурисламова Т.В.^{1,2}, Карнажицкая Т.Д.¹, Гилева О.В.¹

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И ЭЛЕМЕНТОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, 614045, Пермь; ²ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 614990, Пермь

Рассмотрены методические особенности методик определения химических соединений и элементов в биологических средах. Приведены примеры практического применения способов пробоподготовки – экстракция органическими растворителями, дериватизация, твердофазная экстракция, анализ равновесной паровой фазы. На примере методики определения метил-трет-бутилового эфира в крови обозначена проблема и показана необходимость идентификации компонентов биологической матрицы с использованием хромато-масс-спектрометрии. Приведены примеры использования комплекса факторов для повышения чувствительности и селективности при определении целевых компонентов.

Ключевые слова: биологические среды; экстракция; дериватизация; анализ равновесной паровой фазы; твердофазная экстракция; газовая хроматография; высокоэффективная жидкостная хроматография; масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой.

Для цитирования: Уланова Т.С., Нурисламова Т.В., Карнажицкая Т.Д., Гилева О.В. Методические особенности определения химических соединений и элементов в биологических средах. *Гигиена и санитария.* 2016; 95(1): 112–116. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-112-116.

Ulanova T.S.^{1,2}, Nurislamova T.V.^{1,2}, Karnazhitskaya T.D.¹, Gileva O.V.¹

METHODICAL PECULIARITIES AND GUIDELINES FOR THE DETERMINATION OF CHEMICAL COMPOUNDS AND ELEMENTS IN THE BIOLOGICAL MATRICES

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, Russian Federation, 614045; ²ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 614990, г. Пермь

The methodical peculiarities of methods for the determination of chemical compounds and elements in biological matrices are considered. There are presented examples of practical application of methods for the sample preparation – organic solvent extraction, derivatization, solid-phase extraction, headspace analysis. On the example of the method for the determination the methyl-tret-butyl-ether in blood there is denoted the problem and shown the necessity of the identification of components of biological matrix with the use of the chromatomass-spectrometry. There are presented examples for the use of the set of factors in order to increase the sensitivity and selectivity in detection of target components.

Key words: biological media; extraction; derivatization; headspace analysis; solid-phase extraction; gas chromatography; high-performance liquid chromatography; inductively coupled plasma mass spectrometry.

For citation: Ulanova T.S., Nurislamova T.V., Karnazhitskaya T.D., Gileva O.V. Methodical peculiarities and guidelines for the determination of chemical compounds and elements in the biological matrices. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2016; 95(1): 112–116. (In Russ.). DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-112-116.

For correspondence: Tatyana S. Ulanova, E-mail: ulanova@fcrisk.ru

Received 27.06.15

Проблема установления связи между воздействием факторов окружающей среды и состоянием здоровья населения является одной из наиболее актуальных и сложных в современной профилактической медицине [1, 2]. Одним из приоритетных направлений в комплексных исследованиях по установлению до-

казательных причинно-следственных зависимостей, выявлению риска здоровью населения, является проведение биологического мониторинга контаминантов и их метаболитов в биосредах населения. Именно прямые методы определения токсичных соединений и их метаболитов в биологических средах человека являются неоспоримым доказательством неблагоприятного антропогенного воздействия на здоровье [1–5].

Исследование биосред человека на содержание компонентов антропогенной нагрузки во многом определяется созданием надежных и эффективных методических приемов, внедрением новых современных высокочувствительных селективных

Для корреспонденции: Уланова Татьяна Сергеевна, доктор биол. наук, зав. отделом химико-аналитических исследований ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 614990, Пермь, E-mail: ulanova@fcrisk.ru

и достоверных аналитических способов контроля содержания химических соединений и элементов в биологических средах [3].

Разработка методик определения химических соединений и элементов в биосредах в течение последних 20 лет ведется в подразделениях химико-аналитического отдела ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения». Всего разработано, утверждено руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, главным государственным санитарным врачом РФ более 40 методических указаний по определению 62 химических соединений и элементов.

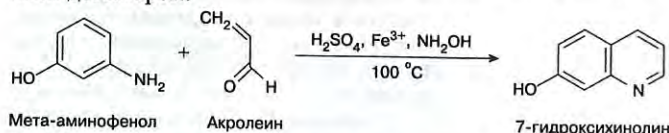
Разработка методик связана с обработкой специальных приемов, позволяющих повысить чувствительность и провести эффективное выделение определяемого соединения из сложного состава биологической матрицы. Для этого используют специальные приемы пробоподготовки, концентрирования и детектирования.

На практике при выполнении пробоподготовки наиболее часто используют экстракцию органическим растворителем, дериватизацию целевых компонентов, твердофазную экстракцию, статический и динамический анализ равновесной паровой фазы (АРПФ).

Дериватизация относится к наиболее надежным методам определения таких соединений, как фенолы, хлорфенолы. С использованием этого методического приема разработаны методы определения фенола и его производных (о-, м-, п-крезолы) в крови, основанные на метилировании, переводе в летучие неполярные производные и определении дериватов с помощью капиллярной газовой хроматографии (МУК 4.1.2108-06; МУК 4.1.3233-14).

Для определения предельных альдегидов в различных биосредах (кровь, моча) используют специфическую реакцию взаимодействия 2,4-динитрофенилгидразина с карбонильной группой. Изолирование 2,4-динитрофенилгидразонов выполняют методом экстракции гексаном, а одновременное добавление в пробу 2,4-динитрофенилгидразина и гексана значительно увеличивает скорость образования гидразонов альдегидов. Дальнейшее определение производных альдегидов выполняют методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Хроматограмма определения предельных альдегидов в крови приведена на рис. 1 (МУК 4.1.2111-06).

Для определения содержания свободного акролеина в моче и крови в качестве пробоподготовки использовали метод дериватизации с целью перевода акролеина в более стабильное нелетучее соединение. В ходе анализа использовали реакцию взаимодействия акролеина с мета-аминофенолом с образованием устойчивого деривата 7-гидроксихинолина с последующим определением на жидкостном хроматографе с флуориметрическим детектором:



Данный прием обеспечивает селективное извлечение акролеина из сложной матрицы, поскольку в реакцию взаимодействия вступают непредельные альдегиды и не вступают кетоны и алифатические альдегиды, такие как ацетон, формальдегид, ацетальдегид и другие альдегиды (МУК 4.1.3158-14).

Анализ равновесной паровой фазы (АРПФ) широко используют при определении летучих органических соединений (ароматические и хлорорганические углеводороды, алифатические спирты, N-нитрозамины, акрилонитрил) в биологических средах

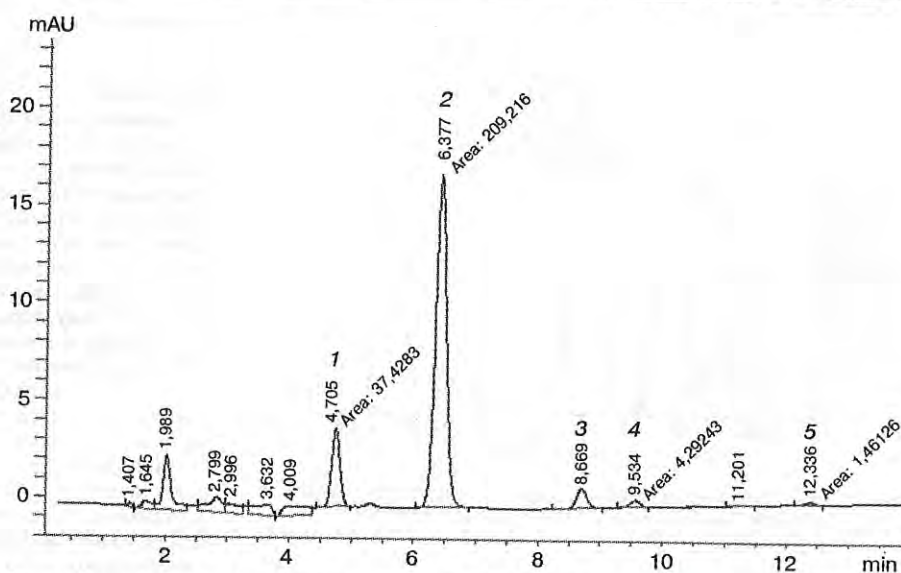


Рис. 1. Хроматограмма определения предельных альдегидов в крови методом ВЭЖХ в форме производных 2,4-динитрофенилгидразонов: 1 – 2,4-ДНФГ формальдегида, 2 – 2,4-ДНФГ ацетальдегида, 3 – 2,4-ДНФГ ацетона, 4 – 2,4-ДНФГ пропионового альдегида, 5 – 2,4-ДНФГ масляного альдегида.

методом капиллярной газовой хроматографии. Предварительная обработка биопробы высаливанием сульфатом натрия или изменением pH пробы позволяет увеличить чувствительность и воспроизводимость анализа. Хроматограмма экстракта мочи после извлечения стандартных растворов N-нитрозодиметиламина (НДМА) и N-нитрозодиэтиламина (НДЭА) при оптимальных параметрах хроматографического анализа приведена на рис. 2.

Обеспечение качества химического анализа требует совершенствования не только методов количественного определения, но и в каждом конкретном случае идентификации определяемых соединений. В связи с тем что в биологической матрице одновременно могут присутствовать органические соединения различных классов в виде сложных смесей в микро- или наногаммовом диапазоне, особые трудности возникают при анализе проб неизвестного состава, и в этом случае необходимо точно идентифицировать все присутствующие в пробе соединения. В этой связи при разработке современных химико-аналитических методов контроля должна обязательно присутствовать процедура хромато-масс-спектрометрической (ХМС) идентификации контаминантов анализируемой биопробы [6].

Например, при апробации разработанного метода определения метил-трет-бутилового эфира (МТБЭ) в крови на хроматограмме были обнаружены пики, которые являлись результатом наложения компонентов, присутствующих в биопробе.

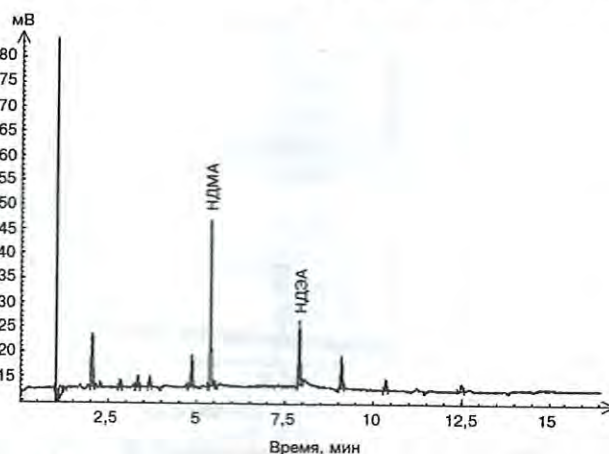


Рис. 2. Хроматограмма стандартного раствора с содержанием N-нитрозаминов ($C_{\text{НДМА}} = 0,05 \text{ мг/дм}^3$, $C_{\text{НДЭА}} = 0,047 \text{ мг/дм}^3$).

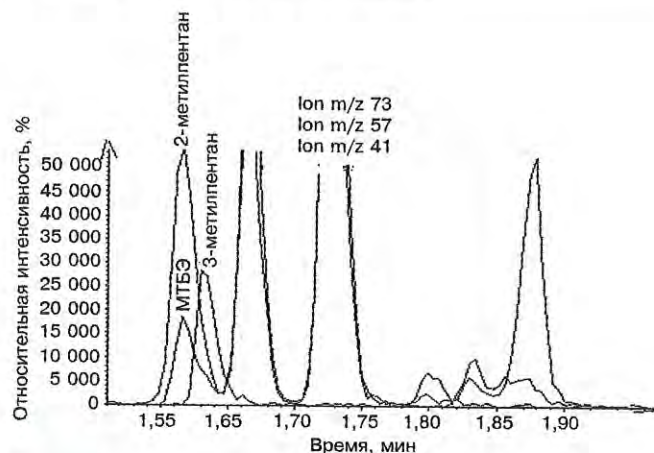


Рис. 3. Масс-хроматограмма образца крови, содержащей органические соединения: 2-метилпентан, МТБЭ и 3-метилпентан.

В процессе выполнения идентификации МТБЭ в режиме полного сканирования на хроматографе Agilent 7890А с масс-селективным детектором 5975С и квадрупольным масс-анализатором было доказано наложение нескольких индивидуальных соединений-изомеров с совпадающими временами удерживания (рис. 3): 2-метилпентан (время удерживания 1,567 мин), МТБЭ (время удерживания 1,575 мин) и 3-метилпентан (время удерживания 1,615 мин). Хроматограмма индивидуальной идентификации МТБЭ в крови представлена на рис. 3.

Для разделения изомеров предельных углеводородов (2-метилпентан и 3-метилпентан) и МТБЭ были оптимизированы хроматографические параметры, позволившие достичь высокой селективности. Для устранения недостаточного разрешения в исследованиях использовали специальные капиллярные колонки: неполярную с рабочей жидкой фазой на основе полиметилсилоксана DB-624 и полярную на основе полиэтиленгликоля HP-1 с высоким разрешением и низким пределом детектирования. В этих условиях достигнуто оптимальное разделение изомеров 2-метилпентана, 3-метилпентана и МТБЭ. Время удерживания МТБЭ составило 11,3 мин.

Хроматограмма образца крови при оптимизированных хроматографических параметрах представлена на рис. 4.

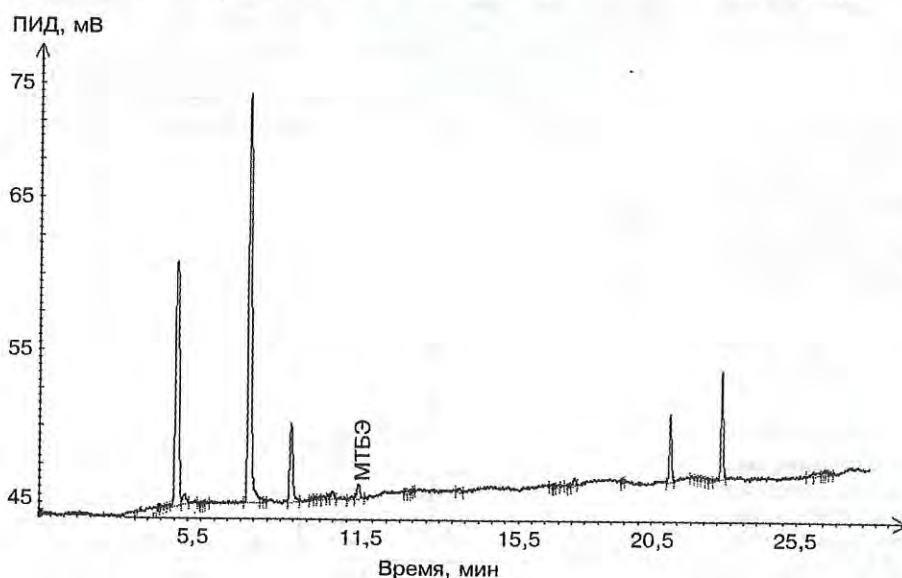


Рис. 4. Хроматограмма образца крови, содержащей МТБЭ и другие органические соединения при оптимизированных хроматографических параметрах (составная колонка с неполярной жидкой фазой DB-624 60 м×0,32 мм×1,8 мкм и полярной жидкой фазой HP-1 30 м×0,32 мм×0,25 мкм).

Выполненные ХМС-исследования констатируют факт присутствия в сложной биологической матрице наряду с основным аналитом других органических соединений, близких по характеристикам.

В зависимости от физико-химических характеристик определяемого соединения для определения в биосредах наряду с газовой используют жидкостную хроматографию. Преимущество высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) заключается в возможности анализа соединений с большим диапазоном молекулярных масс: от нескольких единиц до десятков миллионов, что существенно шире, чем в газовой хроматографии, анализа биологически активных веществ и биополимеров, поскольку определения можно проводить при температурах, близких к комнатной. Эффективность разделения в методе ВЭЖХ достаточно высокая до 150 000 теоретических тарелок на 1 м, скорость разделения сложной смеси занимает несколько минут, а высокоселективные детекторы позволяют определять микроколичества веществ в сложных смесях [7].

При рассмотрении возможных способов подготовки образцов к анализу приходится учитывать не только свойства анализируемых веществ, но свойства матриц образцов. Целная кровь, ее плазма или сыворотка содержат многие эндогенные вещества, концентрация которых оказывается на уровне или выше концентрации анализируемых веществ. Поэтому часто приходится регистрировать эндогенные вещества, структура которых оказывается весьма схожей с контролируемыми веществами. Для подготовки образцов к введению в жидкостной хроматографии используют различные способы: экстрагирование растворителем, твердофазное экстрагирование, дериватизацию, перегонку с паром, экстрагирование в аппарате Сокслета и т. д.

Определение бенз(а)пирена в крови основано на использовании метода дисперсионной твердофазной экстракции ацетонитрилом в присутствии высаливателей, очистке экстракта на сорбенте C18 (метод QuEChERS) и количественном определении методом жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектором. При выполнении этих условий нижний предел обнаружения бенз(а)пирена в крови составляет 0,00002 мг/дм³, погрешность не превышает 25% (МУК 4.1.3040–12).

При определении бенз(а)пирена в моче на этапе пробоподготовки и концентрирования используют метод твердофазной экстракции на полимерном сорбенте Oasis HLB, экстракцию с сорбента метилхлоридом и анализ на жидкостном хроматографе с использованием флуориметрического детектора. В этих условиях нижний предел обнаружения бенз(а)пирена в моче составляет 0,00001 мг/дм³, погрешность не превышает 20% (МУК 4.1.3041–12).

Измерение массовой концентрации диметилового эфира терефталевой кислоты (диметилтерефталата) в моче и плазме крови основано на извлечении аналита из биологических образцов методом твердофазной экстракции с использованием полимерного сорбента Oasis HLB и анализе экстрактов на жидкостном хроматографе в градиентном режиме элюирования с обращенной фазы с использованием флуориметрического детектора. Аналогичная пробоподготовка проводится при анализе ортофталевой кислоты в крови с предварительным отбором плазмы и ее подкислением с целью повышения степени экстракции целевого компонента из образца. Анализ экстракта осуществляют на жидкостном хроматографе в изократическом режиме элюирования смесью ацетонитрила и воды, подкисленной фосфорной кислотой до pH 3,0 и УФ-детектированием.

Определение элементов в биосредах основано на использовании метода атомно-абсорбционной спектроскопии с атомизацией в пламени (МУК 4.1.777–99); для определения ванадия может быть использован метод атомно-абсорбцион-

Таблица 1

Результаты 1 раунда 2014 г. международной программы
сличительных испытаний LAMP (CDC, USA)

Код образца	Найденное значение	Аттестованное значение	Z-индекс	Число участников
<i>Свинец</i>				
1401	18,55	18,63	0,5	92
1402	0,2	0,58	0,3	" "
1403	10,9	11,38	0,6	" "
<i>Кадмий</i>				
1401	4,03	4,23	0,5	50
1402	14,85	15,65	0,6	" "
1403	2,03	2,33	0,5	" "
<i>Ртуть</i>				
1401	11,8	14,5	1,7	45
1402	3,13	3,43	0,6	" "
1403	8,0	8,6	0,7	" "

Примечание. Z-индекс – критерий, показывающий место лаборатории среди других участников этапа МСИ. При $Z \leq 2$ результат признается положительным.

ной спектрометрии с электротермической атомизацией (МУК 4.1.2103-06). Для определения более широкого спектра элементов в крови (ванадий, хром, марганец, никель, медь, цинк, селен, стронций, таллий) и в моче (ванадий, хром, марганец, никель, медь, цинк, селен, стронций, таллий, свинец, кадмий, мышьяк) используют современный высокочувствительный метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) с МУК (4.1.3220–14).

Одним из важных этапов лабораторных исследований является метрологическое обеспечение, основной целью которого является получение высокой точности, воспроизводимости и достоверности результатов анализа. Контроль качества результатов измерений в пределах лаборатории организуют и проводят путем выполнения оперативного контроля стабильности результатов измерений в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-(1-6)–2002 и РМГ 76–2004. Метрологическая аттестация вновь разрабатываемых методик измерений проводится Центром метрологии и сертификации «Сертимет» Уральского отделения Российской академии наук, аккредитованным на этот вид деятельности.

Точность и правильность результатов элементного анализа подтверждается участием в международной программе сличительных испытаний LAMP, организованной Агентством по охране окружающей среды США. В соответствии с представленной программой LAMP, контролю подвергается содержание ртути, кадмия, свинца в образцах цельной крови в различных диапазонах определяемых концентраций. Фрагмент результатов анализа одного из раундов программы LAMP (CDC, USA) приведен в табл. 1.

Важным вопросом в практической реализации биомониторинга является обоснование критериев, относительно которых оценивают содержание определяемых химических соединений и элементов в биологических средах. Основываясь на многолетних исследованиях по проведению биомониторинга детского населения Пермского края, целесообразно рекомендовать разработку и использование региональных фоновых уровней содержания химических соединений в биологических средах. Под региональными фоновыми уровнями следует понимать содержание химических соединений (в мг/дм³) в биосредах населения, проживающего на экологически чистых территориях исследуемого региона вне зон антропогенного воздействия.

На территории Пермского края обоснованы и используются в практических исследованиях фоновые уровни содержания химических соединений и элементов в биосредах детского населения (табл. 2).

Таким образом, предлагаемый комплекс исследований, основанный на использовании современного высокочувствитель-

Таблица 2

Региональные фоновые уровни содержания химических соединений в биосредах детей

Химическое соединение	Концентрация, мг/дм ³	
	в крови	в моче
<i>Алифатические углеводороды</i>		
Гексан	0	0
Гептан	0	0
<i>Алифатические спирты</i>		
Метиловый	0,369 ± 0,143	1,251 ± 0,294
Этиловый	0,605 ± 0,216	0
Пропиловый	0	0
Изопропиловый	1,7359 ± 0,788	1,080 ± 0,044
Бутиловый	0	0
Изобутиловый	0	0
<i>Алифатические альдегиды (ВЭЖХ, экстракция)</i>		
Формальдегид	0,005 ± 0,0014	0,0040 ± 0,0009
Ацетальдегид	0,077 ± 0,009	0,068 ± 0,009
Масляный	0	0
Пропионовый	0	0
<i>Кетоны</i>		
Ацетон	0,450 ± 0,248	0,265 ± 0,129
<i>Хлорорганические соединения</i>		
Хлороформ	0	0
Тетрахлорметан	0,00086 ± 0,0016	0,0013 ± 0,0002
1,2-Дихлорэтан	0	0
<i>Ароматические углеводороды</i>		
Бензол	0	0
Толуол	0	0
Этилбензол	0	0
О-ксилол	0	0
м-, п-ксилол	0	0
Стирол	0	–
Фенол	0,01 ± 0,01	0,280 ± 0,146
о-, м-, п-крезолы	0	–
<i>Ароматические амины</i>		
Анилин	0	0
N-метиланилин	0	0
N-этиланилин	0	0
N, N-диметиланилин	0	0
N, N-диэтиланилин	0	0
<i>Органические азотсодержащие соединения</i>		
Акрилонитрил	0	–
<i>Полиароматические углеводороды</i>		
Бенз(а)пирен	0	0
<i>Неорганические соединения</i>		
Марганец***	0,0131	0,0006
Медь***	0,856 ± 0,120	0,01
Магний*	33,25 ± 2,87	35,75 ± 15,08
Никель***	0,0023	0,0015
Свинец***	0,0144	0,0006
Цинк***	4770,5 ± 109	0,217
Хром***	0,0027	0,0014
Железо*	–	0,087 ± 0,008
Ванадий**	0,00013	0,00061
Алюминий**	0,024 ± 0,015	–
Кадмий***	0,00014	0,00011
Мышьяк***	0,00018	0,0074
Селен***	0,0874 ± 0,0042	0,0186
Стронций***	0,0219	0,148
Фторид-ион	–	0,415 ± 0,16

Примечание. * – значение получено методом атомно-абсорбционной спектрометрии с атомизацией в пламени; ** – значение получено методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией; *** – значение получено методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

ного оборудования для аналитических исследований, развитая методическая база, новые направления в разработке высокочувствительных и селективных методик определения химических соединений и элементов в биологических средах, современные приемы идентификации определяемых соединений, метрологическая аттестация вновь разрабатываемых методик, проверка точности и правильности результатов анализа участием в межлабораторных сличительных испытаниях, решение вопросов об обосновании критериев, относительно которых оценивается содержание определяемых химических соединений и элементов в биологических средах, обеспечивает эффективное использование биологического мониторинга в различных направлениях гигиенических исследований.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. Рахманин Ю.А., Малышева А.Г. Концепция развития государственной системы химико-аналитического мониторинга окружающей среды. *Гигиена и санитария*. 2013; 6: 4–8.
2. Малышева А.Г., Рахманин Ю.А. *Физико-химические исследования и методы контроля веществ в гигиене окружающей среды*. СПб: НПО «Профессионал»; 2012.
3. Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Уланова Т.С. *Контроль содержания химических соединений и элементов в биологических средах: руководство*. Пермь; 2011.
4. Дмитриев М.Т. Определение токсичных веществ в биосредах для установления реальной химической нагрузки. *Гигиена и санитария*. 1986; 3: 48–50.
5. Зайцева Н.В., Уланова Т.С., Синицына О.О., Гилева О.В. Методическое обеспечение гигиенической оценки опасности воздействия ванадия на здоровье детского населения. *Гигиена и санитария*. 2014; 4: 115–9.

6. Другов Ю.С., Платонов И.А., Орлов А.И., Уланова Т.С., Родин А.А. *Анализ загрязненных биосред и пищевых продуктов. Том 1*. Самара: ООО «Порто-Принт»; 2013: 98–102.
7. Бауэр Г. *Высокоэффективная жидкостная хроматография в биохимии*. Березин И.В., ред. Перевод с английского. М.: Мир; 1988.

References

1. Rakhmanin Yu.A., Malysheva A.G. The concept of development of the state system of chemical-analytical monitoring of the environment. *Gigiena i sanitariya*. 2013; 6: 4–8. (in Russian)
2. Malysheva A.G., Rakhmanin Yu.A. *Physico-chemical Studies and Methods of Control of Substances in the Environmental Hygiene [Fiziko-khimicheskie issledovaniya i metody kontrolya veshchestv v gigiene okruzhayushchey sredy]*. St. Petersburg: NPO «Professional»; 2012. (in Russian)
3. Onishchenko G.G., Zaytseva N.V., Ulanova T.S. *Control Over the Content of Chemical Compounds and Elements in Biological Media: Manual [Kontrol' soderzhaniya khimicheskikh soedineniy i elementov v biologicheskikh sredakh: rukovodstvo]*. Perm'; 2011. (in Russian)
4. Dmitriev M.T. Determining the toxic substances in biological media to establish the real chemical load. *Gigiena i sanitariya*. 1986; 3: 48–50. (in Russian)
5. Zaytseva N.V., Ulanova T.S., Sinitsyna O.O., Gileva O.V. Methodical provision of the sanitary risk assessment of vanadium on children's health. *Gigiena i sanitariya*. 2014; 4: 115–9. (in Russian)
6. Drugov Yu.S., Platonov I.A., Orlov A.I., Ulanova T.S., Rodin A.A. *Analysis of Contaminated Biological Media and Food Products [Analiz zagryaznennykh biosred i pishchevyykh produktov]*. Vol. 1. Samara: ООО «Porto-Print»; 2013: 98–102. (in Russian)
7. Bauer G. *High-performance Liquid Chromatography in Biochemistry [Vysokoeffektivnaya zhidkostnaya khromatografiya v biokhimi]*. Berezin I.V., ed. Transl. from Engl. Moscow: Mir; 1988. (in Russian)

Поступила 27.06.15

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2016

УДК 614.7:616-008.82]:001.8

Гилева О.В.¹, Уланова Т.С.^{1,2}, Вейхман Г.А.¹, Недошитова А.В.¹, Стенно Е.В.¹

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ И ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ЗАДАЧ СОЦИАЛЬНО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И БИМЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь; ²ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 614990, Пермь

Рассмотрен комплекс методических приемов для определения химических элементов (ванадий, хром, марганец, никель, медь, цинк, селен, стронций, таллий, свинец, кадмий, мышьяк) в биосредах населения для практического использования в рамках социально-гигиенического мониторинга и биомониторинга на территориях с высокой антропогенной нагрузкой. Разработанные методические указания на базе метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) утверждены в виде МУК 4.1.3230–14 и позволили провести гигиеническую оценку контаминации биологических сред взрослого населения, проживающего на территории, расположенной в зоне воздействия выбросов феррованадиевого производства (г. Чусовой Пермского края). По результатам исследования установлено достоверное превышение содержания в крови группы наблюдения ванадия, марганца, никеля, стронция, кадмия, пониженное содержание селена в крови, в моче превышение содержания ванадия и хрома относительно группы контроля.

Ключевые слова: ванадий; хром; марганец; никель; медь; цинк; селен; стронций; таллий; свинец; кадмий; мышьяк; кровь; моча; контаминация; масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой; матричный эффект; интерференционный эффект.

Для цитирования: Гилева О.В., Уланова Т.С., Вейхман Г.А., Недошитова А.В., Стенно Е.В. Методическое обеспечение определения токсичных и эссенциальных элементов в биологических средах человека для задач социально-гигиенического мониторинга и биомедицинских исследований. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(1): 116–121. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-116-121.

Для корреспонденции: Гилева Ольга Владимировна, к.б.н., ведущий химик отдела химико-аналитических методов исследований ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, 614045, Пермь, E-mail: lelyum1986@yandex.ru