



Нурисламова Т.В., Алексеев В.Б., Уланова Т.С., Мальцева О.А.

Хромато-масс-спектрометрическая идентификация несимметричного диметилгидразина и N-нитрозодиметиламина

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

Введение. Экологическая безопасность является одним из главных приоритетов государственной политики и обеспечивает правовое регулирование отношений в области космической деятельности в целях укрепления обороны и безопасности Российской Федерации и дальнейшего расширения международного сотрудничества Российской Федерации.

Материалы и методы. В районах падения ступеней ракет-носителей (РН) проведены скрининговые исследования по идентификации компонента ракетного топлива 1,1-несимметричного диметилгидразина в пробах атмосферного воздуха ($n = 14$) и питьевой воды ($n = 23$); количественное определение его метаболита N-нитрозодиметиламина в крови жителей ($n = 90$), проживающих на обследуемых территориях до запуска ракет ($n = 45$) и после запуска ($n = 45$); количественное определение метаболита N-нитрозодиметиламина в моче жителей группы наблюдения ($n = 108$). Для сравнения выбрана группа жителей, не имеющих отношения к воздействиям и последствиям ракетно-космической деятельности ($n = 13$). Идентификация и анализ проб атмосферного воздуха, питьевой воды и биологических сред (кровь, моча) выполняли на газовом хроматографе Agilent (USA) с масс-селективным детектором с использованием температурного режима программирования капиллярной колонки HP-FFAP 30 m • 0,25 mm • 0,25 μ m.

Результаты. Показано отсутствие несимметричного 1,1-диметилгидразина в 100% проанализированных проб атмосферного воздуха. В период наблюдений в пробах питьевой воды обнаружены концентрации N-нитрозодиметиламина от 0,00039 до 0,001 мг/дм³, не превышающих гигиенического норматива (ПДК_{НДМА} – 0,01 мг/дм³). В исследуемых образцах крови населения обнаружены концентрации N-нитрозодиметиламина 0,00095–0,346 мг/дм³. Установлено, что после запуска ракет концентрация N-НДМА в крови превышала в 1,8 раза концентрацию в крови до запуска ракет. В образце мочи жителя, проживающего на обследуемой территории, с высокой степенью достоверности идентифицирован N-нитрозодиметилламин по основному иону массой 74 т/з и подтверждающему массой 42 т/з и количественно рассчитана концентрация, которая составила $C_{N-NDMA} = 0,23$ мкг/мл. Обнаружение N-нитрозодиметиламина в крови и моче, даже в следовых количествах, свидетельствует о возможности экспозиции.

Заключение. Разработанный комплекс исследований позволил доказать относительную безопасность экологической ситуации в районах падения ступеней РН и расположенных вблизи границ населённых пунктов в части загрязнения среды обитания несимметричным диметилгидразином и может использоваться для системного мониторинга.

Ключевые слова: несимметричный диметилгидразин; N-нитрозодиметилламин; биосреда (кровь, моча); атмосферный воздух; питьевая вода; хромато-масс-спектрометрическая идентификация; библиотека масс-спектров; территории падения отделяющихся частей ракет и ракет-носителей Республики Алтай

Для цитирования: Нурисламова Т.В., Алексеев В.Б., Уланова Т.С., Мальцева О.А. Хромато-масс-спектрометрическая идентификация несимметричного диметилгидразина и N-нитрозодиметиламина. *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (5): 422-427. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-422-427>

Для корреспонденции: Нурисламова Татьяна Валентиновна, доктор биол. наук, зам. зав. отделом химико-аналитических методов исследований ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь. E-mail: nurtat@fcrisk.ru

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов: Нурисламова Т.В. – материалы и методы, результаты, обсуждение, заключение; Алексеев В.Б. – научная консультация; Уланова Т.С. – актуальность, заключение; Мальцева О.А. – аналитическая и экспериментальная часть работы. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила 27.04.2021 / Принята к печати 18.05.2021 / Опубликована 15.06.2021

Tatyana V. Nurislamova, Vadim B. Alekseev, Tatyana S. Ulanova, Olga A. Maltseva

Chromato-mass-spectrometric identification of asymmetric dimethylhydrazine and N-nitrosodimethylamine

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risks Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation

Introduction. Environmental safety is one of the main priorities of state policy. It ensures the legal regulation of relations in space activities to strengthen the defense and security of the Russian Federation and further extension of the international cooperation of the Russian Federation.

Material and methods. In the fall areas of the stages of the booster rockets, screening studies were carried out to identify the propellant component 1,1-unsymmetrical dimethylhydrazine in atmospheric air ($n=14$) and drinking water ($n=23$), determine its metabolite N-nitrosodimethylamine quantitatively in the residents' blood ($n = 90$) living in the surveyed areas before the rocket launch ($n = 45$) and after the launch ($n = 45$). Also quantitative determination of the N-nitrosodimethylamine metabolite in the residents' urine in the observation group ($n = 108$) was performed. For comparison, there was selected a group of residents not related to rocket and space activities ($n = 13$). Identification and analysis of samples of atmospheric air, drinking water, and biological media (blood, urine) was performed using Agilent 7890A gas chromatograph (USA) with a 5975C quadrupole mass spectrometric detector (MCD) and a capillary column of the HP-FFAP 30m • 0.25mm • 0.25 μ m series.

Results. The study revealed the absence of asymmetric 1,1-dimethylhydrazine in 100% of analyzed atmospheric air samples. During the observation period, the concentrations of N-nitrosodimethylamine in the range of 0.00039 to 0.001 mg/dm³ were found in drinking water samples that did not exceed the hygienic standard (LOC_{NDMA} 0.01 mg/dm³). N-nitrosodimethylamine in a concentration range of 0.00095–0.346 mg/dm³ was determined in the blood samples of the population. The studies revealed that after the rocket launch, the N-NDMA concentration in the blood was 1.8 times higher than the concentration registered before the rocket launch. In the urine sample of the resident living in the surveyed area, N-nitrosodimethylamine was detected with a high degree

of reliability according to the essential ion with mass 74 m/z and confirmatory ion of 42 m/z, and the concentration was quantitatively calculated at a level of $C_{N-DMA} = 0.23 \mu\text{g/ml}$. The detection of *N*-nitrosodimethylamine in blood and urine, even in trace amounts, indicates the possibility of exposure.

Conclusion. Performed comprehensive studies made it possible to prove the relative safety of the ecological situation in the fall areas of the booster rockets that are located close to settlements when considering the environmental pollution with unsymmetrical dimethylhydrazine and can be used for systematic monitoring.

Keywords: unsymmetrical dimethylhydrazine; *N*-nitrosodimethylamine; biological medium (blood; urine); atmospheric air; drinking water; chromatography-mass spectrometric identification; a library of mass spectra; booster rocket drop zones (BR DZ) of the Altai Republic

For citation: Nurislamova T.V., Alekseev V.B., Ulanova T.S., Maltseva O.A. Chromato-mass-spectrometric identification of asymmetric dimethylhydrazine and *N*-nitrosodimethylamine. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2021; 100 (5): 422-427. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-422-427> (In Russ.)

For correspondence: Tatiana V. Nurislamova, MD, Ph.D., deputy head of Department of Chemical and Analytical Research Methods, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risks Management Technologies, 614045, Perm. E-mail: nurtat@fcrisk.ru

Information about the authors:

Alekseev V.B., <https://orcid.org/0000-0001-5850-7232>;

Nurislamova T.V., <https://orcid.org/0000-0002-2344-3037>

Ulanova T.S., <https://orcid.org/0000-0002-9238-5598>;

Maltseva O.A., <https://orcid.org/0000-0001-7664-3270>

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution of the authors: Nurislamova T.V. – materials and methods, results, discussion, conclusion; Alekseev V.B. – scientific advice; Ulanova T.S. – relevance, conclusion. Maltseva O.A. – analytical and experimental part of the work. All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Received: April 27, 2021 / Accepted: May 18, 2021 / Published: June 15, 2021

Введение

В соответствии с Законом Российской Федерации¹ экологическая безопасность относится к одному из главных приоритетов государственной политики и обеспечивает правовое регулирование отношений в области космической деятельности в целях укрепления обороны и безопасности Российской Федерации и дальнейшего расширения международного сотрудничества Российской Федерации [1–3]. Интенсивная ракетно-космическая деятельность (РКД) на территории России в последние годы породила огромное количество проблем. К этим проблемам следует отнести загрязнение окружающей среды отделяющимися ступенями РН, а также токсическими компонентами ракетного топлива (гептил и его производные) [4–7], что представляет опасность для окружающей среды и здоровья человека [8–10]. Потенциальная опасность компонентов ракетного топлива определяется воздействием высокотоксичного несимметричного диметилгидразина (НДМГ) и продуктами его разложения: *N*-нитрозодиметиламин, диметиламин, тетраметилтеразен [11, 12]. Несимметричный диметилгидразин (НДМГ) относится к I-му классу опасности и накапливается в организме, легко трансформируется, образуя более опасное соединение «летальный метаболит» *N*-нитрозодиметиламин (*N*-НДМА) I-го класса опасности [13–16].

При длительном контакте с разрушенными конструкциями отработавших ступеней РН в районах падения и при хронической интоксикации НДМГ возможно развитие функциональных расстройств нервной системы, лабильность пульса и артериального давления с наклонностью к гипертензии, дискинезией желчевыводящих путей, ринитами и ларингитами [17–19].

В зарубежной научной литературе широко обсуждаются вопросы определения несимметричного 1,1-диметилгидразина и продукта его разложения высокотоксичного *N*-нитрозодиметиламина в различных объектах окружающей среды [20].

По результатам исследований зарубежных авторов в рамках Европейской программы мониторинга и оценки (Hjellbrekke, 2017) в период 2011–2018 гг. проведены исследования химического загрязнения почвы талым снегом первой очереди РН «Протон-М» в Центральном Казахстане. Обнаружено, что концентрация продукта разложения несимметричного диметилгидразина *N*-нитрозодиметиламина, поступающего в верхний слой почвы с талой водой в пределах технико-экономического обоснования первой ступени,

колебалась от 0,01 до 19 мг/кг почвы, при этом максимальное значение превышало ПДК в 1940 раз (ПДК для НДМА соответствует 0,01 мг/кг почвы) [21]. Известный зарубежный опыт в области экологической безопасности космодромов связан с районами падения отделяющихся частей ракет-носителей (ОЧРН), находящимися в акваториях океанов. Поэтому для отечественных космодромов, как правило, континентальных, он неприемлем. В настоящее время вопросы организации и управления химической безопасности РКД решены недостаточно, отсутствуют эффективные методы обнаружения, идентификации и количественного определения токсичных компонентов и средства санитарно-гигиенического контроля и мониторинга [22–27].

Актуальной научной задачей является оценка химического воздействия РКД на экологическое состояние объектов окружающей среды в районах падения отработавших ступеней РН с использованием высокоэффективных методик определения токсичных компонентов ракетного топлива в экосистемах и биологических средах населения. Данный аспект предусматривает создание эффективной системы аналитического контроля и экологического мониторинга с учётом современных международных требований.

Цель работы – обоснование порядка и результаты комплексной санитарно-гигиенической оценки ситуации в районах падения отработавших ступеней РН в части загрязнения среды обитания несимметричным диметилгидразином.

Материалы и методы

Объект исследований – территории воздействия ракетно-космической деятельности Республики Алтай.

В ходе обследования районов падения отработавших ступеней РН и расположенных вблизи границ населённых пунктов проведены скрининговые исследования по идентификации компонента ракетного топлива 1,1-несимметричного диметилгидразина в пробах атмосферного воздуха и питьевой воды; в биологических средах населения (кровь, моча) выполнены скрининговые исследования по идентификации его метаболита *N*-НДМА.

Комплекс исследований включал четыре этапа:

1. идентификация 1,1-диметилгидразина в атмосферном воздухе ($n = 14$);
2. идентификация 1,1-диметилгидразина в питьевой воде ($n = 23$);
3. количественное определение его метаболита *N*-НДМА в крови населения ($n = 90$), проживающего на обследуемых территориях до запуска ракет ($n = 45$) и после запуска ($n = 45$);

¹ Закон РФ от 20 августа 1993 г. № 5663-I «О космической деятельности» (с изменениями и дополнениями).

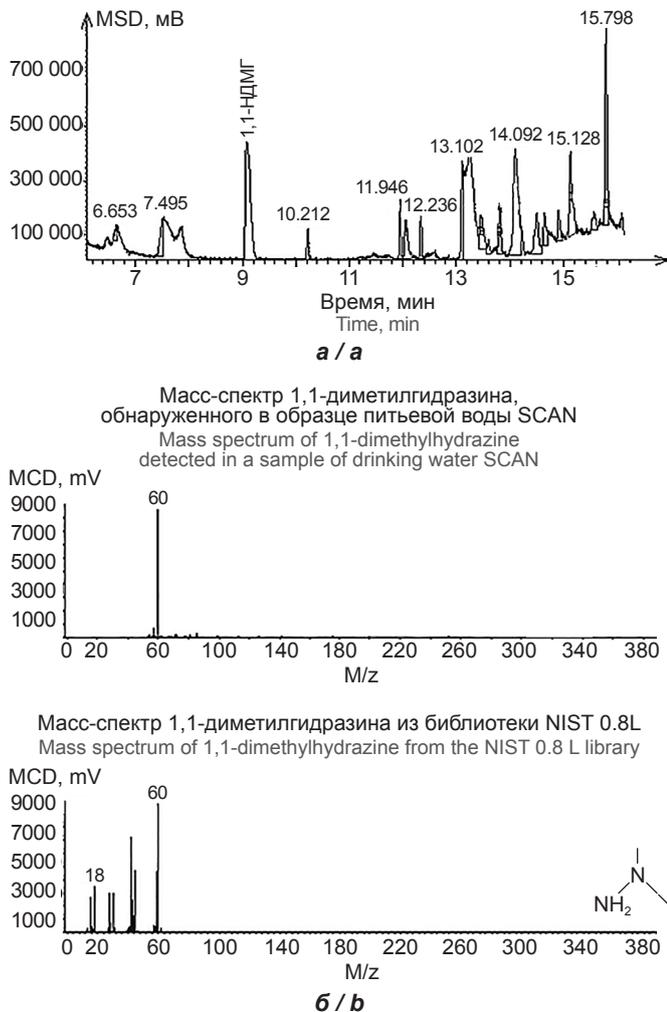


Рис. 1. Хроматограмма и масс-спектрограмма 1,1-НДМГ, обнаруженного в образцах питьевой воды, отобранных на территориях падения ОЧРН, время удерживания НДМГ – 9 мин.

Fig. 1. Chromatogram and mass spectrogram of 1,1-NDMG detected in a sample of drinking water collected in the fall areas of the separated parts of launch vehicles, the retention time of NDMG is 9 minutes.

4. количественное определение метаболита N-НДМА в моче жителей ($n = 108$), проживающих на территории обследования (группа наблюдения). Для сравнения выбрана группа жителей, не имеющих отношения к воздействиям и последствиям РКД ($n = 13$).

При установлении идентичности и количественного определения N-НДМА в пробах крови и воды применяли базовый метод газовой хроматографии (хроматограф Agilent 7890А) с масс-спектрометрическим детектированием (MCD) при температурном режиме программирования капиллярной колонки HP-FFAP 30 м • 0,25 мм • 0,25 мкм.

Для обнаружения компонента ракетного топлива 1,1-диметилгидразина в пробах атмосферного воздуха хроматограф работал в сочетании с устройством для термической десорбции термодесорбера Unity (Италия).

При подготовке образцов крови и воды использовали систему твёрдофазной экстракции Sepaths (ТФЭ, Италия). Все этапы твёрдофазной экстракции (кондиционирование картриджа, подача образца, промывка и сушка картриджа, элюирование аналита) проводили в автоматическом режиме по заданной программе, поэтому система ТФЭ позволила улучшить точность и воспроизводимость анализа. Как результат – высокая эффективность полноты извлечения широко-

го спектра органических соединений различных классов, в том числе N-НДМА [28].

Масс-спектрометрическое детектирование исследуемых проб воды и крови выполняли в режиме сканирования (SCAN) в диапазоне масс от 50 до 500 а.е.м.

Использование библиотек справочных масс-спектров и сравнение экспериментальных и справочных хромато-масс-спектрометрических данных позволило расшифровать результаты газохроматографического анализа. Идентификация химических соединений позволила обнаружить в образцах воды 1,1-несимметричный диметилгидразин, в крови и моче населения его метаболит N-НДМА.

Количественное определение N-нитрозоаминов в образцах крови и мочи выполняли в соответствии с МУК 4.1.3479-17² и МУК 4.1.3231-14³. Обнаруженные концентрации в крови составили 0,00095–0,346 мг/дм³ при погрешности методики ≤ 27%. Диапазон обнаруженных концентраций в моче изменялся от 0,01 до 0,6 мг/дм³ (предел определения 0,0095 мг/дм³) при погрешности методики ≤ 22%. Количественное определение N-НДМА в образцах воды выполняли в соответствии с МУК 4.1.1871-04⁴. Обнаруженные концентрации составили 0,005–0,1 мг/дм³ (нижний предел определения 0,005 мг/дм³).

Результаты

Атмосферный воздух. Исследование образцов атмосферного воздуха, отобранных на обследуемых территориях, показало отсутствие несимметричного 1,1-диметилгидразина в 100% проанализированных проб. Известно, что 1,1-диметилгидразин обладает высокой реакционной способностью и легко разлагается в объектах окружающей среды. Период полураспада в воздухе составляет от менее 10 мин до нескольких часов, в зависимости от концентрации озона и гидроксильных радикалов [20]. Отсутствие 1,1-диметилгидразина в образцах атмосферного воздуха подтверждено результатами ранее выполненных исследований [13, 29].

Питьевая вода. Результаты идентификации несимметричного 1,1-диметилгидразина, обнаруженного в образце питьевой воды, представлены на хроматограмме (а) и масс-спектрограмме (б) (рис. 1).

Кровь. В 94% исследованных образцов крови зарегистрированы вещества, которые могут быть идентифицированы как несимметричный диметилгидразин, и в 6% образцов крови продукт его распада N-НДМА с коэффициентом совпадения с библиотечным масс-спектром 70%. В остальных образцах крови N-НДМА идентифицирован с коэффициентом совпадения с библиотечным масс-спектром не более 30%.

Моча. Выполненная идентификация N-НДМА в пробах мочи населения позволила установить, что структура вещества, идентифицированного как N-НДМА, соответствует структуре N-НДМА из библиотеки с вероятностью совпадения более 90–97% при совпадении времени удерживания.

Обсуждение

Питьевая вода. Идентификация химических соединений исследуемой пробы питьевой воды по диапазону масс 50–500 а.е.м. позволила обнаружить масс-спектр несимметричного 1,1-диметилгидразина массой ($m/z = 60$) и с вероятностью совпадения с библиотечным масс-спектром US EPA 50% (см. рис. 1, а). Выполненная идентификация 1,1-НДМГ в пробах питьевой воды позволила установить,

² МУК 4.1. 3479-17 «Измерение массовых концентраций N-нитрозоаминов (N-нитрозодиметиламин, N-нитрозодиэтиламин) в крови методом капиллярной газовой хроматографии».

³ МУК 4.1.3231-14 «Измерение массовых концентраций N-нитрозоаминов (N-нитрозодиметиламин, N-нитрозодиэтиламин) в моче методом капиллярной газовой хроматографии».

⁴ МУК 4.1.1871-04 Газохроматографическое определение N-нитрозодиметиламина (НДМА) в питьевой воде и воде водоёмов. Минздрав России, 2004 г.

Результаты количественного определения N-нитрозодиметиламина в образцах крови

Results of quantitative determination of N-nitrosodimethylamine in blood samples

Сезон Season	N-НДМА, мг/дм ³ N-NDMA, mg/dm ³
Зима (до запуска) Winter (before launch)	0.022 ± 0.01
Лето (после запуска) Summer (after launch)	0.039 ± 0.02

что структура вещества, идентифицированного как несимметричный 1,1-диметилгидразин (см. рис. 1, б), соответствует структуре 1,1-НДМГ из библиотеки с вероятностью совпадения более 50% при совпадении времени удерживания. На рисунке показан масс-спектр несимметричного 1,1-диметилгидразина, обнаруженного в образце питьевой воды (верхняя часть рисунка) (масса ($m/z = 60$) и время удерживания (9,1 мин)). В нижней части рисунка показан масс-спектр 1,1-диметилгидразина из библиотеки масс-спектров, что подтверждает присутствие 1,1-диметилгидразина в исследуемом образце.

В образцах питьевой воды идентифицирован несимметричный диметилгидразин с коэффициентом совпадения с библиотечным масс-спектром 12–50% (100% проанализированных проб).

При попадании в водные системы несимметричный диметилгидразин подвергается биоразложению с образованием N-НДМА [20]. По результатам скрининговых исследований проб питьевой воды содержание N-НДМА изменялось в диапазоне концентраций от 0,00039 до 0,001 мг/дм³. В период наблюдений превышений гигиенического норматива (ПДК_{НДМА} – 0,01 мг/дм³) не зарегистрировано.

Следующий этап исследований заключался в обследовании населения, проживающего на территориях воздействия РКД.

Кровь. В исследуемых образцах крови населения в режиме селективного ионного мониторинга (SIM) зарегистрирован N-НДМА. Содержание токсиканта в крови обследуемого населения зарегистрировано на уровне 0,00095–0,346 мг/дм³ (см. таблицу).

В процессе выполненных исследований по содержанию N-НДМА в крови населения установлено, что после запуска ракет концентрация N-НДМА превышала в 1,8 раза концентрацию в крови до запуска ракет. Результаты идентификации N-НДМА в образце крови жителей представлены на хроматограмме (рис. 2).

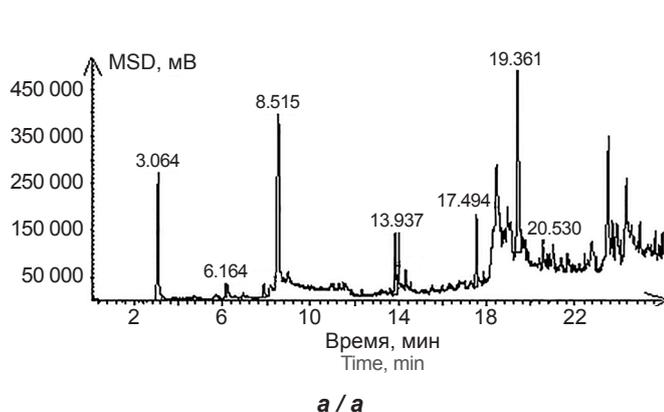


Рис. 3. Масс-хроматограмма (а) и масс-спектр (б) N-нитрозодиметиламина, обнаруженного в образце мочи.

Fig. 3. Mass chromatogram (a) and mass spectrum (b) of N-nitrosodimethylamine detected in a urine sample.

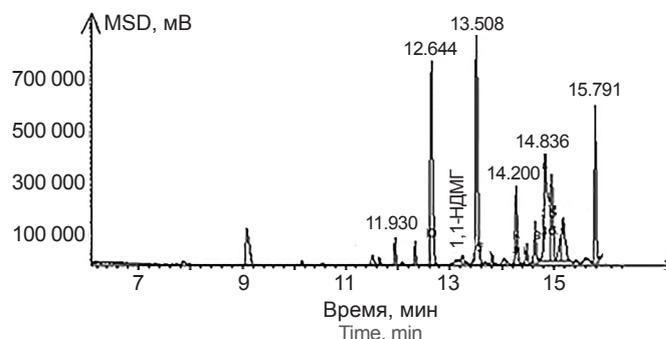


Рис. 2. Хроматограмма N-нитрозодиметиламина, обнаруженного в образце крови жителя территории обследования (по полному ионному току, время регистрации от 5 до 20 мин).

Fig. 2. Chromatogram of N-nitrosodimethylamine detected in a blood sample of a resident of the survey area (according to the total ion current, registration time from 5 to 20 minutes).

Моча. Методом хромато-масс-спектрометрии в режиме ионного селективного мониторинга (SIM) обнаружено содержание N-НДМА в образцах мочи группы наблюдения, значительно превышающее содержание определяемого соединения в группе сравнения. Кратность превышения содержания N-НДМА в моче группы обследования относительно группы сравнения составила от 2,9 до 249 раз.

С целью доказательства наличия N-НДМА в образце мочи жителей, постоянно проживающих на территории падения отработавших ступеней РН, выполнена более углублённая расшифровка масс-спектрограммы.

На рис. 3 представлена масс-хроматограмма N-НДМА, обнаруженного в образце мочи.

Проведённые хромато-масс-спектрометрические исследования позволили установить, что в образцах мочи с высокой степенью достоверности идентифицирован N-НДМА по основному иону 74 m/z и подтверждающему 42 m/z и количественно рассчитана концентрация $C_{N-НДМА} = 0,23$ мкг/мл.

Для подтверждения присутствия N-НДМА, обнаруженного в образцах мочи, использовали метод быстрого редактирования экстракционной хроматограммы по молекулярному иону массой m/z 74 (рис. 4) и времени удерживания 13,2 мин, который позволил установить, что структура вещества, идентифицированного как N-НДМА, соответствует структуре данного соединения из библиотеки. Обнаружение N-НДМА в крови и моче даже в следовых количествах свидетельствует о возможности экспозиции.

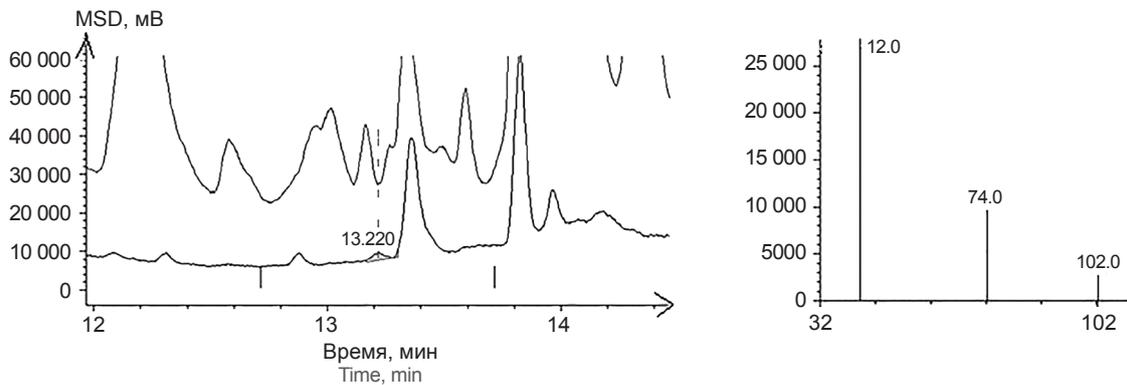


Рис. 4. Экстракционная хроматограмма N-нитрозодиметиламина, обнаруженного в образце мочи.

Fig. 4. Extraction chromatogram of N-nitrosodimethylamine detected in a urine sample.

Заключение

В процессе исследований отработан и предложен современный комплекс исследований оценки экологической ситуации на территориях падения отработавших ступеней РН, загрязнённых несимметричным диметилгидразином (гептилом). Комплекс включает этапы скрининговых исследований:

1. идентификация 1,1-диметилгидразина в атмосферном воздухе и питьевой воде;
2. количественное определение его метаболита N-НДМА в крови населения, проживающего на обследуемых территориях, до запуска ракет и после запуска;

3. количественное определение метаболита N-НДМА в моче жителей, проживающих на территории обследования (группа наблюдений). Для сравнения выбрать группу жителей, не имеющих отношения к воздействиям и последствиям РКД.

Выполненный комплекс исследований позволил доказать относительную безопасность ситуации в части загрязнения среды обитания несимметричным диметилгидразином и может использоваться для системного мониторинга.

Вместе с тем полученные результаты свидетельствуют о необходимости более глубокого изучения экологической ситуации в районах падения отработавших ступеней РН с целью оценки и прогнозирования рисков здоровью населения для реализации медико-профилактических мероприятий.

Литература

(п.п. 20, 21, 27, 28 см. References)

1. Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В. К вопросу установления и доказательства вреда здоровью населения при выявлении неприемлемого риска, обусловленного факторами среды обитания. *Анализ риска здоровью*. 2013; (2): 14–26.
2. Алексеев Б.Н., Юнак А.И. Повышение эффективности обеспечения экологической безопасности военной деятельности: проблемы совершенствования правового и экономического механизмов природопользования. *Экологическое право*. 2001; (2): 30–3.
3. Ефременков А.А., Малыгин А.А., Горбачев И.В. Экологический мониторинг космической деятельности в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей (нормативные аспекты). *Мир науки, культуры, образования*. 2012; (4): 310–5.
4. Спицын А.Г. Проблемы глобальной экологии в мировой политике XXI века. *Вестник Московского государственного лингвистического университета*. 2014; (23): 174–85.
5. Ефременков А.А. Основные направления работ по обеспечению экологической безопасности в районах падения отделяющихся частей ракет и ракет-носителей. *Мир науки, культуры, образования*. 2010; (5): 248–9.
6. Бурков В.А. Проблемы эксплуатации районов падения РН на территории Томской области. В кн.: *Материалы научно-технической конференции «Проблемные вопросы открытия и эксплуатации трасс запусков космических аппаратов, баллистического и метеорологического обеспечения пусков ракет-носителей»*. М.: ЦЭНКИ; 2010.
7. Двуреченский А.И., Авдошкин В.В. Проблемы эксплуатации районов падения отделяющихся частей РН. *Мир науки, культуры, образования*. 2010; (5): 247–8.
8. Кондратьев А.Д. Совершенствование экологического мониторинга с учетом закона «О районах падения космических объектов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». *Мир науки, культуры, образования*. 2010; (5): 250–2.
9. Кондратьев А.Д., Кречетов П.П., Королева Т.В., Черницова О.В. *Космодром «Байконур» как объект природопользования*. М.: Пеликан; 2008.
10. Кондратьев А.Д., Королева Т.В., Пузанов А.В., Черницова О.В., Ефременков А.А., Шарапова А.В. и соавт. Совершенствование системы экологического мониторинга районов падения отделяющихся частей ракет-носителей. *Мир науки, культуры, образования*. 2012; (6): 483–6.
11. Королева Т.В., Кречетов П.П. Структура и задачи экологического мониторинга районов падения отделяющихся частей ракет-носителей. *Мир науки, культуры, образования*. 2010; (5): 252–4.
12. Батырбекова С.Е. Мониторинговые исследования состояния территорий космодрома «Байконур». *Вестник Казахского национального университета. Серия химическая*. 2004; (3): 120–5.
13. Евлашевский Г.Я. Ракетно-космическая деятельность и патологическая пораженность населения, проживающего в зонах Алтайского края, прилегающих к районам падения отделяющихся частей ракет-носителей. *Сибирь-Восток*. 2006; (4): 19–21.
14. Попов И.Н. Качественная и количественная характеристика загрязнения мест падения отделяющихся частей ракет-носителей в районе падения «Койда» с использованием статистических данных. *Двойные технологии*. 2006; (3): 52.
15. Сидоров П.И., ред. *Системный мониторинг ракетно-космической деятельности*. М.: МЕДпресс-информ; 2007.
16. Проведение работ по оценке окружающей среды в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей под воздействием природных и антропогенных факторов по результатам экологического мониторинга РП ОЧРН: Отчет по НИР. М.: 2006.
17. Шойхет Я.Н., Колядо И.Б., Колядо В.Б., Богданов С.В., Трунова Л.Н. Заболеваемость населения территорий, прилегающих к районам падения отделяющихся частей ракет-носителей. *Проблемы клинической медицины*. 2005; (4): 102–8.
18. Сидоров П.И., Совершаева С.Л., ред. Аналитический отчет «Состояние здоровья населения, проживающего на территориях, подверженных влиянию ракетно-космической деятельности, по данным исследований за период с 1995 по 2005 год» (договор № 11/пм на выполнение НИР «Медико-экологический мониторинг на территориях, находящихся в зоне влияния ракетно-космической деятельности»). Архангельск; 2006.
19. Войсят Н.В. *Особенности вегетативной регуляции у работников промышленного предприятия, длительно контактировавших с допустимыми дозами несимметричного диметилгидразина*: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. Пермь; 2006.
22. Мешков Н.А. Методические основы оценки влияния последствий ракетно-космической деятельности на здоровье населения, прожива-

Original article

- ющего вблизи районов падения отделяющихся частей ракет-носителей. *Российский биомедицинский журнал*. 2009; (10): 57–80.
23. Воздействие ракетно-космической техники на окружающую среду. Available at: https://ecodelo.org/3136-vozdeistvie_raketnokosmicheskoi_tekhniki_na_okruzhayushchuyu_sredu-vozdeistvie_osnovnykh_vidov_
 24. Панин Л.Е., Перова А.Ю. Медико-социальные и экологические проблемы использования ракет на жидком топливе (гептил). *Сибирское отделение Российской академии медицинских наук*. 2006; 26(1): 124–31.
 25. Робертус Ю.В., Пузанов А.В., Любимов Р.В., Архипов И.А., Горбачев И.В. Анализ распределения фрагментов отделяющихся частей ракет-носителей «Протон» на территории Республики Алтай. *Мир науки, культуры, образования*. 2013; (2): 314–7.
 26. Ворожейкин А.П., Куликов К.И., Королева Т.В., Проскуряков Ю.В., Бушмарин А.Б. Перспективы изучения последствий ракетно-космической деятельности на территории российского Севера. Экология северных территорий России. В кн.: *Материалы международной конференции «Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения»*. Том 2. Архангельск; 2002: 304–7.
 29. Бырка А.А. Применение аналитических методов для оценки загрязнения атмосферного воздуха при запусках ракет-носителей различных классов с космодрома «Плесецк». В кн.: *Сборник трудов XXV Межведомственной научно-технической конференции, посвященной 50-летию космодрома Плесецк (14–15 июня 2007 года)*. Плесецк; 2008: 18–23.

References

1. Zaytseva N.V., May I.V., Kleyn S.V. On the determination and proof of damage to human health due to an unacceptable health risk caused by environmental factors. *Analiz riska zdorov'yu*. 2013; (2): 14–26. (in Russian)
2. Alekseev B.N., Yunak A.I. Improving the efficiency of ensuring the environmental safety of military activities: problems of improving the legal and economic mechanisms of environmental management. *Ekologicheskoe pravo*. 2001; (2): 30–3. (in Russian)
3. Efremenkov A.A., Malygin A.A., Gorbachev I.V. Environmental monitoring of space activities in areas of falling of separating parts of carrier rockets (normative agents). *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2012; (4): 310–5. (in Russian)
4. Spitsyn A.G. Problems of global ecology in world politics of the XXI century. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo lingvisticheskogo universiteta*. 2014; (23): 174–85. (in Russian)
5. Efremenkov A.A. The basic directions of works on maintenance of ecological safety in areas of falling of separating parts of rockets and carrier rockets. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2010; (5): 248–9. (in Russian)
6. Burkov V.A. Problems of exploitation of areas of LV impact on the territory of the Tomsk region. In: *Materials of the Scientific and Technical Conference «Problematic Issues of the Opening and Operation of Spacecraft Launch Routes, Ballistic and Meteorological Support for Launch Vehicles» [Materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Problemye voprosy otkrytiya i ekspluatatsii trass zapuskov kosmicheskikh apparatov, ballisticheskogo i meteorologicheskogo obespecheniya puskov raket-nositel'ev»]*. Moscow: TsENKI; 2010. (in Russian)
7. Dvurechenskiy A.I., Avdoshkin V.V. Actual management of drop zones for carrier rockets. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2010; (5): 247–8. (in Russian)
8. Kondrat'ev A.D. Perfection of ecological monitoring taking into account the law «About areas of falling of space objects and about modification of separate acts of the Russian Federation». *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2010; (5): 250–2. (in Russian)
9. Kondrat'ev A.D., Krechetov P.P., Koroleva T.V., Chernitsova O.V. *The Baikonur Cosmodrome as an Object of Nature Management [Kosmodrom «Baykonur» kak ob'ekt prirodopol'zovaniya]*. Moscow: Pelikan; 2008. (in Russian)
10. Kondrat'ev A.D., Koroleva T.V., Puзанov A.V., Chernitsova O.V., Efremenkov A.A., Sharapova A.V., et al. Improvement of environmental monitoring in areas of falling of detachable parts of carrier rockets. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2012; (6): 483–6. (in Russian)
11. Koroleva T.V., Krechetov P.P. The structure and the tasks of ecological monitoring in the zones impacted by the rocket remnants. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2010; (5): 252–4. (in Russian)
12. Batyrbekova S.E. Monitoring studies of the state of the territories of the Baikonur cosmodrome. *Vestnik Kazakhskogo natsional'nogo universiteta. Seriya khimicheskaya*. 2004; (3): 120–5. (in Russian)
13. Evlashevskiy G.Ya. Rocket and space activities and pathological damage to the population living in the zones of the Altai Territory adjacent to the areas of fall of the separating parts of carrier rockets. *Sibir'-Vostok*. 2006; (4): 19–21. (in Russian)
14. Popov I.N. Qualitative and quantitative characterization of contamination of the crash sites of separating parts of launch vehicles in the area of the Koid crash using statistical data. *Dvoynnye tekhnologii*. 2006; (3): 52. (in Russian)
15. Sidorov P.I., ed. *System Monitoring of Rocket and Space Activity [Sistemnyy monitoring raketno-kosmicheskoy deyatel'nosti]*. Moscow: MEDpress-inform; 2007. (in Russian)
16. Carrying out work on environmental assessment in the areas of fall of the separating parts of launch vehicles under the influence of natural and anthropogenic factors based on the results of environmental monitoring of the OCHRN RP: Research report. Moscow; 2006. (in Russian)
17. Shoykhet Ya.N., Kolyado I.B., Kolyado V.B., Bogdanov S.V., Trunova L.N. Morbidity of the population of the territories adjacent to the fall areas of the separating parts of launch vehicles. *Problemy klinicheskoy meditsiny*. 2005; (4): 102–8. (in Russian)
18. Sidorov P.I., Sovershaeva S.L., eds. Analytical report «The state of health of the population living in territories affected by rocket and space activities, according to research data for the period from 1995 to 2005» (contract No. 11 / pm on the implementation of research work «Medical and environmental monitoring in territories in the zone of influence rocket and space activity»). Arkhangel'sk; 2006. (in Russian)
19. Voysyat N.V. *Features of vegetative regulation in industrial workers who have been in contact with permissible doses of asymmetric dimethylhydrazine for a long time*: Diss. Perm'; 2006. (in Russian)
20. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profiles. Available at: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiledocs/index.html>
21. Sharapova A.V., Semenov I.N., Koroleva T.V., Krechetov P.P., Lednev S.A., Smolenkov A.D. Snow pollution by nitrogen-containing substances as a consequence of rocket launches from the Baikonur Cosmodrome. *Sci. Total Environ*. 2020; 709: 136072. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136072>
22. Meshkov N.A. Principles of evaluation of the space rocket activity influence on health of the population living close to the regions of the fall of carrier rocket parts. *Rossiyskiy biomeditsinskiy zhurnal*. 2009; (10): 57–80. (in Russian)
23. The impact of rocket and space technology on the environment. Available at: https://ecodelo.org/3136-vozdeistvie_raketnokosmicheskoi_tekhniki_na_okruzhayushchuyu_sredu-vozdeistvie_osnovnykh_vidov_ (in Russian)
24. Panin L.E., Perova A.Yu. Medical, social and environmental problems of using rockets on liquid fuel (heptyle). *Sibirskoe otdelenie Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2006; 26(1): 124–31. (in Russian)
25. Robertus Yu.V., Puзанov A.V., Lyubimov R.V., Arkhipov I.A., Gorbachev I.V. Analysis of fragments separated parts of carrier rockets «Proton» in Altai Republic. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2013; (2): 314–7. (in Russian)
26. Vorozheykin A.P., Kulikov K.I., Koroleva T.V., Proskuryakov Yu.V., Bushmarin A.B. Prospects for studying the consequences of rocket and space activities in the Russian North. In: *Ecology of the Northern Territories of Russia. Problems, Forecast of the Situation, Ways of Development, Solutions: Materials of the International Conference. Volume 2 [Materialy mezhdunarodnoy konferentsii «Problemy, prognoz situatsii, puti razvitiya, resheniya»*. Tom 2]. Arkhangel'sk; 2002: 304–7. (in Russian)
27. Carlsen L., Kenessov B.N., Batyrbekova S.Ye. A QSAR/QSTR study on the human health impact by the rocket fuel 1,1-dimethylhydrazine and its transformation products. *Environ. Toxicol. Pharmacol*. 2009; 27(3): 415–23. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2009.01.005>
28. Mitch W.A., Sharp J.A., Trussell R.R., Valentine R.L., Alvarez-Cohen L., Sedlak D.L. N-nitrosodimethylamine (NDMA) as a drinking water contaminant: A Review. *Environ. Eng. Sci*. 2003; 20(5): 389–404. <https://doi.org/10.1089/109287503768335896>
29. Byr'ka A.A. Application of analytical methods to assess air pollution during launch of carrier rockets of various classes from the Plesetsk cosmodrome. In: *Proceedings of the XXV Interdepartmental Scientific and Technical Conference dedicated to the 50th anniversary of the Plesetsk Cosmodrome (June 14–15, 2007) [Sbornik trudov XXV Mezhvedomstvennoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 50-letiyu kosmodroma Plesetsk (14–15 iyunya 2007 goda)]*. Plesetsk; 2008: 18–23. (in Russian)