

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2025

Новикова О.Н.¹, Масленников А.А.^{1,2}, Демидова С.А.¹, Васенко Е.А.², Дулов С.А.³,
Земляной А.В.³, Ерунова Н.В.³

Экспериментальная оценка опасности загрязнения воды водоёмов нитрозодиметиламином

¹ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии» ФМБА России, 400048, Волгоград, Российская Федерация;

²ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет», 400062, г. Волгоград, Российская Федерация;

³ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» ФМБ России, 1888663, Ленинградская обл., г. пос. Кузьмоловский, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Введение. Интенсивное развитие космической индустрии привело к серьёзному загрязнению окружающей среды компонентами ракетного топлива, в частности гептилом и продуктами его деструкции, наиболее токсичным и опасным из которых является нитрозодиметиламин.

Для обеспечения федерального государственного санитарно-эпидемиологического контроля (надзора) за содержанием данного вещества в водоёмах в рамках гигиенического нормирования требуется проведение соответствующих исследований по оценке органолептического, общесанитарного и токсикологического признаков вредности в условиях однократного воздействия.

Материал и методы. В качестве объекта исследований использован нитрозодиметиламин (N-метил-N-нитрозометанамин, диметилнитрозамин, НДМА, C₂H₆N₂O), номер CAS 62-75-9, с удельной плотностью $d_4^{20} = 1,005$ г/см³, массовой долей вещества равной 98% и молекулярной массой 74,08. Хорошо растворим в воде.

Результаты. Установлено, что нитрозодиметиламин не изменяет органолептических свойств воды. В то же время выявлено отрицательное воздействие соединения на общесанитарные характеристики воды (процессы биохимического потребления кислорода, нитрификации, жизнеспособность сапрофитной микрофлоры). Наименьшая пороговая концентрация вещества по данному показателю вредности составила 0,1 мг/л.

При однократном внутрижелудочном введении самцам крыс тестируемый ксенобиотик вызывал достоверное снижение количества лейкоцитов, лимфоцитов и моноцитов. Порог однократного общетоксического действия токсиканта установлен на уровне 0,38 мг/кг.

Ограничения исследования. Выявленные особенности поведения НДМА необходимо учитывать при однократном загрязнении им воды водоёмов (в случае аварийной ситуации). Однако полученные данные недостаточны для обоснования гигиенического норматива соединения в воде водных объектов.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о том, что попадание соединения в воду представляет эколого-токсикологическую опасность, зарегистрированную по двум базовым признакам вредности. Выявленные особенности негативного влияния нитрозодиметилamina учтены при обосновании его ПДК в воде водоёмов.

Ключевые слова: вода; нитрозодиметиламин; органолептический и санитарный режим водоёмов; порог остроого общетоксического действия

Соблюдение этических стандартов. Экспериментальное исследование одобрено независимым этическим комитетом при ФГУП «НИИ ГТП» ФМБА России (протокол № 1 от 20 января 2022 года).

Для цитирования: Новикова О.Н., Масленников А.А., Демидова С.А., Васенко Е.А., Дулов С.А., Земляной А.В., Ерунова Н.В. Экспериментальная оценка опасности загрязнения воды водоёмов нитрозодиметиламином. *Токсикологический вестник*. 2025; 33(5): 354–361. <https://elibrary.ru/kjlfbz> <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2025-33-5-354-361>

Для корреспонденции: Масленников Александр Александрович, e-mail: maslennikov@rihtop.ru

Участие авторов: Новикова О.Н. – редактирование; Масленников А.А. – концепция и дизайн исследования, анализ результатов, написание текста; Демидова С.А. – планирование и выполнение исследований; Васенко Е.А. – статистическая обработка данных; Дулов С.А. – концепция и дизайн исследования, анализ результатов, редактирование; Земляной А.В., Ерунова Н.В. – анализ результатов, редактирование. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проведено в рамках Государственного контракта по теме «Экспериментальное обоснование предельно допустимой концентрации нитрозодиметилamina в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

Поступила в редакцию: 17 сентября 2025 / Поступила после исправления: 29 сентября 2025 / Принята в печать: 02 октября 2025 / Опубликовано: 19 ноября 2025

Olga N. Novikova¹, Alexander A. Maslennikov^{1,2}, Svetlana A. Demidova¹, Ekaterina A. Vasenko², Sergey A. Dulov³, Alexander V. Zemljanoj³, Natalia V. Erunova³

Experimental assessment of the hazard of water contamination by nitrosodimethylamine

¹Scientific Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology of the Federal Medical Biological Agency of Russiya, 400048, Volgograd, Russian Federation;

²Volgograd State University, 400062, Volgograd, Russian Federation;

³Scientific Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology of the Federal Medical Biological Agency of Russiya, 188663, Leningrad Region, Kuzmolovsky urban settlement, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The intensive development of the space industry has led to serious environmental contamination by rocket fuel components, in particular, heptyl and its degradation products, the most toxic and dangerous of which is nitrosodimethylamine.

In order to ensure federal state sanitary and epidemiological control (supervision) over the content of this substance in reservoirs within the framework of hygienic rationing, it is necessary to conduct appropriate studies to assess organoleptic, general sanitary and toxicological signs of harmfulness in conditions of single exposure.

Material and methods. Nitrosodimethylamine (N-methyl-N-nitrosomethanamine, dimethylnitrosamine, NDMA, C₂H₆N₂O), CAS number 62-75-9, with a specific gravity of $d_4^{20} = 1,005 \text{ g/cm}^3$, a mass fraction of 98% and a molecular weight of 74.08 was used as the object of research. It is well soluble in water.

Results. It was found that nitrosodimethylamine does not change the organoleptic properties of water. At the same time, the negative effect of the compound on the general sanitary characteristics of water (processes of biochemical oxygen consumption, nitrification, viability of saprophytic microflora) was revealed. The lowest threshold concentration of the substance for this indicator of harmfulness was 0.1 mg/L.

With a single intragastric injection to male rats, the tested xenobiotic caused a significant decrease in the number of leukocytes, lymphocytes and monocytes. The threshold for a single general toxic effect of the toxicant is set at 0.38 mg/kg.

Limitations. The identified features of the NDMA behavior must be taken into account when it once pollutes the water of reservoirs (in case of an emergency). However, the data obtained are insufficient to substantiate the hygienic standards of compounds in the water of water bodies.

Conclusion. The data obtained indicate that the ingress of the compound into the water is an ecological and toxicological hazard, registered according to two basic signs of harmfulness. The revealed features of the negative effect of nitrosodimethylamine are taken into account when substantiating its MPC in the water of reservoirs.

Keywords: water; nitrosodimethylamine; organoleptic and sanitary regime of reservoirs; threshold of acute general toxic effect

Compliance with ethical standards. The experimental study was approved by the independent ethics committee at the Research Institute of General Pathology of the Federal Medical and Biological Agency of Russia (protocol No. 1 dated January 20, 2022).

For citation: Novikova O.N., Maslennikov A.A., Demidova S.A., Vasenko E.A., Dulov S.A., Zemlyanoy A.V., Erunova N.V. Experimental assessment of the hazard of water contamination by nitrosodimethylamine. *Toxikologicheskij vestnik / Toxicological Review*. 2025; 33(5): 354–361. <https://elibrary.ru/kjlfbz> <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2025-33-5-354-361> (In Russian)

For correspondence: Alexander A. Maslennikov, e-mail: maslennikov@rihtop.ru

Contribution. Novikova O.N. – editing; Maslennikov A.A. – the concept and design of the research, the analysis of the results, writing the text; Demidova S.A. – planning and execution of the research; Vasenko E.A. – statistical data processing; Dulov S.A. – the concept and design of the research, analysis of the results, editing; Zemlyanoy A.V., Erunova N.V. – analysis of the results, editing. All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

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

Funding. The study was conducted within the framework of a State contract "Experimental substantiation of the maximum permissible concentration of nitrosodimethylamine in the water of water bodies for household and drinking, cultural and domestic water use".

Received: September 17, 2025 / Revised: September 29, 2025 / Accepted: October 2, 2025 / Published: November 19, 2025

Введение

Интенсивное развитие космической индустрии привело к серьёзному загрязнению окружающей среды компонентами ракетного топлива, в частности гептилом и продуктами его деструкции, наиболее токсичным и опасным из которых является нитрозодиметиламин (НДМА) [1–3].

НДМА образуется при окислении гептила амиллом, является веществом 1-го класса опасности и первым представителем канцерогенных нитрозаминов [4, 5].

Применяется в синтезе красителей, лекарств, а также в качестве растворителей; антиоксидантов в топливах, смазочных маслах и резинах. Входит в состав противокоррозийных препаратов [6].

В атмосфере крупных городов, где постоянно присутствует NO_2 , тестируемое соединение может образовываться из диметиламина и нитритов [5].

НДМА проявляет высокую стабильность в объектах окружающей среды, в том числе водных [4].

Для обеспечения федерального государственного санитарно-эпидемиологического контроля (надзора) за содержанием данного вещества в водоёмах в рамках гигиенического нормирования требуется проведение соответствующих исследований по оценке органолептического, общесанитарного и токсикологического признаков вредности в условиях однократного воздействия¹, что и предопределило *цель настоящей работы*.

Материал и методы

В качестве объекта исследований использован нитрозодиметиламин (N-метил-N-нитрозометанамин, диметилнитрозамин, НДМА, $\text{C}_2\text{H}_6\text{N}_2\text{O}$), номер CAS 62-75-9, с удельной плотностью $d_4^{20} = 1,005 \text{ г/см}^3$, массовой долей вещества равной 98,0% и молекулярной массой 74,08. Данное соединение представляет собой маслянистую светло-желтую негигроскопичную жидкость с запахом аминов. Хорошо растворим в воде, эфире и других органических растворителях [6].

Исследования влияния НДМА на органолептические свойства воды и её общесанитарный режим выполнены в соответствии с требованиями действующих методических указаний¹ и положениями профильных монографий [7–9]. Учитывая высокую опасность изучаемого вещества и наличие канцерогенных свойств, анализ качества воды проводили только по следующим показателям: прозрачность, цветность и наличие пены (пенообразование) [7–9].

¹ МУ 2.1.5.720–98. Обоснование гигиенических нормативов химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 1999. 55 с.

В ходе оценки воды на прозрачность визуально различали (читали) чёрный шрифт (Times New Roman 12 pt) на белой бумаге при равномерном освещении через высоту водяного столба тестируемых проб на уровне 20,0 см и более, а менее 20,0 см – принимали за достоверное отклонение от контроля¹ [7–9]. В процессе проведения эксперимента по определению цветности применяли фотометрический метод (спектрофотометр Unicо 1201, РФ)². Установление предельного значения цветности воды выражали в градусах по специальной шкале. Критически значимой принята величина, превышающая $20,0^\circ$. При характеристике пенности использовали метод цилиндров. Пороговой служила концентрация НДМА, при которой отсутствовала стабильная (более 1 мин) крупнопузырчатая пена, а высота мелкопузырчатой у стенок цилиндра не превышала $1,0 \text{ мм}^1$ [7–9].

Общесанитарный режим воды, содержащей вещество, оценивали по состоянию основных процессов её самоочищения: биохимическое потребление кислорода в течение 5 сут – БПК₅ (I фаза минерализации соединения)³ [7–9]; развитие и отмирание сапрофитной микрофлоры [11], динамика процессов нитрификации азотсодержащих органических веществ (II фаза минерализации токсиканта)^{4,5,6} [8, 9]. Достоверными считали отклонения показателей в опыте, выходящих за пределы отличий соответствующих контрольных значений: 15,0% – угнетение; 20,0% – стимуляция¹.

При анализе БПК₅ содержание растворённого кислорода в пробах осуществляли методом йодометрического титрования по Винклеру⁶ [7–9]. Тестирование водных образцов выполняли в следующие сроки: в день загрязнения – 0–е сутки, 1–е, 3–и, 5–е сутки.

² ГОСТ 31868–2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Методы определения цветности. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.

³ ПНД Ф 14.1:2:3:4.123–97. КХА вод. МВИ биохимической потребности в кислороде после n-дневной инкубации (БПК_{полн.}) в поверхностных пресных, подземных (грунтовых), питьевых, сточных и очищенных сточных водах. Государственный комитет РФ по охране окружающей среды. М., 2004. 18 с.

⁴ ПНД Ф 14.1:2:3.1–95. КХА вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов аммония в очищенных сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. Государственный комитет РФ по охране окружающей среды. М., 2004. 13 с.

⁵ ПНД Ф 14.1:2:3:4.3–2023. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитрит-ионов в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса. Государственный комитет РФ по охране окружающей среды. М., 2004. 13 с.

⁶ ПНД Ф 14.1:2:4.4–95. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитрат-ионов в природных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой. Государственный комитет РФ по охране окружающей среды. М., 2004. 13 с.

Жизнеспособность сапрофитной микрофлоры оценивали в 2-недельном эксперименте (на 0-е, 1-е, 2-е, 3-и, 7-е, 9-е, 10-е и 14-е сутки) [10].

При изучении влияния экотоксиканта на процессы нитрификации в воде исходили из общепринятых положений о том, что основу органических соединений во всех водах, включая подземные, составляют азотсодержащие вещества (нитраты NO_3^- , нитриты NO_2^- и аммонийные соли NH_4^+). Рассматриваемая группа ионов находится в тесной взаимосвязи. Учитывая это, в настоящих исследованиях характеристику влияния нитрозодиметиламина на нитрифицирующие процессы в воде проводили в следующие сроки: в день загрязнения (0-е сутки) через 1 час после внесения вещества в воду; на 1-е, 3-и, 7-е, 10-е, 14-е, 17-е, 21-е, 23-и, 26-е, 27-е, 28-е, 29-е, 30-е и 33-и сутки¹.

Токсикологические исследования на лабораторных животных предусматривали установление порога острого общетоксического действия соединения. В качестве биомодели использовали 24 белых нелинейных самца крыс (по 8 особей в группе) с массой тела 200–240 г.

Содержание, питание, уход за животными и их умерщвление осуществляли в соответствии с требованиями профильного ГОСТ 33215–2014 и принципами гуманного обращения с экспериментальными животными^{7,8}.

Водные растворы НДМА вводили в желудок подопытным особям при помощи зонда из расчёта 1,0 мл на 100,0 г массы тела. Особи контрольных групп получали адекватные объёмы дистиллированной воды.

Общее резорбтивное действие вещества оценивали по клинической картине отравления, а также с помощью комплекса тестов, позволяющих интегрально охарактеризовать состояние организма подопытных крыс. С этой целью регистрировали динамику массы тела животных (весы электронные РС-100W-5, Acom Inc., Корея), частоту дыхательных движений (визуально) и сердечных сокращений (электрокардиограф Medinova ECG-9801, КНР), порог реакции на тепловое воздействие (аппарат «Горячая / холодная плита» – PE-34, ИТС Life Science, США), поведение (горизонтальная, вертикальная двигательная, эмоциональная активность, а также «норковый» рефлекс и груминг) в уста-

новке «открытое поле»⁹. В периферической крови крыс-самцов на автоматическом гематологическом анализаторе MicroCC-20PlusVet (High Technology, inc, США) регистрировали количество эритроцитов, лейкоцитов, лимфоцитов, гранулоцитов, моноцитов, тромбоцитов, а также содержание гемоглобина и гематокрита.

Статистическую обработку данных осуществляли с применением критерия *t* Стьюдента–Фишера [11, 12], используя программный пакет Primer of Biostatistics 4.03.

Результаты

В ходе проведения экспериментов установлено, что химический агент в концентрациях 1,0; 0,1 и 0,01 мг/л не способствовал пенообразованию, появлению цветности воды и не влиял на её прозрачность.

Следовательно, для нитрозодиметиламина пороговый уровень по органолептическому показателю вредности не установлен, а максимально недействующий составил 1,0 мг/л.

В процессе выполнения общесанитарных исследований тестируемое соединение вносили в воду в концентрациях 0,4; 0,1 и 0,03 мг/л.

В соответствии с требованиями МУ 2.1.5.720–98¹ исследования возможности вещества проявлять негативное влияние на процессы биохимического потребления кислорода в воде водоёмов выполнены в трёх независимых сериях экспериментов.

Полученные результаты свидетельствуют, что токсикант только в наибольшей концентрации на 1-е сутки эксперимента способствовал стимуляции (до 44,66%) протекания биохимического потребления кислорода в воде (табл. 1).

При снижении содержания НДМА до 0,1 мг/л и 0,03 мг/л достоверных отличий показателей окисления анализируемых проб от контроля не зарегистрировано.

Анализ выявленных отклонений свидетельствует о том, что наличие в воде НДМА, содержащего в структуре молекулы NO_2^- способствует увеличению азоторганических соединений. Вследствие этого в данной экосистеме происходит уменьшение концентрации растворённого кислорода и разбалансировка всех биохимических процессов.

На основании представленных данных уровень нитрозодиметиламина – 0,4 мг/л, способствующий минимальному негативному действию на процессы БПК следует признать в качестве

⁷ ГОСТ 33044–2014. Принципы надлежащей лабораторной практики. М.: Стандартинформ, 2014.

⁸ ГОСТ 33215–2014. Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур. М.: Стандартинформ, 2016. 9 с.

⁹ МУ № 2166-80. Методические рекомендации по использованию поведенческих реакций животных в токсикологических исследованиях для целей гигиенического нормирования. Киев, 1980.

Таблица 1 / Table 1

Воздействие нитрозодиметиламина на процесс БПК5 воды (мг O₂/л)
The effect of nitrosodimethylamine on the process of BOD (Biochemical Oxygen Demand)5 of water (mg O₂/L)

Серия Series	Период проведения исследований, сутки Research period, day	Концентрация НДМА в воде, мг/л Concentration of NDMA in water, mg/L			Контроль Control
		0,40	0,10	0,03	
I	1	1,25 (31,58 ↑)	1,11 (16,84)	0,98 (3,16)	0,95
II	1	1,49 (44,66 ↑)	0,95 (7,77)	1,11 (7,77)	1,03
III	1	1,15 (29,21 ↑)	0,98 (10,11)	0,95 (6,74)	0,89

Примечание. Здесь и в табл. 1–3: в скобках полужирным шрифтом указано достоверное отклонение величины (в %) и направленность эффекта (↑↓).

Note: Here and in Tables 1–3: the significant deviation of the value (in %) and the direction of the effect (↑↓) are indicated in bold brackets.

пороговой величины по данному показателю. Соответственно концентрация токсиканта в воде – 0,1 мг/л является максимально недействующей.

В процессе выполнения микробиологических исследований определено, что при содержании экотоксиканта в наибольшей концентрации – 0,4 мг/л зарегистрирована стимуляция до 72,33% численности микрофлоры воды с 0-х по 2-е сутки исследований. В то же время с 3-х по 14-е сутки эксперимента установлено ингибирование жизнедеятельности сапрофитов до 38,10 % (табл. 2).

Тестируемое вещество в концентрации 0,1 мг/л также вызывало подобное разнонаправленное значимое изменение количества колоний микроорганизмов: увеличение – до 33,72 % на 0-е и 1-е сутки; снижение – до 33,33 % на 9-е и 10-е сутки исследований (см. табл. 2).

Наряду с отмеченным токсикант в концентрации 0,03 мг/л не оказывал негативного влияния на процесс жизнеспособности сапрофитов аквасистемы (см. табл. 2).

Основываясь на изложенном, концентрация нитрозодиметиламина 0,1 мг/л определена в качестве порога, а 0,03 мг/л – максимально недействующей по данному критерию вредности.

Характеристика процессов нитрификации в воде позволила установить следующее. Внесение в «искусственный» водоём вещества в концентрации 0,40 мг/л способствовало изменению протекания скорости реакций окисления (2-й промежуточный этап). Так, начиная с 10-х и по 33-и сутки эксперимента, установлена достоверная стимуляция содержания азота нитритов в пробах воды относительно контроля от 57,5 до 116,03%.

Таблица 2 / Table 2

Достоверные изменения численности сапрофитной микрофлоры воды, загрязнённой нитрозодиметиламином (количество колоний / 1,0 мл)
Significant changes in the number of saprophytic microflora of water contaminated with nitrosodimethylamine (number of colonies / 1.0 mL)

Период посева Cultivation period	Концентрация НДМА в воде, мг/л Concentration of NDMA in water, mg/L			Контроль Control
	0,40	0,10	0,03	
0 (через 3 час after 3 hours)	21900,0 (28,82 ↑)	20500,0 (20,59 ↑)	18700,0 (10,00)	17000,0
1-е сутки 1 st day	37050,0 (72,33 ↑)	28750,0 (33,72 ↑)	21250,0 (1,16)	21500,0
2-е сутки 2 nd day	6000,0 (20,00 ↑)	5500,0 (10,00)	4700,0 (6,00)	5000,0
3-е сутки 3 rd day	2700,0 (23,94 ↓)	3400,0 (4,23)	3750,0 (5,63)	3550,0
7-е сутки 7 th day	2050,0 (24,07 ↓)	2735,0 (1,30)	2725,0 (0,93)	2700,0
9-е сутки 9 th day	260,0 (38,10 ↓)	280,0 (33,33 ↓)	370,0 (11,91)	420,0
10-е сутки 10 th day	310,0 (29,55 ↓)	330,0 (25,00 ↓)	480,0 (9,09)	440,0
14-е сутки 14 th day	320,0 (28,89 ↓)	390,0 (13,33)	430,0 (4,44)	450,0

Таблица 3 / Table 3

Достоверные изменения показателей, характеризующих процессы нитрификации в воде, содержащей нитрозодиметиламин**Significant changes in indicators characterizing nitrification processes in water containing nitrosodimethylamine**

Показатель Indicators	Сроки наблюдения, сутки Terms of observation, day	Концентрация НДМА в воде, мг/л Concentration of NDMA in water, mg/L			Контроль Control
		0,40	0,10	0,03	
Азот нитритов (по NO ₂ ⁻), мг/л Nitrogen of nitrites (by NO ₂ ⁻), mg/L	10-е / 10 th	1,89 (57,50↑)	1,22 (1,67)	1,20 (0,00)	1,20
	14-е / 14 th	2,30 (61,97↑)	1,44 (1,41)	1,42 (0,00)	1,42
	17-е / 17 th	2,82 (73,01↑)	1,76 (7,08)	1,66 (1,84)	1,63
	21-е / 21 st	3,31 (87,01↑)	1,88 (6,21)	1,76 (0,56)	1,77
	23-и / 23 rd	4,32 (87,83↑)	2,40 (4,35)	2,28 (0,87)	2,30
	27-е / 27 th	4,12 (73,84↑)	2,39 (0,84)	2,27 (4,22)	2,37
	30-е / 30 th	5,12 (116,03↑)	2,44 (2,95)	2,46 (3,80)	2,37
Азот нитратов (по NO ₃ ⁻), мг/л Nitrogen of nitrates (by NO ₃ ⁻), mg/L	17-е / 17 th	2,55 (27,50↑)	2,17 (8,50)	2,05 (2,50)	2,00
	21-е / 21 st	2,45 (20,10↑)	2,14 (4,90)	2,08 (1,96)	2,04

Таблица 4 / Table 4

Характеристика состояния самцов крыс после однократного перорального воздействия нитрозодиметиламина**Characteristics of the state of male rats after a single oral exposure to nitrosodimethylamine**

Показатель Indicators	Доза поступления вещества, мг/кг Dose of substance intake, mg/kg		Контроль Control
	0,38	0,25	
Физиологические тесты / Physiological tests			
Масса тела, г Body weight, g	197,5 ± 1,6	198,8 ± 3,0	201,2 ± 2,3
Частота дыхательных движений, мин Respiratory rate, min	91,00 ± 4,71	89,50 ± 4,72	93,00 ± 5,28
Частота сердечных сокращений, мин Heart rate, min	485,7 ± 14,3	492,5 ± 14,1	511,4 ± 13,7
Порог реакции на тепловое воздействие, °С Threshold of reaction to heat exposure, °C	50,24 ± 0,38	50,85 ± 0,34	50,78 ± 0,31
Поведенческие реакции / Behavioral reactions			
Горизонтальная активность, усл. ед. Horizontal activity, units	18,50 ± 4,25	23,00 ± 4,38	25,25 ± 5,58
Вертикальная активность, усл. ед. Vertical activity, units	2,50 ± 0,80	3,63 ± 1,10	4,25 ± 1,03
Норковый рефлекс, усл. ед. Hole exploratory behaviour, units	4,88 ± 1,32	6,00 ± 1,18	7,25 ± 2,17
Грумминг, с Grooming, sec	15,50 ± 4,14	9,88 ± 5,67	8,50 ± 3,66
Эмоциональная активность, усл. ед. Emotional activity, units	1,63 ± 0,86	0,50 ± 0,33	0,25 ± 0,16
Суммарная активность, усл. ед. Total activity, units	43,00 ± 3,87	39,62 ± 5,89	45,50 ± 8,01
Гематологические характеристики / Hematological characteristics			
Эритроциты, 10 ¹² /л Red blood cells, 10 ¹² /L	6,50 ± 0,07	6,72 ± 0,15	6,74 ± 0,13
Гемоглобин, г/л Hemoglobin, g/L	123,2 ± 1,9	124,1 ± 2,3	131,5 ± 6,8
Лейкоциты, 10 ⁹ /л White blood cells, 10 ⁹ /L	4,61 ± 0,61*	5,18 ± 0,52	7,13 ± 1,00
Гематокрит, % Hematocrit, %	36,13 ± 0,59	36,47 ± 0,56	36,84 ± 0,79
Гранулоциты, 10 ⁹ /л Granulocytes, 10 ⁹ /L	2,15 ± 0,41	2,54 ± 0,42	2,28 ± 0,28
Лимфоциты, 10 ⁹ /л Lymphocytes, 10 ⁹ /L	2,61 ± 0,37*	3,13 ± 0,50	4,69 ± 0,76
Моноциты, 10 ⁹ /л Monocytes, 10 ⁹ /L	0,04 ± 0,01*	0,23 ± 0,09	0,16 ± 0,03
Тромбоциты, 10 ⁹ /л Platelets, 10 ⁹ /L	474,2 ± 28,8	475,6 ± 34,8	432,0 ± 34,8

Примечание. * – обозначены статистически значимые различия при $p \leq 0,05$ и находящиеся в пределах ($M \pm 2\sigma$) показателей контрольной группы животных.

Note. * – statistically significant differences are indicated at $p \leq 0.05$ and within ($M \pm 2\sigma$) the parameters of the control group of animals.

Кроме того, зарегистрирована активация образования нитратов с 17-х по 21-е сутки эксперимента до 27,50% (табл. 3).

При этом присутствие экотоксиканта в воде водоёмов в количестве 0,10 мг/л и ниже на протяжении всего эксперимента достоверных отклонений от контроля не вызывало.

Следует отметить, что наряду с установленными изменениями при внесении вещества в воду во всех уровнях значимых отклонений проб от контроля на начальной стадии образования азота аммонийного (NH_4^+) не выявлено (см. табл. 3).

Таким образом, концентрация нитрозодиметиламина — 0,4 мг/л определена в качестве порога, а 0,1 мг/л — максимально недействующей на триаду азота воды водоёмов.

В процессе установления порога острого общетоксического действия влияние химического агента на организм лабораторных животных оценивали при его внутрижелудочном поступлении в дозах 0,38 мг/кг и 0,25 мг/кг, что практически соответствует уровням 1/100 и 1/150 от ранее установленной в собственных исследованиях величины LD_{50} (37,83 мг/кг). Принимая во внимание скорость развития признаков отравления тестируемым ксенобиотиком в предварительном остром опыте, обследование крыс проводили через 1 сут после введения его водных растворов.

В ходе выполнения исследований отмечено, что, несмотря на отсутствие значимых сдвигов физиологических и поведенческих показателей, у самцов, получавших соединение в большей дозе, зафиксировано достоверное изменение ряда показателей белой крови. В частности, выявлено статистически значимое, относительно аналогичных показателей в контроле, снижение количества лейкоцитов, лимфоцитов и моноцитов. При этом значения отмеченных показателей не выходили за пределы бисигмальных отклонений параллельных контрольных величин (табл. 4).

В противоположность отмеченному, однократное пероральное поступление нитрозодиметиламина в организм животных на уровне 1/150 LD_{50} не сопровождалось существенными изменениями определяемых показателей.

Исходя из изложенного, доза ксенобиотика 0,38 мг/кг принята в качестве порога острого общетоксического действия, а уровень 0,25 мг/кг — как максимально недействующий.

Обсуждение

Обобщённый анализ результатов выполненных экспериментов позволил установить следующее. В условиях однократного внесения в воду нитрозодиметиламин не изменяет её органолептических свойств. В то же время соединение, проявляет негативное влияние на общесанитарные характеристики воды (процессы биохимического потребления кислорода, нитрификации, жизнеспособность сапрофитной микрофлоры). Кроме того, в условиях острого опыта вещество при внутрижелудочном поступлении оказывает токсическое воздействие на организм лабораторных животных.

Ограничения исследования. Выявленные особенности поведения НДМА необходимо учитывать при однократном загрязнении им воды водоёмов (в случае аварийной ситуации). Однако полученные данные недостаточны для обоснования гигиенического норматива соединения в воде водных объектов.

Заключение

Полученные данные свидетельствуют о том, что попадание соединения в воду представляет эколого-токсикологическую опасность, зарегистрированную по двум базовым признакам вредности.

Выявленные особенности негативного влияния нитрозодиметиламина учтены при обосновании его ПДК в воде водоёмов.

ЛИТЕРАТУРА

- Milyushkin A.L., Karnaeva A.E. Unsymmetrical dimethylhydrazine transformation products: A review. *Sci. Total Environ.* 2023; 891: 164367. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164367>
- Зяблицкая А.Н., Иваницкая Ю.Н., Щучинов Л.В. Экологическое сопровождение на территории республики Алтай пусков РН «Протон» с космодрома «Байконур». В кн.: *Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях. Материалы XI межрегиональной научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием. Том 1. Саратов, 14–16 апреля 2021.* Саратов: 2021.
- Андреева Е.С., Нестерова И.С. Экологические риски функционирования объектов космической отрасли. *Международный научно-исследовательский журнал.* 2023; 2(128). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.128.74>
- Руднева И.И., Омельченко С.О. Нитрозамины в водных экосистемах: источники, образование, токсичность, экологический риск (обзор) 1. Структура, свойства, источники поступления и образование в водоёмах. *Водные ресурсы.* 2021; 48(1): 80–9.
- Применения гептила и АТ в «мирных» запусках – экономия или вред? 2012, 10 сен. Доступно по: <https://topwar.ru/18583-primeneniya-geptila-i-at-v-mirnyh-zapuskah-ekonomiya-ili-vred.html> (дата обращения: 09.07.2025).
- Лурье Ю.Ю. *Аналитическая химия промышленных сточных вод.* М.: Химия; 1984. (редактор проф., д.м.н. В.В. Уйба). М.: Изд-во ФГБУ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА, 2011.
- Муравьев А.Г. *Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами.* СПб.: Крисмас+; 2004.
- Унифицированные методы анализа вод.* Под общ. ред. Лурье Ю.Ю. М.: Химия; 1971.
- Лурье Ю.Ю. *Аналитическая химия промышленных сточных вод.* М.: Химия; 1984.
- Цыганок В.М. Определение влияния исследуемых веществ на процессы естественного самоочищения при гигиеническом нормировании в области санитарной охраны водоёмов. В кн.: *Сборник научных трудов НИИ гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана.* М.: 1974; 55–8.
- Лакин Г.Ф. *Биометрия.* М.: Высшая школа; 1990.
- Плохинский Н.А. *Алгоритмы биометрии.* М.: Изд-во МГУ; 1980.

REFERENCES

- Milyushkin A.L., Karneva A.E. Unsymmetrical dimethylhydrazine transformation products: A review. *Sci. Total Environ.* 2023; 891: 164367. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164367> (in Russian)
- Zyablitskaya A.N., Ivanitskaya Yu.N., Shchuchinov L.V. Environmental support in the territory of the Altai Republic for Proton rocket launches from the Baikonur cosmodrome. In: *Hygiene, ecology and health risks in modern conditions: materials of the XI interregional scientific and practical Internet conference of young scientists and specialists of Rospotrebnadzor with international participation. Volume I. Saratov, April 14–16, 2021. [Gigiena, ekologiya i riski zdorov'yu v sovremennikh usloviyakh. Materiali XI mezhhregionalnoi nauchno-prakticheskoi internet-konferentsii molodikh uchenikh i spetsialistov Rospotrebnadzora s mezhdunarodnim uchastiem. Tom I. Saratov, 14–16 aprelya 2021 g]. Saratov; 2021 (in Russian)*
- Andreeva E.S., Nesterova I.S. Environmental risks of functioning of space industry facilities. *Mezhdunarodny'j nauchno-issledovatel'skij zhurnal.* 2023; 128(2). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.128.74> (in Russian)
- Rudneva I.I., Omelchenko S.O. Nitrosamines in aquatic ecosystems: sources, formation, toxicity, environmental risk (review) 1. Structure, properties, sources of intake and formation in reservoirs. *Vodny'e resursy.* 2021; 48(1): 80–9 (in Russian)
- The use of heptyl and AT in "peaceful" launches – saving or harm? 2012, 10 Sep. Available at: <https://topwar.ru/18583-primeneniya-heptila-i-at-v-mirnyh-zapuskah-ekonomiya-ili-vred.html> (date of reference: 07/09/2025).
- Harmful chemicals in the rocket and space industry. Handbook (Editor: Professor V.V. Uiba, MD) [Vrednye himicheskie veshchestva v raketno-kosmicheskoy otrasli. Spravochnik (redaktor prof., d.m.n. V.V. Ujba)]. Moscow: FMBA, Burnazyan FMBC; 2011. (in Russian)*
- Muravyov A.G. Guidelines for determining water quality indicators by field methods [Rukovodstvo po opredeleniyu pokazatelej kachestva vody polevymi metodami]. St. Petersburg: Christmas+, 2004. (in Russian)
- Unified methods of water analysis [Unificirovannye metody analiza vod]. Ed. Lurie Yu.Y. M.: Chemistry; 1971. (in Russian)
- Lurie Yu.Y. Analytical chemistry of industrial wastewater [Analiticheskaya himiya promyshlennykh stochnykh vod]. Moscow: Khimiya. 1984. (in Russian)
- Tsyganok V.M. Determination of the influence of the studied substances on the processes of natural self-purification during hygienic rationing in the field of sanitary protection of reservoirs: In. *Collection of scientific papers of the F.F. Erisman Research Institute of Hygiene [Sbornik nauchnykh trudov NII gigieny im. F.F. Erismana]. Moscow: 1974; 55–8. (in Russian)*
- Lakin G.F. *Biometrics [Biometriya]. Moscow: Higher School; 1990. (in Russian)*
- Plokhinsky N.A. Algorithms of biometrics [Algoritmy biometrii]. Moscow: Publishing House of Moscow State University. 1980. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Новикова Ольга Николаевна – кандидат мед. наук заместитель директора по научной работе ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии» ФМБА России, 400048, Волгоград, Россия. E-mail: novikova@rihtop.ru

Масленников Александр Александрович – доктор биол. наук, заведующий лабораторией экологической токсикологии, ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет» 400062, Волгоград, Россия; ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии» ФМБА России, 400048, г. Волгоград, Россия. E-mail: maslennikov@rihtop.ru

Демидова Светлана Александровна – кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической токсикологии ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии» ФМБ России, 400048, Волгоград, Россия. E-mail: demidova@rihtop.ru

Васенко Екатерина Анатольевна – аспирант кафедры биологии и биоинженерии института естественных наук ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет», 400062, Волгоград, Россия. E-mail: maslennikov@rihtop.ru

Дулов Сергей Анатольевич – кандидат мед. наук, заместитель директора по научной работе ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» ФМБА России, 188663, Ленинградская область, г. пос. Кузьмоловский, Россия. E-mail: sergey_dulov@mail.ru

Земляной Александр Васильевич – кандидат мед. наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией общей токсикологии и гигиенического регламентирования ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» ФМБА России, 188663, Ленинградская область, г. пос. Кузьмоловский, Россия. E-mail: al-zem@yandex.ru

Ерунова Наталья Викторовна – кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории общей токсикологии и гигиенического регламентирования ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» ФМБА России, 188663, Ленинградская область, г. пос. Кузьмоловский, Россия. E-mail: nat-erunova@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olga N. Novikova – Candidate of Medical Sciences, Deputy Director for Scientific Work of the Federal State Unitary Enterprise «Scientific Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology» of the Federal Medical and Biological Agency, Volgograd, 400048, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-9753-1881> E-mail: novikova@rihtop.ru

Alexander A. Maslennikov – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Environmental Toxicology at the Federal State Unitary Enterprise Scientific Research Institute of Hygiene, Volgograd, 400062, Russian Federation; Scientific Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology of the Federal Medical and Biological Agency, Volgograd, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0001-5121-5616> E-mail: maslennikov@rihtop.ru

Svetlana A. Demidova – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Environmental Toxicology of the Federal State Unitary Enterprise «Scientific Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology» of the Federal Medical and Biological Agency, Volgograd, 400048, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-3429-7135> E-mail: demidova@rihtop.ru

Ekaterina A. Vasenko – Postgraduate student at the Department of Biology and Bioengineering at the Institute of Natural Sciences Volgograd State University of the Federal Medical and Biological Agency, Volgograd, 400048, Russian Federation. <https://orcid.org/0009-0001-7232-5141> E-mail: maslennikov@rihtop.ru

Sergey A. Dulov – Candidate of Medical Sciences, Deputy Director for Scientific Work at FSUE Scientific Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology of the Federal Medical and Biological Agency, Leningrad Region, Kuzmolovsky urban settlement, 188663, Russian Federation. <https://orcid.org/0009-0008-5769-0133> E-mail: sergey_dulov@mail.ru

Alexander V. Zemljanoj – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, Head of the Laboratory of General Toxicology and Hygienic Regulation of FSUE Scientific Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology of the Federal Medical and Biological Agency, Leningrad Region, Kuzmolovsky urban settlement, 188663, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0001-8055-2291> E-mail: al-zem@yandex.ru

Natalia V. Erunova – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of General Toxicology and Hygienic Regulation of FSUE Scientific Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology of the Federal Medical and Biological Agency, Leningrad Region, Kuzmolovsky urban settlement, 188663, Russian Federation. <https://orcid.org/0009-0007-1947-1995> E-mail: nat-erunova@mail.ru