

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТОКСИКОЛОГИЯ
ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY**

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2025

Демидова С.А.¹, Масленников А.А.^{1,2}, Горшенин А.В.¹, Агаев Х.С.С.², Новикова О.Н.¹, Дулов С.А.³, Кучерской С.А.³, Оськина Д.Г.³**Эколого-токсикологическая характеристика воды водоёмов, загрязнённой несимметричным диметилгидразином**¹ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии» ФМБА России, 400048, г. Волгоград, Российская Федерация;²ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет» 400062, г. Волгоград, Российская Федерация;³ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» ФМБА России, 188663, Ленинградская область, г. пос. Кузьмоловский, Российская Федерация**РЕЗЮМЕ**

Введение. Проблема загрязнения несимметричным диметилгидразином в качестве компонента ракетного топлива основных объектов окружающей среды и его негативного воздействия на здоровье контактирующих, в связи с многолетним его использованием, представляется достаточно актуальной. Для осуществления федерального государственного санитарно-эпидемиологического контроля (надзора) за содержанием данного вещества в воде водоёмов необходимо установить соответствующий гигиенический регламент, предусматривающий проведение комплекса органолептических, общесанитарных и токсикологических исследований.

Материал и методы. Объектом исследований служил несимметричный диметилгидразин (гептил, 1,1-диметилгидразин (CH₃)₂N₂H₂, CAS № 57-14-7) с массовой долей вещества, равной 99%, и удельной плотностью $d_4^{20} = 0,7914$ г/см³. Гептил хорошо растворяется в воде.

Результаты. Установлено, что токсикант, не вызывая изменений органолептических свойств, оказывает негативное воздействие на ряд общесанитарных характеристик данной экосистемы: биохимическое потребление кислорода, процессы нитрификации, сапрофитную микрофлору. Наименьшая пороговая концентрация соединения по данному признаку вредности составила $3,0 \cdot 10^{-5}$ мг/л. Однократное внутрижелудочное введение в организм самок крыс водного раствора гептила, подвергнутого хранению в течение 30 сут, на разных сроках экспозиции вещества вызывало отдельные нарушения гомеостаза. Наибольший токсический эффект отмечен после поступления раствора, выдержанного в течение 1 сут.

Ограничения исследования. Выявленные особенности поведения гептила 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. Результаты выполненных исследований свидетельствуют о том, что попадание несимметричного диметилгидразина в воду представляет эколого-токсикологическую опасность, зарегистрированную по двум базовым признакам вредности, что учтено при обосновании ПДК соединения в воде водоёмов.

Ключевые слова: вода; несимметричный диметилгидразин; органолептический и санитарный режим водоёмов; однократное введение; общетоксическое действие

Соблюдение этических стандартов. Экспериментальное исследование одобрено независимым этическим комитетом при ФГУП «НИИ ГТП» ФМБА России (протокол № 2 от 18 июня 2024 года).

Для цитирования: Демидова С.А., Масленников А.А., Горшенин А.В., Агаев Х.С.С., Новикова О.Н., Дулов С.А., Кучерской С.А., Оськина Д.Г. Эколого-токсикологическая характеристика воды водоёмов, загрязнённой несимметричным диметилгидразином. *Токсикологический вестник*. 2025; 33(5): 362–371. <https://elibrary.ru/vzkucs> <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2025-33-5-362-371>

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

Участие авторов: Масленников А.А. – концепция и дизайн исследования, анализ результатов, написание текста; Демидова С.А. – планирование и выполнение исследований; Горшенин А.В. – сбор и обработка материала; Агаев Х.С.С. – статистическая обработка данных; Новикова О.Н. – редактирование; Дулов С.А. – концепция и дизайн исследования, анализ результатов, редактирование; Кучерской С.А., Оськина Д.Г. – 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 государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации».

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

Svetlana A. Demidova¹, Alexander A. Maslennikov^{1,2}, Andrej V. Gorshenin¹, Hamzat S.-S. Agaev²,
Olga N. Novikova¹, Sergej A. Dulov³, Semen A. Kucherskoj³, Diana G. Oskina³

Ecological and toxicological characteristics of the water of reservoirs contaminated with asymmetric dimethylhydrazine

¹Scientific Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology of the Federal Medical Biological Agency of Russia, 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 Russia, 188663, Leningrad Region, Kuzmolovsky urban settlement, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Due to the long-term use of asymmetric dimethylhydrazine as a component of rocket fuel, there seems to be a relevant problem with its contamination of environmental objects and its negative effects on those who come into contact with it. In order to carry out federal state sanitary and epidemiological control (supervision) over the content of this substance in the water of reservoirs, it is necessary to establish appropriate hygienic regulations providing for a complex of organoleptic, general sanitary and toxicological studies.

Material and methods. The object of research was an asymmetric dimethylhydrazine (heptyl, 1,1-dimethylhydrazine (CH₃)₂N₂H₂, CAS No. 57-14-7) with a mass fraction of 99% and a specific gravity of $d_4^{20} = 0.7914 \text{ g/cm}^3$. Heptyl is well soluble in water.

Results. It has been established that the toxicant, without causing changes in organoleptic properties, has a negative impact on a number of general sanitary characteristics of this ecosystem: biochemical oxygen consumption, nitrification processes, saprophytic microflora. The lowest threshold concentration of the compound for this hazard indicator was $3.0 \cdot 10^{-5} \text{ mg/L}$.

A single intragastric injection of an aqueous solution of heptyl into the body of female rats, subject to storage for 30 days, at different periods of exposure to the substance caused individual violations of homeostasis. The greatest toxic effect was noted after the solution was soaked for 1 day.

Limitations. The identified behavioral features of heptyl 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 results of the performed studies indicate that the ingress of asymmetric dimethylhydrazine into the water represents an ecological and toxicological hazard, registered by two basic signs of harmfulness, which is taken into account when justifying the MPC of the compound in the water of reservoirs.

Keywords: water; asymmetric dimethylhydrazine; organoleptic and sanitary regime of reservoirs; single administration; general toxic effect

Compliance with ethical standards. The experimental study was approved by the Independent Ethics Committee at the Scientific Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology of the FMBA of Russia (Protocol No. 2 dated June 18, 2024).

For citation: Demidova S.A., Maslennikov A.A., Gorshenin A.V., Agaev H.S.S., Novikova O.N., Dulov S.A., Kucherskoj S.A., Oskina D.G. Ecological and toxicological characteristics of the water of reservoirs contaminated with asymmetric dimethylhydrazine. *Toksikologicheskij vestnik / Toxicological Review*. 2025; 33(5): 362–371. <https://elibrary.ru/vzkucs> <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2025-33-5-362-371>

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

Authors' contribution: Demidova S.A. – planning and execution of the research; Maslennikov A.A. – concept and design of the research, analysis of the results, writing the text; Gorshenin A.V. – collection and processing of the material; Agaev H.S.S. – statistical data processing; Novikova O.N. – editing; Dulov S.A. – concept and design of the research, analysis of the results, editing; Kucherskoj S.A. – analysis of the results, editing; Oskina D.G. – 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 interests. The authors declare no conflict of interests.

Funding. The study was conducted within the framework of the state program of the Russian Federation “Scientific and Technological Development of the Russian Federation”

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

Введение

В последние десятилетия в связи с интенсивной ракетно-космической деятельностью, необходимой для решения народнохозяйственных, научных и оборонных задач, особую значимость приобрела проблема загрязнения окружающей среды компонентами ракетного топлива.

В России и ряде зарубежных стран используются ракеты-носители, двигатели которых работают на жидком топливе, его составной частью является несимметричный диметилгидразин (НДМГ), известный своей токсичностью и способностью трансформироваться с образованием опасных продуктов деструкции [1–3].

В районах падения отделяющихся частей ракет-носителей НДМГ, вследствие неполной выработки, это приводит к загрязнению не только отдельных участков почвы, но и поверхностных и грунтовых вод [4–5]. Для осуществления федерального государственного санитарно-эпидемиологического контроля за содержанием данного вещества в водоёмах рассматриваемых районов необходимо установить соответствующий гигиенический регламент, предусматривающий проведение комплекса органолептических, общесанитарных и токсикологических исследований¹.

Цель работы – оценить токсичность и опасность загрязнения гептилом воды водных объектов.

Материал и методы

В качестве объекта исследований использован несимметричный диметилгидразин (гептил, 1,1-диметилгидразин (CH₃)₂N₂H₂, CAS № 57-14-7) с массовой долей вещества, равной 99%, и удельной плотностью $d_4^{20} = 0,7914$ г/см³. Данное соединение представляет собой бесцветную или слегка желтоватую жидкость с резким сильно раздражающим неприятным аммиачным запахом, характерным для органических аминов. Температура кипения 63,1 °С, температура кристаллизации минус 57,2 °С, давление насыщенных паров при 20 °С – 122,4 мм рт. ст., летучесть при 25 °С – 500,0 мг/мл [6].

Гептил хорошо растворяется в воде, водных растворах кислот, спиртах, аминах и ряде органических растворителей (многих углеводов, эфирах, спиртах) [6].

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.

Исследования возможного воздействия НДМГ на органолептические свойства воды и её общесанитарный режим выполняли в соответствии с требованиями действующих методических указаний¹ и положениями профильных монографий [6–8]. Учитывая, что вещество относится к соединениям 1-го класса опасности и обладает канцерогенным эффектом, органолептический анализ качества воды проводили по следующим показателям: прозрачность, цветность и наличие пены (пенообразование) [7–9].

При анализе воды на прозрачность визуально различали (читали) шрифт на белом фоне через высоту водяного столба тестируемых проб [7–9].

В ходе проведения эксперимента по определению цветности использовали фотометрический метод (спектрофотометр Unico 1200, США), основанный на сравнении исследуемой воды с растворами бихромата калия и сульфата кобальта, имитирующими природную цветность². Установленное предельное значение цветности воды выражали в градусах по специальной шкале. За достоверную принимали величину, превышающую 20° [7–9].

При характеристике пенности использовали метод цилиндров (при температурах 20–25 °С (комнатная) и 60 °С) [7, 8]. Данные ёмкости закрывали пробками, после чего содержимое в них взбалтывали 15 раз в течение 30 с. За пороговую принимали концентрацию, при которой отсутствовала стабильная (более 1 мин) крупнопузырчатая пена, а высота мелкопузырчатой у стенок цилиндра не превышала 1,0 мм в диаметре. Величину рН воды при этой процедуре выдерживали на уровне 6,5–8,5 (при необходимости воду нейтрализовали в соответствии с применяемой методикой) [7–9].

Общесанитарный режим воды, содержащей токсикант, оценивали по состоянию основных процессов её самоочищения: биохимическое потребление кислорода (БПК₅)^{1,3} [7–9]; динамика процессов нитрификации азотсодержащих ор-

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. Методика выполнения измерений биохимического потребления кислорода после n-дней 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.

ганических веществ^{4,5,6}, развитие и отмирание сапрофитной микрофлоры [10]. Достоверными считали отклонения показателей в опыте, выходящие за пределы отличий соответствующих контрольных значений: 15% – угнетение; 20% – стимуляция.

При анализе БПК₅ содержание растворённого кислорода в пробах осуществляли распространённым методом йодометрического титрования по Винклеру [7–9]. Тестирование водных образцов выполняли в следующие сроки: в день загрязнения – 0-е, 1-е, 3-и, 5-е сутки. При изучении влияния токсиканта на процессы нитрификации в воде исходили из общеизвестных положений о том, что основу органических соединений во всех водах, включая подземные, составляют азотсодержащие вещества (нитраты NO₃⁻, нитриты NO₂⁻ и аммонийные соли NH₄⁺). Рассматриваемая группа ионов находится в тесной взаимосвязи. С учётом этого, в настоящих исследованиях характеристику влияния нитроглицерина на нитрифицирующие процессы в воде проводили в следующие сроки: в день загрязнения (0-е сутки) через 1 ч 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 сутки [7–9].

Жизнеспособность сапрофитной микрофлоры оценивали в 14-суточном эксперименте (на 0-е, 1-е, 2-е, 3-и, 7-е, 9-е, 10-е, 14-е сутки) [11].

Токсикометрические исследования на лабораторных животных проведены, исходя из положений действующих Методических указаний⁷.

В качестве биомодели использованы 80 белых беспородных крыс-самок (по 8 особей в каждой группе) с массой тела 220–240 г.

⁴ ПНД Ф 14.1:2.3.1–95. КХА вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. М., 2017. 13 с.

⁵ ПНД Ф 14.1:2.4.4–95. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нитрат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. М., 2011. 13 с.

⁶ ПНД Ф 14.1:2.3:4.3–2023. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нитрит-ионов (в том числе с пересчетом на массовую концентрацию азота нитритов) в пробах питьевых и сточных вод, а также в пробах вод природных (поверхностных и подземных) водных объектов, фотометрическим методом с реактивом Грисса. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. М., 2023. 13 с.

⁷ 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. С.18

Содержание, питание, уход за животными и их умерщвление осуществляли в соответствии с требованиями профильного ГОСТ 33215–2014⁸ и принципами гуманного обращения с экспериментальными животными⁹.

Водные растворы токсиканта 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.

Схема выполнения исследований предусматривала однократное приготовление водного раствора вещества заданной концентрации с последующим его внутрижелудочным введением и обследованием подопытных лабораторных животных в разные сроки экспозиции гептила в водной среде.

Общезорбтивное действие НДМГ оценили по клинической картине отравления, а также с помощью комплекса физиологических, поведенческих и гематологических методов. При этом определяли 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 и суммарная активность, а также «норковый» рефлекс и груминг) в установке «открытое поле»¹⁰.

Оценку гематологических показателей животных проводили на автоматическом гематологическом анализаторе MicroCC-20PlusVet (High Technology, Inc., США). В цельной крови определяли абсолютное количество эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов, абсолютное и относительное количество лимфоцитов, гранулоцитов и средних клеток (базофилы, моноциты), уровень гемоглобина в крови, гематокрит, средний объём эритроцита, среднее содержание гемоглобина в эритроците, среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците, средний объём тромбоцита, ширину распределения тромбоцитов по объёму, тромбоцит.

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

⁹ ГОСТ 33044–2014. Принципы надлежащей лабораторной практики. М.: Стандартиформ, 2014.

¹⁰ МР № 2166–80. Методические рекомендации по использованию поведенческих реакций животных в токсикологических исследованиях для целей гигиенического нормирования. Киев, 1980.

Достоверные изменения процессов БПК5 воды (мг O₂/л), загрязнённой НДМГ
Significant changes in the process of BOD (Biochemical Oxygen Demand)5 of water (mg O₂/L) contaminated with NDMG

Серия Series	Период проведения исследований, сутки Research period, day	Концентрация НДМГ в воде, мг/л Concentration of NDMG in water, mg/L			Контроль Control
		0,62	0,21	0,07	
I	0	5,17 (27,08↓)	5,72 (19,32↓)	6,50 (8,32)	7,09
	1	0,87 (17,14↓)	0,91 (13,33)	1,11 (5,71)	1,05
	3	1,99 (16,74↓)	2,09 (12,55)	2,35 (1,67)	2,39
II	0	5,39 (25,66↓)	6,09 (16,00↓)	6,82 (5,93)	7,25
	1	0,61 (34,41↓)	0,75 (19,36↓)	1,01 (8,60)	0,93
	3	1,93 (16,81↓)	2,45 (5,60)	2,39 (3,02)	2,32
III	1	5,19 (30,52↓)	6,33 (15,26↓)	6,75 (9,64)	7,47
	3	0,75 (24,24↓)	0,88 (11,11)	0,95 (4,04)	0,99
	5	2,85 (15,43↓)	3,52 (4,45)	3,25 (3,56)	3,37

Примечание. Здесь и в табл. 1–3 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.

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

Результаты

В ходе оценки органолептических свойств выявлено, что присутствие тестируемого соединения в воде водоёмов в концентрациях 50,0, 10,0 и 2,0 мг/л не способствовало пенообразованию, появлению цветности и изменению её прозрачности.

При характеристике процесса биохимического потребления кислорода соединения вносили в «искусственные» водоёмы в количестве 0,62, 0,21 и 0,07 мг/л.

Исследования выполнены в трёх независимых сериях экспериментов.

Определено, что тестируемое соединение в концентрациях 0,62 и 0,21 мг/л с 0-х по 3-и сутки эксперимента во всех сериях способствовало ингибированию (до 34,41%) протекания БПК в воде (табл. 1).

При снижении содержания химического агента до 0,07 мг/л достоверных отличий показателей окисления анализируемых проб от контроля не зарегистрировано (см. табл. 1).

Исходя из представленных данных уровень несимметричного диметилгидразина (0,21 мг/л), сопровождающийся минимальным негативным действием на процессы БПК, признан в каче-

стве пороговой величины по данному показателю. Концентрация токсиканта в воде (0,07 мг/л) определена как максимально недействующая.

В ходе изучения состояния процессов нитрификации отмечено, что внесение в «искусственные» водоёмы вещества в концентрациях $2,0 \cdot 10^{-3}$ и $7,0 \cdot 10^{-4}$ мг/л способствовало изменению протекания скорости реакции аммонификации. Так, начиная с 1-х и по 7-е сутки, а также с 23-х по 30-е сутки эксперимента, установлена достоверная стимуляция аммиачного азота (I этап процесса нитрификации воды) в пробах относительно контроля от 20,65% до 76,9%. Кроме того, при содержании в воде соединения в данных уровнях зарегистрировано значимое ингибирование образования NH_4^+ с 14-х по 21-е сутки опыта от 16,84% до 24,18% (табл. 2).

В то же время на промежуточной окислительной стадии, начиная с 10-х суток и до конца исследований, на тех же уровнях выявлено значимое увеличение образования азота нитритов от 20,13% до 67,92% (см. табл. 2).

Данный факт свидетельствует о существенном ускорении процесса преобразования значительного количества азота аммонийного в промежуточную окислительную форму NO_2^- ; и далее переходящего в нитрат азота.

Зарегистрированы также достоверные разнонаправленные изменения содержания азота нитратов относительно контроля только в концентрации $2,0 \cdot 10^{-3}$ мг/л с 10-х по 23-и сутки экспе-

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

Показатель Indicators	Сроки наблюдения, сутки Terms of observation, day	Концентрация НДМГ в воде, мг/л Concentration of NDMG in water, mg/L			Контроль Control
		$2,0 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	
Азот аммонийный (по NH_4^+), мг/л Ammonium nitrogen (according to NH_4^+), mg/L	1	4,59 (24,73 ↑)	4,44 (20,65 ↑)	3,67 (0,27)	3,68
	3	6,46 (76,99 ↑)	5,18 (41,92 ↑)	3,67 (0,27)	3,65
	7	4,94 (37,99 ↑)	4,18 (16,76)	3,44 (3,91)	3,58
	14	2,43 (18,18 ↓)	2,47 (16,84 ↓)	2,69 (9,43)	2,97
	17	2,07 (24,18 ↓)	2,22 (18,68 ↓)	2,46 (9,89)	2,73
	21	2,03 (20,08 ↓)	2,12 (16,54 ↓)	2,35 (7,48)	2,54
	23	2,97 (25,85 ↑)	2,59 (9,75)	2,42 (2,54)	2,36
	27	2,57 (33,85 ↑)	2,23 (16,15)	2,03 (5,73)	1,92
	30	2,01 (29,68 ↑)	1,73 (11,61)	1,63 (5,16)	1,55
Азот нитритов (по NO_2^-), мг/л Nitrogen of nitrites (by NO_2^-), mg/L	10	1,59 (35,00 ↑)	1,35 (15,38)	1,27 (8,55)	1,17
	14	2,63 (52,91 ↑)	2,04 (18,61)	1,89 (9,88)	1,72
	17	4,92 (67,92 ↑)	3,76 (28,33 ↑)	3,17 (8,19)	2,93
	21	6,71 (40,67 ↑)	5,38 (12,79)	4,96 (3,98)	4,77
	23	6,42 (21,13 ↑)	6,01 (13,40)	5,78 (9,06)	5,30
	27	5,37 (20,13 ↑)	4,99 (11,63)	4,27 (4,47)	4,47
	30	5,29 (21,05 ↑)	4,64 (6,18)	4,46 (2,06)	4,37
	33	4,76 (28,30 ↑)	4,56 (22,91 ↑)	3,98 (7,28)	3,71
Азот нитратов (по NO_3^-), мг/л Nitrogen of nitrates (by NO_3^-), mg/L	10	3,94 (25,08 ↑)	3,56 (13,02)	3,39 (7,62)	3,15
	14	3,90 (21,12 ↑)	3,67 (13,98)	3,47 (7,76)	3,22
	17	1,95 (17,02 ↓)	2,77 (17,87)	2,55 (8,51)	2,35
	21	1,75 (18,22 ↓)	2,04 (4,67)	2,38 (11,21)	2,14
	23	1,44 (26,90 ↓)	1,76 (10,66)	2,08 (5,58)	1,97

римента (заключительная стадия нитрификации воды). Нитраты также служат показателем более длительного органического загрязнения воды [11].

Вышеизложенное свидетельствует о нарушении процессов самоочищения водной экосистемы, то есть разбалансировке соотношения между содержанием различных форм азота, необходимых для нормального функционирования жизнедеятельности фауны и флоры в водоёмах. Помимо этого, следует отметить, что присутствие гептила в воде существенно ускоряет процесс нитрификации за счёт увеличения образования аммония и нитрит ионов и увеличивает срок реакций триады азота, отличающийся от естественных условий. Данный факт может быть связан со структурной формулой вещества (наличие аминогруппы – NH_4^+), а также с его высокореакционной способностью, позволяющей более ускоренно запускать окислительно-восстановительные процессы [7, 13].

При содержании токсиканта в воде на уровне $2,0 \cdot 10^{-4}$ мг/л на протяжении всего эксперимента значимых изменений относительно контроля не отмечено (см. табл. 2).

С учётом изложенного концентрация оцениваемого НДМГ ($7,0 \cdot 10^{-4}$ мг/л) определена в качестве пороговой, а уровень вещества $2,0 \cdot 10^{-4}$ мг/л признан максимально недействующим на процессы нитрификации воды водоёмов (см. табл. 2).

Анализ состояния сапрофитной микрофлоры показал, что поступление тестируемого соединения в воду в двух максимальных концентрациях вызывало токсическое воздействие на жизнедеятельность микрофлоры, проявляющееся в разнонаправленном влиянии на рост колоний сапрофитов до 9-х суток (уровень $1,6 \cdot 10^{-4}$ мг/л) и в течение 1-х суток (уровень $3,0 \cdot 10^{-5}$ мг/л) (табл. 3).

При понижении концентрации токсиканта в водоёме до $6,4 \cdot 10^{-6}$ мг/л достоверных отличий относительно контроля не выявлено.

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

Период посева Cultivation period	Концентрация НДМГ в воде, мг/л Concentration of NDMG in water, mg/L			Контроль Control
	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	
0 (через 1 час) / (after 1 hour)	1290,0 (89,71 ↑)	1300,0 (91,18 ↑)	605,0 (11,03)	680,0
0 (через 3 час) / (after 3 hours)	476,0 (21,49 ↓)	485,0 (19,83 ↓)	580,0 (4,13)	605,0
1-е сутки / 1 st day	9350,0 (53,03 ↑)	7400,0 (22,11 ↑)	5200,0 (14,89)	6110,0
2-е сутки / 2 nd day	4950,0 (27,74 ↓)	6250,0 (8,76)	6400,0 (6,57)	6850,0
3-е сутки / 3 rd day	850,0 (45,16 ↓)	1450,0 (6,45)	1460,0 (5,81)	1550,0
7-е сутки / 7 th day	335,0 (37,96 ↓)	470,0 (12,96)	510,0 (5,56)	540,0
9-е сутки / 9 th day	750,0 (60,53 ↓)	1750,0 (7,89)	1900,0 (0,00)	1900,0

Основываясь на представленных данных, уровень НДМГ равный $3,0 \cdot 10^{-5}$ мг/л, признан в качестве пороговой величины. Соответственно концентрация вещества $6,4 \cdot 10^{-6}$ мг/л (или $6,0 \cdot 10^{-6}$ мг/л), в которой химический агент не проявил негативного влияния на данную микрофлору, является максимально недействующей.

Перед постановкой опытов на лабораторных животных с целью выбора необходимого уровня воздействия НДМГ и периода оценки состояния крыс анализировали результаты ранее выполненных собственных исследований по изучению его острой токсичности.

Отмечено, что после однократного внутрижелудочного поступления соединения в организм подопытных особей в ранжированном диапазоне доз от 1/5 до 1/160 от установленной величины ЛД₅₀ – 156,28 мг/кг (крысы-самки) – и обследования животных через 2 ч (0-е сутки) и в 1-е, 3-и, 7-е сутки наибольший токсический эффект зафиксирован на 1-е сутки после воздействия.

Рабочий раствор гептила готовили путём разведения в воде с последующим хранением в течение 30 сут. Раствор крысам вводили в дозе 2,5 мг/кг (в 2,5 раза превышающей Lim_{ac}^{integr}) через 1-е, 3-и, 7-е, 14-е, 30-е сутки после приготовления. Принимая во внимание вышеуказанные результаты ранее выполненных исследований, характеристику состояния крыс осуществляли через одни сутки после каждого введения водного раствора НДМГ.

В процессе проведения исследований обнаружено, что внутрижелудочное поступление водного раствора НДМГ в вышеуказанные сроки его экспозиции не сопровождалось проявлением у подопытных особей видимых клинических

признаков интоксикации. Кроме того, у самок опытных групп в процессе проведения эксперимента не выявлено достоверных в сопоставлении с контролем отличий массы тела, частоты дыхательных движений и сердечных сокращений, а также реакции на тепловое воздействие.

Однако при оценке поведенческих реакций после одной суточной выдержки НДМГ в воде у самок крыс зарегистрировано статистически значимое, с выходом за пределы бисигмальных отклонений параллельного контроля, увеличение горизонтальной и суммарной двигательной активности, а также поискового рефлекса. Кроме того, зафиксировано достоверное повышение вертикальной активности (табл. 4).

В ходе оценки гематологических показателей крыс в указанный промежуток времени отмечено статистически значимое увеличение среднего объёма эритроцитов и содержания в них гемоглобина по сравнению с аналогичными показателями у контрольных животных, что соответствует данным литературы [14]. При этом отсутствовали нарушения лейкоцитарного и тромбоцитарного ростков кроветворения (см. табл. 4).

Введение водного раствора НДМГ через 3 сут его экспозиции в водной среде сопровождалось у подопытных крыс изменениями отдельных гематологических показателей. При этом в сопоставлении с результатами предыдущего опыта зафиксировано существенное перераспределение относительного числа популяций лейкоцитов. В частности, достоверно повышено содержание лимфоцитов за счёт снижения гранулоцитарных нейтрофилов, моноцитов и базофилов, что может свидетельствовать об иммунном ответе на воздействие данного соединения. Статистиче-

Достоверные изменения, выявленные у самок крыс после однократного перорального воздействия несимметричного диметилгидразина и продуктов его деструкции
Significant changes revealed in female rats after a single oral exposure to asymmetric dimethylhydrazine and its degradation products

Показатель / Indicators	Доза, мг/кг Dose, mg/kg	Сроки экспозиции гептила в воде, сутки Exposure time of heptyl in water, day			
		1	3	7	14
Поведенческие реакции / Behavioral reactions					
Горизонтальная активность, усл. ед. Horizontal activity, units	2,5	17,71 ± 2,74**	15,33 ± 3,21	18,14 ± 2,51*	20,86 ± 6,12
	Контроль / Control	9,00 ± 1,16 (2,43÷15,56)	17,71 ± 2,76	10,67 ± 2,19	10,50 ± 2,66
Вертикальная активность, усл. Ед Vertical activity, units	2,5	4,14 ± 0,74*	2,67 ± 0,71	4,00 ± 0,75	3,50 ± 0,71
	Контроль / Control	2,14 ± 0,40	3,29 ± 1,19	3,00 ± 1,49	3,14 ± 0,51
Норковый рефлекс, усл. ед. Hole exploratory behaviour, units	2,5	5,13 ± 0,62**	3,25 ± 0,90	3,38 ± 0,62	3,50 ± 0,92
	Контроль / Control	2,36 ± 0,32 (0,55÷4,17)	3,17 ± 1,01	4,25 ± 0,80	3,63 ± 1,07
Суммарная активность, ед. Total activity, units	2,5	31,00 ± 3,35**	12,51 ± 4,42	33,63 ± 3,12*	36,75 ± 9,17
	Контроль / Control	20,63 ± 1,58 (11,69÷29,57)	28,13 ± 3,88	20,50 ± 2,58	30,38 ± 6,03
Гематологические данные / Hematological characteristics					
Лимфоциты, % Lymphocytes, %	2,5	77,10 ± 1,69	77,85 ± 1,45*	77,11 ± 2,12	77,21 ± 1,47*
	Контроль / Control	75,01 ± 2,24	71,95 ± 2,10	75,59 ± 2,82	68,41 ± 2,21
Относительное содержание средних клеток, % Relative content of average cells, %	2,5	5,21 ± 0,30	5,80 ± 0,45*	6,55 ± 0,61	6,38 ± 0,52
	Контроль / Control	6,33 ± 0,56	7,41 ± 0,51	6,34 ± 0,49	7,41 ± 0,28
Гранулоциты, % Granulocytes, %	2,5	18,88 ± 1,01	18,96 ± 1,73	15,40 ± 1,10	16,41 ± 1,05*
	Контроль / Control	18,66 ± 1,83	20,64 ± 1,66	18,08 ± 2,39	24,18 ± 1,98
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л Average concentration of hemoglobin in erythrocyte, g/L	2,5	287,25 ± 1,78	289,63 ± 2,31	282,88 ± 1,20*	284,63 ± 1,51*
	Контроль / Control	285,75 ± 1,73	290,63 ± 2,25	291,88 ± 1,75	290,25 ± 1,10
Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг The average hemoglobin content in the erythrocyte, pg	2,5	15,29 ± 0,17*	15,59 ± 0,39	15,00 ± 0,25	14,80 ± 0,17
	Контроль / Control	14,76 ± 0,14	15,29 ± 0,16	14,95 ± 0,20	14,89 ± 0,13
Средний объем эритроцитов, фл Average volume of red blood cells, fl	2,5	53,26 ± 0,31*	52,36 ± 0,70	51,21 ± 0,37	51,98 ± 0,58
	Контроль / Control	51,61 ± 0,46	52,60 ± 0,33	51,21 ± 0,50	51,28 ± 0,43
Гематокрит, % Hematocrit, %	2,5	43,61 ± 0,65	42,68 ± 0,77	42,48 ± 1,55*	43,68 ± 1,01
	Контроль / Control	42,14 ± 0,79	44,80 ± 0,64	46,84 ± 1,32	43,09 ± 1,04
Тромбоциты, 10 ⁹ /л Platelets, 10 ⁹ /L	2,5	540,50 ± 24,43	556,38 ± 14,46*	524,00 ± 51,40	607,13 ± 13,30
	Контроль / Control	555,00 ± 20,44	610,00 ± 15,77	601,75 ± 25,42	607,88 ± 26,61
Тромбокрит, % Thrombocrit, %	2,5	0,33 ± 0,01	0,33 ± 0,01*	0,32 ± 0,03	0,37 ± 0,01
	Контроль / Control	0,34 ± 0,01	0,37 ± 0,01	0,37 ± 0,01	0,36 ± 0,02
Количество достоверных изменений при $p \leq 0,05$ (*) The number of significant changes at $p \leq 0.05$ (*)		6	4	4	3
Количество изменений, выходящих за пределы значений ($M \pm 2\sigma$) контроля (**) Number of changes beyond the control values ($M \pm 2\sigma$) (**)		3	0	0	0

ски значимо снижено количество тромбоцитов и доля объёма цельной крови, занимаемая тромбоцитами (тромбоциты). Установлена тенденция к уменьшению количества эритроцитов с одновременным понижением уровня гемоглобина и гематокрита, а также с повышением среднего содержания гемоглобина в эритроците (см. табл. 4).

После поступления в организм 7-суточного водного раствора НДМГ у подопытных животных выявлено достоверное увеличение горизонтальной и, как следствие, суммарной поведенческой активности. Кроме того, зафиксировано статистически значимое снижение уровня гематокрита и концентрации гемоглобина в эритроците.

Через 14 суток экспозиции соединения в водной среде и последующего применения у крыс опытной группы сохранялось снижение содержания гемоглобина в эритроците на фоне повышения количества лимфоцитов и уменьшения численности гранулоцитов (см. табл. 4).

По завершении 30-суточного опыта каких-либо изменений у самок крыс опытной группы по комплексу определяемых показателей не обнаружено.

Анализ приведённых данных свидетельствует о том, что введение водного раствора НДМГ после длительного хранения вызывало у подопытных животных изменения поведенческих (до 7 сут экспозиции) и гематологических (до 14 сут экспозиции) показателей.

Количество суммарных изменений через одни сутки после экспозиции соединения в воде составило 6, из которых 3 выходили за пределы бисигмальных отклонений параллельного контроля. Продление содержания вещества в воде до 3 и 7 сут приводило в каждый срок обследования к сдвигам 4 показателей, не превышающих параметры физиологических отклонений контроль-

ных значений. На 14-е сутки эксперимента указанное соотношение составило 3/0.

Таким образом, из представленных результатов исследований следует, что наибольший токсический эффект у самок крыс отмечен при введении раствора гептила, хранившегося в течение 1 сут после приготовления.

Обсуждение

Обобщённый анализ результатов выполненных экспериментов позволил установить следующее. Однократное загрязнение воды водоёмов тестируемым соединением не вызывает изменений её органолептических свойств. Однако токсикант оказывает негативное влияние на ряд общесанитарных характеристик данной экосистемы: биохимическое потребление кислорода, процессы нитрификации, сапрофитную микрофлору. Кроме того, в условиях острого опыта введение вещества, подвергнутого длительному хранению, сопровождается токсическим воздействием на организм лабораторных животных.

Ограничения исследования. Выявленные особенности поведения гептила 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 несимметричного диметилгидразина в воду представляет эколого-токсикологическую опасность, зарегистрированную по двум базовым признакам вредности, что учтено при обосновании ПДК соединения в воде водоёмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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>
2. Утелин К.Р. Экоотоксикант – несимметричный диметилгидразин. *Новости науки Казахстана*. 2021; 2(149): 194–208.
3. Семенов А.В., Булкин С.А. Гептил и его опасные свойства. *Сборник «Проблемы обеспечения химической безопасности». Сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции*. Химки; 2023: 115–9.
4. Зяблицкая А.Н., Новикова И.И., Щучинов Л.В. Результаты проведения эколого-гигиенического мониторинга в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей. *Гигиена окружающей среды*. 2023; 102(10): 82–94.
5. Осико С.М. Экологические проблемы ракетно-космической деятельности: влияние ракетного топлива на состояние окружающей среды в районах падения отработавших ступеней. *Молодой ученый*. 2020; 23(313): 482–5.
6. Селиванова Л.Н., Захарова З.М., Ласточкина Е.М., Власова Л.А. *Вредные химические вещества в ракетно-космической отрасли*. Справочник. Под ред. В.В. Уйбы. М.: ФМБА, ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, 2011.
7. Муравьев А.Г. *Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами*. СПб.: Кристалл, 2004.
8. *Унифицированные методы анализа вод* / под общ. ред. Лурье Ю.Ю. М.: Химия, 1971.
9. Лурье Ю.Ю. *Аналитическая химия промышленных сточных вод*. М.: Химия, 1984.
10. Цыганок В.М. Определение влияния исследуемых веществ на процессы естественного самоочищения при гигиеническом нормировании в области санитарной охраны водоёмов: *Сборник научных трудов НИИ гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана*. М.: 1974, 55–8.
11. Лакин Г.Ф. *Биометрия*. М.: Высшая школа, 1990.
12. Плохинский Н.А. *Алгоритмы биометрии*. М.: Изд-во МГУ, 1980.
13. *Новые аспекты исследования последствий использования гептила в ракетной технике*. Под ред. Шатрова Я.Т.М.: Пеликан, 2008.
14. Лавриненко И.А., Лавриненко В.А. Исследование токсического воздействия ракетного топлива на некоторые функциональные показатели клеток лабораторных животных *Приоритетные направления развития современной науки: материалы II Международной заочной научно-практической конференции (Чебоксары, 24 января 2011 г.)*. Чебоксары: НИИ педагогики и психологии, 2011; 160–6.

REFERENCES

- Andreeva E.S., Nesterova I.S. Environmental risks of functioning of space industry facilities *Mezhdunarodny'j nauchno-issledovatel'skij zhurnal / International Scientific Research Journal*. 2023; 128(2). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.128.74> (in Russian)
- Uteulin K.R. Ecotoxicant – asymmetric dimethylhydrazine. *Novosti Nauki Kazakhstana*. 2021; 2(149): 194–208 (in Russian)
- Semenov A.V., Bulkin S.A. Heptyl and its dangerous properties In: *Collection "Problems of chemical safety". Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference [Sbornik "Problemy" obespecheniya ximicheskoy bezopasnosti". Sbornik trudov IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii]*. Khimki: 2023;115–9. (in Russian)
- Zyablitskaya A.N., Novikova I.I., Shchuchinov L.V. The results of environmental and hygienic monitoring in the areas of impact of separating parts of launch vehicles. *Gigiena okruzhayushhej sredy*. 2023; 102(10): 82–94. (in Russian)
- Osiko S.M. Environmental problems of rocket and space activities: the impact of rocket fuel on the environment in areas where spent stages fall. *Molodoy ucheny'j*. 2020; 23(313): 482–5. (in Russian)
- Selivanova L.N., Zakharova Z.M., Lastochkina E.M., Vlasova L.A. *Harmful chemicals in the rocket and space industry. Guide [Vredny'e ximicheskie veshhestva v raketno-kosmicheskoy otrasli. Spravochnik]*. Edited by V.V. Uyba. Moscow: FMBA, Burnazyan FMBC; 2011, 408. (in Russian)
- Muravyov A.G. *Guidelines for determining water quality indicators by field methods [Rukovodstvo po opredeleniyu pokazatelej kachestva vody' polevy'mi metodami]*. St. Petersburg: Christmas+; 2004. (in Russian)
- Unified methods of water analysis. [Unificirovanny'e metody' analiza vod]*. Ed. Lurie Yu.Y. Moscow: Chemistry 1971. 375. (in Russian)
- Lurie Yu.Y. *Analytical chemistry of industrial wastewater Analytical chemistry of industrial wastewater [Analiticheskaya ximiya promy'shlenny'x stochny'x 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. Research Institute of Hygiene. Erisman [Sbornik nauchny'x trudov NII gigieny' im. F.F. E'rismana]*, Moscow: 1974; 55–8. (in Russian)
- Lakin G.F. *Biometrics [Biometriya]*, Moscow: Vysshaya Shkola; 1990. (in Russian)
- Plokhinsky N.A. *Algorithms of biometrics [Algoritmy' biometrii]*. Moscow: Publishing House of Moscow State University; 1980. (in Russian)
- New aspects of the study of the effects of the use of heptyl in rocket technology [Novy'e aspekty' issledovaniya posledstvij ispol'zovaniya heptila v raketnoj tekhnike]*. Ed. Shatrov Ya.T. Moscow: Pelikan; 2008. (in Russian)
- Lavrinenko I.A., Lavrinenko V.A. Investigation of the toxic effects of rocket fuel on some functional parameters of laboratory animal cells. In. *Priority areas for the development of modern science: proceedings of the II International Correspondence Scientific and Practical Conference (Cheboksary, January 24, 2011) [Prioritetny'e napravleniya razvitiya sovremennoj nauki: materialy' II Mezhdunarodnoj zaochnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Cheboksary', 24 yanvarya 2011 g.)]*. Cheboksary: Nauchno-issledovatel'skij institut pedagogiki i psixologii; 2011; 160–6. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Горшенин Андрей Вадимович – кандидат мед. наук, заведующий лабораторией лекарственной безопасности ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии» ФМБА России, 400048, г. Волгоград, Россия. E-mail: gorshenin@rihtop.ru

Агаев Хамзат Сайд-Салахович – ассистент кафедры биологии и биоинженерии института естественных наук ФГАУ ВО «Волгоградский государственный университет», 400062, г. Волгоград, Россия. E-mail: maslennikov@rihtop.ru

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

Кучерской Семен Александрович – 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: kucherskoi@gpetch.ru

Оськина Диана Гаевна – 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: diana-gaechka@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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, 400048, Volgograd, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3429-7135> E-mail: demidova@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; Scientific Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology of the Federal Medical and Biological Agency, Volgograd, 400048, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5121-5616> E-mail: maslennikov@rihtop.ru

Andrey V. Gorshenin – Candidate of Medical Sciences, Head of the Laboratory of Drug Safety at FSUE Scientific Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology of the Federal Medical and Biological Agency, 400048, Volgograd, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3272-4236> E-mail: gorshenin@rihtop.ru

Khamzat S.-S. Agaev – Assistant Professor at the Department of Biology and Bioengineering, Institute of Natural Sciences, State University, 400062, Volgograd Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0005-0655-9184> E-mail: maslennikov@rihtop.ru

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

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

Semen A. Kuchersky – Researcher at the Laboratory of General Toxicology and Hygienic Regulation 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/0000-0002-7698-9535> E-mail: kucherskoi@gpetch.ru

Diana G. Oskina – Researcher at the Laboratory of General Toxicology and Hygienic Regulation of Russia, 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/0000-0002-2931-317X> E-mail: diana-gaechka@yandex.ru