

Масленников А.А.<sup>1,2</sup>, Шатеева А.В.<sup>2</sup>, Новикова О.Н.<sup>1</sup>

# Экспериментальная оценка хронического перорального воздействия несимметричного диметилгидразина на мужскую половую функцию

<sup>1</sup>ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии» Федерального медико-биологического агентства, 400048, Волгоград, Российская Федерация;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет» 400062, Волгоград, Российская Федерация

## РЕЗЮМЕ

**Введение.** В профилактической токсикологии проблема возможного развития отдалённых эффектов у человека при контакте с различными химическими веществами является одной из наиболее значимых. Поскольку в производстве, хранении и применении химических веществ разной степени токсичности заняты преимущественно мужчины, при разработке мер профилактики отдалённых последствий особое внимание должно уделяться изучению влияния этих соединений на мужскую половую функцию. Однако вопрос о рассматриваемом виде гонадотоксических свойств несимметричного диметилгидразина (компонента ракетного топлива) в условиях его длительного перорального воздействия практически не изучен.

**Цель работы** заключалась в экспериментальной оценке особенностей хронического внутрижелудочного воздействия несимметричного диметилгидразина на мужскую репродуктивную функцию с установлением пороговой и максимальной недействующей доз.

**Материал и методы.** Объектом исследований служил несимметричный диметилгидразин (гептил, 1,1-диметилгидразин ( $(\text{CH}_3)_2\text{N}_2\text{H}_2$ , CAS № 57-14-7) с массовой долей 99% и удельной плотностью  $d_4^{20} = 0,7914 \text{ г/см}^3$ . Гептил в виде водных растворов ежедневно в течение шести месяцев перорально вводили самцам крыс трёх опытных групп (по 10 особей в группе) в следующих дозах:  $4 \cdot 10^{-4} \text{ мг/кг}$  — 1-я опытная группа;  $8 \cdot 10^{-5} \text{ мг/кг}$  — 2-я опытная группа и  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ мг/кг}$  — 3-я опытная группа. По окончании указанного периода у самцов каждой группы определяли состояние спермограммы, сперматогенеза, способность к репродукции и анализировали плодный материал на наличие аномалий развития.

**Результаты.** Установлено, что хроническое внутрижелудочное поступление гептила в организм белых нелинейных крыс в указанных дозах не снижало способности самцов к спариванию и оплодотворению, не влияло на показатели спермограммы и не вызывало тератогенного эффекта у потомства. При этом длительное воздействие соединения в максимальной дозе существенно снижало в семенниках подопытных крыс количество сперматогоний и число слоёв сперматогенного эпителия. Также у потомства самцов данной группы зарегистрировано проявление эмбриотоксичности, реализованное в снижении краниокаудального размера.

**Ограничения исследования.** Экспериментальное исследование хронического перорального воздействия гептила на мужскую репродуктивную функцию не предусматривает оценки других отдалённых последствий.

**Заключение.** На основании комплекса обнаруженных изменений пороговой дозой хронического внутрижелудочного воздействия несимметричного диметилгидразина на репродуктивную функцию самцов крыс признана величина  $4,0 \cdot 10^{-4} \text{ мг/кг}$ , а максимальной недействующей —  $8,0 \cdot 10^{-5} \text{ мг/кг}$ . Выявленные особенности негативного влияния несимметричного диметилгидразина учтены при обосновании его ПДК в воде водоёмов.

**Ключевые слова:** несимметричный диметилгидразин; пероральное хроническое воздействие; гонадотоксичность; пороговая доза

**Соблюдение этических стандартов.** Экспериментальное исследование одобрено независимым этическим комитетом при ФГУП «НИИ ГТП» ФМБА России (протокол № 5 от 10 декабря 2024 года) в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS N 123), директивой Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22.09.2010 г. о защите животных, используемых для научных целей.

**Для цитирования:** Масленников А.А., Шатеева А.В., Новикова О.Н. Экспериментальная оценка хронического перорального воздействия несимметричного диметилгидразина на мужскую половую функцию. *Токсикологический вестник*. 2026; 34(3): 214–219. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2026-34-3-214-219> <https://elibrary.ru/ehrneu> (in Russian)

**Для корреспонденции:** Масленников Александр Александрович, e-mail: [maslennikov@rihtop.ru](mailto:maslennikov@rihtop.ru)

**Участие авторов:** Масленников А.А. — концепция и дизайн исследования, анализ результатов, написание текста; Шатеева А.В. — планирование и выполнение исследований; Новикова О.Н. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

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

**Финансирование.** Исследование проведено в рамках государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации».

Поступила в редакцию: 27 марта 2026 / Поступила после исправления: 04 мая 2026 / Принята в печать: 01 июня 2026 / Опубликована: 30 июня 2026

Aleksander A. Maslennikov,<sup>1,2</sup> Anfisa V. Shateeva<sup>2</sup>, Olga N. Novikova<sup>1</sup>

# Experimental evaluation of the chronic oral effects of unsymmetrical dimethylhydrazine on male sexual function

<sup>1</sup>Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology of the FMBA of Russia, 400048, Volgograd, Russian Federation;

<sup>2</sup>Volgograd State University, 400062, Volgograd, Russian Federation

## ABSTRACT

**Introduction.** In preventive toxicology, the problem of the possible development of long-term effects in humans upon contact with various chemicals is one of the most significant. Since male personnel is predominantly involved in the production, storage and use of chemicals of varying degrees of toxicity, special attention should be paid to studying the effect of these compounds on male sexual function when developing measures to prevent long-term consequences. However, the gonadotoxic properties of unsymmetrical dimethylhydrazine (a component of rocket fuel) have not been studied in detail in the context of its long-term oral exposure.

The aim of the study was to experimentally evaluate the effects of chronic intragastric exposure of unsymmetrical dimethylhydrazine on male reproductive function with the establishment of threshold and maximum inactive doses.

**Material and methods.** The object of the study was unsymmetrical dimethylhydrazine (heptyl, 1,1-dimethylhydrazine ( $\text{CH}_3)_2\text{N}_2\text{H}_2$ , CAS No. 57-14-7) with a mass fraction of 99% and a specific density of  $d_4^{20} = 0.7914 \text{ g/cm}^3$ . Heptyl in the form of aqueous solutions was orally administered daily for six months to male rats of three experimental groups (10 rats per group) in the following doses:  $4 \cdot 10^{-4} \text{ mg/kg}$  – 1<sup>st</sup> experimental group;  $8 \cdot 10^{-5} \text{ mg/kg}$  – 2<sup>nd</sup> experimental group and  $1.5 \cdot 10^{-5} \text{ mg/kg}$  – 3<sup>rd</sup> experimental group. After the specified period, the spermogram, spermatogenesis and reproductive capacity of the males in each group were evaluated and fetal material was analyzed for the presence of developmental abnormalities.

**Results.** It was found that chronic intragastric administration of heptyl to white non-linear rats at the specified doses did not reduce the male rats' ability to mate and fertilize, did not affect the spermogram parameters, and did not cause any teratogenic effects in the offspring. However, long-term exposure to the compound at the maximum dose significantly reduced the number of spermatogonia and the number of layers of spermatogenic epithelium in the testes of the experimental rats. Additionally, the offspring of the male rats in this group showed signs of embryotoxicity, which manifested as a decrease in cranio-caudal size.

**Limitations.** The experimental study of chronic oral exposure of heptyl on male reproductive function does not provide an assessment of other long-term effects.

**Conclusion.** Based on the complex of changes detected, the threshold dose of chronic intragastric exposure to unsymmetrical dimethylhydrazine on the reproductive function of male rats was recognized as  $4.0 \cdot 10^{-4} \text{ mg/kg}$ , and the maximum inactive dose –  $8.0 \cdot 10^{-5} \text{ mg/kg}$ . The identified features of the negative impact of unsymmetrical dimethylhydrazine were taken into account when justifying its MPC in water bodies.

**Keywords:** unsymmetrical dimethylhydrazine; oral chronic exposure; gonadotoxicity; threshold dose

**Compliance with ethical standards.** The experimental study was approved by the Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology» of the FMBA of Russia (Protocol No. 5 of December 10, 2024) and conducted in accordance with the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS No. 123), Directive of the European Parliament and of the Council of the European Union 2010/63/ EU of 22.09.2010 On the Protection of Animals Used for Scientific Purposes.

**For citation:** Maslennikov A.A., Shateeva A.V., Novikova O.N. Experimental evaluation of the chronic oral effects of unsymmetrical dimethylhydrazine on male sexual function. *Toksikologicheskii vestnik / Toxicological Review.* 2026; 34(3): 214–219. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2026-34-3-214-219> <https://elibrary.ru/ehrneu> (in Russian)

**For correspondence:** Aleksandr A. Maslennikov, e-mail: [maslennikov@rihtop.ru](mailto:maslennikov@rihtop.ru)

**Authors' contribution.** Maslennikov A.A. – study concept and design, analysis of the results, text writing; Shateeva A.V. – research planning and execution; Novikova O.N. – 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 that there are no obvious and potential conflicts of interest in connection with the publication of this article.

**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: March 3, 2026 / Revised: May 4, 2026 / Accepted: June 1, 2026 / Published: June 30, 2026

## Введение

В профилактической токсикологии проблема возможного развития отдалённых эффектов у человека при контакте с различными химическими веществами является одной из наиболее значимых [1–3]. Среди разнообразных видов отдалённых последствий ведущее место занимает нарушение репродуктивной функции, влияющее как на состояние здоровья контактирующих, так и на воспроизводимость и полноценность потомства, что влечёт за собой серьёзные социальные и экономические последствия [4]. Поскольку в производстве, хранении и применении химических веществ разной степени токсичности заняты преимущественно мужчины, при разработке мер профилактики отдалённых последствий основное внимание следует уделять изучению влияния этих соединений на мужскую половую функцию [5–9].

В то же время вопрос о рассматриваемом виде гонадотоксических свойств несимметричного диметилгидразина (компонента ракетных топлив) в условиях его длительного перорального поступления в организм практически не изучен. В связи с этим *цель работы* заключалась в экспериментальной оценке особенностей хронического внутрижелудочного воздействия несимметричного диметилгидразина (НДМГ) на мужскую репродуктивную функцию с установлением пороговой и максимальной недействующей доз.

## Материал и методы

В качестве объекта настоящего исследования использован несимметричный диметилгидразин (гептил, 1,1-диметилгидразин  $(\text{CH}_3)_2\text{N}_2\text{H}_2$ , CAS № 57-14-7) с массовой долей 99% и удельной плотностью  $d_4^{20} = 0,7914 \text{ г/см}^3$ . Данное соединение представляет собой бесцветную или слегка желтоватую жидкость с резким сильно раздражающим аммиачным запахом. Гептил хорошо растворяется в воде [10].

При выборе уровней воздействия НДМГ принимали во внимание результаты ранее выполненных исследований по установлению порога хронического общетоксического действия [11]. Основываясь на этих данных при постановке опыта тестируемое соединение ежедневно в течение шести месяцев вводили самцам крыс трёх опытных групп в следующих дозах:  $4 \cdot 10^{-4} \text{ мг/кг}$  – 1-я опытная группа;  $8 \cdot 10^{-5} \text{ мг/кг}$  – 2-я опытная группа и  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ мг/кг}$  – 3-я опытная группа

В эксперименте использовали 40 белых нелинейных самцов крыс (по 10 особей в трёх опытных и контрольной группах) и 45 самок (11–12 животных

в каждой группе). Оценку состояния генеративной функции самцов каждой группы проводили с применением комплекса общепринятых методов<sup>1,2</sup> по окончании указанного периода воздействия НДМГ.

Содержание, питание, уход за животными и их умерщвление осуществляли согласно требованиям профильного ГОСТ 33215–2014 и принципам гуманного обращения с экспериментальными грызунами<sup>3</sup>.

В ходе эксперимента самцов еженедельно взвешивали для учёта прироста массы тела и соответствующей корректировки вводимых объёмов растворов ксенобиотика. Водные растворы токсиканта готовили ежедневно непосредственно перед введением подопытным особям в желудок при помощи зонда из расчёта 1 мл на 100 г массы тела. Особи контрольной группы получали равные объёмы дистиллированной воды.

Схема обследования животных сводилась к следующему. За пять дней до окончания периода поступления токсиканта с целью определения способности к спариванию (интегральная характеристика половой активности) и полноценному оплодотворению самцов всех групп индивидуально подсаживали к интактным самкам, находившимся в фазе эструса, в соотношении 1 : 2. О результатах спаривания судили по наличию сперматозоидов в вагинальных мазках самок. Замену самок проводили ежедневно до полной комплектации необходимых статистических групп. На 21-й день установленного срока беременности самок умерщвляли дислокацией шейных позвонков, вскрывали брюшину, извлекали плоды для дальнейшего исследования.

Микроанатомическое исследование плодов по модифицированным методикам Даусона и Вильсона проводили для диагностики аномалий развития внутренних органов и костной системы (наличие тератогенного эффекта<sup>4</sup> [12, 13].

<sup>1</sup> Методы экспериментального исследования по установлению порогов действия промышленных ядов на генеративную функцию с целью гигиенического нормирования: метод. рекомендации. М-во здравоохранения СССР, Гл. сан.-эпидемиол. упр. [Сост. д. м. н., проф. И.В. Санюцкий, к.м.н. В.Н. Фоменко, к. т. н. Л.С. Сальникова и др.]. Москва: МЗ СССР, 1978. 35 с.

<sup>2</sup> Методические указания по изучению гонадотоксического действия химических веществ при гигиеническом нормировании в воде водоемов : утв. и введ. в действие 5 ноября 1981 г. начальником санитарно-эпидемиологического управления Минздрава СССР В.Е. Ковшило. Под ред. Г.Н. Красовского. М. : МЗ СССР, 1981. 23 с.

<sup>3</sup> ГОСТ 33044–2014. *Принципы надлежащей лабораторной практики*. М.: Стандартинформ, 2014.

<sup>4</sup> Методические указания по изучению эмбриотоксического действия фармакологических веществ и влияния их на репродуктивную функцию : утв. и введ. в действие 14 марта 1986 г. А.П. Дыбан, Н.М. Смольникова, А.М. Торчинский [и др.]. М. : МЗ СССР, 1986. 24

Таблица 1 / Table 1

**Результаты вскрытия беременных самок крыс, спаренных с самцами, подвергавшихся хроническому внутрижелудочному воздействию несимметричного диметилгидразина**  
**Results of autopsy of pregnant female rats mated with males exposed to chronic intragastric administration of unsymmetrical dimethylhydrazine**

Дозы НДМГ, мг/кг Substance doses, mg/kg	Индекс оплодотворения, % Fertilization index, %	Количество живых плодов на 1 самку Number of live rats per 1 female	Масса плода, г The weight of the fetus, g	Длина плода, мм Fetal length, mm
$4.0 \cdot 10^{-4}$	81.25	$11.62 \pm 1.10$	$4.25 \pm 0.08$	$37.57 \pm 0.30^*$
$8.0 \cdot 10^{-5}$	82.35	$10.29 \pm 0.98$	$4.19 \pm 0.08$	$37.89 \pm 0.41$
$1.5 \cdot 10^{-5}$	81.25	$12.08 \pm 0.89$	$4.23 \pm 0.12$	$38.05 \pm 0.40$
Контроль / Control	88.24	$11.40 \pm 0.53$	$4.34 \pm 0.08$	$38.50 \pm 0.26$

*Примечание.* Здесь и в табл. 2: \* – статистически значимые различия при  $p \leq 0.05$ , находящиеся в пределах ( $M \pm 2\sigma$ ) показателей контрольной группы животных.

*Note.* Here and in Table 2: \* – indicates statistically significant differences at  $p \leq 0.05$  and within the limits ( $M \pm 2\sigma$ ) of the control group of animals.

Самцов по завершении периода спаривания подвергали эвтаназии методом декапитации, извлекали семенники с хвостовой частью придатков для последующего анализа функционального состояния сперматозоидов (осмотическая и кислотная резистентность, время подвижности, количество активных форм и общее количество гамет) и морфоструктур их гонад (наличие атрофий и слушиваний сперматогенного эпителия, индекс сперматогенеза, количество сперматогоний и канальцев с 12-й стадией мейоза)<sup>2</sup>.

Полученные результаты экспериментов в зависимости от вида эмпирического распределения анализируемых показателей обрабатывали с применением параметрических и непараметрических статистических методов. Для обработки градуированных признаков с непрерывным распределением применяли пакет Primer of Biostatistics 7.0 с использованием *t*-критерия Стьюдента (различия считали достоверными при  $p \leq 0,05$ ). Анализ показателей, имеющих дискретное распределение и оцениваемых в альтернативной форме (индексы оплодотворения, частота аномалий развития), проводили с помощью критерия *j* углового преобразования Фишера [14].

## Результаты

Установлено, что все самцы как опытных, так и контрольной групп проявили способность к спариванию с интактными самками. Кроме того, проходившее во всех группах практически в равные сроки формирование групп условно оплодотворённых животных свидетельствует об отсутствии нарушений со стороны половой активности подопытных крыс. Не отмечено статистически значимых межгрупповых различий при расчёте индексов оплодотворения. Последующая оценка средней

численности плодов, приходящихся на одну самку, их массы не выявила видимых отличий оцениваемых показателей от аналогичных значений в контроле. Однако при определении длины плодов в первой опытной группе зарегистрировано достоверное снижение данного показателя (табл. 1).

Дальнейшее исследование плодного материала на наличие тератогенного эффекта, проведённое по методу Вильсона, позволило установить, что и в опытных, и в контрольной группах присутствовали немногочисленные отклонения в развитии отдельных плодов. Тем не менее статистически значимых межгрупповых отличий не зафиксировано, что характеризует выявленные сдвиги как спонтанные. Кроме того, макроскопическое исследование просветлённых плодов по методу Даусона не выявило нарушений процессов остеогенеза. Анализ спермограммы подопытных животных позволил установить, что хроническое воздействие НДМГ не оказывало токсического влияния на функциональную активность зрелых гамет. Об этом свидетельствуют достаточно ровные показатели осмотической и кислотной резистентности половых клеток в группах (табл. 2).

Также при определении численности подвижных форм сперматозоидов, времени активной подвижности, общего их количества у подопытных крыс не обнаружено существенных отклонений значений указанных показателей от контроля. Визуальная оценка состояния семенников подопытных особей показала отсутствие каких-либо изменений. Последующий расчёт относительной массы не выявил значимых межгрупповых различий данного показателя (см. табл. 2).

Изучение сперматогенеза крыс всех групп не выявило массовых атрофий и слушивания семяродного эпителия в семенных канальцах. Тем

Таблица 2 / Table 2

**Характеристика спермограммы и сперматогенеза крыс после хронического внутрижелудочного воздействия несимметричного диметилгидразина**

**Characteristics of the spermogram and spermatogenesis in rats after chronic intragastric exposure to unsymmetrical dimethylhydrazine**

Показатель Indicators	Дозы НДМГ, мг/кг   Substance doses, mg/kg			Контроль Control
	$4.0 \cdot 10^{-4}$	$8.0 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-5}$	
Относительная масса семенников, г/кг массы тела Relative testicular mass, g/kg of body weight	8.44 ± 0.19	8.68 ± 0.18	8.40 ± 0.19	8.34 ± 0.20
Время подвижности гамет, мин Gamete mobility time, min.	118.7 ± 14.0	127.6 ± 12.7	144.5 ± 4.6	121.3 ± 15.2
Осмотическая резистентность гамет, % NaCl Osmotic resistance of gametes, % NaCl	4.20 ± 0.07	4.18 ± 0.05	4.20 ± 0.07	4.20 ± 0.07
Подвижные формы сперматозоидов, % Motile forms of sperm cells, %	60.00 ± 4.41	58.00 ± 5.54	53.00 ± 5.59	51.00 ± 4.82
Кислотная резистентность гамет, pH Acid resistance of gametes, pH	6.52 ± 0.04	6.50 ± 0.04	6.57 ± 0.04	6.57 ± 0.04
Количество гамет в 50 мг ткани придатка, млн Number of gametes in 50 mg of accessory tissue, million	9.48 ± 1.14	7.94 ± 0.50	8.87 ± 0.82	7.88 ± 1.07
Индекс сперматогенеза, усл. ед. Spermatogenesis index, cond. units.	3.52 ± 0.02*	3.55 ± 0.02	3.57 ± 0.02	3.61 ± 0.02
Среднее количество сперматогоний в 20 канальцах, усл. ед. Average number of spermatogonia in 20 tubules, cond. units	53.86 ± 0.21*	54.29 ± 0.52	54.97 ± 0.38	54.88 ± 0.39
Канальцы с 12-й стадией мейоза, % Tubules with the 12th stage of meiosis, %	1.13 ± 0.13	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.19

не менее при подсчёте количества сперматогоний у самцов, получавших соединение в наивысшей дозе, зафиксировано статистически значимое уменьшение сперматогоний по сравнению с контролем. Кроме того, у особей данной группы выявлено достоверное снижение индекса сперматогенеза (см. табл. 2).

## Обсуждение

Обобщённая оценка полученных данных показала, что шестимесячное пероральное поступление НДМГ в дозах  $4,0 \cdot 10^{-4}$ ;  $8,0 \cdot 10^{-5}$  и  $1,5 \cdot 10^{-5}$  мг/кг не снижало способности самцов к спариванию и оплодотворению, не влияло на показатели спермограммы и не обнаруживало у потомства тератогенного эффекта.

В то же время длительное воздействие соединения в максимальной дозе способствовало существенному снижению количества сперматогоний в семенниках подопытных крыс и достоверному уменьшению числа слоёв сперматогенного эпителия. Также у потомства самцов данной группы выявлено проявление эмбриотоксичности, реализованное в значимом снижении их краниокаудального размера.

Анализ возможных причин установленных нарушений позволяет рассматривать в качестве наиболее очевидной ранее обнаруженную способность НДМГ преодолевать гематотестическую

барьер и проникать в эпителиальные канальцы гонад лабораторных животных [15, 16]. При этом следует отметить, что тестируемое соединение оказывало как прямое токсическое воздействие на развивающиеся половые клетки, сопровождавшееся последующим изменением числа слоёв сперматогенного эпителия, так и опосредованное негативное влияние на генетический аппарат гамет, что реализовалось в присущей данному соединению особенности нарушать нормальное развитие потомства, находящегося на антенатальной стадии развития [17, 18].

**Ограничения исследования.** Экспериментальное исследование хронического перорального воздействия гептила на мужскую репродуктивную функцию не предусматривает оценки других отдалённых последствий.

## Заключение

На основании комплекса обнаруженных изменений пороговой дозой хронического внутрижелудочного воздействия несимметричного диметилгидразина на репродуктивную функцию самцов крыс признана величина, равная  $4,0 \cdot 10^{-4}$  мг/кг, а максимальной недействующей —  $8,0 \cdot 10^{-5}$  мг/кг.

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

## ЛИТЕРАТУРА

(п.п. 2, 3, 6–8, 13, 15, 17, 18 см References)

1. Фесенко М.А. Изучение отдалённых эффектов промышленных веществ токсикологами школы И.В. Санюцкого. *Медицина труда и промышленная экология*. 2022; 62(11): 711–7. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-11-711-717> <https://elibrary.ru/symqfh>
4. Воробьева А.А., Устинова О.Ю., Власова Е.М., Лешкова И.В., Горбушина О.Ю. Роль вредных производственных факторов в развитии репродуктивных нарушений у работников предприятий химической промышленности. *Профилактическая медицина*. 2021; 24(10): 99–105. <https://doi.org/10.17116/profmed20212410199> <https://elibrary.ru/qclhzh>
5. Фесенко М.А., Голованова Г.В., Мителева Т.Ю. Репродуктивные нарушения у работников-мужчин при действии химического производственного фактора. *Медицина труда и промышленная экология*. 2024; 64(8): 531–41. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-8-531-541> <https://elibrary.ru/jtvgmz>
9. Филатов Б.Н., Масленников А.А. Избирательная гонадотоксичность зомана. *Токсикологический вестник*. 2004; 12(5): 23–8.
10. Уйба В.В., Котенко К.В., Кушнева В.С., ред. *Вредные химические вещества в ракетно-космической отрасли: Справочник*. М.; 2011.
11. Масленников А.А., Ходыкина Н.В., Гришина М.А., Великородная Ю.И., Филатов Б.Н., Антонов В.А. Экспериментальная оценка опасности хронического перорального воздействия несимметричного диметилгидразина. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(2): 231–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-2-231-236> <https://elibrary.ru/ohxjgg>
12. Дыбан А.П., Баранов В.С., Акимова И.М. Основные методические подходы к тестированию тератогенной активности химических веществ. *Архив анатомии, гистологии и эмбриологии*. 1970; 59(10): 89–100.
14. Гланц С. *Медико-биологическая статистика*. Пер. с англ. М.: Практика; 1998.
16. Ловинская А.В., Колумбаева С.Ж., Абилов С.К., Коломиец О.Л. Иммуноцитохимический анализ нарушений структуры синаптонемных комплексов в ядрах сперматоцитов мыши при воздействии компонента ракетного топлива. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(3): 293–6. <https://elibrary.ru/vtnphj>

## REFERENCES

1. Fesenko M.A. The study of the long-term effects of industrial substances by toxicologists of the I.V. Sanotsky school. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2022; 62(11): 711–7. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-11-711-717> <https://elibrary.ru/symqfh> (in Russian)
2. Fauser B.C.J.M., Adamson G.D., Boivin Ja., Chambers G.M., de Geyter Ch., Dyer S., et al. Declining global fertility rates and the implications for family planning and family building: an IFFS consensus document based on a narrative review of the literature. *Hum. Reprod. Update*. 2024; 30(2): 153–73. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmad028> <https://elibrary.ru/asvfbp>
3. WHO. World health statistics 2023: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals; 2023. Available at: <https://who.int/publications/i/item/9789240074323?ysclid=mn32tz9jq8800935193>
4. Vorobyeva A.A., Ustinova O.Yu., Vlasova E.M., Leshkova I.V., Gorbushina O.Yu. The role of occupational hazards in the development of reproductive disorders in chemical industry workers. *Profylakticheskaya meditsina*. 2021; 24(10): 99–105. <https://doi.org/10.17116/profmed20212410199> <https://elibrary.ru/qclhzh> (in Russian)
5. Fesenko M.A., Golovanova G.V., Miteleva T.Yu. Reproductive disorders in male workers under the influence of a chemical production factor. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2024; 64(8): 531–41. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-8-531-541> <https://elibrary.ru/jtvgmz> (in Russian)
6. Mahboob S.Z., Jahan S., Badshah H., Virk R., David M., Bano R., et al. Reproductive toxicity in male rats induced by chronic arsenic exposure involves hormonal and structural changes. *Sci. Rep.* 2025; 15(1): 29037. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-14929-6> <https://elibrary.ru/qcpolq>
7. Sciorio R., Greco P.F., Greco E., Tramontano L., Elshaer F.M., Fleming S. Potential effects of environmental toxicants on sperm quality and potential risk for fertility in humans. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2025; 16: 1545593. <https://doi.org/10.3389/fendo.2025.1545593> <https://elibrary.ru/wjpsoa>
8. Eisenberg M.L., Esteves S.C., Lamb D.J., Hotaling J.M., Giwercman A., Hwang K., et al. Male infertility. *Nat. Rev. Dis. Primers*. 2023; 9(1): 49. <https://doi.org/10.1038/s41572-023-00459-w> <https://elibrary.ru/pwstst>
9. Filatov B.N., Maslennikov A.A. Selective gonadotoxicity of zoman. *Toksikologicheskii vestnik*. 2004; 12(5): 23–8. (in Russian)
10. Uiba V.V., Kotenko K.V., Kushneva V.S., eds. *Harmful Chemicals in the Rocket and Space Industry [Vrednye khimicheskie veshchestva v raketno-kosmicheskoi otstasli: Spravochnik]*. Moscow; 2011. (in Russian)
11. Maslennikov A.A., Khodykina N.V., Grishina M.A., Velikorodnaya Yu.I., Filatov B.N., Antonov V.A. Experimental risk assessment of chronic oral exposure to unsymmetrical dimethylhydrazine. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(2): 231–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-2-231-236> <https://elibrary.ru/ohxjgg> (in Russian)
12. Dyban A.P., Baranov V.S., Akimova I.M. Basic methodological approaches to testing the teratogenic activity of chemicals. *Arkhiv anatomii, gistologii i embriologii*. 1970; 59(10): 89–100. (in Russian)
13. Dawson A.B. A note on the staining of the skeleton of cleared specimens with alizarin red S. *Stain Technol.* 1926; 1(4): 123–4. <https://doi.org/10.3109/10520292609115636>
14. Glantz S.A. *Primer of Biostatistics [Medikobiologicheskaya statistika]*. Moscow: Praktika; 1998
15. Hu C., Zhang Y., Zhou Y., Liu Z.F., Feng X.S. Unsymmetrical dimethylhydrazine and related compounds in the environment: Recent updates on pretreatment, analysis, and removal techniques. *J. Hazard. Mater.* 2022; 432: 128708. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128708> <https://elibrary.ru/ffzyzt>
16. Lovinskaya A.V., Kolumbayeva S.Zh., Abilev S.K., Kolomiets O.L. Immunocytochemical analysis of the disturbances in the structure of synaptonemal complexes in spermatocyte nuclei in mice under exposure to rocket fuel component. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(3): 293–6. <https://elibrary.ru/vtnphj> (in Russian)
17. Du J., Ren X., Zeng Y., Zhang L., Shi J., Yang S. Comprehensive analysis of unsymmetrical dimethylhydrazine: adsorption behavior, environmental fate, and toxicity across contrasting soil matrices. *Toxics*. 2025; 13(10): 859. <https://doi.org/10.3390/toxics13100859> <https://elibrary.ru/joxxhm>
18. Suvorova M., Sailaubekova P., Biyasheva Z., Zharkova I., Abdullaeva B. Unsymmetrical dimethylhydrazine (UDMH) exposure to zebrafish embryos causes lethal and severe teratogenic effects. *BIO Web Conf.* 2024; 100: 04037. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410004037> <https://elibrary.ru/fhrzsy>

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Масленников Александр Александрович** – доктор биологических наук, заведующий лабораторией экологической токсикологии ФГУП «НИИ ГТП» ФМБА России, 400048, Волгоград, Россия. E-mail: [maslennikov@rihtop.ru](mailto:maslennikov@rihtop.ru)

**Шатеева Анфиса Владимировна** – аспирант кафедры биологии и биоинженерии института естественных наук ФГАУ ВО «Волгоградский государственный университет», 400062, Волгоград, Россия. E-mail: [maslennikov@rihtop.ru](mailto:maslennikov@rihtop.ru)

**Новикова Ольга Николаевна** – кандидат медицинских наук, заместитель директора по научной работе ФГУП «НИИ ГТП» ФМБА России, 400048, Волгоград, Россия. E-mail: [novikova@rihtop.ru](mailto:novikova@rihtop.ru)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Alexander A. Maslennikov**, Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Environmental Toxicology, Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology of the FMBA of Russia, Volgograd, 400048, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5121-5616> E-mail: [maslennikov@rihtop.ru](mailto:maslennikov@rihtop.ru)

**Anfisa V. Shateeva** – Postgraduate student at the Department of Biology and Bioengineering at the Institute of Natural Sciences, Volgograd State University, Volgograd, 400048, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0002-9684-3207> E-mail: [maslennikov@rihtop.ru](mailto:maslennikov@rihtop.ru)

**Olga N. Novikova** – Candidate of Medical Sciences, Deputy Director for Scientific Work, Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology of the FMBA of Russia, Volgograd, 400048, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9753-1881> E-mail: [novikova@rihtop.ru](mailto:novikova@rihtop.ru)