

Масленников А.А.<sup>1</sup>, Демидова С.А.<sup>1</sup>, Святкина М.Д.<sup>1</sup>, Новикова О.Н.<sup>1</sup>, Ерунова Н.В.<sup>2</sup>, Кучерской С.А.<sup>2</sup>, Земляной А.В.<sup>2</sup>

## Характеристика негативных проявлений нафтила при его содержании в воде водоёмов

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

<sup>2</sup>ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» Федерального медико-биологического агентства, 1888663, Ленинградская обл., Российская Федерация

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** В процессе производства, хранения и применения нового экологичного углеводородного горючего – нафтила, предназначенного для использования в семействе ракет-носителей «Союз» и «Ангара», не исключено его попадание в воду водоёмов, что предопределяет обязательную оценку опасности однократного загрязнения данного объекта окружающей среды.

**Материал и методы.** В качестве объекта исследований использован образец ракетного топлива – нафтил (РГ-1), номер CAS 94114-58-6, с удельной плотностью  $d_4^{20} = 830,0$  кг/м<sup>3</sup>. Брутто-формула нафтила – C<sub>12,79</sub>H<sub>24,52</sub>. Это бесцветная (или слегка желтоватая) маслянистая жидкость с характерным запахом нефтепродуктов. В воде практически не растворим.

**Результаты.** Установлено, что содержание экотоксиканта в воде в концентрации 10,0 мг/л приводило к изменению её прозрачности, появлению цветности и запаха нефтепродуктов. Указанная концентрация нафтила определена в качестве пороговой по органолептическому признаку вредности. В процессе изучения влияния токсиканта на общий санитарный режим водоёмов, в отсутствии изменений показателей биохимического потребления кислорода, выявлено его негативное воздействие на процессы нитрификации и сапрофитную микрофлору. Пороговая концентрация вещества по общесанитарному показателю вредности составляет 5,0 мг/л. При однократном внутрижелудочном введении самцам крыс тестируемый ксенобиотик вызывал достоверное повышение частоты сердечных сокращений и изменение ряда гематологических показателей. Порог однократного общетоксического действия нафтила соответствует 20,0 г/кг.

**Ограничения исследования.** Выявленные особенности поведения нафтила 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 опытов свидетельствуют о том, что однократное попадание нафтила в воду представляет определённую эколого-токсикологическую опасность, зарегистрированную по трём базовым признакам вредности, что учтено при обосновании его предельно допустимой концентрации в воде водоёмов.

**Ключевые слова:** вода; нафтил; органолептический и санитарный режим водоёмов; порог острого общетоксического действия

**Соблюдение этических стандартов.** Исследования выполнены в соответствии с требованиями надлежущей лабораторной практики.

**Для цитирования:** Масленников А.А., Демидова С.А., Святкина М.Д., Новикова О.Н., Ерунова Н.В., Кучерской С.А., Земляной А.В. Характеристика негативных проявлений нафтила при его содержании в воде водоёмов. *Токсикологический вестник*. 2024; 32(3): 179–186. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2024-32-3-179-186>

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

**Участие авторов:** Масленников А.А. – концепция и дизайн исследования, анализ результатов, написание текста; Демидова С.А. – планирование и выполнение исследований; Святкина М.Д. – статистическая обработка данных; Новикова О.Н., Ерунова Н.В., Кучерской С.А., Земляной А.В. – 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 «Экспериментальные исследования по обоснованию предельно допустимых концентраций (ПДК) нафтила в воздухе рабочей зоны, в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, в почве населённых мест и сельскохозяйственных угодий».

Aleksandr A. Maslennikov<sup>1</sup>, Svetlana A. Demidova<sup>1</sup>, Marina D. Svyatkina<sup>1</sup>, Olga N. Novikova<sup>1</sup>,  
Nataliya V. Erunova<sup>2</sup>, Semen A. Kucherskoy<sup>2</sup>, Aleksandr V. Zemlyanov<sup>2</sup>

# Characteristics of negative manifestations of naphthyl when contained in the water of reservoirs

<sup>1</sup>Federal State Unitary Enterprise «Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology» at Federal Medical and Biological Agency, 400048, Volgograd, Russian Federation;

<sup>2</sup>Federal State Unitary Enterprise «Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology» at Federal Medical and Biological Agency, 1888663, Leningrad region, Russian Federation

## ABSTRACT

**Introduction.** In the process of production, storage and application of a new environmentally friendly hydrocarbon fuel – naphthyl, intended for use in the Soyuz and Angara family of launch vehicles, its ingress into the water of reservoirs is not excluded, which determines the mandatory assessment of the danger of its single contamination of this environmental object.

**Material and methods.** A sample of naphthyl rocket fuel (RG–1), CAS number 94114–58–6, with a specific density of  $d_4^{20} = 830.0 \text{ kg/m}^3$  was used as an object of research. The brutta formula of naphthyl is  $C_{12,79}H_{24,52}$ . It is a colorless (or slightly yellowish) oily liquid with a characteristic odor of petroleum products. It is practically insoluble in water.

**Results.** It was found that the ecotoxicant content in water in concentration 10.0 mg/L led to a change in its transparency, the appearance of color and odor of petroleum products. The indicated naphthyl concentration is determined as a threshold for organoleptic harmfulness. During the study of the effect of the toxicant on the general sanitary regime of reservoirs, in the absence of changes in the indicators of biochemical oxygen consumption, its negative effect on nitrification processes and saprophytic microflora was revealed. The threshold concentration of the substance according to the general sanitary indicator of harmfulness is 5.0 mg/L. With a single intragastric injection to male rats, the tested xenobiotic caused a significant increase in heart rate and a change in a number of hematological parameters. The threshold for a single general toxic effect of naphthyl is 20.0 g/kg.

**Limitations.** The identified features of naphthyl 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 standard of the compound in the water of water bodies.

**Conclusion.** The results of the experiments indicate that a single ingress of naphthyl into the water represents an ecological and toxicological hazard, registered according to three basic signs of harmfulness, which are taken into account when justifying its maximum permissible concentration in the water of reservoirs.

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

**Compliance with ethical standards.** The studies were performed in accordance with the requirements of proper laboratory practice.

**For citation:** Maslennikov A.A., Demidova S.A., Svyatkina M.D., Novikova O.N., Erunova N.V., Kucherskoy S.A., Zemlyanov A.V. Characteristics of negative manifestations of naphthyl when contained in the water of reservoirs. *Toksikologicheskiy vestnik / Toxicological Review*. 2024; 32(3): 179–186. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2024-32-3-179-186> (In Russian)

**For correspondence:** Aleksandr A. Maslennikov, Doctor of Biological Sciences, Head of Ecological Toxicology Laboratory at Federal State Unitary Enterprise «Research Institute for Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology» at Federal Medical and Biological Agency of Russia, 400048, Volgograd, Russian Federation. E-mail: maslennikov@rihtop.ru

**Authors contribution:** Maslennikov A.A. – research concept and design, analysis of results, writing text; Demidova S.A. – planning and execution of research; Svyatkina M.D. – statistical data processing; Novikova O.N., Erunova N.V., Kucherskoy S.A., Zemlyanov A.V. – 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.

**Acknowledgment.** The study was conducted within the framework of the State Contract on the topic “Experimental studies on the justification of the maximum allowable concentrations (MAC) of naphthyl in the air of the working area, in the water of water bodies of economic and drinking and cultural and household water use, in the soil of populated areas and agricultural lands”.

Received: January 19, 2024 / Accepted: May 5, 2024 / Published: June 28, 2024

## Введение

В процессе производства, хранения и применения нового экологичного углеводородного горючего – нафтила, предназначенного для использования в семействе ракет-носителей «Союз» (проект «Русь») и «Ангара», не исключено его попадание в основные объекты окружающей среды, что представляет потенциальную угрозу здоровью контактирующих. Данное обстоятельство предполагает наличие соответствующих обоснованных гигиенических нормативов рассматриваемого ракетного топлива.

Для нафтила отсутствует гигиенический регламент его содержания в воде водоемов. Кроме того, весьма ограничены доступные сведения о токсических свойствах оцениваемого вещества.

В ходе обоснования предельно допустимой концентрации рассматриваемого соединения обязательной является экспериментальная оценка опасности однократного загрязнения воды водных объектов (в случае аварийной ситуации), что и является целью настоящих исследований.

## Материал и методы

В качестве объекта исследований использован образец ракетного топлива – нафтил (углеводородное ракетное топливо, РГ-1), номер CAS 94114-58-6, с удельной плотностью  $d_4^{20} = 830,0 \text{ кг/м}^3$  [1–3]. Брутто-формула нафтила –  $C_{12,79}H_{24,52}$ . Соединение получают из продуктов переработки нефти по ТУ 38.0012.44–81 [2]. Это бесцветная (или слегка желтоватая) маслянистая жидкость с характерным запахом нефтепродуктов. По физико-химическому составу соединение представляет собой сложную смесь углеводородов, % (об.): нафтены – 85,0–88,0; изопарафины – 12,0–10,0; моноциклические ароматические – 2,5–3,0 [1, 4]. Растворимость соединения в воде при температуре 20,0 °C составляет 0,0041%. Температура самовоспламенения 220 °C. Взрывоопасная концентрация паров нафтила в смеси с воздухом составляет 1–6% [1].

Оценку влияния соединения на органолептические свойства и общесанитарный режим воды выполняли в соответствии с требованиями действующих методических указаний МУ 2.1.5.720–98, ГОСТ Р 57164–2016<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> МУ 2.1.5.720 – 98. Обоснование гигиенических нормативов химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Москва: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 1999.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 57164–2016. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности. Разработан Техническим комитетом по стандартизации ТК 343 «Качество воды» и ЗАО «Центр исследования и контроля воды». Доступно: [https://allgosts.ru/13/060/gost\\_r\\_57164-2016](https://allgosts.ru/13/060/gost_r_57164-2016)

ГОСТ 31868–2012<sup>3</sup>, ПНД Ф 14.1:2:4.123–97<sup>4</sup> и положениями соответствующих монографий [5–10]. Характеристику качества воды проводили по следующим показателям: прозрачность, цветность, запах и наличие пены (пенообразование)<sup>1</sup>.

В ходе анализа воды на прозрачность визуально различали шрифт на белом фоне через высоту водяного столба тестируемых проб на уровне 20 см и более, а менее – принимали за достоверное отклонение от контроля<sup>1</sup> [7, 8, 10]. Установление предельного значения цветности воды выражали в градусах по графику. Достоверной принята величина, превышающая 20 градусов<sup>1</sup>. При характеристике пенности использовали метод цилиндров. За пороговую принимали концентрацию, при которой отсутствовала стабильная крупнопузырчатая пена, а высота мелкопузырчатой у стенок цилиндра не превышала 1,0 мм<sup>1</sup> [7, 8, 10]. Для определения запаха воды применяли стандартный балльный метод. Критериально значимым допускается запах в 2 балла<sup>1</sup>.

Воздействие нафтила на общесанитарные характеристики воды оценивали по состоянию основных процессов её самоочищения: биохимическое потребление кислорода – БПК<sub>5</sub> (I фаза минерализации соединения)<sup>1</sup>; развитие и отмирание сапрофитной микрофлоры<sup>1</sup> [5, 6, 9]; динамика процессов нитрификации азотсодержащих органических соединений – II фаза минерализации соединений<sup>1,5,6,7</sup> [7, 8, 10].

В ходе определения БПК<sub>5</sub> содержание растворённого кислорода в пробах осуществляли распространённым методом йодометрического титрования по Винклеру<sup>1</sup> [7, 8, 10]. Тестирование водных образцов выполняли в трех независимых сериях опытов в следующие сроки: в день загрязнения – 0–е сутки; на 1-е, 3-и и 5-е сутки<sup>1</sup>.

<sup>3</sup> ГОСТ 31868–2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Методы определения цветности. Москва: Стандартинформ, 2014.

<sup>4</sup> ПНД Ф 14.1:2:4.123–97. КХА вод. МВИ биохимической потребности в кислороде после n-дней инкубации (БПКполн.) в поверхностных пресных, подземных (грунтовых), питьевых, сточных и очищенных сточных водах. Москва: ФНМЦ центр анализа и мониторинга окр. среды МПР России, 1997.

<sup>5</sup> ПНД Ф 14.1:2:3.1–95. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом. Москва: Государственный комитет РФ по охране окружающей среды, 2017.

<sup>6</sup> ПНД Ф 14.1:2.4.4–95. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитрат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой. Москва: Государственный комитет РФ по охране окружающей среды, 2011.

<sup>7</sup> ПНД Ф 14.1:2:4.3–95. Методика измерений массовой концентрации нитрит-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса. Москва: Государственный комитет РФ по охране окружающей среды, 2011.

Характеристику влияния нафта на процессы нитрификации в воде проводили по комплексу основных показателей: азот аммонийный, азот нитритов, азот нитратов. Пробы анализировали через 1 ч после внесения вещества в воду (0–е сутки) и далее на 1-е, 3-и, 7-е, 10-е, 14-е, 17-е, 21-е, 23-и, 27-е, 30-е и 33-и сутки<sup>1</sup>.

Жизнеспособность сапрофитной микрофлоры оценивали в 14-суточном эксперименте (на 0-е, 1-е, 2-е, 3-и, 7-е, 9-е, 10-е и 14-е сутки)<sup>1</sup> [5, 6, 9].

Достоверными принимали отклонения показателей в опыте, выходящие за пределы отличий соответствующих контрольных значений: 15% – угнетение; 20% – стимуляция<sup>1</sup>.

Для установления порога острого общетоксического действия соединения в качестве биомодели использовали 24 белых беспородных крыс-самцов с массой тела 200–240 г<sup>1</sup>. Статистическая группа составляла 8 особей. Опыты проведены с учетом принципов гуманного обращения с экспериментальными грызунами<sup>8</sup>.

Тестируемое вещество вводили в желудок подопытным животным при помощи зонда. Самцы контрольной группы получали адекватные объемы дистиллированной воды.

Общезорбтивное действие нафта оценивали 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, Асом Inc., КНР), 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»<sup>9</sup>. В периферической крови крыс-самцов на автоматическом гематологическом анализаторе PCE-210 (ERMA, Япония) регистрировали количество эритроцитов, лейкоцитов, лимфоцитов, гранулоцитов, моноцитов, тромбоцитов, а также содержание гемоглобина и гематокрита.

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

<sup>8</sup> ГОСТ 33044–2014. Принципы надлежащей лабораторной практики. М.: Стандартинформ, 2014.

<sup>9</sup> МР № 2166–80. Методические рекомендации по использованию поведенческих реакций животных в токсикологических исследованиях для целей гигиенического нормирования. Киев, 1980.

## Результаты

Нафтил не способствовал образованию пены. Однако в концентрациях 50,0 и 10,0 мг/л тестируемый химический агент изменял прозрачность воды, поверхность которой была покрыта маслянистой мутной пленкой (табл. 1). Кроме того, при определении цветности топливо РГ-1 вследствие образования на поверхности проб маслянистой пленки, ухудшающей проникновение световых потоков, способствовало увеличению показаний спектрофотометра относительно контроля (вода дистиллированная) (табл. 2).

Помимо указанного, вода, содержащая вещество в концентрациях 50 и 10 мг/л (при 20–25 °С и 60 °С), приобретала неприятный резкий запах нефтепродуктов (от 3 до 5 баллов, табл. 3).

При снижении уровней токсиканта до 2,0 мг/л достоверных отличий от контроля по всем показателям не выявлено (см. табл. 1–3).

Следовательно, пороговый уровень нафта по органолептическому показателю – признаку

Таблица 1 / Table 1

**Оценка прозрачности воды**  
Assessment of the intensity of water transparency

Концентрация вещества в воде, мг/л	Описание прозрачности воды	Высота водяного столба, h, см
Контроль	Прозрачная	20,0 и более
50,0	Мутная, на поверхности маслянистая пленка	10,0 и менее
10,0	Мутная, на поверхности маслянистая пленка	15,0 и менее
2,0	Прозрачная	20,0 и более

Таблица 2 / Table 2

**Оценка цветности воды, содержащей нафтил**  
Assessment of the chromaticity quality of water containing naphthyl

Концентрация вещества в воде, мг/л	Описание цветности воды	Показатель цветности, °
Контроль	Цветность отсутствует	10,7
50,0	На поверхности водяного столба маслянистая пленка, ухудшающая проникновение световых потоков	29,0
10,0	На поверхности водяного столба маслянистая пленка, ухудшающая проникновение световых потоков	25,0
2,0	Цветность отсутствует	17,0

Таблица 3 / Table 3

**Характеристика интенсивности запаха воды, содержащей нафтил**  
**Characteristic of the intensity of the smell of water containing naphthyl**

Температура воды, °С	Концентрация вещества в воде, мг/л	Оценка интенсивности, баллы [5]	Интенсивность проявления [5]
20–25 (комнатная)	Контроль	0	Не ощущается
	50,0	5	Резкий запах нефтепродуктов, что делает воду непригодной для употребления
	10,0	3	Легко ощущается и вызывает неодобрительный отзыв о воде
	2,0	1	Не ощущается обычным потребителем, но ощутим при лабораторном исследовании
60	Контроль	0	Не ощущается
	50,0	5	Резкий запах нефтепродуктов, что делает воду непригодной для употребления
	10,0	4	Отчётливый, обращает на себя внимание и заставляет воздерживаться от питья
	2,0	2	Замечается, если обратить на это внимание

вредности соответствует значению 10 мг/л, а максимально недействующий – 2 мг/л.

В процессе оценки общего санитарного режима данной экосистемы соединение испытывали в концентрациях 10, 5 и 2 мг/л.

Результаты выполненных исследований показывают, что внесение вещества в «искусственные» водоёмы в указанных выше уровнях не оказывает негативного действия на определяемые биохимические реакции.

Таким образом, пороговый уровень нафтила по влиянию на процессы биохимического потребления кислорода не установлен, а в качестве максимально недействующей принята концентрация соединения 10 мг/л.

При изучении влияния РГ-1 на процессы нитрификации в воде принимали во внимание общеизвестное положение о том, что основу органических соединений во всех водах, включая подзем-

ные, составляют азотсодержащие вещества (нитраты  $\text{NO}_3^-$ , нитриты  $\text{NO}_2^-$  и аммонийные соли  $\text{NH}_4^+$ ). Данная группа ионов находится в тесной взаимосвязи [12–15]. На этом основании в настоящих исследованиях характеристику влияния соединения на нитрифицирующие процессы в воде проводили по комплексу показателей триады азота<sup>1,2</sup> [7, 8, 10].

Обнаружено, что экотоксикант, содержащийся в воде «искусственных» водоёмов в концентрациях 10 и 5 мг/л, способствовал достоверному снижению (от 15,25 до 30,63%) количества аммонийного азота с 27-х по 33-и сутки опыта (табл. 4).

Кроме того, в промежуточной окислительной стадии, в указанные сроки исследований, на тех же уровнях выявлено значимое увеличение содержания азота нитритов (от 20,58 до 55,05%).

Зарегистрировано также достоверное изменение (уменьшение до 26,67%) содержания азота

Таблица 4 / Table 4

**Характеристика процессов нитрификации в воде, содержащей нафтил**  
**Characteristics of nitrification processes in water containing naphthyl**

Показатель	Срок наблюдения, сутки	Концентрация соединения в воде, мг/л			
		10,0	5,0	2,0	Контроль
Азот аммонийный (по $\text{NH}_4^+$ ), мг/л	27-е	1,11 (30,63* ↓)	1,19 (25,63* ↓)	1,46 (8,75)	1,60
	30-е	0,55 (28,57* ↓)	0,61 (20,78* ↓)	0,71 (7,79)	0,77
	33-и	0,48 (18,64* ↓)	0,50 (15,25* ↓)	0,55 (6,78)	0,59
Азот нитритов (по $\text{NO}_2^-$ ), мг/л	27-е	15,05 (55,05* ↑)	14,03 (40,03* ↑)	11,02 (10,20)	10,00
	30-е	25,00 (47,06* ↑)	21,00 (23,53* ↑)	16,45 (3,24)	17,00
	33-и	27,76 (48,37* ↑)	22,56 (20,58* ↑)	19,98 (6,79)	18,71
Азот нитратов (по $\text{NO}_3^-$ ), мг/л	30-е	0,0012 (25,00* ↓)	0,0013 (18,75* ↓)	0,0014 (12,50)	0,0016
	33-и	0,0011 (26,67* ↓)	0,0012 (20,00* ↓)	0,0014 (6,67)	0,0015

Примечание. Здесь и в табл. 5: в скобках указаны отклонения величины от контроля (в %); \* – достоверные отличия, выходящие за пределы соответствующих критерияльных значений; ↑↓ – направленность эффекта.

Таблица 5 / Table 5

**Численность сапрофитной микрофлоры воды, загрязненной нафтилом (количество колоний/1 мл)**  
**The number of saprophytic microflora of water contaminated with naphthyl (number of colonies/1 mL)**

Период посева, сутки	Концентрация соединения в воде, мг/л			
	10,0	5,0	2,0	Контроль
Через 1 ч (0-е)	180,0 (28,00* ↓)	200,0 (20,00* ↓)	240,0 (4,00)	250,0
Через 3 ч (0-е)	190,0 (48,65* ↓)	250,0 (32,43* ↓)	340,0 (8,11)	370,0
1-е	210,0 (63,16* ↓)	390,0 (31,58* ↓)	510,0 (10,53)	570,0
2-е	290,0 (74,64* ↓)	570,0 (48,18* ↓)	1000,0 (9,09)	1100,0
3-и	1050,0 (58,00* ↓)	1750,0 (30,00* ↓)	2300,0 (8,00)	2500,0
7-е	930,0 (48,05* ↓)	1300,0 (27,37* ↓)	1650,0 (7,82)	1790,0
9-е	790,0 (39,23* ↓)	970,0 (25,39* ↓)	1200,0 (7,69)	1300,0
10-е	590,0 (21,33* ↓)	650,0 (13,33)	780,0 (4,00)	705,0

нитратов относительно контроля в концентрациях 10,0 и 5,0 мг/л с 27-х по 33-и сутки эксперимента (заключительная стадия нитрификации воды) (см. таблицу 4).

При этом вещество в концентрации 2,0 мг/л на протяжении всего эксперимента не вызывало достоверных изменений относительно контроля.

Исходя из изложенного, концентрация нафтила – 5 мг/л признана пороговой, а уровень 2 мг/л – максимально недействующим.

В ходе выполнения исследований состояния сапрофитной микрофлоры определено, что поступление тестируемого соединения в воду в двух максимальных концентрациях вызывало токсическое воздействие на данный вид бактерий, проявляющееся в снижении численности их колоний до 10-х суток (уровень 10,0 мг/л – до 74,64%) и до 9-х суток (концентрация 5,0 мг/л – до 48,18%) (табл. 5).

На уровне 2,0 мг/л подавления или увеличения роста клеток микроорганизмов не обнаружено.

Основываясь на изложенных данных, концентрация нафтила 5,0 мг/л признана пороговой, а уровень вещества 2,0 мг/л – максимально недействующим на сапрофитную микрофлору воды водоёмов.

При установлении порога острого общетоксического действия нафтила исходили из результатов предварительного 14-суточного острого опыта, свидетельствующих о наличии клинических признаков отравления (угнетенное состояние, взъерошенность шерсти, снижение подвижности, проявившихся наиболее выражено к концу первых суток) и отсутствии гибели самцов и самок лабораторных животных при внутрижелудочном воздействии соединения в максимально достижимой дозе – 25 г/кг (дробно в течение 6 ч). С учётом

этого в настоящем эксперименте вещество вводили самцам крыс в дозах 20,0 и 5,0 г/кг.

В ходе выполнения исследований у крыс первой опытной группы через одни сутки после поступления ксенобиотика выявлены симптомы интоксикации, проявившиеся, однако, в менее выраженной степени, в сопоставлении с вышеописанными (угнетенное состояние животных и взъерошенность шерсти). При этом у всех подопытных особей не зафиксированы достоверные относительно контрольных значений отличия массы тела, частоты дыхания и реакции на тепловое воздействие. Кроме того, анализ данных, полученных после проведения регистрации поведенческих реакций в установке «открытое поле» (определение горизонтальной, вертикальной, эмоциональной, суммарной активности, а также груминга и поискового рефлекса), позволил констатировать отсутствие существенных отклонений от соответствующих показателей в контроле.

В то же время у подопытных самцов первой группы зарегистрировано статистически значимое повышение частоты сердечных сокращений (табл. 6).

Последующая оценка состояния периферической крови позволила установить достоверное изменение ряда показателей красной и белой крови лабораторных грызунов, получавших соединение в большей дозе. В частности, у крыс данной группы выявлено статистически значимое, относительно аналогичных показателей в контроле, снижение количества лейкоцитов, лимфоцитов и тромбоцитов, а также повышение уровня гематокрита (см. табл. 6). При этом все зафиксированные отклонения не выходили за пределы бисигмальных сдвигов аналогичных значений параллельного контроля.

Таблица 6 / Table 6

**Достоверные изменения, выявленные через одни сутки после однократного воздействия соединения**  
**Significant changes detected 1 day after a single exposure to the compound**

Показатель		Доза поступления вещества, г/кг		
		20,0	5,0	Контроль
Физиологические показатели	Частота сердечных сокращений, уд. в 1 мин	535,0 ± 12,4*	472,5 ± 18,4	462,5 ± 14,8
Гематологические показатели	Лейкоциты, •10 <sup>9</sup> /л	4,65 ± 0,46*	7,10 ± 1,23	7,11 ± 0,83
	Лимфоциты, •10 <sup>9</sup> /л	2,34 ± 0,38*	4,59 ± 0,91	5,04 ± 0,54
	Гематокрит, %	44,32 ± 1,11*	41,62 ± 1,94	40,26 ± 1,03
	Тромбоциты, •10 <sup>9</sup> /л	166,7 ± 12,3*	390,1 ± 40,6	400,7 ± 50,0

Примечание. \* – статистически значимые различия при  $p \leq 0,05$ .

В противоположность отмеченному, однократное внутрижелудочное поступление вещества в организм животных на уровне 5,0 г/кг не сопровождалось значимыми отклонениями определяемых показателей.

Исходя из изложенного, доза нафтила 20,0 г/кг принята в качестве порога острого общетоксического действия.

## Обсуждение

Анализ результатов выполненных экспериментов позволил установить следующее. Однократное загрязнение воды нафтилом сопровождается негативным изменением её органолептических характеристик. Кроме того, не влияя на процессы биохимического потребления кислорода, соединение отрицательно воздействует на два других значимых показателя общесанитарного режима водоемов: процессы нитрификации и жизнеспособность сапрофитной микрофлоры. В условиях острого опыта вещество при внутрижелудочном поступлении оказывает токсическое воздействие на организм лабораторных животных.

**Ограничения исследования.** Выявленные особенности поведения нафтила необходимо учитывать при однократном загрязнении им воды водоемов (в случае аварийной ситуации). Одна-

ко полученные данные недостаточны для обоснования гигиенического норматива соединения в воде водных объектов.

## Заключение

Полученные данные свидетельствуют о том, что попадание нафтила в воду представляет определенную эколого-токсикологическую опасность, зарегистрированную по всем трём базовым признакам вредности, что учтено при обосновании его ПДК в воде водоёмов.

## Выводы

1. Нафтил изменяет прозрачность и способствует появлению цветности и запаха воды. Концентрация соединения – 10 мг/л определена как пороговая по органолептическому признаку вредности.

2. Ракетное топливо оказывает негативное влияние на процессы нитрификации и жизнеспособность сапрофитной микрофлоры воды водоёмов. Пороговая концентрация вещества по общесанитарному признаку вредности составляет 5 мг/л.

3. Порог однократного общетоксического действия ксенобиотика установлен на уровне 20 г/кг.

## ЛИТЕРАТУРА

- Яновский Л.С., ред. *Энергоёмкие горючие для авиационных и ракетных двигателей*. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.
- ТУ 38.001244-81. Нафтил. Технические условия: взамен ТУ 38 001244-75: вступил в действие с 01.01.1982. 11 с. Доступно: <https://w3w.1bm.ru/techdocs/kgs/tu/46/info/1827/>
- Проект технической документации по замене топлива Т-1 на горючее нафтил в космическом ракетном комплексе «Союз-2» на космодроме «Восточный». Книга 1. *Характеристики космического ракетного комплекса «Союз-2» при использовании в ракете-носителе «Союз-2» горючего «нафтил» 353П3371КК6*. Муниципальный район «Верхневилуйский улус (район)»: официальный сайт. Доступно: <https://mr-verhnevilyujskij.sakha.gov.ru/uploads/158/ef1504e80a7b599fd472977537b416246cc9beec.pdf>
- Нафтил. Доступно: <https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/755582-naftil/>
- Пяткин К.Д., Кривошеин Ю.С. *Микробиология*. М.: Медицина; 1980.
- Елинов Н.П., Заикина Н.А., Соколова И.П., Елинова Н.П., ред. *Руководство к лабораторным занятиям по микробиологии: Учебное пособие*. М.: Медицина; 1988.
- Лурье Ю.Ю., ред. *Унифицированные методы анализа вод*. 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. *Сборник научных трудов НИИ гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана*. М.; 1974.
- Шицкова А.П., ред. *Методы определения вредных веществ в воде водоёмов*. М.: Медицина; 1981.
- Лакин Г.Ф. *Биометрия*. М.: Высшая школа; 1990.
- Кузнецов С.И. *Микрофлора озёр и её геохимическая деятельность*. Л.: Наука; 1970.
- Москвин А.Г. *Экология водоемов России: 100 вопросов – 100 ответов*. М.: Школа-Пресс; 1999.
- Вронский В.А. *Прикладная экология: Учебное пособие*. Ростов-на-Дону: Феникс; 1996.
- Ревелль П., Ревелль Ч. *Среда нашего обитания. Кн. 2. Загрязнение воды и воздуха*. М.: Мир; 1995.

## REFERENCES

1. Yanovsky L.S., ed. *Energy-intensive fuels for aviation and rocket engines [Energoinzheneriya goryuchie dlya aviacionnykh i raketnykh dvigatelej]*. Moscow: FIZMATLIT, 2009. (in Russian)
2. TU 38.001244-81. Naphthyl. Specifications: instead of TU 38 001244-75: entered into force on 01.01.1982. 11 p. Available at: <https://w3w.1bm.ru/techdocs/kgs/tu/46/info/1827/> (accessed 1 December 2023)
3. Draft technical documentation on the replacement of T-1 fuel with naphthyl fuel in the Soyuz-2 space rocket complex at the Vostochny cosmodrome. Book 1. *Characteristics of the Soyuz-2 space rocket complex when using naphthyl 353P3371KK6 fuel in the Soyuz-2 launch vehicle [Karakteristiki kosmicheskogo raketnogo kompleksa «Soyuz-2» pri ispol'zovanii v rakete-nositele «Soyuz-2» goryuchego «naftil» 353P3371KK6]*. Book 1 // Municipal district "Verkhnevilyuysky ulus (district)": official website. Available at: <https://mr-verhnevilyujskij.sakha.gov.ru/uploads/158/ef1504e80a7b599fd472977537b416246cc9beec.pdf> (accessed 1 December 2023)
4. Naphthyl. Available at: <https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivu/755582-naftil/> (accessed 1 December 2023).
5. Pyatkin K.D., Krivoshein Yu.S. *Microbiology [Mikrobiologiya]*. Moscow: Medicine; 1980. (in Russian)
6. Elinov N.P., Zaikina N.A., Sokolova I.P., edited by Elinov N.P. *Guide for laboratory practicals on microbiology. Study guide [Rukovodstvo k laboratorny'm zanyatiyam po mikrobiologii: Uchebnoe posobie]*. Moscow: Meditsina; 1988. (in Russian)
7. General editorship of Lur'e Yu.Yu. *Unified methods of water analysis [Unificirovanny'e metody analiza vod]*. Moscow: Khimiya; 1971. (in Russian)
8. Lur'e Yu.Yu. *Analytical chemistry of industrial sewage water [Analiticheskaya khimiya promy'shlenny'x stochny'x vod]*. Moscow: Khimiya; 1984. (in Russian)
9. 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. *Collection of scientific papers of the F.F. Hygiene Research Institute. Erisman [Sbornik nauchny'x trudov NII gigieny' im. F.F. Erismana]*. Moscow: 1974. (in Russian)
10. Shitskova A.P., ed. *Methods for determining harmful substances in the water of reservoirs [Metody opredeleniya vredny'x veshhestv v vode vodoyomov]*. Moscow: Medicine; 1981. (in Russian)
11. Lakin G.F. *Biometry [Biometriya]*. Moscow: Vysshaya shkola; 1990. (in Russian)
12. Kuznetsov S.I. *Microflora of lakes and its geochemical activity [Mikroflora ozer i eyo geokhimicheskaya deyatel'nost']*. Leningrad: Nauka; 1970. (in Russian)
13. Moskvina A.G. *Ecology of reservoirs of Russia: 100 questions – 100 answers [E'kologiya vodоеzmov Rossii: 100 voprosov – 100 otvetov]*. Moscow: School-Press; 1999. (in Russian)
14. Vronsky V.A. *Applied ecology: Textbook [Prikladnaya e'kologiya: Uchebnoe posobie]*. Rostov-on-Don: Phoenix; 1996. (in Russian)
15. Revell P., Revell Ch. *Our habitat. Book 2. Water and air pollution [Kniga 2. Zagryaznenie vody i vozduxa]*. Moscow: Mir; 1995. (in Russian)

## ОБ АВТОРАХ:

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

**Демидова Светлана Александровна**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической токсикологии ФГУП «НИИ ГТП» ФМБА России. E-mail: [demidova@rihtop.ru](mailto:demidova@rihtop.ru)

**Святкина Марина Дмитриевна**, младший научный сотрудник лаборатории экологической токсикологии ФГУП «НИИ ГТП» ФМБА России. 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. E-mail: [novikova@rihtop.ru](mailto:novikova@rihtop.ru)

**Ерунова Наталья Викторовна**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории общей токсикологии и гигиенического регламентирования ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России. E-mail: [nat-erunova@mail.ru](mailto:nat-erunova@mail.ru)

**Кучерской Семен Александрович**, научный сотрудник лаборатории общей токсикологии и гигиенического регламентирования ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России, <https://orcid.org/0000-0002-7698-9535>. E-mail: [kucherskoi@gpech.ru](mailto:kucherskoi@gpech.ru)

**Земляной Александр Васильевич**, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией общей токсикологии и гигиенического регламентирования ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России. E-mail: [al-zem@yandex.ru](mailto:al-zem@yandex.ru)

## INFORMATION ABOUT AUTHORS:

**Aleksandr A. Maslennikov**, Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Head of the Laboratory of Environmental Toxicology of FSUE "RIHTOP" FMBA of Russia, 400048, Volgograd, <https://orcid.org/0000-0001-5121-5616> E-mail: [maslennikov@rihtop.ru](mailto:maslennikov@rihtop.ru)

**Svetlana A. Demidova**, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Environmental Toxicology of FSUE "RIHTOP" FMBA of Russia, <https://orcid.org/0000-0002-3429-7135> E-mail: [demidova@rihtop.ru](mailto:demidova@rihtop.ru)

**Marina D. Svyatkina**, Junior Researcher at the Laboratory of Environmental Toxicology of FSUE "RIHTOP" FMBA of Russia, <https://orcid.org/0009-0001-6852-3962> E-mail: [maslennikov@rihtop.ru](mailto:maslennikov@rihtop.ru)

**Olga N. Novikova**, Candidate of Medical Sciences, Deputy Director for Scientific Work of FSUE "RIHTOP" FMBA of Russia, <https://orcid.org/0000-0002-9753-1881> E-mail: [novikova@rihtop.ru](mailto:novikova@rihtop.ru)

**Natalya V. Erunova**, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of General Toxicology and Hygienic Regulation of FSUE "RIHOPHE" FMBA of Russia, <https://orcid.org/0009-0007-1947-1995> E-mail: [nat-erunova@mail.ru](mailto:nat-erunova@mail.ru)

**Semen A. Kucherskoy**, Researcher at the Laboratory of General Toxicology and Hygienic Regulation of FSUE "RIHOPHE" FMBA of Russia. E-mail: [kucherskoi@gpech.ru](mailto:kucherskoi@gpech.ru)

**Aleksandr V. Zemlyanov**, Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, Head of the Laboratory of General Toxicology and Hygienic Regulation of FSUE "RIHOPHE" FMBA of Russia, <https://orcid.org/0000-0001-8055-2291> E-mail: [al-zem@yandex.ru](mailto:al-zem@yandex.ru)

