

Масленников А.А., Демидова С.А., Ильченко О.И., Антонов В.А.

Эколого-токсикологическая оценка опасности загрязнения воды водоёмов γ -полиоксиметиленом

ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии» Федерального медико-биологического агентства, 400048, г. Волгоград, Российская Федерация

Введение. В процессе производства, хранения и применения представителя новых компонентов твердых ракетных топлив – γ -полиоксиметилена не исключено его попадание в воду водоемов, что предопределяет обязательную оценку опасности его однократного загрязнения данной экосистемы.

Материал и методы. В качестве объекта исследований использован γ -полиоксиметилен (γ -ПОМ, полиформальдегид, ацеталь сополимер) – смесь диметиловых эфиров полиоксиметиленгликолей – мелкодисперсный аморфный порошок белого цвета, регистрационный номер CAS 66455-31-0. Эмпирическая формула – $\text{CH}_3\text{O}(\text{CH}_2\text{O})_n\text{CH}_3$ при $n = 100\text{--}300$. В воде практически не растворим.

Результаты. Установлено, что содержание экотоксиканта в воде в концентрации 50,0 мг/л приводило к изменению её прозрачности. Указанная концентрация γ -ПОМ определена в качестве пороговой по органолептическому признаку вредности.

В ходе изучения влияния токсиканта на общий санитарный режим водоёмов, в отсутствие изменений показателей биохимического потребления кислорода, выявлено его негативное воздействие на процессы нитрификации и сапрофитную микрофлору. Пороговая концентрация вещества по общесанитарному показателю вредности составляет 3,5 мг/л.

В опытах на лабораторных животных отмечено, что однократное внутрижелудочное введение тестируемого ксенобиотика в виде взвеси в 2,5% растворе водного крахмала вызывало достоверное урежение частоты сердечных сокращений и изменение ряда гематологических показателей. Порог однократного общетоксического действия γ -ПОМ равен 90,0 мг/кг.

Ограничения исследования. Выявленные особенности поведения γ -полиоксиметилена необходимо учитывать при однократном загрязнении им воды водоемов (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 γ -полиоксиметилена в воду представляет эколого–токсикологическую опасность, зарегистрированную по всем трём базовым признакам вредности, что учтено при обосновании его предельно допустимой концентрации в воде водоемов.

Ключевые слова: вода; γ -полиоксиметилен; органолептический и санитарный режим водоёмов; порог острого общетоксического действия

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

Для цитирования: Масленников А.А., Демидова С.А., Ильченко О.И., Антонов В.А. Эколого-токсикологическая оценка опасности загрязнения воды водоёмов γ -полиоксиметиленом. *Токсикологический вестник*. 2023; 31(3): 185-191. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2023-31-3-185-191>

Для корреспонденции: Масленников Александр Александрович, доктор биол. наук, заведующий лабораторией экологической токсикологии ФГУП «НИИ ГТП» ФМБА России, г. Волгоград. 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; Ильченко О.И. – статистическая обработка данных; Антонов В.А. – 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 «Разработка гигиенических нормативов, нормативных и методических документов, регламентирующих осуществление государственного санитарно-эпидемиологического надзора на производствах твёрдых ракетных топлив».

Maslennikov A.A., Demidova S.A., Ilchenko O.I., Antonov V.A.

Ecological and toxicological assessment of hazard of contamination of water bodies by the γ -polyoxymethylene

Federal State Unitary Enterprise «Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology at Federal Medical and Biological Agency, 400048, Volgograd, Russian Federation

Introduction. In the process of production, storage and application of the representative of new components of solid rocket fuels – γ -polyoxymethylene, its ingress into the water of reservoirs is not excluded, which determines the mandatory assessment of the danger of its single contamination of this ecosystem.

Material and methods. As an object of research, γ -polyoxymethylene (γ -POM, polyformaldehyde, acetal copolymer) was used – a mixture of dimethyl esters of polyoxymethylene glycols – a fine amorphous white powder, CAS registration number 66455-31-0. The empirical formula is $\text{CH}_3\text{O}(\text{CH}_2\text{O})_n\text{CH}_3$ at $n = 100\text{--}300$. It is practically insoluble in water.

Results. It was found that the ecotoxicant content in water at a concentration of 50.0 mg/L led to a change in its transparency. The indicated concentration of γ -POM was determined as a threshold for organoleptic harmfulness.

In the course of studying 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 impact on nitrification processes and saprophytic microflora was revealed. The threshold concentration of the substance according to the general sanitary indicator of harmfulness is 3.5 mg/L.

In experiments on laboratory animals, it was noted that a single intragastric administration of the tested xenobiotic in the form of a suspension in a 2.5% solution of aqueous starch caused a significant decrease in heart rate and a change in a number of hematological parameters. The threshold of a single general toxic effect of γ -POM is 90.0 mg/kg.

Limitations of the study. The revealed features of the behavior of γ -polyoxymethylene 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 connection in the water of water bodies.

Conclusion. The results of the performed experiments indicate that a single ingress of γ -polyoxymethylene into the water represents an ecological and toxicological hazard registered for all three basic signs of harmfulness, which is taken into account when justifying its maximum permissible concentration in the water of reservoirs.

Keywords: water; γ -polyoxymethylene; organoleptic and sanitary regime of reservoirs; threshold of acute general toxic effect

Compliance with ethical standards. The studies were carried out in accordance with the requirements of good laboratory practice.

For citation: Maslennikov A.A., Demidova S.A., Ilchenko O.I., Antonov V.A. Ecological and toxicological assessment of hazard of contamination of water bodies by the γ -polyoxymethylene. *Toksikologicheskii vestnik (Toxicological Review)*. 2023; 31(3): 185-191. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2023-31-3-185-191> (In Russian)

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

Information about the authors:

Maslennikov A.A., <https://orcid.org/0000-0001-5121-5616>

Demidova S.A., <https://orcid.org/0000-0002-3429-7135>

Ilchenko O.I., <https://orcid.org/0000-0002-2793-8483>

Antonov V.A., <https://orcid.org/0000-0001-6435-4316>

Contribution: Maslennikov A.A. – research concept and design, analysis of results, writing text; Demidova S.A. – planning and execution of research; Ilchenko O.I. – statistical data processing; Antonov V.A. – 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.

Acknowledgements. The study was conducted within the framework of a State contract on the topic “Development of hygienic standards, regulatory and methodological documents regulating the implementation of state sanitary and epidemiological supervision in the production of solid rocket fuels”.

Received: January 23, 2023 / Accepted: May 26, 2023 / Published: June 30, 2023

Введение

В процессе производства, хранения и применения новых компонентов твердых ракетных топлив не исключено их попадание в основные объекты окружающей среды, что представляет потенциальную угрозу здоровью контактирующих. Данное обстоятельство предполагает наличие соответствующих обоснованных гигиенических нормативов рассматриваемой группы соединений.

Для представителя компонентов твердых ракетных топлив – γ -полиоксиметилена на сегодняшний день отсутствует стандарт безопасности 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 его однократного загрязнения воды водных объектов (в случае аварийной ситуации), что и предопределило *цель настоящих исследований*.

Материал и методы

В качестве объекта исследований использован стандартный образец γ -полиоксиметилена (смесь диметилловых эфиров полиоксиметилентгликолей: γ -ПОМ, полиформальдегид, ацеталь сополимер) – мелкодисперсный аморфный порошок белого цвета, регистрационный номер CAS 66455-31-0. Продукт полимеризации формальдегида. Эмпирическая формула – $\text{CH}_3\text{O}(\text{CH}_2\text{O})_n\text{CH}_3$ при $n = 100\text{--}300$. Плотность кристаллов при 20°C – $1040,0\text{ мг/см}^3$. В воде и большинстве органических растворителей практически не растворим. Сухой γ -ПОМ не взрывоопасен, но является пожароопасным веществом [1–4].

Оценку влияния соединения на органолептические свойства и общесанитарный режим воды выполняли в соответствии с требованиями действующих методических указаний [5] и положениями соответствующих монографий и ГОСТ [6–13]. При этом анализ качества воды проводили по следующим показателям: прозрачность, цветность, запах и наличие пены (пенообразование) [5, 12, 13].

В процессе анализа воды на прозрачность визуально различали шрифт на белом фоне через высоту водяного столба тестируемых проб на уровне 30,0 см и более, а менее – принимали за достоверное отклонение от контроля [5, 8, 9, 11]. Установление предельного значения цветности

воды выражали в градусах по графику. Достоверной принята величина, превышающая 20° [5, 13]. При характеристике пенистости использовали метод цилиндров. За пороговую принимали концентрацию, при которой отсутствовала стабильная крупнопузырчатая пена, а высота мелкопузырчатой у стенок цилиндра не превышала 1,0 мм [5, 8, 9, 11]. Для определения запаха воды применяли стандартный бальный метод. Значимый критерий запаха – 2 балла [5, 12].

Воздействие токсиканта на общесанитарные характеристики воды оценивали по состоянию основных процессов её самоочищения: биохимическое потребление кислорода – БПК₅ (I фаза минерализации соединения) [5, 14]; развитие и отмирание сапрофитной микрофлоры [5–7, 10]; динамика процессов нитрификации азотсодержащих органических соединений – II фаза минерализации соединений [5, 8, 9, 11, 15–17].

При анализе БПК₅ содержание растворённого кислорода в пробах определяли распространённым методом йодометрического титрования по Винклеру [8, 9, 11, 14]. Тестирование водных образцов выполняли в следующие сроки: в день загрязнения – 0–е сутки; на 1-е, 3-и, и 5–е сутки.

Характеристику влияния γ -ПОМ на нитрифицирующие процессы в воде проводили по комплексу основных показателей: азот аммонийный, азот нитритов, азот нитратов. Пробы исследовали 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 [5].

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) [5–7, 10].

Достоверными принимали отклонения показателей в опыте, выходящие за пределы отличий соответствующих контрольных значений: 15% – угнетение; 20% – стимуляция [5].

В ходе определения порога острого общетоксического действия соединения в качестве биомодели использовали 72 белых беспородных самца крыс с массой тела 200–240 г [5]. Статистическая группа составляла 8 особей. Опыты проведены с учетом принципов гуманного обращения с экспериментальными грызунами [18].

Исходя из физико-химических свойств, не позволяющих применять нативную форму, тестируемое вещество вводили в желудок подопытным животным в виде взвеси в 2,5 % растворе водного крахмала при помощи зонда из расчёта 1,0 мл на 100 г массы тела. Самцы контрольной группы получали адекватные объёмы водно-крахмального раствора.

Таблица 1 / Table 1

Оценка качества цветности воды, содержащей γ -полиоксиметилен

Assessment of the chromaticity quality of water containing γ -polyoxymethylene

Концентрация вещества в воде, мг/л	Описание цветности воды	Показатель цветности, °
Контроль	Отсутствует	20,0
250,0	Светло-серая	31,0
50,0	Отсутствует	20,0
10,0	Отсутствует	20,0

Таблица 2 / Table 2

Оценка прозрачности воды

Assessment of water transparency

Концентрация вещества в воде, мг/л	Описание прозрачности воды	Высота водяного столба (h), см
Контроль	прозрачная	30,0 и более
250,0	мутная	25,0 и менее
50,0	мутная	25,0 и менее
10,0	прозрачная	30,0 и более

Общее резорбтивное действие γ -ПОМ 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, "Acom Inc.", Корея), частоту дыхательных движений (визуально) и сердечных сокращений (электрокардиограф Medinova ECG-9801, КНР), поведение (горизонтальная, вертикальная двигательная, эмоциональная, суммарная активность, а также «норковый» рефлекс и груминг) в установке «открытое поле» [19]. 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 [20], используя пакет компьютерных программ Primer of Biostatistics 4.03.

Результаты и обсуждение

В процессе проведения исследований установлено, что соединение в концентрациях 250,0, 50,0 и 10,0 мг/л не способствовало появлению запаха воды и пены. В то же время при содержании γ -ПОМ в концентрации 250 мг/л вода приобретала светло-серый цвет и становилась мутной. При снижении содержания вещества до 50 мг/л вода теряла видимую окраску, но оставалась мало прозрачной (табл. 1 и 2).

На уровне 10,0 мг/л не зафиксировано отрицательного влияния соединения на анализируемые характеристики воды.

С учётом изложенного концентрация γ -ПОМ 50,0 мг/л определена в качестве пороговой, а уровень полимера – 10,0 мг/л – максимально недействующим по влиянию на органолептические свойства воды.

В процессе оценки общего санитарного режима данной экосистемы исследования возможности γ -ПОМ проявлять негативное влияние на биохимическое потребление кислорода в воде водоёмов выполнены в трех независимых сериях опытов. Соединения испытывали в концентрациях 15,0, 5,0 и 1,0 мг/л.

При выполнении экспериментов отмечено, что внесение вещества в «искусственные» водоёмы в указанных выше уровнях не оказывало негативного действия на определяемые биохимические реакции.

Исходя из изложенного, следует, что поровый уровень γ -ПОМ по влиянию на процессы БПК не установлен, а в качестве максимально недействующей принята концентрация соединения 15,0 мг/л.

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 NO_3^- , нитриты NO_2^- и аммонийные соли NH_4^+). Рассматриваемая группа ионов находится в тесной взаимосвязи [21–24]. С учётом этого, в настоящих исследованиях характеристику влияния соединения на нитрифицирующие процессы в воде проводили по комплексу основных показателей триады азота [5, 8, 9, 11, 15–17].

В ходе эксперимента химический агент вносили в «искусственные» водоёмы в концентрациях: 10,0, 3,5 и 1,2 мг/л.

Выявлено, что токсикант, содержащийся в воде «водоёмов», только в наибольшей концентрации способствовал достоверному снижению образования аммонийного азота на 33,33% на 14-е сутки и возрастанию на 57,14% на 23-и сутки опыта (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Характеристика процессов нитрификации в воде, содержащей γ -полиоксиметилен
Characteristics of nitrification processes in water containing γ -polyoxymethylene

Показатель	Срок наблюдения, сутки	Концентрация соединения в воде, мг/л			
		10,0	3,5	1,2	контроль
Азот аммонийный (по NH_4^+), мг/л	14-е	0,16 (33,33*↓)	0,27 (12,50)	0,22 (8,33)	0,24
	23-и	0,11 (57,14*↑)	0,08 (14,29)	0,07 (0,00)	0,07

Примечание. Здесь и в табл. 4: в скобках указано отклонение величины от контроля (в %); * – достоверные отличия, выходящие за пределы соответствующих критических значений; ↑↓ – направленность эффекта.

В то же время, наряду с выявленными изменениями при внесении вещества в воду во всех уровнях значимых отклонений проб от контроля на промежуточной и заключительной стадиях образования азота нитритов и нитратов не выявлено.

На основании изложенного концентрацию γ -полиоксиметилена 10,0 мг/л следует признать пороговой, а уровень 3,5 мг/л – максимально недействующим.

Оценку жизнеспособности сапрофитной микрофлоры проводили при внесении вещества в водоемы в концентрациях: 10,0, 3,5 и 1,2 мг/л.

Анализ проведенных работ позволил установить токсическое действие соединения на жизнедеятельность бактерий. Так, при содержании γ -ПОМ в воде водоёмов в количестве 10,0 мг/л в начале эксперимента (0-е сутки) отмечено значительное увеличение роста колоний микрофлоры до 73,75 %, а с 1-х по 10-е сутки выявлено достоверное угнетение данного процесса от 17,86 до 34,48 % (табл. 4).

При снижении содержания химического агента в воде до 3,5 мг/л зарегистрирована стимуляция развития колоний сапрофитных бактерий с 0-х по 4-е сутки исследований до 57,50 % (см. табл. 4).

На уровне 1,2 мг/л подавления или увеличения роста клеток микроорганизмов не обнаружено.

Исходя из представленных данных, концентрация γ -полиоксиметилена 3,5 мг/л признана пороговой, а уровень вещества 1,2 мг/л – максимально недействующим на сапрофитную микрофлору воды водоёмов.

В процессе определения порога острого общетоксического действия γ -ПОМ исходили из результатов предварительного острого опыта, свидетельствующих об отсутствии клинических признаков интоксикации и гибели самцов и самок лабораторных животных при внутрижелудочном воздействии соединения в максимально достижимой дозе – 450 мг/кг. С учётом этого в настоящем эксперименте вещество вводили самцам крыс в дозах 450,0 мг/кг, 90,0 мг/кг и

Таблица 4 / Table 4

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

Период посева, сутки	Концентрация соединения в воде, мг/л			
	10,0	3,5	1,2	контроль
Через 1 ч (0-е)	695,0 (73,75*↑)	630,0 (57,50* ↑)	375,0 (6,25)	400,0
Через 3 ч (0-е)	1900,0 (72,73*↑)	1400,0 (27,27*↑)	1250,0 (13,64)	1100,0
1-е	2300,0 (17,86*↓)	2700,0 (3,57)	2750,0 (1,79)	2800,0
2-е	3200,0 (17,95*↓)	5000,0 (28,21*↑)	4600,0 (17,95)	3900,0
3-е	1900,0 (34,48*↓)	1800,0 (37,93*↑)	2600,0 (10,35)	2900,0
7-е	1300,0 (23,53*↓)	1600,0 (5,88)	1760,0 (3,53)	1700,0
9-е	545,0 (22,70*↓)	785,0 (11,35)	690,0 (2,13)	705,0
10-е	410,0 (32,23* ↓)	525,0 (13,22)	605,0 (0,00)	605,0

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, мг/кг			
	450,0	90,0	30,0	контроль
Физиологические показатели				
Частота сердечных сокращений в 1 мин	417,5 ± 18,7*	442,5 ± 13,3	450,4 ± 12,2	467,5 ± 11,9
Гематологические показатели				
Гемоглобин, г/л	128,0 ± 2,5*	131,6 ± 2,2	133,4 ± 2,6	137,0 ± 2,5
Лейкоциты, ·10 ⁹ /л	11,03 ± 0,96	8,46 ± 0,55*	10,22 ± 0,72	10,38 ± 0,61
Лимфоциты, ·10 ⁹ /л	7,54 ± 0,86	5,43 ± 0,43*	7,40 ± 0,52	7,23 ± 0,41
Моноциты, ·10 ⁹ /л	0,50 ± 0,06*	0,35 ± 0,04	0,32 ± 0,04	0,33 ± 0,03
Тромбоциты, ·10 ⁹ /л	633,0 ± 35,6*	509,9 ± 32,1	510,2 ± 34,1	520,1 ± 36,1

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

30,0 мг/кг. Обследование животных проводили через 2 ч, одни и трое суток после поступления ксенобиотика.

Установлено, что через 2 ч после воздействия соединения каких-либо значимых изменений состояния подопытных особей не зарегистрировано. Однако оценка основных физиологических показателей крыс, проведенная через одни сутки после однократного поступления токсиканта, позволила установить достоверное урежение частоты сердечных сокращений (ЧСС) у животных, получавших γ -ПОМ в большей дозе (табл. 5).

Кроме того, в ходе исследования гематологических показателей у особей данной группы зарегистрировано статистически значимое повышение содержания моноцитов и тромбоцитов на фоне снижения уровня гемоглобина. У самцов второй опытной группы выявлено только достоверное снижение концентрации лейкоцитов и лимфоцитов (см. табл. 5). При снижении дозовой нагрузки (30,0 мг/кг) каких-либо существенных отклонений не зарегистрировано.

Обследование подопытных животных через трое суток после воздействия показало, что выявленные ранее нарушения полностью нивелировались, тем самым подтверждалась обратимость выявленного эффекта.

С учётом изложенного можно констатировать, что γ -полиоксиметилен оказывает негативное влияние на животных 1-й и 2-й опытных групп, вследствие чего уровень 450,0 мг/кг определен как действующий. Доза соединения – 90,0 мг/кг принята в качестве порога острого общетоксического действия.

Заключение

Обобщённый анализ результатов выполненных экспериментов позволил установить следующее. Однократное загрязнение воды γ -ПОМ 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.

Полученные данные свидетельствуют о том, что попадание γ -ПОМ в воду представляет опасность по всем трём базовым признакам вредности, что учтено при обосновании его ПДК в воде водоёмов.

Выводы

1. γ -Полиоксиметилен вызывает появление цветности и мутности воды. Концентрация соединения – 50,0 мг/л определена как пороговая по органолептическому признаку вредности.

2. Токсикант оказывает негативное влияние на процессы нитрификации и жизнеспособность сапрофитной микрофлоры воды водоёмов. Пороговая концентрация вещества по общесанитарному признаку вредности составляет 3,5 мг/л.

3. Порог однократного общетоксического действия ксенобиотика установлен на уровне 90,0 мг/кг.

ЛИТЕРАТУРА

- Лазарева Н.В., Левина Э.Н., ред. *Вредные вещества в промышленности: справочник. т. 1. Органические вещества*. Л.: Химия; 1976.
- Зефирова Н.С., ред. *Химическая энциклопедия*. М.: Большая Российская энциклопедия; 1995.
- Полиоксиметилен (ПОМ). Доступно: <https://plast.ru.ru/svoistva-plastmass.html?itemid=15>
- γ-Полиоксиметилен (γ-ПОМ). Доступно: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293734/4293734644.htm>
- 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.
- 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.
- 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
- ГОСТ 31868–2012. *Межгосударственный стандарт. Вода. Методы определения цветности*. Москва: Стандартинформ, 2014.
- ПНД Ф 14.1:2.4.123–97. *КХА вод. МВИ биохимической потребности в кислороде после n-днев инкубации (БПКполн.) в поверхностных пресных, подземных (грунтовых), питьевых, сточных и очищенных сточных водах*. Москва: ФНМЦ центр анализа и мониторинга окр. среды МПР России, 1997.
- 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.
- 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.
- 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.
- ГОСТ 33044–2014. *Принципы надлежащей лабораторной практики*. М.: Стандартинформ, 2014.
- МР № 2166–80. *Методические рекомендации по использованию поведенческих реакций животных в токсикологических исследованиях для целей гигиенического нормирования*. Киев, 1980.
- Лакин Г.Ф. *Биометрия*. М.: Высшая школа; 1990.
- Кузнецов С.И. *Микрофлора озер и её геохимическая деятельность*. Л.: Наука; 1970.
- Москвин А.Г. *Экология водоёмов России: 100 вопросов – 100 ответов*. М.: Школа-Пресс; 1999.
- Вронский В.А. *Прикладная экология: Учебное пособие*. Ростов-на-Дону: Феникс; 1996.
- Ревель П., Ревель Ч. *Среда нашего обитания. Кн. 2. Загрязнение воды и воздуха*. М.: Мир; 1995.

REFERENCES

- Lazareva N.V., Levina E.N., ed. *Harmful substances in industry: handbook. 1. Organic substances [Vrednye veshchestva v promyshlennosti: spravochnik. t. 1. Organicheskie veshchestva]*. Leningrad: Chemistry; 1976. (in Russian)
- Zefirova N.S., ed. *Chemical Encyclopedia*. Moscow: The Great Russian Encyclopedia; 1995. (in Russian)
- Polyoxymethylene (POM). Available at: <https://plast.ru.ru/svoistva-plastmass.html?itemid=15> (accessed 25 March 2015).
- γ-Polyoxymethylene (γ-POM). Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293734/4293734644.htm> (accessed 11 March 2018)
- Methodology guidelines 2.1.5.720 – 98. Substantiation of hygienic norms of chemical substances contained in water of water bodies aimed for household, drinking, cultural and social needs [Obosnovanie gigienicheskikh normativov khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'ektov khozyajstvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya]. Moscow: Federal'ny'j centr gossane'pidnazhora Minzdrava RF. Moscow: Federal Center of State Sanitary and Epidemiological Control at Health Ministry, 1999. (in Russian)
- Pyatkin K.D., Krivoshein Yu.S. *Microbiology [Mikrobiologiya]*. Moscow: Medicine; 1980. (in Russian)
- 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)
- General editorship of Lur'e Yu.Yu. *Unified methods of water analysis [Unificirovanny'e metody analiza vod]*. Moscow: Khimiya; 1971. (in Russian)
- Lur'e Yu.Yu. *Analytical chemistry of industrial sewage water [Analiticheskaya khimiya promyshlenny'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. *Collection of scientific papers of the F.F. Hygiene Research Institute. Erisman [Sbornik nauchny'x trudov NIi gigiyeny im. F.F. E'rismana]*. Moscow; 1974. (in Russian)
- Shitskova A.P., ed. *Methods for determining harmful substances in the water of reservoirs [Metody opredeleniya vredny'x veshchestv v vode vodoyomov]*. Moscow: Medicine; 1981. (in Russian)
- State Standard R 57164–2016. *Drinking water. Methods for determining odor, taste and turbidity*. Developed by the Technical Committee for Standardization TC 343 «Water Quality» and CJSC «Center for Water Research and Control» [Voda pit'evaya. Metody opredeleniya zapaha, vkuasa i mutnosti]. Razrabotan Tehnicheskim komitetom po standartizacii TK 343 «Kachestvo vody» i ZAO «Centr issledovaniya i kontrolya vody». Available at: https://allgosts.ru/13/060/gost_r_57164-2016 (accessed 25 March 2020) (in Russian)
- State Standard 31868–2012. *Interstate standard. Water. Methods to determine color of water [GOST 31868–2012. Mezghosudarstvenny'j standart. Voda. Metody opredeleniya cvetnosti]*. Moscow: Standartinform, 2014. (in Russian)
- FERD 14.1:2.4.123–97. *KHA water. MVI of biochemical oxygen demand after n-days of incubation (BOD) in surface fresh, underground (ground), drinking, sewage and treated wastewater [PND F 14.1:2.4.123–97. KHA vod. MVI biohimicheskoy potrebnosti v kislorode posle n-dnej inkubacii (BPKpoln.) v poverkhnostny'x presny'x, podzemny'x (gruntovy'x), pit'evy'x, stochny'x i ochishchenny'x stochny'x vodax]*. Moscow: FNMC Center for Analysis and Monitoring of the Environment of the MPR of Russia; 1997. (in Russian)
- FERD 14.1:2.3.1–95. *Method of measuring the mass concentration of ammonium ions in natural and wastewater by photometric method with reagent [Metodika vy'polneniya izmerenij massovoj koncentracii ionov ammoniya v prirodny'x i stochny'x vodax fotometricheskim metodom s reaktivom]*. Moscow: State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection; 2017. (in Russian)
- FERD 14.1:2.4.4–95. *Method of measuring the mass concentration of nitrate ions in drinking, surface and wastewater by photometric method with salicylic acid [Metodika vy'polneniya izmerenij massovoj koncentracii nitrat-ionov v pit'evy'x, poverkhnostny'x i stochny'x vodax fotometricheskim metodom s salicilovoj kislotoj]*. Moscow: State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection; 2011. (in Russian)
- FERD 14.1:2.4.3–95. *Method of measuring the mass concentration of nitrite ions in drinking, surface and wastewater by photometric method with Griss reagent [PND F 14.1:2.4.3–95. Metodika izmerenij massovoj koncentracii nitrit-ionov v pit'evy'x, poverkhnostny'x i stochny'x vodax fotometricheskim metodom s reaktivom Griss'a]*. Moscow: State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection; 2011. (in Russian)
- State Standard 33044–2014. *Principles of good laboratory practice [GOST 33044–2014. Principy nadlezhashhej laboratornoj praktiki]*. Moscow: Standartinform; 2014. (in Russian)
- MR № 2166–80. *Methodological recommendations on the use of behavioral reactions of animals in toxicological studies for the purposes of hygienic rationing [Metodicheskie rekomendacii po ispol'zovaniyu povedencheskix reakcij zhivotny'x v toksikologicheskix issledovaniyax dlya celej gigienicheskogo normirovaniya]*. Kiev; 1980. (in Russian)
- Lakin G.F. *Biometry [Biometriya]*. Moscow: Vysshaya shkola; 1990. (in Russian)
- Kuznetsov S.I. *Microflora of lakes and its geochemical activity [Mikroflora ozer i eyo geokhimicheskaya deyatel'nost']*. Leningrad.: Nauka; 1970. (in Russian)
- Moskvin A.G. *Ecology of reservoirs of Russia: 100 questions – 100 answers [E'kologiya vodoemov Rossii: 100 voprosov – 100 otvetov]*. Moscow: School-Press; 1999. (in Russian)
- Vronskiy V.A. *Applied ecology: Textbook [Prikladnaya e'kologiya: Uchebnoe posobie]*. Rostov-on-Don: Phoenix; 1996. (in Russian)
- Revell P., Revell Ch. *Our habitat. Book 2. Water and air pollution [Sreda nashego obitaniya. Kn. 2. Zagryaznenie vody i vozduxa]*. Moscow: Mir; 1995. (in Russian)

ОБ АВТОРАХ

Масленников Александр Александрович (Maslennikov Aleksandr Aleksandrovich), доктор биологических наук, заведующий лабораторией экологической токсикологии ФГУП «НИИ ГТП» ФМБА России, 400048, г. Волгоград. E-mail: maslennikov@rihtop.ru

Демидова Светлана Александровна (Demidova Svetlana Aleksandrovna), кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической токсикологии ФГУП «НИИ ГТП» ФМБА России, 400048, г. Волгоград. E-mail: demidova@rihtop.ru

Ильченко Оксана Ивановна (Ishchenko Oksana Ivanovna), младший научный сотрудник лаборатории экологической токсикологии ФГУП «НИИ ГТП» ФМБА России, 400048, г. Волгоград. E-mail: maslennikov@rihtop.ru

Антонов Валерий Алексеевич (Antonov Valery Alexeyevich), доктор медицинских наук, профессор, и.о. директора ФГУП «НИИ ГТП» ФМБА России, 400048, г. Волгоград. E-mail: antonov@rihtop.ru