



Федотова Л.А., Мамонов Р.А., Печникова И.А., Лебедь-Шарлевич Я.И.,
Манаева Е.С., Потапченко Т.Д., Беляева Н.И., Голландцева А.И., Немцева Ю.С.,
Тюрина И.А., Федорцова Д.Ю., Федорцов И.А., Болехан В.Н.

Оценка токсичности и опасности 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»
Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. 2,2-диметокси-2-фенилацетофон широкое распространение как фотоинициатор в различных областях, в том числе при производстве лаков, красок, стоматологических материалов и покрытий, однако его токсикологические свойства изучены недостаточно.

Цель исследования заключалась в изучении токсичности и опасности 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона.

Материалы и методы. Проведены токсикологические исследования для изучения воздействия 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона на организм теплокровных животных: оценка острой токсичности при пероральном, дермальном и ингаляционном путях поступления, кумулятивных свойств, раздражающего действия на слизистые оболочки глаз и неповрежденные кожные покровы, кожно-резорбтивного и сенсибилизирующего действия.

Результаты. Проведенные исследования показали, что 2,2-диметокси-2-фенилацетофон относится к 4-му классу малоопасных веществ при пероральном поступлении ($DL_{50} > 5000 \text{ мг/кг}$), в островом опыте при нанесении на кожу не вызвал гибели подопытных животных (DL_{50} для крыс $> 2500 \text{ мг/кг}$). Вещество не обладает местным раздражающим действием на кожу, но способно вызывать раздражение слизистых оболочек глаз, не обладает кожно-резорбтивным действием, не является аллергеном и не обладает кумулятивными свойствами. 2,2-диметокси-2-фенилацетофон характеризуется низкой летучестью, при изучении острой ингаляционной токсичности была достигнута его максимальная концентрация на уровне 500 мг/м^3 , следовательно, вещество можно отнести к умеренно опасным при ингаляционном поступлении.

Ограничения исследования. Из-за низкой летучести 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона и технических возможностей ингаляционной установки исследование острой ингаляционной токсичности проводилось только при одной концентрации.

Заключение. Результаты проведенных токсикологических исследований позволили установить, что 2,2-диметокси-2-фенилацетофон относится к веществам 3-го класса опасности (умеренно опасные). С учётом широкого применения, наличия вещества в промышленных выбросах предприятий и, следовательно, воздействия на население вблизи таких объектов рекомендовано дальнейшее изучение хронического действия, отдалённых эффектов и канцерогенного потенциала данного соединения.

Ключевые слова: 2,2-диметокси-2-фенилацетофон; фотоинициатор; токсичность; химическая безопасность; острая токсичность; ингаляционная токсичность; кумулятивные свойства; ароматические кетоны

Соблюдение этических стандартов. Исследование выполнено в соответствии с общепринятыми правилами этического обращения с лабораторными животными и одобрено комиссией по биоэтике ФГБУ «ЦСП» ФМБА России (выписка из протокола заседания комиссии от 18.09.2024 г. № 5).

Для цитирования: Федотова Л.А., Мамонов Р.А., Печникова И.А., Лебедь-Шарлевич Я.И., Манаева Е.С., Потапченко Т.Д., Беляева Н.И., Голландцева А.И., Немцева Ю.С., Тюрина И.А., Федорцова Д.Ю., Федорцов И.А., Болехан В.Н. Оценка токсичности и опасности 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона. Гигиена и санитария. 2025; 104(12): 1741–1748. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1741-1748> <https://elibrary.ru/luesxg>

Для корреспонденции: Федотова Лионэлла Айдыновна, e-mail: LFedotova@cspfmba.ru

Участие авторов: Федотова Л.А. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Мамонов Р.А. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Печникова И.А. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала; Лебедь-Шарлевич Я.И. – сбор и обработка материала, анализ полученных данных, написание текста; Манаева Е.С. – сбор и обработка материала, анализ полученных данных, написание текста; Потапченко Т.Д. – сбор и обработка материала, анализ полученных данных, написание текста; Беляева Н.И. – сбор и обработка материала; Голландцева А.И. – сбор и обработка материала; Немцева Ю.С. – сбор и обработка материала; Тюрина И.А. – сбор и обработка материала; Федорцова Д.Ю. – сбор и обработка материала; Федорцов И.А. – сбор и обработка материала; Болехан В.Н. – редактирование. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 22.04.2025 / Поступила после доработки: 06.08.2025 / Принята к печати: 02.12.2025 / Опубликована: 15.01.2026

Lionella A. Fedotova, Roman A. Mamonov, Irina A. Pechnikova, Yana I. Lebed-Sharlevich,
Elizaveta S. Manaeva, Timur D. Potapchenko, Nadezda I. Belyaeva, Aleksandra I. Gollandseva,
Yuliya S. Nemtseva, Irina A. Tyurina, Darya Yu. Fedortsova, Ilya A. Fedortsov, Vasily N. Bolekhan

Assessment of 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone toxicity and hazard

Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. 2,2-Dimethoxy-2-phenylacetophenone is a widely used photoinitiator applied in various industries, including the production of varnishes, paints, dental materials, and coatings. However, despite its widespread use, the toxicological properties of this compound remain to be insufficiently studied.

The aim of this study. To investigate the toxicity and potential hazards of 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone.

Materials and methods. Toxicological studies were conducted to assess the effects of the substance on warm-blooded animals. The experiments included evaluation of acute toxicity via oral, dermal, and inhalation exposure routes; evaluation of cumulative properties; assessment of irritation effects on the mucous membranes of the eyes and intact skin; as well as dermal resorptive and sensitizing effects.

Results. The study showed 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone to belong to hazard class 4 (low hazard substances) when administered orally ($DL_{50} > 5000 \text{ mg/kg}$). In acute dermal exposure tests, no animal mortality was observed (DL_{50} for rats $> 2500 \text{ mg/kg}$). The substance does not exhibit skin irritant properties but can cause irritation to the mucous membranes of the eyes. No dermal resorptive effect was detected. The substance is not an allergen and does not exhibit cumulative properties. 2,2-Dimethoxy-2-phenylacetophenone is characterized by low volatility. During the study of acute inhalation toxicity, the maximum attainable concentration was 500 mg/m^3 . Therefore, the substance can be classified as moderately hazardous by the inhalation route of exposure.

Limitations. Due to the low volatility of 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone and the technical limitations of the inhalation system, the study of acute inhalation toxicity was conducted at only one concentration.

Conclusion. The results of the toxicological studies indicate 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone to belong to hazard class III (moderately hazardous substances). Considering its widespread use, presence in industrial emissions, and the consequent exposure risk to populations living near such facilities, further studies are recommended to evaluate its chronic toxicity, long-term effects, and carcinogenic potential.

Keywords: 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone; photoinitiator; toxicity; chemical safety; acute toxicity; inhalation toxicity; cumulative properties; aromatic ketones

Compliance with ethical standards. The study was conducted in accordance with generally accepted ethical guidelines for the use of laboratory animals and was approved by the Bioethics Committee of the Centre for Strategic Planning of the Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, (meeting protocol No. 5 dated 09/18/2024).

For citation: Fedotova L.A., Mamonov R.A., Pechnikova I.A., Lebed-Sharlevich Ya.I., Manaeva E.S., Potapchenko T.D., Belyaeva N.I., Gollandseva A.I., Nemtseva Yu.S., Tyurina I.A., Fedortsova D.Yu., Fedortsov I.A., Bolekhan V.N. Assessment of 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone toxicity and hazard. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(12): 1741–1748. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1741-1748> <https://elibrary.ru/luesxg> (In Russ.)

For correspondence: Lionella A. Fedotova, E-mail: LFedotova@cspfmba.ru

Contribution: Fedotova L.A. – study concept and design, editing; Mamonov R.A. – study concept and design, editing; Pechnikova I.A. – study concept and design, collection and processing of material; Lebed-Sharlevich Ya.I. – writing text and data analysis, collection and processing of material; Manaeva E.S. – writing text and data analysis, collection and processing of material; Potapchenko T.D. – writing text and data analysis, collection and processing of material; Belyaeva N.I. – collection and processing of material; Gollandseva A.I. – collection and processing of material; Nemtseva Yu.S. – collection and processing of material; Tyurina I.A. – collection and processing of material; Fedortsova D.Yu. – collection and processing of material; Fedortsov I.A. – collection and processing of material; Bolekhan V.N. – editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Funding. The study had no sponsorship.

Received: April 22, 2025 / Revised: August 6, 2025 / Accepted: December 2, 2025 / Published: January 15, 2026

Введение

Ежегодно в мире синтезируется несколько тысяч новых химических веществ, которые находят применение в различных сферах деятельности человека. Однако большая часть этих соединений остаётся слабо изученной с точки зрения их токсичности и потенциальной опасности для здоровья населения, не имеет гигиенических нормативов сдержания в различных средах, что затрудняет оценку их действия на человека, особенно при комплексном и комбинированном действии [1]. Токсикологические исследования и научное обоснование гигиенических нормативов химических веществ и их смесей много лет являются одним из важнейших направлений работы Научно-исследовательского института экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина – ныне ФГБУ «ЦСП» ФМБА России [2, 3].

Одно из веществ, имеющих широкое применение, но недостаточно исследованных в отношении токсичности, – 2,2-диметокси-2-фенилацетон (2,2-ДМФАФ). Это соединение относится к группе ароматических кетонов и является производным бензофенона [4]. 2,2-диметокси-2-фенилацетон применяется в различных областях промышленности в качестве фотоинициатора. При облучении ультрафиолетовым излучением (~ 350–400 нм) вещество разлагается с образованием свободных радикалов, которые инициируют радикальную полимеризацию [5]. Особенно широко 2,2-ДМФАФ используется при УФ-отверждении акрилатов и метакрилатов. Благодаря этому он находит применение в таких областях, как производство лаков и красок (в том числе типографских), фотополимерных смол для 3D-печати, стоматологических материалов и покрытий [6–8].

Таблица 1 / Table 1

Токсикологические методы и объём исследований 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона

Toxicological methods and scope of research on 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone

Методы исследования Research methods	Показатель Indicators	Объём исследований Scope of research	Нормативные документы Regulatory documents
Определение среднесмертельной дозы Determination of median lethal dose	Внутрижелудочно Intragastrically	DL ₅₀ , клиническая картина отравления, некропсия, морфометрические показатели DL ₅₀ , clinical picture of poisoning, necropsy, morphometric parameters	24 крысы, 4 показателя 24 rats, 4 indicators
	Ингаляционно Inhalation	DL ₅₀ , клиническая картина отравления DL ₅₀ , clinical signs of poisoning	3 крысы, 2 показателя 3 rats, 2 indicators
	Дермально Dermal	DL ₅₀ , клиническая картина отравления DL ₅₀ , clinical signs of poisoning	12 крыс, 2 показателя 12 rats, 2 indicators
Определение кожно-резорбтивного действия Dermal resorptive action	Пробирочный метод (хвостовые пробы) Tail immersion method	Клиническая картина отравления, морфометрические показатели Clinical signs of poisoning, morphometric parameters	12 крыс, 2 показателя 12 rats, 2 indicators
Местное раздражающее действие Local irritant effect	Глаза Eyes	Состояние конъюнктивы глаз Condition of conjunctiva	3 кролика, 4 показателя 3 rabbits, 4 indicators
	Кожа Skin	Состояние кожных покровов Condition of skin	6 морских свинок 6 guinea pigs
Сенсибилизирующее действие Sensitizing effect		Клинические проявления, иммунологические проявления (реакция специфического лизиса лейкоцитов – РСЛ), реакция специфической агглютинации лейкоцитов (РСАЛ) Clinical manifestations, immunological responses (response of specific leukocyte lysis (RSLL), response of specific leukocyte agglutination (RSLA))	20 мышей, 24 морские свинки, 3 показателя 20 mice, 24 guinea pigs, 3 indicators
Кумуляция Cumulation	DL ₅₀ , D _n (сум. доза), клиническая картина отравления, некропсия, морфометрические DL ₅₀ , D _n (total dose), clinical signs of poisoning, necropsy, morphometric parameters	16 крыс, 6 показателей 16 rats, 6 indicators	п. 5 МУ 2163–80 Section 5, Guidelines 2163–80

Исследования указывают на то, что некоторые фотоинициаторы могут вызывать цитотоксические эффекты, а также раздражение и сенсибилизацию кожи. Например, 2-метил-4'-(метилтио)-2-морфолинопропионен и 1-гидроксициклогексилфенилкетон вызывали цитотоксичность в нормальных периферических мононуклеарных клетках крови человека [9, 10]. Также установлено, что включение бензофенона, структурно схожего с 2,2-ДМФАФ и используемого в качестве фотоинициатора в составе солнцезащитных кремов, может вызывать аллергические кожные реакции [11], аналогичные тем, которые вызывают другие кожные раздражители (фотоаллергические реакции, аллергический контактный дерматит [12] и эритема лица [13]).

В научной литературе сведения о токсичности и опасности 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона представлены недостаточно. Полулетальная доза DL₅₀ при внутрижелудочном введении вещества белым крысам установлена на уровне 1470 мг/кг [14]. При аппликации 2,2-ДМФАФ на неповреждённые кожные покровы крыс значение DL₅₀ превысило уровень в 7000 мг/кг [15]. Известно, что вещество может оказывать раздражающее действие (в том числе на слизистые оболочки глаз) и респираторную сенсибилизацию, вызывает фотосенсибилизацию с аллергическими реакциями на свет – от реакций, подобных солнечным ожогам, до отёчных, пузырьковых поражений или булл. При длительном контакте 2,2-ДМФАФ может провоцировать фотоаллергический контактный дерматит, сенсибилизирующее действие вещества не выявлено [16]. Исследования на клеточных культурах показали цитотоксичность 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона в отношении нормальных эмбриональных фибробластов

лёгких человека, которая усиливается при комбинированном действии с растворителем красок 1,2-дихлорпропаном, что повышает риск развития болезней органов дыхания у работников полиграфической промышленности [17].

В настоящее время в России для 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона установлен только ориентировочно допустимый уровень (ОДУ) в воде водных объектов, равный 0,5 мг/л (3-й класс опасности), лимитирующий показатель вредности – органолептический (запах). Гигиенические нормативы для воздуха рабочей зоны, атмосферного воздуха городских и сельских поселений не утверждены¹.

В связи с этим цель данного исследования заключалась в изучении токсичности и опасности 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона.

Материалы и методы

По физико-химическим свойствам 2,2-диметокси-2-фенилацетофенон (химическая формула C₁₆H₁₆O₃, № CAS: 24650-42-8) представляет собой белый кристаллический порошок без запаха с молекулярной массой 256,3 г/моль, плотностью 1,132 г/см³. Температура плавления C₁₆H₁₆O₃ – плюс 67–70 °C, температура кипения – 100–115 °C при давлении менее 0,1 гПа [15].

¹ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среди обитания» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. №2). URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>

Токсикологические исследования 2,2-диметокси-2-фенилакетофенона проводили в соответствии с действующими нормативно-методическими документами^{2,3,4,5} на белых крысах породы Sprague Dawley (масса тела 148–426 г), морских свинках-альбиносах (масса тела 300–350 г), белых мышах (масса тела 18–20 г), кроликах породы советская шиншилла (масса тела 3–3,5 кг). Нелинейные крысы, морские свинки-альбиносы, белые мыши были получены из филиала «Столбовая» ФГБУН НЦБМТ ФМБА России. Кролики породы советская шиншилла получены из филиала «Электрогорский» ФГБУН НЦБМТ ФМБА России. Животных подопытных и контрольных групп содержали на стандартном рационе вивария в соответствии с РД-АПК 3.10.07.02–09⁶.

Экспериментальные исследования включали оценку острой токсичности при пероральном, дермальном и ингаляционном путях поступления, изучение кумулятивных свойств, определение раздражающего действия на слизистые оболочки глаз, местного раздражающего действия на кожные покровы, кожно-резорбтивного и сенсибилизирующего действий на экспериментальных животных. Количественная характеристика методов и объёма исследований представлена в табл. 1.

Для оценки острой токсичности 2,2-диметокси-2-фенилакетофенона при внутрижелудочном поступлении вещество разводили в растительном масле (в связи с плохой растворимостью в физиологическом растворе) и вводили животным через специальный зонд в дозах 1000; 3000 и 5000 мг/кг. Определение острой ингаляционной токсичности (в условиях четырёхчасового динамического воздействия) проводили в специализированной ингаляционной системе экспонирования «голова – нос» с контролем концентрации вещества в режиме реального времени. В рамках эксперимента была испытана концентрация на уровне 500 мг/м³. Для оценки острой дермальной токсичности исследуемое вещество наносили однократно на выстриженный участок кожи на спине животных в дозе 2600 мг/кг, время экспозиции – 4 ч. По окончании экспозиции остатки вещества смывали тёплой водой с мылом.

Изучение кожно-резорбтивного действия проводили на крысах пробирочным методом (хвостовые пробы). Хвосты подопытных животных на 2/3 длины погружали в 25%-ю взвесь вещества в 2%-м крахмальном геле на четыре часа ежедневно в течение четырёх недель, хвосты контрольных животных погружали в 2%-й крахмальный гель. По окончании опыта за животными продолжали наблюдение в течение двух недель. Во время эксперимента

² МУ 2102–79. Оценка воздействия вредных химических соединений на кожные покровы и обоснование предельно допустимых уровней загрязнений кожи (Методические указания). Утверждены заместителем Главного государственного санитарного врача СССР А.И. Заиченко 1 ноября 1979 г. № 2102-79. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200062476>

³ МУ 1.1.578–96. Требования к постановке экспериментальных исследований по обоснованию предельно допустимых концентраций промышленных химических аллергенов в воздухе рабочей зоны и атмосфере. Методические указания. Утверждены первым заместителем Председателя Госкомсанэпиднадзора России – заместителем Главного государственного санитарного врача Российской Федерации С.В. Семеновым 21 октября 1996 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200046685>

⁴ МУ 2196–80. Методические указания к постановке исследований по изучению раздражающих свойств и обоснованию предельно допустимых концентраций избирательно действующих раздражающих веществ в воздухе рабочей зоны. Утверждены заместителем Главного государственного санитарного врача СССР А.И. Заиченко 11 августа 1980 г. № 2196-80. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200076305>

⁵ МУ 2163–80. Методические указания к постановке исследований для обоснования санитарных стандартов вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Методические указания. Утверждены Главным государственным санитарным врачом СССР П.Н. Бургасовым 4 апреля 1980 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200076306>

⁶ РД-АПК 3.10.07.02–09. Рекомендательные документы. Методические рекомендации по содержанию лабораторных животных в вивариях научно-исследовательских институтов и учебных заведений. Утверждены и введены в действие заместителем министра сельского хозяйства Российской Федерации Л.И. Беляевым 1 декабря 2009 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200088317>

регистрировали общее состояние животных (внешний вид, поведение, пищевая активность, динамика массы тела). Эти показатели позволили оценить возможные последствия поступления вещества в организм через кожу.

Для оценки местного раздражающего действия на слизистые оболочки глаз 2,2-диметокси-2-фенилакетофенон вносили в конъюнктивальный мешок левого глаза кроликам в нативном виде в количестве 10 мг без смывания. Контролем служил правый глаз.

Местное раздражающее действие на неповреждённые кожные покровы оценивали после однократной аппликации на участок кожи размером 5 × 5 см на правом боку морских свинок (20 мг/см²). Контролем служил симметрично расположенный участок на левой стороне. После четырёхчасовой экспозиции вещество смывали тёплой водой с мылом.

Способность 2,2-диметокси-2-фенилакетофенона вызывать сенсибилизацию организма оценивали с помощью реакции гиперчувствительности замедленного типа (ГЗТ) на мышах, а также на морских свинках методом внутрикожной сенсибилизации. Белым мышам однократно вводили внутрикожно в основание хвоста 100 мкг вещества, эмульгированного в 60 мкл смеси полного адьюванта Фрейнда и раствора Хэнкса. Сенсибилизацию определяли через 5 сут путём введения 100 мкг вещества в растворе Хэнкса в подушечку задней лапы, оценивая реакцию по величине отёка у экспериментальных и контрольных животных. Исследование на морских свинках начинали с однократной сенсибилизации, для чего в кожу наружной поверхности уха вводили 50 и 200 мкг вещества, разведённого в 0,1 мл раствора Хэнкса. Через 8 дней проводили тестирование путём постановки кожных тестов. Через 24 ч после этого отбирали кровь для иммунологических тестов – реакции специфического лизиса лейкоцитов (РСЛЛ) и реакции специфической агглютинации (РСАЛ) лейкоцитов.

Кумулятивные свойства 2,2-диметокси-2-фенилакетофенона изучали на крысах по методу Lim et al. (метод Лима⁷). В течение 24 дней животным ежедневно внутрижелудочно вводили вещество с постепенным увеличением дозы: через каждые 4 дня – в 1,5 раза.

Результаты экспериментов обрабатывали статистически, достоверность различий между группами определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента и непараметрических методов статистики. Различия между опытными и контрольными группами считались значимыми при *p* ≤ 0,05. Расчёт DL₅₀ проводили методом наименьших квадратов пробит-анализа кривых летальности по Прозоровскому [18].

Результаты

Проведённый эксперимент по изучению острой токсичности 2,2-диметокси-2-фенилакетофенона при внутрижелудочном поступлении показал, что при дозе 1000 мг/кг отсутствовали случаи гибели подопытных животных, выраженных симптомов интоксикации не было. Пищевое поведение и общее состояние животных не отличалось от животных контрольной группы как в первые часы после введения вещества, так и на протяжении всего периода наблюдений. Доза 3000 мг/кг также не вызывала гибели животных, однако сразу после введения вещества подопытные животные демонстрировали кратковременное угнетение (лежачее положение, сниженная реакция на внешние раздражители), которое исчезло в течение первых суток наблюдения. При введении дозы 5000 мг/кг наблюдались схожие эффекты, которые носили более выраженный характер, чем при дозе 3000 мг/кг, но на вторые сутки наблюдений признаки интоксикации у подопытных животных отсутствовали. Ни в одной из экспериментальных групп за весь постэкспозиционный период (14 дней) случаев гибели животных зафиксировано не было.

⁷ Lim R.K., Rink K.G., Glass H.G., Soaje-Echague E. A method for the evaluation of cumulation and tolerance by the determination of acute and subchronic median effective doses. *Arch. Int. Pharmacodyn. Ther.* 1961. 130, Mar 1: 336-53.

Таблица 2 / Table 2

Реакция специфической агглютинации (РСАЛ) лейкоцитов, реакция специфического лизиса лейкоцитов (РСЛЛ) при изучении сенсибилизирующего действия 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона

Response of specific leukocyte agglutination (RSLA) and specific leukocyte lysis (RSLL) in the study of the sensitizing effect of 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone

Группы животных Groups of animals	Метод исследования / Test method			Количество животных / Number of animals	
	кожная проба, балл skin test, score	РСЛЛ, % RSLL, %	РСАЛ, % RSLA, %	всего в группе total number in group	из них сенсибилизованных sensitized animals
Контроль / Control	0	2.0 ± 0.3*	1.2 ± 0.01*	8	0
Опыт / Experimental	0	2.2 ± 0.4*	1.1 ± 0.01*	8	0

Примечание. / Note. * $p > 0.05$.

Таким образом, в процессе эксперимента опытным путём установлена величина DL_0 (максимальная переносимая доза). Величина DL_{50} при введении в желудок 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона в соответствии с методом наименьших квадратов пробит-анализа кривых летальности составит > 5000 мг/кг.

При определении острой ингаляционной токсичности 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона (концентрация 500 мг/м³) в условиях четырёхчасовой динамической экспозиции летальные исходы у подопытных животных не зафиксированы. Поведение и общее состояние животных экспериментальной группы не отличалось от контрольной группы. Несмотря на временное снижение активности после окончания воздействия, признаки интоксикации у подопытных животных исчезли в течение первых двух часов.

После однократного нанесения вещества на кожные покровы в дозе 2600 мг/кг вещество не вызывало гибели подопытных животных и признаков интоксикации в течение 14-дневного наблюдения. Согласно полученным результатам, при однократном контакте с кожей 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона не вызывает острого токсического действия ($DL_{50} > 2500$ мг/кг).

Оценка кожно-резорбтивного действия показала отсутствие способности вещества к резорбции через кожные покровы в пробирочном teste (хвостовые пробы) на крысах в период эксперимента. У подопытных животных не отмечено видимых признаков интоксикации, изменений общего состояния и поведения, а также явлений раздражения на коже хвостов.

Вещество обладает слабым раздражающим действием на слизистую оболочку глаза. После внесения вещества в конъюнктивальный мешок глаз кроликов у всех животных наблюдалась слабая гиперемия конъюнктивы, которая проходила на вторые сутки наблюдения. Других признаков проявления раздражающего действия на глазные оболочки отмечено не было.

Исследования показали, что 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона не оказывает местного раздражающего действия на неповреждённые кожные покровы при однократной аппликации. У подопытных животных не наблюдалось признаков раздражения ни сразу после нанесения вещества, ни через час, ни в течение 14-дневного периода наблюдения.

Также установлено, что данное соединение не обладает сенсибилизирующим действием. Реакция гиперчувствительности замедленного типа, исследованная на мышах по величине отёка после повторного введения вещества, не выявила статистически значимых различий между экспериментальной и контрольной группами ($p > 0,05$). Через 24 ч отёк составил $0,078 \pm 0,01$ мм в экспериментальной группе и $0,082 \pm 0,01$ мм в контрольной, что свидетельствует об отсутствии сенсибилизации. Способность 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона вызывать сенсибилизацию организма оценивалась и при помощи внутрикожной сенсибилизации морских свинок. Положительная кожная пробы не была за-

фиксирована ни у одного из животных. Показатели РСЛЛ и РСАЛ у всех животных не превышали 10%. Статистически значимых различий среднегрупповых показателей не было ($p > 0,05$). Результаты реакции специфической агглютинации лейкоцитов (РСАЛ) и реакции специфического лизиса лейкоцитов (РСЛЛ) у животных опытной группы не имели статистически значимого отклонения от контрольной группы (табл. 2). Полученные данные свидетельствуют о том, что данное вещество не является аллергеном.

Кумулятивные свойства 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона исследовали на крысах по методу Лима⁷ с ежедневным внутрижелудочным введением вещества и постепенным увеличением дозы. Исходно для перорального введения планировалась доза, равная 1/10 от установленной DL_{50} (500 мг/кг), однако из-за низкой растворимости вещества начальная доза была снижена до 150 мг/кг. В ходе эксперимента не зафиксировано случаев гибели или значимых клинических проявлений токсичности, а динамика массы тела экспериментальных животных не отличалась от контрольной группы. Некропсия по окончании исследования не выявила существенных изменений во внешнем виде и массе органов.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о низкой острой токсичности 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона при пероральном и кожном воздействии. При внутрижелудочном введении значение DL_{50} превышает 5000 мг/кг, что, согласно ГОСТ 12.1.007–76⁸, позволяет отнести вещество к 4-му классу (малоопасные вещества). При нанесении на кожные покровы средняя смертельная доза составляет более 2500 мг/кг, что также соответствует 4-му классу опасности.

Острую ингаляционную токсичность 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона оценивали в четырёхчасовой динамической экспозиции при концентрации 500 мг/м³. Доза определена как максимальная достижимая вследствие физико-химических свойств исследуемого вещества и технических возможностей ингаляционной системы. Согласно нормативным документам⁸, эта концентрация соответствует второму классу опасности, однако физико-химические характеристики вещества свидетельствуют о его низкой летучести и высокой термической стабильности. При температуре плюс 25 °C упругость пара составляет всего 0,002 Па (в то время как для воды этот показатель ≈ 3168 Па), относительная плотность равна 1,1, температура вспышки – плюс 163 °C, а температура самовоспламенения – плюс

⁸ ГОСТ 12.1.007–76. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. Утверждён и введён в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 10.03.1976 г. №579. URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200233>

Таблица 3 / Table 3

Прогнозные величины ОБУВ 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона в атмосферном воздухе, рассчитанные на основе параметров токсикометрии

Predicted OBUV values of 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone in atmospheric air, calculated based on toxicometric parameters

№ формулы по МУ 2630–82 No. formulas according to MU 2630–82	Формула Formula	Величина параметра Parameter value	Величина ОБУВ, мг/м ³ Value of OBUV, mg/m ³
2,2-диметокси-2-фенилацетофеон / 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone			
27	$\lg \text{OBUV}_{\text{a.v.}} = 0.58 \lg \text{CL}_{50} - 1.6$	$\text{CL}_{50} > 5.0 \text{ мг/л}$	0.06
28	$\lg \text{OBUV}_{\text{a.v.}} = -6.0 + 1.5 \lg \text{DL}_{50}$	$> 5000 \text{ мг/кг}$	0.35

400 °C [14]. Данные подтверждают, что вещество находится в стабильном твёрдом состоянии при нормальных условиях и переходит в газообразную фазу лишь при значительном нагревании. Таким образом, вероятность образования токсичных аэрозолей и паров в обычных условиях крайне мала. Это объясняет низкую ингаляционную токсичность 2,2-диметокси-2-фенилацетофеона, которая была установлена в проведённом эксперименте. Таким образом, данное вещество можно отнести к 3-му классу опасности при ингаляционном поступлении.

Слабая проницаемость вещества через кожные покровы подтверждается отсутствием системного токсического эффекта (кожно-резорбтивного действия). Раздражающее действие ограничено слабой, обратимой гиперемией слизистой оболочки глаза, признаки повреждающего действия отсутствовали. Раздражающего эффекта при кожной аппликации не наблюдали, что согласуется с данными, полученными в предыдущих работах [15, 16].

Проведённая оценка кумулятивных свойств также указывает на низкий риск накопления токсического действия при повторных экспозициях. Следует отметить, что вследствие низкой растворимости вещества было выполнено 20 введений (максимальная достижимая доза) 2,2-диметокси-2-фенилацетофеона. Суммарная доза (D_n), полученная каждым экспериментальным животным, составила при ежедневном введении 7912 мг/кг. Сопоставление величины суммарной дозы и DL_{50} показывает, что животными за время эксперимента было получено в 1,5 раза больше 2,2-диметокси-2-фенилацетофеона, чем количество, которое вызывает 50%-ю гибель при однократном введении ($D_n/\text{DL}_{50} = 7912/1500 = 5,2$). Коэффициент кумуляции (Ккум) равен 5,2. Как было указано выше, из-за низкой растворимости вещества нами была выбрана начальная доза 150 мг/кг, что соответствует величине $\text{DL}_{50} = 1500 \text{ мг/кг}$. Определение среднесмертельной дозы при однократном поступлении в желудок не выявило случаев гибели подопытных животных при введении доз 1000; 3000 и 5000 мг/кг, поэтому исследование по определению кумулятивного действия не противоречит тому, что величина DL_{50} при внутривенном введении составляет $> 5000 \text{ мг/кг}$. Таким образом, 2,2-диметокси-2-фенилацетофеон может быть отнесен к веществам, не обладающим кумулятивными свойствами.

В соответствии с «Методическими указаниями по установлению ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест»⁹ обоснование ОБУВ 2,2-диметокси-2-фенилацетофеона в атмосферном воздухе населённых мест проводили с использованием собственных экспериментальных данных по установленным параметрам токсикометрии путём прогноза по формулам (табл. 3).

Полученные прогнозируемые величины ОБУВ

⁹ МУ 2630–82. Методические указания по установлению ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест. Утверждены заместителем Главного государственного санитарного врача СССР 25 ноября 1982 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/675400120>

для 2,2-диметокси-2-фенилацетофеона находятся в диапазоне от 0,06 до 0,35 мг/м³. Данные формулы учитывают класс опасности соединений: по результатам проведённых исследований параметры токсикометрии соответствуют 3-му классу опасности (умеренно опасные вещества), следовательно, согласно расчёту среднего арифметического для 2,2-диметокси-2-фенилацетофеона, прогнозная величина ОБУВ составит 0,2 мг/м³ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений¹⁰.

Заключение

Проведённые токсикологические исследования по определению параметров острой токсичности позволили установить следующее. По величине среднесмертельной дозы при однократном введении в желудок (DL_{50} для крыс $> 5000 \text{ мг/кг}$) 2,2-диметокси-2-фенилацетофеон относится к 4-му классу (малоопасные вещества) по степени воздействия на организм; при однократном нанесении на кожные покровы морских свинок вещество не обладает раздражающим действием; при однократном внесении в конъюнктивальный мешок крылов в нативном виде обладает слабым раздражающим действием на слизистые оболочки глаза; в остром опыте при нанесении на кожу не вызывает гибели (DL_{50} для крыс $> 2500 \text{ мг/кг}$) подопытных животных. Отсутствует способность вещества к резорбции через кожные покровы в пробирочном teste (хвостовые пробы) на крысах в период эксперимента. При использовании метода с воспроизведением ГЗТ на белых беспородных мышах, а также на морских свинках методом внутрикожной сенсибилизации установлено, что 2,2-диметокси-2-фенилацетофеон не является аллергеном. Вещество не обладает кумулятивными свойствами. При изучении острой ингаляционной токсичности была достигнута концентрация 500 мг/м³, однако данное вещество обладает очень низкой летучестью, вследствие чего является умеренно опасным при ингаляционном пути поступления.

Таким образом, результаты проведённых токсикологических исследований позволили установить, что 2,2-диметокси-2-фенилацетофеон относится к веществам 3-го класса опасности (умеренно опасные). Рекомендованная величина ОБУВ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений составляет 0,2 мг/м³. Однако с учётом широкого применения 2,2-ДМФАФ, поступления его в атмосферный воздух из источников выбросов предприятий и возможного воздействия на население, проживающее вблизи таких объектов, рекомендованы дальнейшие исследования, направленные на оценку возможного хронического действия, отдалённых эффектов и канцерогенного потенциала данного соединения.

¹⁰ ГН 1.1.701–98 «Гигиенические критерии для обоснования необходимости разработки ПДК и ОБУВ (ОДУ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе населённых мест, воде водных объектов». Минздрав России. М., 1998.

Литература

1. Юдин С.М., ред. *На страже защиты объектов среды и здоровья населения*. М.: Квант Медиа; 2024. <https://elibrary.ru/gruqu>
2. Мамонов Р.А., Лебедь-Шарлевич Я.И., Манаева Е.С., Печникова И.А., Синицына О.О. Гигиеническое нормирование вредных химических веществ в воде – взгляд через призму исследований Научно-исследовательского института им. А.Н. Сысина. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(10): 1261–72. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1261-1272> <https://elibrary.ru/vsyubw>
3. Федотова Л.А., Потапченко Т.Д. История становления гигиены атмосферного воздуха в исторических вехах и лицах Института им. А.Н. Сысина. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(10): 1257–60. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1257-1260> <https://elibrary.ru/npbvtd>
4. Лазарев Н.В., Левина Э.Н. *Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Том I. Органические вещества*. Ленинград: Химия; 1976.
5. Kurdikar D.L., Peppas N.A. Method of determination of initiator efficiency: application to UV polymerizations using 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone. *Macromolecules*. 1994; 27(3): 733–8. <https://doi.org/10.1021/ma00081a017>
6. Mucci V., Vallo C. Efficiency of 2, 2-dimethoxy-2-phenylacetophenone for the photopolymerization of methacrylate monomers in thick sections. *J. Appl. Polym. Sci.* 2012; 123(1): 418–25. <https://doi.org/10.1002/app.34473>
7. Семчиков Ю.Д., Кашаев С.Ю., Тихонова А., Копылова Н.А., Голубев А.А., Ерёгина Н.В. Влияние концентрации инициатора при трехмерной полимеризации акриловых олигомеров. *Высокомолекулярные соединения. Серия Б*. 1992; 34(2): 3–6.
8. Внук В.В., Ипполитов Е.В., Камаев С.В., Марков М.А., Новиков М.М., Черебыло С.А. Исследование процесса лазерной фотополимеризации композитных материалов на основе метакриловых олигомеров и порошка кремния. *Химическая физика*. 2020; 39(9): 88–93. <https://doi.org/10.31857/S0207401X20090137> <https://elibrary.ru/qcrlbd>
9. Kawasaki Y., Yamaji K., Matsunaga H., Sendo T. Cytotoxicity of the polymerization agent, 2-methyl-4'-(methylthio)-2-morpholinopropiophenone on human monocytes. *Biol. Pharm. Bull.* 2012; 35(2): 256–9. <https://doi.org/10.1248/bpb.35.256>
10. Yamaji K., Kawasaki Y., Yoshitome K., Matsunaga H., Sendo T. Quantitation and human monocyte cytotoxicity of the polymerization agent 1-hydroxycyclohexyl phenyl ketone (Irgacure 184) from three brands of aqueous injection solution. *Biol. Pharm. Bull.* 2012; 35(10): 1821–5. <https://doi.org/10.1248/bpb.b12-00210>
11. Cook N., Freeman S. Report of 19 cases of photoallergic contact dermatitis to sunscreens seen at the Skin and Cancer Foundation. *Australas J. Dermatol.* 2001; 42(4): 257–9. <https://doi.org/10.1046/j.1440-0960.2001.00531.x>
12. Alanko K., Jolanki R., Estlander T., Kanerva L. Occupational allergic contact dermatitis from benzophenone-4 in hair-care products. *Contact Dermatitis*. 2001; 44(3): 188. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0536.2001.440308-9.x>
13. Nedostro S.T. Facial erythema as a result of benzophenone allergy. *J. Am. Acad. Dermatol.* 2003; 49(5 Suppl.): S259–61. [https://doi.org/10.1016/s0190-9622\(03\)00440-7](https://doi.org/10.1016/s0190-9622(03)00440-7)
14. ECHA. European chemical agency data base. 2,2-Dimethoxy-1,2-diphenylethan-1-one. Available at: <https://echa.europa.eu/da/registration-dossier/-/registered-dossier/5410/>
15. Safety data sheet of the 2,2-Dimethoxy-2-phenylacetophenone according to Regulation (EC) No. 1907/2006. Version 7.3. Sigma Aldrich. Revision Date 12.09.2022. Available at: <https://sigmaaldrich.cn/RU/en/sds/aldrich/196118?userType=undefined>
16. Information on Hazardous Chemicals and Occupational Diseases. 2,2-Dimethoxy-2-phenylacetophenone. Available at: <https://haz-map.com/Agents/19435>
17. Kawasaki Y., Tsuboi C., Yagi K., Morizane M., Masaoka Y., Esumi S., et al. Photoinitiators enhanced 1,2-dichloropropane-induced cytotoxicity in human normal embryonic lung fibroblasts cells *in vitro*. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2015; 22(6): 4763–70. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3939-8>
18. Прозоровский В.В. Использование метода наименьших квадратов при пробит-анализа кривых летальности. *Фармакология и токсикология*. 1962; 25(1): 115–9. <https://elibrary.ru/zcogr>

References

1. Yudin S.M., ed. *On Guard for the Protection of Environmental Objects and Public Health [Na strazhe zashchity ob "ektor sredy i zdorov'ya naseleniya: monografiya]*. Moscow: Kvant Media; 2024. (in Russian)
2. Mamontov R.A., Lebed-Sharlevich Ya.I., Manaeva E.S., Pechnikova I.A., Sinitzyna O.O. Hygienic regulation of harmful chemicals in water – a view through the prism of research by the A.N. Sysin research institute. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(10): 1261–72. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1261-1272> <https://elibrary.ru/vsyubw> (in Russian)
3. Fedotova L.A., Potapchenko T.D. The history of the development of atmospheric air hygiene in historical milestones and persons of the A.N. Sysin institute. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(10): 1257–60. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1257-1260> <https://elibrary.ru/npbvtd> (in Russian)
4. Lazarev N.V., Levina E.N. *Harmful Substances in Industry: A Handbook for Chemists, Engineers, and Physicians. Volume. I. Organic Substances [Vrednye veshchestva v promyshlennosti. Spravochnik dlya khimikov, inzhenerov i vrachei. Tom I. Organicheskie veshchestva]*. Leningrad: Khimiya; 1976. (in Russian)
5. Kurdikar D.L., Peppas N.A. Method of determination of initiator efficiency: application to UV polymerizations using 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone. *Macromolecules*. 1994; 27(3): 733–8. <https://doi.org/10.1021/ma00081a017>
6. Mucci V., Vallo C. Efficiency of 2, 2-dimethoxy-2-phenylacetophenone for the photopolymerization of methacrylate monomers in thick sections. *J. Appl. Polym. Sci.* 2012; 123(1): 418–25. <https://doi.org/10.1002/app.34473>
7. Semchikov Yu.D., Kashaev S.Yu., Tikhonova A., Kopylova N.A., Golubev A.A., Eregina N.V. The influence of initiator concentration on the three-dimensional polymerization of acrylic oligomers. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya B*. 1992; 34(2): 3–6. (in Russian)
8. Vnuk V.V., Ippolitov E.V., Kamaev S.V., Markov M.A., Novikov M.М., Cherebylo S.A. Investigation of the laser photopolymerization process of composite materials based on methacrylic oligomers and silicon powder. *Khimicheskaya fizika*. 2020; 39(9): 88–93. <https://doi.org/10.31857/S0207401X20090137> <https://elibrary.ru/qcrlbd> (in Russian)
9. Kawasaki Y., Yamaji K., Matsunaga H., Sendo T. Cytotoxicity of the polymerization agent, 2-methyl-4'-(methylthio)-2-morpholinopropiophenone on human monocytes. *Biol. Pharm. Bull.* 2012; 35(2): 256–9. <https://doi.org/10.1248/bpb.35.256>
10. Yamaji K., Kawasaki Y., Yoshitome K., Matsunaga H., Sendo T. Quantitation and human monocyte cytotoxicity of the polymerization agent 1-hydroxycyclohexyl phenyl ketone (Irgacure 184) from three brands of aqueous injection solution. *Biol. Pharm. Bull.* 2012; 35(10): 1821–5. <https://doi.org/10.1248/bpb.b12-00210>
11. Cook N., Freeman S. Report of 19 cases of photoallergic contact dermatitis to sunscreens seen at the Skin and Cancer Foundation. *Australas J. Dermatol.* 2001; 42(4): 257–9. <https://doi.org/10.1046/j.1440-0960.2001.00531.x>
12. Alanko K., Jolanki R., Estlander T., Kanerva L. Occupational allergic contact dermatitis from benzophenone-4 in hair-care products. *Contact Dermatitis*. 2001; 44(3): 188. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0536.2001.440308-9.x>
13. Nedostro S.T. Facial erythema as a result of benzophenone allergy. *J. Am. Acad. Dermatol.* 2003; 49(5 Suppl.): S259–61. [https://doi.org/10.1016/s0190-9622\(03\)00440-7](https://doi.org/10.1016/s0190-9622(03)00440-7)
14. ECHA. European chemical agency data base. 2,2-Dimethoxy-1,2-diphenylethan-1-one. Available at: <https://echa.europa.eu/da/registration-dossier/-/registered-dossier/5410/>
15. Safety data sheet of the 2,2-Dimethoxy-2-phenylacetophenone according to Regulation (EC) No. 1907/2006. Version 7.3. Sigma Aldrich. Revision Date 12.09.2022. Available at: <https://sigmaaldrich.cn/RU/en/sds/aldrich/196118?userType=undefined>
16. Information on Hazardous Chemicals and Occupational Diseases. 2,2-Dimethoxy-2-phenylacetophenone. Available at: <https://haz-map.com/Agents/19435>
17. Kawasaki Y., Tsuboi C., Yagi K., Morizane M., Masaoka Y., Esumi S., et al. Photoinitiators enhanced 1,2-dichloropropane-induced cytotoxicity in human normal embryonic lung fibroblasts cells *in vitro*. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2015; 22(6): 4763–70. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3939-8>
18. Prozorovskii V.V. The use of the least squares method for probit analysis of lethality curves. *Farmakologiya i toksikologiya*. 1962; 25(1): 115–9. <https://elibrary.ru/zcogr> (in Russian)

Сведения об авторах

- Федотова Лионэлла Айдыновна**, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: LFedotova@cspfmba.ru
- Мамонов Роман Александрович**, канд. мед. наук, начальник отд., ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: RMamonov@cspfmba.ru
- Печникова Ирина Александровна**, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: IPechnikova@cspfmba.ru
- Лебедь-Шарлевич Яна Ивановна**, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: YaSharlevich@cspfmba.ru
- Манаева Елизавета Сергеевна**, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: EManaeva@cspfmba.ru
- Потапченко Тимур Дмитриевич**, канд. техн. наук, науч. сотр., ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: TPotapchenko@cspfmba.ru
- Беляева Надежда Игоревна**, канд. биол. наук, вед. биолог, ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: NBelyaeva@cspfmba.ru
- Голландцева Александра Игоревна**, химик, ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: AGollandtseva@cspfmba.ru
- Немцева Юлия Сергеевна**, биолог, ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: IUNemtseva@cspfmba.ru

Тюрина Ирина Алексеевна, биолог, ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: ITurina@cspfmba.ru

Федорцова Дарья Юрьевна, биолог, ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: DFedortsova@cspfmba.ru

Федорцов Илья Анатольевич, лаборант, ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: IFedortsov@cspfmba.ru

Болехан Василий Николаевич, доктор мед. наук, доцент, директор ФИАЦ ММБР ФМБА России, ФГБУ "ЦСП" ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: vbolekhan@cspfmba.ru

Information about the authors

Lionella A. Fedotova, PhD (Medicine), leading researcher, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0089-5177> E-mail: LFedotova@cspfmba.ru

Roman A. Mamonov, PhD (Medicine), head, Department, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-6540-6015> E-mail: RMamonov@cspfmba.ru

Irina A. Pechnikova, PhD (Medicine), leading researcher, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1927-7432> E-mail: IPechnikova@cspfmba.ru

Yana I. Lebed-Sharlevich, PhD (Biology), senior researcher, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-4249-1093> E-mail: YaSharlevich@cspfmba.ru

Elizaveta S. Manaeva, PhD (Biology), senior researcher, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1048-6342> E-mail: EManaeva@cspfmba.ru

Timur D. Potapchenko, PhD (Engineering), researcher, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9458-3184> E-mail: TPotapchenko@cspfmba.ru

Nadezda I. Belyaeva, PhD (Biology), leading biologist, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9904-3793> E-mail: NBelyaeva@cspfmba.ru

Aleksandra I. Gollandseva, chemist, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0134-1088> E-mail: AGollandseva@cspfmba.ru

Yuliya S. Nemtseva, biologist, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0007-6360-6252> E-mail: IUNemtseva@cspfmba.ru

Irina A. Tyurina, biologist, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9364-5654> E-mail: ITurina@cspfmba.ru

Darya Yu. Fedortsova, biologist, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0002-6023-2375> E-mail: DFedortsova@cspfmba.ru

Ilya A. Fedortsov, laboratory assistant, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0001-2121-9533> E-mail: IFedortsov@cspfmba.ru

Vasily N. Bolekhan, DSc (Medicine), associate professor, director, Federal Information and Analytical Center for Monitoring Medical and Biological Risks of the Federal medical and biological agency of Russia, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2627-5534> E-mail: vbolekhan@cspfmba.ru