

© МАЛЫШЕВА А.Г., 2021

Читать  
онлайн

Малышева А.Г.

## Оценка химической безопасности природоохранных технологий по снижению загрязнения выбросов в атмосферу (на примере процессов лазерной обработки полимерных материалов)

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» ФМБА России, 119121, Москва, Россия

**Введение.** Одним из способов защиты атмосферного воздуха от промышленных загрязнений является применение природоохранных технологий, направленных на очистку выбросов. В результате техногенного воздействия промышленные выбросы могут изменять состав воздушной среды, при этом образовавшиеся продукты физико-химических превращений с иными, иногда более токсичными свойствами могут влиять на качество и химическую безопасность атмосферного воздуха по сравнению с поступающими в него в составе промышленных выбросов исходными веществами.

**Материалы и методы.** Исследования влияния разных технологий очистки выбросов в атмосферу производств лазерной обработки органического стекла и полимерных материалов проведены с использованием хромато-масс-спектрометрической системы Focus GC с DSQ II (США).

**Результаты.** Установлено изменение качественно-количественного состава выбросов процессов лазерной обработки органического стекла при использовании разных очистных устройств. Оценка эффективности электростатической технологии очистки на основе плазменно-каталитического окисления атомарным кислородом установила увеличение содержания продуктов трансформации — альдегидов. Очистные устройства оказались неэффективными и химически небезопасными в отношении одного из основных загрязняющих веществ, входящих в состав выбросов производств обработки органического стекла и полимерных материалов лазерными установками — метилметакрилата.

**Заключение.** Применение новых природоохранных технологий очистки выбросов может вызывать изменение их качественно-количественного состава, что требует химико-аналитического контроля. Для адекватной оценки эффективности и химической безопасности новых технологий очистки выбросов целесообразно использовать хромато-масс-спектрометрию, позволяющую идентифицировать и количественно определять до 100 веществ одновременно в воздухе с неизвестным составом загрязняющих веществ, что позволит не только снизить угрозу здоровью, но и учитывать возможность техногенного образования побочных продуктов трансформации.

**Ключевые слова:** выбросы в атмосферу; загрязняющие вещества; природоохранные технологии; хромато-масс-спектрометрические исследования; трансформация; химическая безопасность

**Для цитирования:** Малышева А.Г. Оценка химической безопасности природоохранных технологий по снижению загрязнения выбросов в атмосферу (на примере процессов лазерной обработки полимерных материалов). *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (3): 196-203. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-196-203>

**Для корреспонденции:** Малышева Алла Георгиевна, доктор биол. наук, профессор, вед. науч. сотр. лаб. эколога-гигиенической оценки и прогнозирования токсичности веществ ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» ФМБА России, 119121, Москва. E-mail: AMalysheva@cspniz.ru

**Конфликт интересов.** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Благодарность.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила 16.09.2020 / Принята к печати 10.03.2021 / Опубликована 16.04.2021

Alla G. Malysheva

## Estimation of chemical safety of environmental protection technologies for atmosphere pollution reduction (a case study of processes of laser treatment of polymer materials)

Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, 119121, Russian Federation

**Introduction.** One way to protect atmospheric air from industrial pollution is the use of environmental protection technologies aimed at emissions purification. As a result of the man-induced impact, the industrial emissions can change the composition of air medium, while the resulting products of physical and chemical transformations with other, sometimes more toxic properties, can influence on the quality and chemical safety of atmospheric air in comparison with the initial substances entering it as part of industrial emissions.

**Materials and methods.** Studies of the impact of various technologies of treatment the industrial atmospheric emissions of organic glass and polymer materials processing plants with laser systems were carried out using a chromatography-mass spectrometry system Focus GC с DSQ II (USA).

**Results.** We have established the change in the qualitative-quantitative composition of emissions from organic glass laser treatment processes using various cleaning devices. Estimation of electrostatic purification technology based on plasma-catalytic oxidation with atomic oxygen revealed an increase in the transformation products - aldehydes. The cleaning devices seems ineffective and chemically unsafe concerning one of the primary pollutants included in the emissions of organic glass and polymer materials processing plants with laser systems - methyl methacrylate.

**Conclusion.** The use of new environmental protection technologies for emissions purification can cause a change in their qualitative-quantitative composition, which requires chemical-analytical control. It is advisable to use chromatography-mass spectrometry to identify and quantify up to 100 substances simultaneously in the air with an unknown composition of pollutants to assess the efficiency and chemical safety of new technologies for emissions purification adequately. It will certainly reduce and minimize health risks and allow considering the possibility of man-induced formation of transformation by-products.

**Keywords:** air emissions; pollutants; environmental technologies; chromatography-mass spectrometry studies; transformation; chemical safety

**For citation:** Malysheva A.G. Estimation of chemical safety of environmental protection technologies for atmosphere pollution reduction (a case study of processes of laser treatment of polymer materials). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2021; 100 (3): 196-203. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-196-203> (In Russ.)

**For correspondence:** Alla G. Malysheva, MD, Ph.D., DSci., leading researcher of the Laboratory for environmental hygienic assessment and prediction of toxicity of substances of the Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency (Centre for Strategic Planning of FMBA of Russia), Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: AMalysheva@cspniz.ru

**Information about the authors:** Malysheva A.G., <https://orcid.org/0000-0003-3112-0980>

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

**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.

Received: September 16, 2020 / Accepted: March 10, 2021 / Published: April 16, 2021

## Введение

Проблема изучения техногенного влияния на окружающую среду и здоровье населения является одной из важнейших в гигиене. Производственные выбросы – мощный и постоянно действующий фактор, влияющий на окружающую среду, и в том числе на один из главных её компонентов – атмосферный воздух, и здоровье человека [1–9]. Рост загрязнения в промышленных городах делает необходимым проведение адекватной оценки воздействия химических веществ на человека с учётом реального уровня содержания химического загрязнения и физико-химических превращений веществ в результате воздействия новых, в том числе природоохранных, технологий [10–16]. В результате техногенного воздействия промышленные выбросы могут изменять состав воздушной среды, при этом образовавшиеся продукты физико-химических превращений с иными, иногда более токсичными свойствами могут изменять качество и химическую безопасность атмосферного воздуха по сравнению с поступающими в него в составе производственных выбросов исходными веществами [17–21].

Не может не вызывать тревоги состояние атмосферного воздуха ряда городов с развивающейся промышленностью. В список городов с наибольшим уровнем химического загрязнения (41 город) вошли: Архангельск, Братск, Грозный, Кемерово, Красноярск, Новосибирск и др. [22–24]. Имеется прямая связь между загрязнением воздуха и рядом заболеваний. Так, длительность течения респираторных заболеваний у детей, которые живут в загрязнённых районах, в 2–2,5 раза больше, чем у детей, проживающих в менее загрязнённых районах. Установлено, что постоянное превышение допустимой концентрации только одного из контролируемых загрязняющих веществ приводит к повышению заболеваемости до 2 раз [25].

Многими исследованиями доказана связь между загрязнением воздуха и смертностью людей. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно в мире примерно 3,7 млн человек умирают из-за загрязнения атмосферного воздуха. Общее количество смертей, связанных с воздействием загрязнённого воздуха, достигает 7 млн в год. По данным ВОЗ, смертность от основных неинфекционных заболеваний (НИЗ) составляет более 60% от общей смертности в мире. При этом загрязнение окружающей среды является одним из основных факторов риска развития НИЗ [26–29]. В Планах действий ВОЗ по профилактике НИЗ борьба с загрязнением воздуха определена как одно из важных направлений деятельности. Согласно оценкам ВОЗ, если бы загрязнение атмосферного воздуха в европейском регионе было снижено до минимально возможного уровня, это позволило бы сократить число утраченных лет здоровой жизни вследствие рака лёгких на 15–23%, вследствие ишемической болезни сердца – на 11–13%, вследствие инсультов – на 10–13% [26, 28].

Загрязнение атмосферного воздуха имеет неблагоприятные последствия для здоровья не только настоящего, но и последующих поколений, поэтому разработка мероприятий, направленных на то, чтобы уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу, – одна из актуальных гигиенических проблем. Одними из основных способов защиты атмосферного воздуха от промышленных загрязнений наряду с совершенствованием технологических процессов и разработкой нового оборудования с меньшим уровнем выбросов в атмосферу являются разработка и применение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды в виде природоохранных технологий, направленных на очистку выбросов. В этом направлении важными являются мероприятия по контролю выбросов загрязняющих веществ и природоохранные технологии, способные не допускать превышения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ.

Учитывая то, что технологические процессы промышленных предприятий являются источниками загрязнения атмосферы, а безотходных технологий практически не су-

ществует, то необходимыми являются мероприятия, позволяющие обеспечивать безвредность химического состава атмосферного воздуха. В частности, Федеральным законом «Об охране атмосферного воздуха» (ст. 16)<sup>1,2</sup> установлены требования к охране атмосферного воздуха при эксплуатации промышленных объектов, соблюдение которых включает отсутствие превышения экологических, санитарно-гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха, а также запрет эксплуатации предприятий, не имеющих установок очистки выбросов и средств контроля за ними.

Одной из причин неблагоприятной гигиенической ситуации в атмосферном воздухе жилой зоны вблизи расположения промышленного производства нередко являются нерешённые проблемы, связанные с реализацией природоохранных мероприятий, в том числе несовершенством воздухоочистительных устройств<sup>3,4</sup>. В настоящей работе проведено хромато-масс-спектрометрическое исследование по оценке эффективности и химической безопасности применения различных природоохранных технологий для очистки выбросов процессов обработки органического стекла и полимерных материалов лазерными установками.

Органическое стекло представляет собой синтетический полимерный материал, начало применения которого связано с развитием авиации, поставившей перед конструкторами требования обеспечения надёжной изоляции и максимального обзора кабины пилота. Органическое стекло наряду с механической обработкой обычно обрабатывают лазером [30–33].

## Материалы и методы

Проведены химико-аналитические исследования, направленные на идентификацию с количественным определением широкого спектра органических соединений, входящих в состав выбросов в атмосферу процессов обработки органического стекла и полимерных материалов лазерными устройствами до и после применения разных технологий очистки.

Для очистки выбросов в атмосферу процесса обработки органического стекла лазером использованы технологии на основе двух видов фильтров – механического и электро-механического, установленные на выходе из цеха, в котором происходила обработка (резка, гравировка) органического стекла. Механический фильтр представлял собой короб с активированным углем и полотно Петрянова. Электро-механический фильтр состоял из короба с активированным углем, к которому подведён высоковольтный электрический разряд напряжённостью 380 В.

Для очистки выбросов в атмосферу технологического процесса обработки лазерной установкой полимерных материалов использована также технология, основанная на электростатической очистке путём плазменно-каталитического окисления атомарным кислородом. Очистная установка представляла собой устройство, включающее три последовательно установленных фильтра, один из них осуществлял механическую очистку выбросов от крупных и средних частиц путём пропускания их через несколько слоёв синтетической ткани, два других фильтра осуществляли электростатическую очистку выбросов от мелких частиц полимерных

<sup>1</sup> Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ (в ред. Федеральных законов от 22.08.2004 г. № 122-ФЗ, от 09.05.2005 г. № 45-ФЗ, от 31.12.2005 г. № 199-ФЗ, от 23.07.2008 г. № 160-ФЗ).

<sup>2</sup> Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (в ред. Федеральных законов от 22.08.2004 г. № 122-ФЗ, от 29.12.2004 г. № 199-ФЗ, от 09.05.2005 г. № 45-ФЗ, от 31.12.2005 г. № 199-ФЗ).

<sup>3</sup> ГОСТ 17.2.3.02–14. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями. М.: Изд-во стандартов, 2014.

<sup>4</sup> Постановление Правительства РФ от 02.03.2000 г. № 183 (ред. от 15.02.2011 г.) «О нормативах выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него».

материалов путём плазменно-каталитического окисления атомарным кислородом химических соединений, образовавшихся в результате процесса обработки полимерных материалов лазерным устройством.

Анализы выполнены хромато-масс-спектрометрическим методом, позволяющим идентифицировать и количественно определять с чувствительностью на уровне и ниже гигиенических нормативов широкий спектр органических веществ  $C_1-C_{20}$  в воздухе с неизвестным составом загрязняющих веществ с использованием хромато-масс-спектрометра Focus GC с DSQ II (США). Отбор проб выбросов на входе и выходе из очистных сооружений проведён в сорбционные трубки статической сорбцией на полимерный сорбент (Tenax TA, зернение 0,2–0,25 мм, удельная площадь сорбции 35 м<sup>2</sup>/г) с последующей термодесорбцией [9]. Полученные результаты обрабатывали статистически с использованием программы Microsoft Excel. В работе представлены усреднённые результаты аналитических повторностей. Ошибка данных не превышает допустимой погрешности ( $M \leq 5\%$ ).

Для оценки опасности выявленных концентраций веществ использованы их гигиенические нормативы – ПДК<sub>м.р.</sub> в атмосферном воздухе населённых мест, приведённые в документе<sup>5</sup>.

## Результаты

Результаты идентификации и количественного определения широкого спектра органических соединений, обнаруженных в выбросах процесса обработки лазером органического стекла и после прохождения их через разные фильтры, приведены в табл. 1.

В табл. 2 приведён компонентный состав выбросов в атмосферу процесса обработки полимерных материалов лазерной установкой до и после выхода из очистного сооружения и для сравнения гигиенические нормативы обнаруженных веществ в атмосферном воздухе. Судя по компонентному составу выбросов, данное производство оказалось более производительным и мощным по отношению к изученному ранее, выбросы которого приведены в табл. 1.

## Обсуждение

Из табл. 1 видно, что в выбросах процесса обработки органического стекла лазерным устройством идентифицировано 37 органических веществ. Компонентный состав выбросов весьма разнообразен. Среди обнаруженных веществ присутствовали предельные (от ундекана до гептадекана), ароматические (бензол, толуол, ксилолы, этилметилбензолы, нафталин и др.) углеводороды, альдегиды и кетоны (формальдегид, бензальдегид, ацетофенон, октаналь и др.), органические кислоты (метакриловая, гексановая, гептановая, октановая), сложный эфир (метилметакрилат). В весовом отношении до 40% компонентного состава выбросов составляли ароматические углеводороды, 17% – альдегиды и кетоны, аналогичный весовой состав приходился на предельные углеводороды. Отметим, что основным компонентом выбросов, составившим более 20% суммарного содержания всего компонентного состава, являлся сложный эфир – метилметакрилат.

В составе выбросов, прошедших очистку механическим фильтром, выявлено 29 веществ. Установлено, что в результате воздействия даже механическим фильтром произошли изменения качественно-количественного состава выбросов. Так, уменьшилось количество идентифицированных веществ до 29. При этом исчезли ароматические углеводороды, в частности этилметилбензолы, этилдиметилбензолы, нафталин и метилнафталин, а также фенол и кислоты –

гексановая, гептановая и октановая. Кроме того, в 2 раза уменьшилось содержание предельных углеводородов. В то же время установлено образование трёх сложных эфиров (метилпропионат, метил- и этилакрилатов), а также увеличение до 10 раз концентрации основного компонента выбросов – метилметакрилата. В целом суммарное содержание компонентного состава выбросов после прохождения механического фильтра увеличилось до 2,5 раза.

В составе выбросов, прошедших очистку электромеханическим фильтром, установлено присутствие 40 веществ. Выявлено, что в результате воздействия электромеханическим фильтром также произошли существенные изменения качественно-количественного состава выбросов. Так, обнаружено образование трёх сложных эфиров (метилпропионат, метил-, этилакрилат). Кроме того, увеличилось содержание предельных углеводородов в 1,5 раза, суммарное содержание альдегидов и кетонов до 2 раз, органических кислот – в 1,3 раза, сложных эфиров – в 10,6 раза, в том числе основного компонента выбросов – метилметакрилата – в 10,1 раза. Суммарное содержание компонентного состава выбросов после прохождения электромеханического фильтра увеличилось до 3 раз.

Следовательно, установлено изменение качественно-количественного состава выбросов процесса лазерной обработки органического стекла при использовании очистных устройств на основе механического и электромеханического фильтров. Несмотря на эффективную очистку механическим фильтром выбросов от ряда ароматических углеводородов (этилметилбензолов, триметил- и этилдиметилбензолов) и фенола, в результате применения обоих фильтров выявлено образование сложных эфиров (метил-, этилакрилатов и метилпропионата), а также существенное увеличение (до 2 и более раз) суммарного содержания компонентного состава выбросов и их основного компонента – метилметакрилата. Изменение состава выбросов после использования фильтров можно объяснить процессами трансформации сконцентрированных на фильтре реакционноспособных веществ под влиянием электрического разряда.

Таким образом, в отношении изменения качественно-количественного химического состава выбросов использование данных видов фильтров оказалось неэффективным и в гигиеническом отношении – небезопасным. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости совершенствования технологии очистки, ориентированной на поиск более эффективных и гигиенически безопасных технологий очистки выбросов с выбором оптимальных условий их эксплуатации при осуществлении процесса обработки органического стекла лазерным устройством.

Из табл. 2 видно, что в выбросах процесса обработки полимерных материалов лазерным устройством идентифицировано 36 органических веществ, суммарное содержание которых составило 23,4 мг/м<sup>3</sup>. Обнаруженные вещества отнесли к различным группам органических соединений: насыщенным и ненасыщенным ациклическим, циклическим и ароматическим углеводородам, альдегидам, кетонам и эфирам. Наибольший вклад (более 64%) в суммарное содержание идентифицированных веществ вносили кислородсодержащие соединения, из них эфиры – до 50%, кетоны – до 14%, альдегиды – до 5%. Вклад насыщенных углеводородов составил около 29%.

Воздействие очистной установки привело к уменьшению количества загрязняющих веществ в выбросах с 36 до 32. В выбросах исчезли стирол, нафталин, изопропил- и бутилметакрилаты, циклопентадиен. Уменьшилось также суммарное содержание загрязняющих веществ в 1,1 раза. Так, суммарное содержание насыщенных углеводородов снизилось в 1,3 раза, ненасыщенных – в 1,1 раза, эфиров – в 1,1 раза. В то же время увеличилось суммарное содержание альдегидов в 1,7 раза, ароматических углеводородов – в 1,1 раза, в том числе бензола – в 1,4 раза. Однако содержание основного компонента выбросов – метилметакрилата – осталось неизменным.

<sup>5</sup> Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.6.1338-03 М.: «СТК Аякс». 2003; 1–84. ГН 2.1.6.2498-09 с изменениями и дополнениями (дополнение 7 от 09 апреля 2009 г.; изменение 3 от 12 января 2015 г.).

Таблица 1 / Table 1

**Компонентный состав органических веществ (мг/м<sup>3</sup>), обнаруженных в выбросах процесса обработки органического стекла лазерным устройством при разных технологиях очистки****Component composition of organic substances (mg/m<sup>3</sup>) detected in emissions from the processing of organic glass by a laser device under various cleaning technologies**

№	Вещество	Substance	До очистки Before cleaning	После очистки фильтром After cleaning with a filter	
				механическим mechanical	электромеханическим electromechanical
	<b>Предельные углеводороды:</b>	<b>Saturated hydrocarbons:</b>	<b>0.16</b>	<b>0.074</b>	<b>0.24</b>
1	Ундекан (C <sub>11</sub> )	Undecane (C <sub>11</sub> )	0.01	0.01	0.01
2	Додекан (C <sub>12</sub> )	Dodecane (C <sub>12</sub> )	0.01	0.01	0.01
3	Тридекан (C <sub>13</sub> )	Tridecane (C <sub>13</sub> )	0.01	0.01	0.03
4	Тетрадекан (C <sub>14</sub> )	Tetradecane (C <sub>14</sub> )	0.02	0.01	0.03
5	Пентадекан (C <sub>15</sub> )	Pentadecane (C <sub>15</sub> )	0.04	0.02	0.07
6	Гексадекан (C <sub>16</sub> )	Hexadecane (C <sub>16</sub> )	0.03	0.004	0.04
7	Гептадекан (C <sub>17</sub> )	Heptadecane (C <sub>17</sub> )	0.04	0.01	0.05
	<b>Ароматические углеводороды:</b>	<b>Aromatic hydrocarbons:</b>	<b>0.363</b>	<b>0.20</b>	<b>0.221</b>
8	Бензол	Benzene	0.07	0.03	0.03
9	Толуол	Toluene	0.10	0.06	0.05
10	Этилбензол	Ethylbenzene	0.03	0.02	0.02
11	мета-, пара-Ксилолы	meta -, para-Xylenes	0.08	0.05	0.05
12	о-Ксилол	o-Xylene	0.04	0.02	0.02
13	н-Пропилбензол	n-propylbenzene	0.002	0.01	0.002
14	1-Этил-3-метилбензол	1-Ethyl-3-methylbenzene	0.01	0.01	0.01
15	1-Этил-4-метилбензол	1-Ethyl-4-methylbenzene	0.004	–	0.01
16	1-Этил-2-метилбензол	1-Ethyl-2-methylbenzene	0.003	–	0.002
17	1.2.3-Триметилбензол	1.2.3-Trimethylbenzene	0.01	–	0.01
18	2-Этил-1.3-диметилбензол	2-Ethyl-1.3-dimethylbenzene	0.002	–	0.001
19	1-Этил-2.3-диметилбензол	1-Ethyl-2.3-dimethylbenzene	0.001	–	0.005
20	Нафталин	Naphthalene	0.001	–	0.001
21	1-Метилнафталин	1-Methylnaphthalene	0.01	–	0.01
22	Инден	Inden	0.02	0.01	0.02
23	2-Этилгексанол	2-Ethylhexanol	0.03	0.02	0.04
24	Фенол	Phenol	0.001	–	0.002
	<b>Альдегиды и кетоны:</b>	<b>Aldehydes and ketones:</b>	<b>0.182</b>	<b>0.12</b>	<b>0.35</b>
25	Формальдегид	Formaldehyde	0.10	0.04	0.08
26	Бутанон-2	Butanone-2	0.01	0.01	0.03
27	Гексаналь	Hexanal	0.01	0.01	0.01
28	Этанон.1-циклопропил	Ethanone.1-cyclopropyl	0.02	0.01	0.15
29	Октаналь	Octanal	0.01	0.01	0.01
30	2-Пентанон.4-окси.4-метил	2-Pentanone.4-hydroxy.4-methyl	0.002	0.01	0.01
31	Бензальдегид	Benzaldehyde	0.02	0.02	0.03
32	Ацетофенон	Acetophenone	0.01	0.01	0.03
	<b>Органические кислоты:</b>	<b>Organic acids:</b>	<b>0.042</b>	<b>0.001</b>	<b>0.054</b>
33	Метакриловая	Methacrylic	0.002	0.001	0.004
34	Гексановая	Hexane	0.02	–	0.02
35	Гептановая	Heptane	0.01	–	0.01
36	Октановая	Octane	0.01	–	0.02
	<b>Сложные эфиры:</b>	<b>Complex esters:</b>	<b>0.19</b>	<b>1.99</b>	<b>2.02</b>
37	Метилпропионат	Methylpropionate	–	0.01	0.01
38	Метилакрилат	Methyl acrylate	–	0.14	0.08
39	Этилакрилат	Ethyl acrylate	–	0.01	0.02
40	Метилметакрилат	Methyl methacrylate	0.19	1.83	1.91
	<b>Суммарное содержание</b>	<b>Total content</b>	<b>0.988</b>	<b>2.415</b>	<b>2.947</b>
	<b>Количество органических веществ</b>	<b>The amount of organic matter</b>	<b>37</b>	<b>29</b>	<b>40</b>

Таблица 2 / Table 2

Изменение компонентного состава ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) выбросов процесса обработки полимерных материалов лазером в результате использования электростатической технологии очистки на основе плазменно-каталитического окисления атомарным кислородом  
Change in the component composition ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) of emissions under processing polymer materials with a laser as a result of the use of electrostatic purification technology based on plasma catalytic oxidation with atomic oxygen

№	Вещество	Substance	До очистки Before cleaning	После очистки After cleaning	Гигиенический норматив, $\text{mg}/\text{m}^3$ / Hygienic standard, $\text{mg}/\text{m}^3$		
					ПДК <sub>м.р.</sub> maximum permissible maximum-one-time concentration	ПДК <sub>с.с.</sub> maximum permissible average daily concentration	ОБУВ Estimated Safe Exposure Levels
	<b>Углеводороды, в том числе:</b>	<b>Hydrocarbons, including:</b>	<b>8.37</b>	<b>6.52</b>	—	—	—
	<b>насыщенные ациклические:</b>	<b>saturated acyclic:</b>	<b>6.88</b>	<b>5.17</b>	—	—	—
1	2-Метилпентан	2-Methylpentane	0.06	0.06	—	—	—
2	3-Метилпентан	3-Methylpentane	0.06	0.06	—	—	—
3	Гексан	Hexane	0.11	0.10	60	—	—
4	2,4-Диметилпентан	2,4-Dimethylpentane	<b>0.15</b>	<b>0.16</b>	—	—	$\Sigma C_7 = 1.5$
5	2-Метилгексан	2-Methylhexane	<b>2.50</b>	<b>2.20</b>	—	—	$\Sigma C_7 = 1.5$
6	2,3-Диметилпентан	2,3-Dimethylpentane	<b>0.70</b>	<b>0.60</b>	—	—	$\Sigma C_7 = 1.5$
7	3-Метилгексан	3-Methylhexane	<b>3.30</b>	<b>2.00</b>	—	—	$\Sigma C_7 = 1.5$
	<b>ненасыщенные ациклические:</b>	<b>unsaturated acyclic:</b>	<b>0.13</b>	<b>0.12</b>	—	—	—
8	Пентен-1	Pentene-1	0.02	0.02	$\Sigma C_5H_{10} = 1.5$	—	—
9	2-Метилбутен-1	2-Methylbutene-1	0.03	0.02	$\Sigma C_5H_{10} = 1.5$	—	—
10	1,3-Пентадиен	1,3-Pentadiene	0.02	0.02	0.5	—	—
11	Гексен-1	Hexene-1	0.06	0.06	0.4	0.085	—
	<b>насыщенные циклические:</b>	<b>saturated cyclic:</b>	<b>0.48</b>	<b>0.46</b>	—	—	—
12	Метилциклопентан	Methylcyclopentane	0.07	0.07	—	—	—
13	Циклогексан	Cyclohexane	0.17	0.17	1.4	—	—
14	Диметилциклопентаны	Dimethylcyclopentanes	0.15	0.14	—	—	—
15	Метилциклогексан	Methylcyclohexane	0.09	0.08	—	—	—
	<b>ненасыщенные циклические:</b>	<b>unsaturated cyclic:</b>	<b>0.04</b>	—	—	—	—
16	1,3-Циклопентадиен	1,3-Cyclopentadiene	0.04	—	—	—	0.05
	<b>Ароматические:</b>	<b>Aromatic:</b>	<b>0.71</b>	<b>0.76</b>	—	—	—
17	Бензол	Benzene	<b>0.43</b>	<b>0.66</b>	0.3	0.1	—
18	Толуол	Toluene	0.10	0.10	0.6	—	—
19	Стирол	Styrene	0.18	—	0.04	0.002	—
	<b>полиядерные ароматические:</b>	<b>polynuclear aromatic:</b>	<b>0.13</b>	—	—	—	—
20	Нафталин	Naphthalene	0.13	—	0.007	—	—
	<b>Кислородсодержащие вещества, в том числе:</b>	<b>Oxygenated substances, including:</b>	<b>15.03</b>	<b>14.84</b>	—	—	—
	<b>альдегиды:</b>	<b>aldehydes:</b>	<b>0.64</b>	<b>1.10</b>	—	—	—
21	Формальдегид	Formaldehyde	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	0.035	0.003	—
22	Гексаналь	Hexanal	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>	0.02	—	—
23	Октаналь	Octanal	<b>0.05</b>	<b>0.07</b>	0.02	—	—
24	Нонаналь	Nonanal	<b>0.18</b>	<b>0.40</b>	0.02	—	—
25	Деканаль	Decanal	<b>0.20</b>	<b>0.42</b>	0.02	—	—
26	Бензальдегид	Benzaldehyde	<b>0.12</b>	<b>0.12</b>	0.04	—	—
	<b>кетоны:</b>	<b>ketones:</b>	<b>3.07</b>	<b>3.04</b>	—	—	—
27	Ацетон	Acetone	<b>3.00</b>	<b>3.00</b>	0.35	—	—
28	Ацетофенон	Acetophenone	<b>0.07</b>	<b>0.04</b>	0.003	—	—
	<b>эфир:</b>	<b>Ethers:</b>	<b>11.32</b>	<b>10.70</b>	—	—	—
29	Тетрагидрофуран	Tetrahydrofuran	<b>0.40</b>	<b>0.40</b>	0.2	—	—
30	Метилакрилат	Methyl acrylate	<b>0.17</b>	<b>0.15</b>	0.01	—	—
31	Метилметакрилат	Methyl methacrylate	<b>10.00</b>	<b>10.00</b>	0.1	0.01	—
32	Метилтриметилацетат	Methyl trimethyl acetate	0.07	0.07	—	—	—
33	Метил-2-метилбутират	Methyl 2-methylbutyrate	0.04	0.03	—	—	—
34	Этилакрилат	Ethyl acrylate	<b>0.20</b>	<b>0.05</b>	0.0007	—	—
35	Изопропилакрилат	Isopropyl acrylate	0.04	—	—	—	—
36	Бутилметакрилат	Butyl methacrylate	<b>0.40</b>	—	0.0075	—	—
	Всего загрязняющих веществ:	Total pollutants:	—	—	—	—	—
	количество	amount	<b>36</b>	<b>31</b>	—	—	—
	концентрация, $\text{mg}/\text{m}^3$	concentration, $\text{mg}/\text{m}^3$	<b>23.40</b>	<b>21.40</b>	—	—	—

Примечание. *Полужирным курсивом* выделены концентрации, превышающие гигиенические нормативы.

Note. Concentrations exceeding hygienic standards are highlighted in *bold italics*.

Для 8 из 36 веществ, идентифицированных в выбросах обработки полимерных материалов лазерной установкой, гигиенические нормативы не установлены. Среди нормированных веществ ряд соединений присутствовал в концентрациях, превышающих их гигиенические нормативы в атмосферном воздухе (ПДК<sub>м.р.</sub>, ОБУВ). Так, углеводороды C<sub>7</sub>H<sub>16</sub> (4 вещества) присутствовали в концентрации, в 4,4 раза превышающей ОБУВ; бензол — в концентрации, в 1,4 раза превышающей ПДК<sub>м.р.</sub>; 6 альдегидов в превышающих ПДК<sub>м.р.</sub> концентрациях, в том числе: формальдегид — в 1,2 раза, гексаналь — 2,5 раза, октаналь — в 2,5 раза, нонаналь — в 9 раз, деканаль — в 10 раз, бензальдегид — в 3 раза; в превышающих ПДК<sub>м.р.</sub> концентрациях 2 кетона, среди них: ацетон — в 8,6 раза, ацетофенон — в 23 раза, а также тетрагидрофуран в концентрации, в 2 раза превышающей ПДК<sub>м.р.</sub>, и 4 сложных эфира в концентрациях: метилакрилат — в 17 раз, метилметакрилат — в 100 раз, этилакрилат — в 300 раз и бутилметакрилат — в 53 раза превышающих ПДК<sub>м.р.</sub>.

Для 7 из 31 идентифицированного вещества, поступающего в атмосферный воздух с выбросами производства обработки полимерных материалов, на выходе из очистного устройства гигиенические нормативы не установлены. Среди нормированных веществ (24) ряд соединений присутствовал в концентрациях, превышающих их гигиенические нормативы (ПДК<sub>м.р.</sub>, ОБУВ). Так, обнаружены: углеводороды C<sub>7</sub>H<sub>16</sub> (4 вещества) в концентрации, в 3,3 раза превышающей ОБУВ; бензол в концентрации, в 2,2 превышающей ПДК<sub>м.р.</sub>; 6 альдегидов, в том числе формальдегид, — в 1,5 раза, гексаналь — в 2 раза, октаналь — в 3,5 раза, нонаналь — в 20 раз, деканаль — в 21 раз, бензальдегид — в 3 раза превышающих ПДК<sub>м.р.</sub>; 2 кетона, среди них ацетон — в 8,6 раза и ацетофенон — в концентрациях, в 13,3 раза превышающих ПДК<sub>м.р.</sub>, а также тетрагидрофуран в концентрации, в 2 раза превышающей ПДК<sub>м.р.</sub>, и три сложных эфира в концентрациях: метилакрилат — в 15 раз, метилметакрилат — в 100 раз и этилакрилат — в концентрации, в 70 раз превышающей ПДК<sub>м.р.</sub>.

Как видно из табл. 2, в выбросах до и после очистного устройства обнаружены эфиры акриловой кислоты (метил-, этил-) и метиловый эфир метакриловой кислоты, концентрация которых составила 10,2 мг/м<sup>3</sup>, то есть практически половина суммарного содержания всех идентифицированных веществ. В то же время известно [34], что как метиловый, так и этиловый эфиры обладают наркотическим, общетоксическим и резко раздражающим действием. Для метилакрилата пороговые концентрации по ощущению запаха, изменению световой чувствительности глаза и электрической активности головного мозга — 1,7 мг/м<sup>3</sup>, раздражение слизистых оболочек наблюдалось при 250–500 мг/м<sup>3</sup>. Метилметакрилат — токсичное вещество. Для человека порог обонятельного ощущения — 0,2 мг/м<sup>3</sup>, порог рефлекторного действия на световую чувствительность глаза — 25 мг/м<sup>3</sup>, влияние на электрическую активность головного мозга — 0,15 мг/м<sup>3</sup>. Симптомами отравления являются слабость, тошнота, головная боль, головокружение, стеснение в груди, потеря сознания с кратковременными судорогами. По официальной информации Федеральной службы по контролю за оборотом наркотиков, метилметакрилат и метилакрилат используются для изготовления наркотического средства 3-метилфентанил, который в тысячи раз активнее морфина и в несколько сотен раз — героина. Поэтому метилметакрилат внесён в Таблицу II Списка IV Перечня наркотических средств, психотропных веществ и их прекурсоров (веществ, принимающих участие в

реакции, приводящей к образованию целевого вещества).оборот метилметакрилата в Российской Федерации ограничен, и в отношении него устанавливаются общие меры контроля [Постановление Правительства РФ от 30.06.1998 г. № 681 (ред. от 03.06.2010 г.) «Об утверждении перечня наркотических средств, психотропных веществ и их прекурсоров, подлежащих контролю в Российской Федерации»].

Оценивая эффективность очистного устройства, отметим, что суммарное содержание загрязняющих веществ на выходе из устройства уменьшилось несущественно (в 1,1 раза). Концентрации насыщенных углеводородов уменьшились в 1,3 раза, ненасыщенных — практически не изменились, ароматических углеводородов — увеличились в 1,1 раза, кислородсодержащих веществ практически не изменилась, при этом содержание альдегидов даже возросло в 1,7 раза, кетонов — не изменилось, эфиров — уменьшилось только в 1,1 раза. Очистное устройство оказалось неэффективным также в отношении одного из основных соединений, входящих в состав выбросов производства обработки полимерных материалов лазерной установкой — метилметакрилата, — с точки зрения вклада (~ 50%) в суммарное содержание загрязняющих веществ.

Следовательно, хромато-масс-спектрометрические исследования, направленные на идентификацию с количественной оценкой широкого спектра органических веществ в выбросах, установили, что использование электростатической технологии очистки на основе плазменно-каталитического окисления атомарным кислородом компонентов выбросов производства обработки полимерных материалов лазерной установкой также оказалось неэффективным и химически небезопасным для здоровья.

## Заключение

В выбросах в атмосферу процессов обработки лазером органического стекла и полимерных материалов методом хромато-масс-спектрометрии идентифицировано около 40 органических соединений. Обнаруженные вещества относятся к различным группам химических соединений. Среди них предельные, непредельные, ароматические углеводороды, альдегиды, кетоны, сложные эфиры, органические кислоты. Наибольший вклад (до 60 и более процентов) в суммарное содержание всех загрязняющих веществ вносила группа сложных эфиров, в том числе метилметакрилат. Установлено, что, несмотря на несущественное (в 1,1 раза) снижение суммарного содержания загрязняющих веществ, ни одна из трёх предложенных технологий очистки выбросов, в частности на основе механического, электрохимического фильтров и электростатической очистки путём плазменно-каталитического окисления атомарным кислородом, не позволила уменьшить содержание основного компонента выбросов — токсичного и опасного метилметакрилата, а наоборот — одна из технологий способствовала образованию метил- и этилакрилатов. Для адекватной оценки эффективности и химической безопасности новых технологий очистки выбросов целесообразно использовать современный метод физико-химического анализа — хромато-масс-спектрометрию, позволяющую идентифицировать и количественно определять до 100 и более веществ в воздухе с неизвестным составом загрязняющих веществ, что позволит минимизировать угрозу здоровью человека с учётом возможного влияния на него техногенного образования побочных продуктов трансформации.

## Литература

(п.п. 26–29 см. References)

1. Кушелев В.П. *Охраны природы от загрязнений промышленными выбросами*. М.: Химия; 1979.
2. Белов С.Д., Барбинов Ф.А., Козьяков А.Ф. *Охрана окружающей среды*. М.; 1999.
3. Кирсанов Ю.Г. *Оценка воздействия выбросов вредных веществ на атмосферный воздух*. Екатеринбург; 2018.
4. Кнут В.А. *Промышленная экология*. М.; 1986.
5. Оранская И.И., Шевчик А.А., Ярушин С.В., Гурвич В.Б., Адамцев Е.И. Идентификация опасности при оценке и управлении риском для здоровья населения в процессе обоснования размера санитарно-защитной зоны промышленного предприятия. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(12): 1204–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1204-1207>

6. Бондарева Т.И. *Экология химических производств*. М.; 1986.
7. Родионов А.И., Кузнецов Ю.П., Зенков В.В., Соловьев Г.С. *Оборудование, сооружения, основы проектирования химико-технологических процессов защиты биосферы от промышленных выбросов*. М.: Химия; 1985.
8. Зайцев В.А. *Промышленная экология*. М.: БИНОМ; 2015.
9. Малышева А.Г., Козлова Н.Ю., Юдин С.М. Неучтенная химическая опасность процессов трансформации веществ в окружающей среде при оценке эффективности применения технологий. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(6): 490–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-490-497>
10. Малышева А.Г., Козлова Н.Ю., Растянный Е.Г., Ермаков А.А., Шохин В.А. Физико-химические исследования для оценки химической безопасности и эффективности применения новой системы очистки свалочного газа на полигоне твердых бытовых отходов. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(11): 1103–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-11-1103-1108>
11. Малышева А.Г., Рахманин Ю.А., Растянный Е.Г., Козлова Н.Ю., Артюшина И.Ю., Шохин В.А. Хромато-масс-спектрометрические исследования летучих выделений растений для оценки эффективности и химической безопасности применения средоулучшающих фитотехнологий. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(6): 501–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-6-501-507>
12. Швыряев И.А. *Физико-химические превращения в атмосфере и оценка экологического риска от выбросов промышленных объектов*: Автореф. дисс. ... канд. хим. наук. М.; 2006.
13. Швыряев И.А. Оценка воздействия продуктов превращения выбросов компрессорных станций на природные объекты Крайнего Севера. *Вестник Российского университета дружбы народов. Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2006; (1): 14–22.
14. Малышева А.Г., Юдин С.М. Трансформация химических веществ в окружающей среде как неучтенный фактор опасности для здоровья населения. *Химическая безопасность*. 2019; 3(2): 45–66. <https://doi.org/10.25514/CHS.2019.2.16005>
15. Швыряев И.А., Меньшиков В.В. Региональная оценка риска с учетом вторичных процессов загрязнителей в атмосфере. In: *Revija rada – XXXII*. Megraf Beograd: Zastita press; 2002: 159–64.
16. Хадарцев А.А., Хрупачев А.Г., Ганюков С.П. Трансформация техногенных загрязнителей в атмосферном воздухе. *Фундаментальные исследования*. 2010; (12): 158–64.
17. Чернявский С.А. *Исследование трансформации химических примесей в атмосфере и оценка экологического риска как условие повышения информативности системы мониторинга*: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.; 2015.
18. Беляев Н.Н., Славинская Е.С., Кириченко Р.В. Прогноз загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта с учетом химической трансформации вредных веществ. *Наука и прогресс транспорта*. 2017; (3): 15–22. <https://doi.org/10.15802/stp2017/104549>
19. Мишарина Т.А., Константинова М.Л., Крикунова Н.И., Подмастерьев В.В., Разумовский С.Д., Теренина М.Б. и соавт. Определение летучих органических веществ до и после их озонирования в воздухе закрытых помещений. *Прикладная аналитическая химия*. 2015; 5(1): 10–6.
20. Рахманин Ю.А., Малышева А.Г. Концепция развития государственной системы химико-аналитического мониторинга окружающей среды. *Гигиена и санитария*. 2013; 92(6): 4–9.
21. Копытенкова О.И., Леванчук А.В., Еремин Г.Б. Гигиеническая характеристика воздушного бассейна в районе интенсивной эксплуатации дорожно-автомобильного комплекса. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(6): 613–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-613-618>
22. Паспорт национального проекта «Экология». Утвержден Президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол № 16 от 24.12.2018. Available at: <https://www.mnr.gov.ru/upload/medialibrary/5e7/ecology.pdf>
23. Ключев Н.Н., Яковенко Л.М. «Грязные» города России: факторы, определяющие загрязнение атмосферного воздуха. *Вестник Российского университета дружбы народов*. 2018; 26(2): 237. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2018-26-2-237-250>
24. Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Горяев Д.В. Методические подходы к выбору точек и программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха в рамках социально-гигиенического мониторинга для задач федерального проекта «Чистый воздух». *Анализ риска здоровью*. 2019; (3): 4–17. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.01>
25. Сидоренко Г.И., Крутько В.Н. *Сохранить здоровье нации*. В кн.: *Экологическая альтернатива*. М.: Прогресс; 1990: 760–95.
30. Федотов Д.Е., Марков В.В. Технические возможности лазерных технологий в машиностроении и приборостроении. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2010; 2–3(280): 110–5.
31. Сентюрин Е.Г., Мекалина И.В., Айзатулина М.К., Орлова И.В. Полирование и шлифование – эффективные методы повышения «серебростойкости» и оптических характеристик оргстекла при изгиблении и продлении ресурса авиационного остекления в эксплуатации (обзор). *Труды ВИАМ*. 2018; (10): 45–52.
32. Мекалина И.В., Сентюрин Е.Г., Климова С.Ф., Богатов В.А. Новые «серебростойкие» органические стекла. *Авиационные материалы и технологии*. 2012; (4): 45–8.
33. Овчинникова Ю.В., Усольцев В.П. Особенности лазерного гравирования изделий из оргстекла. В кн.: *Материалы XII Международной научно-технической конференции «Приборостроение в XXI веке – 2016. Интеграция науки, образования и производства»*. Ижевск; 2017: 623–7.
34. Лазарев Н.В., ред. *Вредные вещества в промышленности. Том 1. Органические вещества*. Ленинград: Химия; 1976: 178–84.

## References

1. Kusehev V.P. *Environmental Protection from Industrial Pollution [Okhrany prirody ot zagryazneniy promyshlennymi vybrosami]*. Moscow: Khimiya; 1979. (in Russian)
2. Belov S.D., Barbinov F.A., Koz'yakov A.F. *Environmental Protection [Okhrana okruzhayushchey sredy]*. Moscow; 1999. (in Russian)
3. Kirsanov Yu.G. *Evaluation of the Effect of Emissions of Harmful Substances on Atmospheric Air [Otsenka vozdeystviya vybrosov vrednykh veshchestv na atmosferyy vozdukh]*. Ekaterinburg; 2018. (in Russian)
4. Knut V.A. *Industrial Ecology [Promyshlennaya ekologiya]*. Moscow; 1986. (in Russian)
5. Oranskaya I.I., Shevchik A.A., Yarushin S.V., Gurvich V.B., Adamtsev E.I. The hazard identification in the assessment and management of the health risk of the population in the process of the justification of the size of the sanitary protection zone of an industrial enterprise. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(12): 1204–7. (in Russian)
6. Bondareva T.I. *Ecology of Chemical Industries [Ekologiya khimicheskikh proizvodstv]*. Moscow; 1986. (in Russian)
7. Rodionov A.I., Kuznetsov Yu.P., Zenkov V.V., Solov'ev G.S. *Equipment, Structures, Design Fundamentals of Chemical-Technological Processes for Protecting the Biosphere from Industrial Emissions [Oborudovanie, sooruzheniya, osnovy proektirovaniya khimiko-tehnologicheskikh protsessov zashchity biosfery ot promyshlennykh vybrosov]*. Moscow: Khimiya; 1985. (in Russian)
8. Zaytsev V.A. *Industrial Ecology [Promyshlennaya ekologiya]*. Moscow: BINOM; 2015. (in Russian)
9. Malysheva A.G., Kozlova N.Yu., Yudin S.M. The unaccounted hazard of processes of substances transformation in the environment in the assessment of the effectiveness of the application of technologies. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(6): 490–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-490-497> (in Russian)
10. Malysheva A.G., Kozlova N.Yu., Rastyannikov E.G., Ermakov A.A., Shokhin V.A. Physico-chemical investigations for the assessment of the chemical safety and efficacy of application of a new system of landfill gas purification at the solid domestic garbage dump. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(11): 1103–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-11-1103-1108> (in Russian)
11. Malysheva A.G., Rakhmanin Yu.A., Rastyannikov E.G., Kozlova N.Yu., Artushina I.Yu., Shokhin V.A. Gas chromatography-mass spectrometric studies of volatile emissions from plants for the assessment of the effectiveness and chemical safety of the implementation of environment improving phytotechnologies. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(6): 501–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-6-501-507> (in Russian)
12. Shvyryaev I.A. *Physicochemical transformations in the atmosphere and environmental risk assessment from emissions of industrial facilities*: Diss. Moscow; 2006. (in Russian)
13. Shvyryaev I.A. Assessment of the impact of the products of conversion of emissions of compressor stations on natural objects of the Far North. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2006; (1): 14–22. (in Russian)
14. Malysheva A.G., Yudin S.M. Transformation of chemicals in the environment as an overlooked hazard factor for public health. *Khimicheskaya bezopasnost'*. 2019; 3(2): 45–66. <https://doi.org/10.25514/CHS.2019.2.16005> (in Russian)
15. Shvyryaev I.A., Men'shikov V.V. Regional risk assessment taking into account secondary processes of pollutants in the atmosphere. In: *Revija rada, godina XXXII*. Megraf Beograd: Zastita press; 2002: 159–64. (in Russian)
16. Khadartsev A.A., Khrupachev A.G., Ganyukov S.P. Transformation of the technogenic pollutants in the air. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2010; (12): 158–64. (in Russian)
17. Chernyavsky S.A. *Investigation of the transformation of chemical impurities in the atmosphere and environmental risk assessment as a condition for increasing the information content of the monitoring system*: Diss. Moscow; 2015. (in Russian)
18. Belyaev N.N., Slavinskaya E.S., Kirichenko R.V. Prediction of atmospheric air pollution by emissions of motor transport taking into account the chemical transformation of harmful substances. *Nauka i progress transporta*. 2017; 3 (69): 15–22. (in Russian)
19. Misharina T.A., Konstantinova M.L., Krikunova N.I., Podmaster'ev V.V., Razumovskiy S.D., Terenina M.B., et al. The detection of volatile organic compounds before and after their ozonation in closed space air. *Prikladnaya analiticheskaya khimiya*. 2015; 5(1): 10–6. (in Russian)
20. Rakhmanin Yu.A., Malysheva A.G. The concept of the development of the state of chemical-analytical environmental monitoring. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2013; 92(6): 4–9. (in Russian)

## Original article

21. Kopytenkova O.I., Levanchuk A.V., Eremin G.B. Hygienic characteristics of the atmospheric air in the area of intensive use of the road-car complex. *Gigi-ena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(6): 613–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-613-618> (in Russian)
22. Passport of the national project «Ecology». Approved Presidium of the Presidential Council for Strategic Development and National Projects, Protocol № 16; 24.12.2018. Available at: <https://www.mnr.gov.ru/upload/medialibrary/5e7/ecology.pdf> (in Russian)
23. Klyuev N.N., Yakovenko L.M. «Dirty» cities in Russia: factors determining air pollution. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov*. 2018; 26(2): 237. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2018-26-2-237-250> (in Russian)
24. Zaytseva N.V., May I.V., Kleyn S.V., Goryaev D.V. Methodical approaches to selecting observation points and programs for observation over ambient air quality within social and hygienic monitoring and «Pure air» federal project. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (3): 4–17. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.01> (in Russian)
25. Sidorenko G.I., Krut'ko V.N. *Preserve the Health of the Nation*. In: *Environmental Alternative [Ekologicheskaya al'ternativa]*. Moscow: Progress; 1990: 760–95. (in Russian)
26. WHO. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease; 2016. Available at: <https://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en>
27. WHO. Global Status Report on Noncommunicable Diseases – 2014. Available at: <https://www.who.int/nmh/publications/ncd-status-report-2014/en>
28. Cohen A.J., Brauer M., Burnett R., Anderson H.R., Frostad J., Estep K., et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*. 2017; 389(10082): 1907–18. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(17)30505-6)
29. Lelieveld J., Evans J.S., Fnais M., Giannadaki D., Pozzer A. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*. 2015; 525(7569): 367–71. <https://doi.org/10.1038/nature15371>
30. Fedotov D.E., Markov V.V. Technical possibilities of laser technologies in the device-building. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2010; 2–3(280): 110–5. (in Russian)
31. Sentyurin E.G., Mekalina I.V., Ayzatulina M.K., Orlova I.V. Polishing and grinding are effective methods to increase the “silver resistance” and optical characteristics of plexiglas in the manufacture and extension of the life of aircraft glazing in operation (review). *Trudy VIAM*. 2018; (10): 45–52. (in Russian)
32. Mekalina I.V., Sentyurin E.G., Klimova S.F., Bogatov V.A. Novel «silver-stable» organic glasses. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii*. 2012; (4): 45–8. (in Russian)
33. Ovchinnikova Yu.V., Usol'tsev V.P. Features of laser engraving of products made of organic glass. In: *The Collection of Materials of the XII International Scientific and Technical Conference «Instrument-Making in the XXI Century - 2016. Integration of Science, Education and Production» [Materialy XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Priborostroenie v XXI veke – 2016. Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva»]*. Izhevsk; 2017: 623–7. (in Russian)
34. Lazarev N.V., ed. *Harmful Substances in Industry. Tom 1. Organic Matter [Vrednye veshchestva v promyshlennosti. Tom 1. Organicheskie veshchestva]*. Leningrad: Khimiya; 1976: 178–84. (in Russian)