

© МАЛЬКОВА Н.Ю., ПЕТРОВА М.Д., 2025

Малькова Н.Ю.^{1,2}, Петрова М.Д.¹

Гигиеническая оценка лазерного излучения установок, применяемых для метеорологического прогнозирования

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия;²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России, 191015, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. На безопасность полётов влияет множество факторов, в том числе давление воздуха, направление и скорость ветра, облачность, осадки. Технологии мониторинга атмосферных явлений постоянно совершенствуются, оборудование становится всё точнее, но вместе с тем и потенциально опаснее для населения, особенно при использовании мощных установок на основе лазерного излучения — лидаров.

Цель исследования — гигиеническая оценка лазерного оборудования, используемого для мониторинга и прогнозирования метеорологической обстановки.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели выполнен комплекс гигиенических исследований. Всего проведено более 1000 замеров излучения от 8 лазерных установок различной мощности и технических характеристик. Замеры лазерного излучения выполнены в трёх областях спектра — видимой, ближней и дальней инфракрасной.

Результаты. В большинстве конструкций используется лазер в качестве излучателя, формирующего короткие и мощные импульсы. Для выбора длины волны лазера учитывается его функция и непосредственное назначение; чаще всего применяются Nd:YAG-лазеры с длиной волны 355–1540 нм. Исследования показали, что при эксплуатации лидара излучение на длине волны 355 нм безопасно для глаз и кожи человека, а на длине волны 532 и 1064 нм опасно для зрения человека и безопасно для кожи. Лидарные профилометры, генерирующие излучение в дальнем ИК-диапазоне, безопасны для глаз и кожи человека.

Ограничения исследования связаны с рассматриваемыми длинами волн и режимами работы оборудования.

Заключение. Анализ показал, что в литературных источниках недостаточно данных о гигиенической оценке лазерных лидарных систем и их безопасности для человека. Поэтому необходима полноценная гигиеническая оценка лазерного излучения непосредственно перед введением в эксплуатацию лидарных установок с учётом технических характеристик (мощность, длительность импульса, диаметр луча и т. д.) и комбинации используемых длин волн.

Ключевые слова: лазерное излучение; метеорологическая обстановка; лидары

Для цитирования: Малькова Н.Ю., Петрова М.Д. Гигиеническая оценка лазерного излучения установок, применяемых для метеорологического прогнозирования. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(8): 942–945. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-8-942-945> <https://elibrary.ru/qqnjbm>

Для корреспонденции: Малькова Наталья Юрьевна, e-mail: n.malkova@s-znc.ru

Участие авторов: Малькова Н.Ю. — концепция и дизайн исследования, сбор материала, написание текста; редактирование; Петрова М.Д. — сбор материала и обработка данных, написание текста. 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: 28.04.2025 / Принята к печати: 14.07.2025 / Опубликовано: 25.09.2025

Natalia Yu. Malkova^{1,2}, Milena D. Petrova¹

Hygienic assessment of the laser radiation from installations used for the meteorological forecasting

¹North-West Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation;²North-Western State Medical University named after I. Mechnikov, St. Petersburg, 191015, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Flight safety is affected by many factors, such as air pressure, wind direction and speed, clouds, and precipitation. Atmospheric monitoring technologies are constantly being improved, and equipment is becoming more accurate, but at the same time potentially more dangerous for the public, especially in matters related to the use of powerful laser-based lidar installations.

The purpose of the study is a hygienic assessment of laser equipment used for monitoring and forecasting the meteorological situation.

Materials and methods. To achieve this goal, a set of hygienic studies was carried out. In total, more than 1,000 measurements were carried out from eight laser installations of various power and technical characteristics. Measurements of the laser radiation were performed in three spectral regions — visible, near and far infrared.

Results. Most designs use a laser as an emitter, which generates short and powerful pulses. To select the laser wavelength, its function and direct purpose are taken into account, and Nd:YAG lasers with wavelengths from 355 nm to 1540 nm are used most often. Studies have shown that during lidar operation, radiation at a wavelength of 355 nm is safe for human eyes and skin, and at wavelengths of 532 nm and 1064 nm is dangerous for human vision and safe for skin. Lidar profilometers that generate radiation in the far infrared range are safe for human eyes and skin.

Limitations. Limitations are related to the wavelengths under consideration and to the operating modes of the equipment.

Conclusion. An analysis of the literature sources indicates a lack of data on the hygienic assessment of laser lidar systems and their immediate safety for humans. For the safe use of lidar installations, it is necessary to conduct a full-fledged hygienic assessment of the laser radiation used in them immediately before commissioning, taking into account the technical characteristics (power, pulse duration, beam diameter, etc.) and the combination of wavelengths used.

Keywords: laser radiation; meteorological conditions; lidars

For citation: Malkova N.Yu., Petrova M.D. Hygienic assessment of the laser radiation from installations used for the meteorological forecasting. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(8): 942–945. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-8-942-945> <https://elibrary.ru/qqnjbm> (In Russ.)

For correspondence: Natalia Yu. Malkova, e-mail: n.malkova@s-znc.ru

Contribution: Malkova N.Yu. — the concept and design of the study, collection and processing of material, writing a text; editing; Petrova M.D. — collection and processing of material, writing a text. 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 28, 2025 / Accepted: July 14, 2025 / Published: September 25, 2025

Введение

Современная цивилизация по-прежнему сильно зависит от погодных условий, и даже самая передовая техника не может управлять стихией. Одна из важнейших задач прикладной метеорологии — обеспечение безопасности полётов, снижение числа авиационных происшествий и инцидентов [1]. От условий погоды зависит безопасность полётов, под которой понимают состояние, при котором риски, связанные с авиационной деятельностью, относящейся к эксплуатации воздушных судов или непосредственно обеспечивающей такую эксплуатацию, снижены до приемлемого уровня и контролируются [2].

Безопасность полётов может оказаться под угрозой из-за неблагоприятных внешних условий (НВУ), отказа и неисправности авиационной техники, человеческого фактора. Наиболее значимыми факторами, приводящими к авиационным происшествиям, являются человеческий фактор (79%), отказ и неисправности авиационной техники (19%), НВУ (2%) [3]. НВУ, связанные в основном с вихрями ветра и ограниченной облачностью, могут выступать как главный и вторичный факторы. Прогнозирование погодных условий является ключевой задачей обеспечения безопасности полётов, она решается с помощью современной технологии мониторинга атмосферных явлений и точной информации об их состоянии, так как более половины авиационных инцидентов происходит в результате нарушения «эксплуатационного минимума» (минимального значения высоты нижней границы облаков и горизонтальной видимости, при которых возможно выполнение полётов) или потерей пространственной ориентировки в условиях ограниченной видимости. Одна из причин нарушения «эксплуатационного минимума» — недостатки в метеообеспечении (своевременном и точном получении информации о погодных условиях) [3].

Все воздушные передвижения происходят на значительных высотах, поэтому авиация не может полноценно и безопасно функционировать без учёта погодных условий. В полёте на воздушное судно оказывают влияние температура, давление воздуха, направление и скорость ветра, количество, характер и высота облаков, осадки. Исследования показывают, что наиболее частыми метеорологическими условиями, которые могут представлять угрозу для авиации, являются дымка, ливневые осадки, ограниченная видимость, кучево-дождевая облачность, сильные порывистые ветры, снегопад или метель [4].

Технологии мониторинга атмосферных явлений постоянно совершенствуются, оборудование становится всё точнее и позволяет решать новые экологические задачи, связанные с дистанционным контролем окружающей среды, например, выполнять мониторинг и идентификацию аэрозолей, обнаруживать лесные пожары. Вместе с тем возрастает и потенциальная опасность такого оборудования для населения, особенно при использовании мощных установок на основе лазерного излучения — лидаров, принцип действия которых основан на измерении характеристик лазерного луча после его рассеивания в атмосфере.

Лидары, фиксирующие взаимодействие между лазерными фотонами и атмосферой, могут измерять её параметры с помощью активного дистанционного зондирования и играют всё большую роль в мониторинге окружающей среды, прогнозировании погоды и т. д. Плотность атмосферы экспоненциально уменьшается с высотой, поэтому измерения в верхних слоях атмосферы затруднены, а получаемых данных недостаточно. С развитием технологий в последние годы возможности лидара при измерении плотности воздуха, температуры, поля ветра и других параметров верхних слоёв атмосферы постепенно улучшались, и он находит применение в разработке модели мезосферы и мониторинге ближней космической среды [5].

В отличие от радиоволн, которые могут отражаться только от больших непрозрачных объектов, световые волны способны рассеиваться в любых средах, в том числе в воздухе.

Благодаря этой особенности лидары могут не только определять расстояние до объектов, но и анализировать свойства прозрачных сред, в том числе рассеивание и поглощение света [6].

Импульсные и непрерывные лазерные ветровые лидары и облакомеры применяются для измерений параметров атмосферных явлений (ветер, облачность, вихревые потоки). Лидары в режиме реального времени передают диспетчерским и метеорологическим службам аэродромов информацию о местоположении и динамике развития потенциально опасных метеорологических параметров. Ветровые лидары являются необходимым элементом оснащения различных метеорологических служб: аэропортов, вертодромов, площадок для запуска дирижаблей и т. д.

Существует несколько типов лидаров, среди которых выделяют сканирующие, которые создают двух- или трёхмерную карту окружающей среды, и «атмосферные», способные анализировать свойства прозрачных сред [7].

Дистанционное зондирование рассеивающих сред (туманов, облаков, шлейфов дыма) — важная задача авиационного обеспечения для навигации в условиях сильных туманов, дымовых завес. Особый интерес представляет зондирование многослойных рассеивающих объектов: ярусы облаков, кроны деревьев, последовательные дымовые шлейфы или туманы [8].

Применение лидаров на основе лазерной технологии позволило решить множество экологических задач, связанных с дистанционным контролем окружающей среды. Лидары могут использоваться для исследования концентраций парниковых газов, атмосферных взвесей, идентификации аэрозолей и других примесей, обнаружения летучих взвесей, а также высокоточной дальнометрии и многих других задач [9]. Раннее обнаружение лесных пожаров также было важной функцией лидаров.

Пределы возможностей и ограничения использования лидаров непрерывно изучаются. Городничев В.А. и соавт. [10] утверждают, что для практического применения наиболее эффективна лидарная технология на основе Nd:YAG-лазера (неодимовый иттрий-алюминиевый гранат) с генератором третьей гармоники. Это позволяет измерять не только три коэффициента обратного рассеяния на длинах волн 355; 532 и 1064 нм, но и два коэффициента экстинкции на длинах волн 355 и 532 нм. Согласно анализу, дальность зондирования лидара снижается с увеличением высоты, особенно в диапазоне от 5 до 10 км [11]. Это объясняется значительным снижением показателей аэрозольного ослабления и рассеяния атмосферы на высоте. В то же время на земле лучше всего работает лидар, функционирующий на длине волны 0,532 мкм. Однако с увеличением высоты разница в дальностях зондирования для длин волн 0,355; 0,532 и 1,54 мкм сокращается, и для более высоких слоёв атмосферы лучшей длиной волны при зондировании считается 1,54 мкм [12].

Исследователи полагают, что использование только одной волны при зондировании не позволяет полноценно оценить параметры атмосферы. Для получения более точных данных необходимо применение лидаров на нескольких длинах волн. В этом случае возможно оценить как размеры загрязняющих частиц, так и их форму и, следовательно, идентифицировать тип аэрозольного загрязнения [13].

Цель данной работы — гигиеническая оценка лазерного оборудования, используемого для мониторинга и прогнозирования метеорологической обстановки.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели выполнен комплекс гигиенических исследований в экспедиционных условиях и на базе ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья». Всего проведено более 1000 замеров излучения от 8 лазерных установок различной мощности и технических характеристик. Гигиенические исследования предусматривали изучение уровней коллимированного и рассеянного излучения, действующего на людей. Замеры выполнены в трёх областях спектра — видимой, ближней и дальней ИК. Произведены

Максимальные значения энергетической экспозиции при различных энергиях импульса и расчёты предельно допустимого уровня (ПДУ)

Maximum values of energy exposure at different pulse energies and calculation of maximum permissible level (MPL)

Длина волны (λ), нм Wavelength (λ), nm	Энергия импульса (W), мДж Pulse energy (W), mJ	Энергетическая экспозиция (H), Дж/м ² Energy exposure (H), J/m ²	ПДУ (H _{пду}), Дж/м ² MPL (H _{мл}), J/m ²	
			для глаз for eyes	для кожи for skin
355	70	87	47.86	47.86
355	170	211.4	47.86	47.86
532	400	497.5	$8 \cdot 10^{-8}$	188.07
532	200	248.7	$8 \cdot 10^{-8}$	188.07
1064	300	373.1	$1 \cdot 10^{-6}$	537.35
1064	200	248.7	$1 \cdot 10^{-6}$	537.35
1557	110	0.014	1050	1050
1535	10	0.0011	1050	1050
350–470	30	382.16	$8 \cdot 10^{-8}$	344.93
235–315	10	127.38	25	25
10 600	50	636.94	196	196

расчёты ПДУ для каждой точки замеров, значений энергетической экспозиции лазерного излучения для ультрафиолетовой области спектра. Для замеров использовали поверенный лазерный дозиметр ЛД-07 (погрешность измерения 30%). Оценку уровней облучённости проводили в соответствии с СанПиН 1.2.3685–21*. Измерение уровней облучённости диффузно отражённого лазерного излучения выполнено для органов-мишеней — глаз и кожи. Замеры осуществляли на расстоянии 20–150 см.

Результаты

Хронометражные исследования показали, что непосредственный контакт с коллимированным лазерным излучением может быть случайным и составляет 0,25 с для видимого излучения и 10 с для невидимого. Изучение расстановки оборудования и организации технологического процесса показало, что установки могут размещаться таким образом, что сканирование лучом происходит либо вертикально, либо горизонтально. Результаты замеров уровней лазерного излучения от лидаров представлены в таблице.

В состав многоволнового лидарного комплекса может входить оборудование, использующее лазерное излучение от ультрафиолетовой до дальней ИК области спектра. Исследования показали, что при эксплуатации лидара излучение на длине волны 355 нм безопасно для глаз и кожи человека, а на длинах волн 532 и 1064 нм опасно для зрения человека и безопасно для кожи. Лидарные профилометры, генерирующие излучение в дальнем ИК-диапазоне, безопасны для глаз и кожи человека.

Обсуждение

Разброс используемых длин волн объясняется широкой областью применения лидаров: от определения концентрации химических веществ в атмосфере до прогнозирования метеорологической обстановки. В одной лидарной установке могут использоваться источники лазерного излучения одной или нескольких длин волн.

В большинстве конструкций используется лазер в качестве излучателя, формирующего короткие и мощные импульсы. Для выбора длины волны лазера учитывают его функцию и непосредственное назначение. Наиболее часто применяют Nd:YAG-лазеры с длинами волн от 355 до 1540 нм. Хотя глаз человека способен различать свет определённого

диапазона длин волн, от 380 до 750 нм, оптические среды глаза пропускают излучения в более широких интервалах — от 325 до 1150 нм. Излучение наиболее распространённых лазеров этого диапазона проходит через оптические среды глаза с минимальными потерями и почти полностью достигает наиболее чувствительной структуры — сетчатки, обеспечивая восприятие и преобразование видимого излучения в нервные импульсы, а также осуществляющей их первичную обработку [14–16]. За счёт высокой параллельности лучей оптическая система глаза фокусирует лазерное излучение, вследствие чего на сетчатке создаётся большая локальная плотность энергии. Пигментация глазного дна влияет на поглощение лазерной энергии, и степень его может иметь значительные колебания. При поглощении энергии пигментным эпителием тканей глаза происходит термокоагуляция прилегающих тканей и возникает хориоретинальный ожог.

Помимо вышеуказанных, существуют лазеры, излучение которых полностью поглощается прозрачными средами глаза, содержащими большое количество жидкости (роговица, камерная влага). Это касается в первую очередь лазеров, генерирующих излучение в ультрафиолетовом (от 180 до 315 нм) и инфракрасном (от 1400 до 10^3 нм) диапазонах [16]. Повреждающее действие этого излучения вызывается прежде всего выраженным термическим эффектом, поэтому на месте повреждения может нарушаться прозрачность роговицы.

Исследователи в своих работах зачастую упоминают «безопасные установки» или «безопасные режимы» [8, 13, 17]. Под безопасным для глаз излучением в этих работах понимают лазерное излучение с длиной волны, лежащей в диапазоне 1,5–1,6 мкм. Однако то, что излучение не достигает сетчатки, не означает, что оно не повреждает другие среды глаза, в частности роговицу. При этом отсутствие видимого излучения не позволяет мигательному рефлексу как естественной реакции глаза защитить орган зрения [18]. В работах не обоснованы предположения о безопасности для глаз лазерного излучения данного диапазона или конкретного прибора ни при проведении экспериментальных исследований, ни в рамках гигиенической оценки. Результаты нашего исследования указывают на то, что мощное лазерное излучение от лидарных установок может превышать допустимые уровни вне зависимости от длины волны. Другой предлагаемый способ повышения безопасности — снижение мощности одного импульса с одновременным повышением частоты повторения импульсов [18]. Однако каждый случай требует индивидуального рассмотрения, а также натурных замеров, которые могут подтвердить, что значения энергетической освещённости или энергетической экспозиции в месте потенциального контакта с человеком не превышают предельно допустимых уровней излучения.

* СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Таким образом, разнообразные варианты использования лазерного излучения повышают риск его неблагоприятного воздействия на население.

Закключение

Анализ показал, что в литературных источниках недостаточно данных о гигиенической оценке лазерных лидарных систем и их безопасности для человека. Для прогнозирования метеобстановки используется распространяющееся на десятки километров коллимированное лазерное излучение всего оптического диапазона от ультрафиолетовой области

спектра до дальней инфракрасной. При неблагоприятных условиях в результате действия лазерного излучения на человека могут поражаться все отделы глаза от роговицы до сетчатки. Гигиенические исследования показали, что интенсивность коллимированного лазерного излучения при действии на глаза может превышать ПДУ во всём оптическом диапазоне — от ультрафиолетовой до дальней ИК области спектра. Для безопасного использования лидарных установок перед введением их в эксплуатацию необходима полноценная гигиеническая оценка используемого лазерного излучения с учётом технических характеристик (мощность, длительность импульса, диаметр луча и т. д.) и комбинации используемых длин волн.

Литература

(п.п. 5, 13, 15 см. References)

1. Старков Е.Ю., Николайкин Н.И., Климов П.И. Организация экологической защиты территории авиационного происшествия. *Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации*. 2016; 19(5): 200–5. <https://elibrary.ru/xdzsdr>
2. Николайкин Н.И., Рыбалкина А.Л. Чрезвычайные ситуации последних лет на территории России. *Безопасность в технике*. 2009; (2): 41–6. <https://elibrary.ru/jxohqf>
3. Рыбалкина А.Л., Спирин А.С. Определение уровня безопасности полетов на основе синтеза метеоинформации. *Надежность и качество сложных систем*. 2015; (3): 39–44. <https://elibrary.ru/vmclhb>
4. Рыбалкина А.Л., Спирин А.С., Трусова Е.И. Уменьшение влияния неблагоприятных внешних условий в аэропортах местного значения. *Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации*. 2018; 21(3): 101–14. <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2018-21-3-101-114> <https://elibrary.ru/xrhtrn>
6. Тихомиров Н.В., Маслиев А.А. Применение принципов и механизмов системы лидар в прицельно-навигационном комплексе. *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. 2021; (4): 98–105. <https://elibrary.ru/lgtbko>
7. Завозин В.А., Гришин М.Я. Лазерное зондирование многослойных туманов лидаром с безопасным для глаз уровнем излучения. В кн.: *Школа-конференция молодых учёных «Прохоровские недели»: Тезисы докладов*. М.; 2021: 10–2. <https://doi.org/10.24412/cl-35673-2021-1-10-12> <https://elibrary.ru/hqrxxt>
8. Акулиничев В.В., Курнин И.В., Курочкина Е.Г. Лидар с безопасным для зрения излучением. *Научное приборостроение*. 2002; 12(4): 81–6. <https://elibrary.ru/hsqnnh>
9. Волков Н.Н. Выбор параметров многоволнового аэрозольного лидара для дистанционного зондирования атмосферы. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2012; (1): 6–9. <https://elibrary.ru/nlrsbk>
10. Городничев В.А., Белов М.Л., Иванов С.Е., Филимонов П.А., Кувшинов А.В. Оценка дальности обнаружения лидаром сдвига ветра на разных высотных уровнях в тропосфере. *Машиностроение и компьютерные технологии*. 2014; (6): 232–46. <https://elibrary.ru/stardr>
11. Сергеева А.С., Герко А.Г.К., Захаров Р.Р. Комплексная система дистанционного контроля выбросов загрязняющих веществ с судов. *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2021; (S1): 264–5. <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2021-1-S-1-264-265> <https://elibrary.ru/iadddb>
12. Мехтиев Д.С. Вопросы использования лидаров для контроля лесных пожаров в горных массивах. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2015; (4): 68–75. <https://elibrary.ru/tymmnj>
14. Халимов Ю.Ш., Власенко А.Н., Цепкова Г.А., Сосюкин А.Е. Профессиональные заболевания, вызванные воздействием лазерного излучения. *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2019; 21(2): 209–14. <https://elibrary.ru/mxbliz>
16. Онищенко Е.С., Альхамви А.А., Кузнецова Н.Ю., Новиков С.А. Часть II. Общие вопросы лазерной офтальмохирургии. Состояние проблемы лазерной безопасности. *Офтальмологические ведомости*. 2011; 4(1): 46–57. <https://elibrary.ru/nujmir>
17. Андреев М., Васильев Д., Пенкин М., Смоленцев С., Бореишо А., Ключков Д. и др. Когерентные доплеровские лидары для мониторинга ветровой обстановки. *Фотоника*. 2014; (6): 20–9. <https://elibrary.ru/szufmt>
18. Желтов Г.И. Нормативы по лазерной безопасности: истоки, уровень, перспективы. *Фотоника*. 2017; (1): 10–35. <https://doi.org/10.22184/1993-7296.2017.61.1.10.35> <https://elibrary.ru/xxrubf>

References

1. Starkov Ye.Yu., Nikolaykin N.I., Klimov P.I. The organization of ecological protection of the aviation accident area. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii*. 2016; 19(5): 200–5. <https://elibrary.ru/xdzsdr> (in Russian)
2. Nikolaykin N.I., Rybalkina A.L. Emergency situations of the last years on the territory of Russia. *Bezopasnost' v tekhnosfere*. 2009; (2): 41–6. <https://elibrary.ru/jxohqf> (in Russian)
3. Rybalkina A.L., Spirin A.S. Determining the level of flight safety based on synthesis of meteorological information. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem*. 2015; (3): 39–44. <https://elibrary.ru/vmclhb> (in Russian)
4. Rybalkina A.L., Spirin A.S., Trusova E.I. Reducing influence of adverse external conditions in the local airports. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii*. 2018; 21(3): 101–14. <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2018-21-3-101-114> <https://elibrary.ru/xrhtrn> (in Russian)
5. Yong Y., Cheng X., Xianghui X. Research progress of lidar for upper atmosphere. *Chin. J. Quantum Electron*. 2020; 37(5): 566–79.
6. Tikhomirov N.V., Masliev A.A. Application of the principles and mechanisms of the lidar system in sighting and navigation system. *Prikladnii zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii*. 2021; (4): 98–105. <https://elibrary.ru/lgtbko> (in Russian)
7. Zavozin V.A., Grishin M.Ya. Laser sensing of multilayer fogs by a lidar with eye-safe radiation level. In: *School-Conference of Young Scientists "Prokhorov Weeks": Abstracts of Reports [Shkola-konferentsiya molodykh uchennykh "Prokhorovskie nedeli": Tезисы докладов]*. Moscow; 2021: 10–2. <https://doi.org/10.24412/cl-35673-2021-1-10-12> <https://elibrary.ru/hqrxxt> (in Russian)
8. Akulinichev V.V., Kurnin I.V., Kurochikina E.G. Eye-safe lidar. *Nauchnoe priborostroyeniye*. 2002; 12(4): 81–6. <https://elibrary.ru/hsqnnh> (in Russian)
9. Volkov N. Choice of multiwave aerosol lidar parameters for remote atmosphere sounding. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*. 2012; (1): 6–9. <https://elibrary.ru/nlrsbk> (in Russian)
10. Gorodnichev V.A., Belov M.L., Ivanov S.E., Filimonov P.A., Kuvshinov A.V. Estimation of wind shear detection range by lidar at different altitude levels in the troposphere. *Mashinostroyeniye i komp'yuternye tekhnologii*. 2014; (6): 232–46. <https://elibrary.ru/stardr> (in Russian)
11. Sergeeva A.S., Gerko A.G.K., Zakharov R.R. Integrated system for remote monitoring of pollutant emissions from ships. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*. 2021; (S1): 264–5. <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2021-1-S-1-264-265> <https://elibrary.ru/iadddb> (in Russian)
12. Mekhtiev D.S. Issues of using lidars for forest fire monitoring in mountain areas. *Lesnoi zhurnal*. 2015; (4): 68–75. <https://elibrary.ru/tymmnj> (in Russian)
13. Utkin A.B., Lavrov A.V., Costa L., Simoes F., Vilar R. Detection of small forest fires by lidar. *Appl. Phys*. 2002; 74: 77–83. <https://doi.org/10.1007/s003400100772>
14. Khalimov Yu.Sh., Vlasenko A.N., Tsepikova G.A., Sosukin A.E. Occupational diseases caused by exposure to laser radiation. *Vestnik Rossiiskoi Voenno-meditsinskoi akademii*. 2019; 21(2): 209–14. <https://elibrary.ru/mxbliz> (in Russian)
15. Boosten K., Van Ginderdeuren R., Spileers W., Stalmans I., Wirix M., Van Calster J., et al. Laser-induced retinal injury following a recreational laser show: two case reports and a clinicopathological study. *Bull. Soc. Belge. Ophthalmol*. 2011; (317): 11–6.
16. Onishchenko E.S., Al'khamvi A.A., Kuznetsova N.Yu., Novikov S.A. Part II. General issues of laser ophthalmic surgery. State of the laser safety problem. *Oftalmologicheskie vedomosti*. 2011; 4(1): 46–57. <https://elibrary.ru/nujmir> (in Russian)
17. Andreev M., Vasiliev D., Penkin M., Smolentsev S., Boreysho A., Klychkov D., et al. Coherent doppler lidars for wind monitoring. *Fotonika*. 2014; (6): 20–9. <https://elibrary.ru/szufmt> (in Russian)
18. Zheltov G.I. Standards for laser safety: origins, level, perspectives. *Fotonika*. 2017; (1): 10–35. <https://doi.org/10.22184/1993-7296.2017.61.1.10.35> <https://elibrary.ru/xxrubf> (in Russian)

Сведения об авторах

Малькова Наталья Юрьевна, доктор биол. наук, гл. науч. сотр. отд. физических факторов ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lasergmal@mail.ru
Петрова Милена Дмитриевна, мл. науч. сотр. отд. физических факторов ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: petrovai.md@yandex.ru

Information about the authors

Natalia Yu. Malkova, DSci. (Biology.), chief researcher, Department of Physical Factors, Northwest Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0426-8851> E-mail: lasergmal@mail.ru
Milena D. Petrova, junior researcher, Department of Physical Factors, Northwest Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5506-6523> E-mail: petrovai.md@yandex.ru