

© ЦХОМАРИЯ И.М., КОВАЛЕВСКИЙ Е.В., 2022

Читать
онлайн
Read
onlineЦхомария И.М.^{1,2}, Ковалевский Е.В.^{1,2}

Оценка возможности загрязнения воздуха волокнами асбеста при эксплуатации дорожных покрытий, содержащих стабилизирующие асбестосодержащие добавки

¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», 105275, Москва, Россия;²ФГАОУ ВО «Первый московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)», 119991, Москва, Россия

Введение. Применение в дорожном строительстве материалов, содержащих минеральные волокна, требует рассмотрения вопроса о риске загрязнения ими воздуха.

Цель исследования — оценка возможности загрязнения воздуха волокнами асбеста при эксплуатации дорожных покрытий, содержащих хризотил-волокнистый асбест.

Материалы и методы. Отобрано 9 проб воздуха, 3 пробы пыли и 1 проба асфальтового покрытия на автомобильной трассе.

Результаты. Концентрация волокон асбеста в воздухе оказалась ниже предела обнаружения, равного $\leq 0,0001$ в/мл. Фактически при исследовании всех 9 проб воздуха не обнаружено ни одного волокна асбеста. В 3 пробах пыли обнаружено два конгломерата и один пучок волокон хризотилового асбеста, которые, вероятнее всего, входили в состав дорожного покрытия. В пробе асфальтового покрытия большая часть волокон находилась в связанном состоянии — как единый конгломерат с другими частицами. Содержание волокон асбеста в пробах пыли составило менее 0,1%, а размеры конгломератов не подходили под определение респираторных волокон.

Заключение. На момент проведения исследования возле автомобильной дороги не выявлено загрязнения атмосферного воздуха свободными волокнами хризотилового асбеста; средняя за всё время отбора проб концентрация, как и концентрации в каждой из отобранных проб, была ниже предела обнаружения метода и составила $\leq 0,0001$ в/мл, тем самым не превысив нормативных показателей, предусмотренных как в Российской Федерации (СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»). Утверждены постановлением Главного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2), так и в Германии (TRGS 519 «Asbestos. Demolition, reconstruction or maintenance work». Issued by January 2014). Данное исследование является одномоментным скрининговым исследованием. Для оценки возможности загрязнения воздуха волокнами асбеста на всём жизненном цикле дорожного покрытия, изготовленного с использованием стабилизирующих асбестосодержащих добавок (от производства до утилизации), требуются дополнительные исследования.

Ограничения исследования. Оценку загрязнения воздуха волокнами асбеста проводили только на одном этапе жизненного цикла (от производства до утилизации) дорожного покрытия — этапе эксплуатации. Не выполняли полную оценку загрязнения воздуха на автомобильных трассах всеми видами взвешенных частиц; учитывали только волокна асбеста и другие волокнистые частицы.

Ключевые слова: волокна; асбест; хризотил; дорожное строительство; загрязнение воздуха

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует предоставления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Цхомария И.М., Ковалевский Е.В. Оценка возможности загрязнения воздуха волокнами асбеста при эксплуатации дорожных покрытий, содержащих стабилизирующие асбестосодержащие добавки. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(2): 146-152. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-2-146-152>

Для корреспонденции: Цхомария Ираклий Мамукович, мл. науч. сотр. лаб. физических факторов (группы промышленных аэрозолей) ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова», 105275, Москва. E-mail: iraklytchomariya@mail.ru

Участие авторов: Цхомария И.М. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и данных литературы, статистический анализ, написание текста, ответственность за целостность всех частей статьи; Ковалевский Е.В. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

Финансирование. Данное исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 03.06.2021 / Принята к печати: 25.11.2021 / Опубликовано: 10.03.2022

Irakly M. Tskhomariia^{1,2}, Evgeny V. Kovalevskiy^{1,2}

Assessment of the possibility of air pollution by asbestos fibres during the operation of road surfaces containing stabilizing asbestos-containing additives

¹Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation;²I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991 Russian Federation

Introduction. Using materials containing mineral fibres in road construction requires consideration of the risk of air pollution by fibrous particles.

The purpose of the study was to assess the possibility of air pollution by asbestos fibres during the operation of road surfaces containing chrysotile asbestos.

Materials and Methods. Nine air samples, three dust samples and one asphalt pavement sample were taken on the federal highway.

Results. The concentration of asbestos fibres in the air was below the detection limit of ≤ 0.0001 f/ml. When all nine air samples were examined, no asbestos fibres were found. Two agglomerates and one bundle of chrysotile asbestos fibres were found in all three dust samples, which were most likely a part of the road surface. Most fibres were bound with other particles in a single agglomerate in the asphalt sample. The content of asbestos fibres in all three dust samples was less than 0.1%, and the size of the conglomerates did not fit the definition of “respirable fibres”.

Limitations. 1) the assessment of air pollution by asbestos fibres was carried out only at one stage (operation) of the pavement life cycle (from production to disposal); 2) a complete assessment of air pollution on highways by all types of particulate particles was not carried out (only asbestos fibres and other fibrous particles were taken into account).

Conclusion. At the time of the study, no atmospheric air pollution by free chrysotile asbestos fibres was detected near the highway; the average concentration for the entire time of sampling, as well as the concentrations in each of the samples, was below the detection limit of the method and amounted to ≤ 0.0001 f/ml, thereby not exceeding the regulatory indicators provided for both in Russia (Sanitary rules and standards 1.2.3685-21 from 28.01.21) and in Germany (TRGS 519). This study is a single-stage screening study. More research is needed to assess the possibility of air pollution by asbestos fibres throughout the entire life cycle of road surfaces constructed using asbestos-containing stabilizing additives (from production to disposal).

Keywords: fibres; asbestos; chrysotile; road construction; air pollution

Compliance with ethical standards. The study does not require the submission of the biomedical ethics committee conclusion or other documents.

For citation: Tskhomariia I.M., Kovalevskiy E.V. Assessment of the possibility of air pollution by asbestos fibres during the operation of containing stabilizing asbestos-containing additives road surfaces. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)*. 2022; 101(2): 146-152. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-2-146-152> (In Russian)

For correspondence: Irakly M. Tskhomariia, MD, junior researcher at the physical factors laboratory of Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation. E-mail: iraklytshomariya@mail.ru

Information about the authors:

Tskhomariia I.M., <https://orcid.org/0000-0002-9615-3284> Kovalevskiy E.V., <https://orcid.org/0000-0001-5166-6871>

Contribution: Tskhomariia I.M. – the concept and design of the study, collection of literature data, the collection and processing of the material, statistical analysis, writing a text, responsibility for the integrity of all parts of the article. Kovalevskiy E.V. – the concept and design of the study, the collection and processing of the material, editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: June 03, 2021 / Accepted: November 25, 2021 / Published: March 10, 2022

Введение

В настоящее время в дорожном строительстве используются самые разнообразные материалы. Качеством дорог определяется безопасность движения по ним. Однако при эксплуатации автомобильных дорог возможно выделение множества вредных веществ, воздействие которых способно потенциально представлять угрозу для здоровья не только участников движения, но и населения прилегающих территорий. В России и в ряде зарубежных стран выполнено большое количество исследований по данному направлению [2–5]. Особое внимание учёных привлекают выхлопные газы и взвешенные частицы, поскольку входящие в их состав вещества могут негативно влиять на здоровье человека, в первую очередь на дыхательную и сердечно-сосудистую системы [1]. Если о качественном составе, характеристиках воздействия и биологических эффектах выхлопных газов известно довольно много, то взвешенные частицы представляют особый интерес, поскольку имеют разнообразный состав. На автомобильных дорогах взвешенные частицы могут быть представлены в основном двумя видами: образующимися при работе бензиновых и дизельных двигателей и аэрозолями дезинтеграции, образующимися в результате деградации дорожного покрытия (верхнего слоя) и деталей автомобиля (вследствие изнашивания тормозных колодок, муфт сцепления, шин) [2]. Последний вид частиц составляет большую часть всех взвешенных частиц в выбросах, производимых легковыми автомобилями: 90% для частиц диаметром менее 2,5 мкм ($PM_{2.5}$) и 85% для частиц диаметром менее 10 мкм (PM_{10}), при этом частицы дорожного покрытия, выделяющиеся при движении автомобилей, имеют достаточно большой удельный вес [3]. Среднегодовое расчётное количество загрязнений (тыс. т/год), выделяющихся при износе материала дорожного покрытия в результате проезда различных видов транспорта, занимает промежуточное место между расчётными данными по количеству загрязнений, поступающих при износе шинного материала, и износе материала накладок тормозной системы различных видов транспорта [4]. Анализ проб пыли, отобранных на российских дорогах, показывает высокое содержание диоксида кремния, различных химических веществ и тяжёлых металлов [5].

В последние годы в целях повышения эксплуатационных свойств автомобильных дорог разрабатываются различные добавки к дорожным покрытиям. В частности, в России сравнительно недавно широко распространение получило использование асбесто-содержащих стабилизирующих добавок к щебёночно-мастичным асфальтобетонным смесям.

Асбест – традиционное торговое название, объединяющее две группы минералов: серпентиновую (хризотил

и амфиболовую (основные представители – крокидолит, амозит, тремолит, актинолит, антофиллит). Хризотилловый асбест является единственным на сегодняшний день коммерчески используемым и входящим в состав большого числа различных материалов (строительных, текстильных и др.) видом из данных групп минералов. В природе асбестовые волокна часто встречаются в различных горных породах (серпентиниты, перидотиты и др.). Человек может подвергаться их воздействию вследствие выветривания (эрозии) из горных пород, при движении на транспортном средстве по сухим участкам неасфальтированных дорог [6].

Целенаправленное применение асбеста или горных пород, содержащих асбест, в дорожном строительстве началось ещё в первом десятилетии XX века, когда компанией Warren Brothers Company (США) был получен патент на использование волокон асбеста в горячих битумных мастиках. Также эти волокна использовались в холодном асфальтобетоне. В 50-х годах XX века в США было проведено исследование по использованию волокон в горячих асфальтовых смесях, результаты которого продемонстрировали, что данные смеси имеют улучшенные технологические показатели [7]. В середине XX века в СССР попутная продукция асбестообогачительных фабрик использовалась для армирования асфальтобетонных, в производстве холодного асфальта, при прокладке автомобильных дорог и железнодорожных путей (в качестве балласта) [8]. В г. Калгари (Канада) с середины 60-х до середины 80-х годов XX века волокна хризотилового асбеста (1–2% по массе) добавляли в асфальтовое покрытие главных магистралей для повышения прочности и срока службы. Мониторинг воздуха рабочей зоны и атмосферного воздуха, проводимый на этих участках дорог в 60-х и 70-х годах XX века, подтвердил, что риск загрязнения воздуха волокнами асбеста незначителен, поскольку они прочно связаны с асфальтовой смесью [9]. Исследования воздуха при перекладке асфальта, содержащего асбест, в г. Торонто (Канада) также не подтвердили какой-либо опасности для занятых ремонтом работников [10].

В составе щебёночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА), разработанного в 60-х годах XX столетия в Германии, в качестве стабилизирующей добавки присутствовали различные виды волокон, такие как стальные, целлюлозные, полимерные, а также минеральные (асбесты). Данная технология в настоящий момент находит широкое применение во всём мире.

В России хризотилловый асбест в качестве добавки для ЩМА стал применяться относительно недавно. Оценка возможности загрязнения воздуха волокнами асбеста при эксплуатации дорожных покрытий, содержащих их в своём составе, в нашей стране не проводилась.

Цель исследования — оценить возможность загрязнения воздуха волокнами асбеста при эксплуатации дорожных покрытий, изготовленных с использованием хризотилсодержащих стабилизирующих добавок.

Материалы и методы

Исследование проводили на участке автомобильной дороги федерального значения М-8 «Холмогоры» (от Московской кольцевой автомобильной дороги до пересечения с ул. Пионерской (г. Королёв) с асфальтовым покрытием, изготовленным с использованием хризотилсодержащей стабилизирующей добавки. Отбор проб проводили в трёх точках, по три пробы на каждую: две точки располагались на обочине трассы с движением автотранспорта из Москвы, а ещё одна — в сторону Москвы. Температура воздуха составляла 24–27 °С, влажность — 41–49%, атмосферное давление — 740–760 мм рт. ст. Фильтры устанавливали на высоте 1,7 м. Отбор проб производили из расчёта на «худший случай»: пробоотборники располагали на границе полотна дороги (потенциального источника загрязнения), в наиболее благоприятных для распространения волокон асбеста в воздухе условиях (тёплый сухой период года, как минимум через трое суток после последнего факта выпадения осадков в месте отбора) при сравнительно высокой интенсивности движения автомобильного транспорта, с движением воздуха (направлением ветра) от дороги к месту проведения отбора пробы. Вдоль дороги имеются защитные экраны.

Отбор проб воздуха производили на мембранные фильтры диаметром 25 мм производства Izorog (Merck Millipore, Германия), диаметр пор 0,8 мкм, с использованием аспираторов ПУ-2Э.

Перечень проб с указанием протянутого через фильтры объёма воздуха, а также интенсивность движения автомобильного транспорта в минуту на трассе (с разделением на легковой и грузовой автотранспорт) представлены в таблице. Скорость объёмного расхода воздуха составляла 11–12 л в 1 минуту.

Рядом с каждой из точек отбора проб воздуха дополнительно отбирали по одной пробе пыли, осевшей на горизонтальных поверхностях, находящихся приблизительно на уровне земли (обочина трассы, бордюры). Отбор пыли производили при помощи специальных щёток путём сметания в герметичный контейнер. В лаборатории пробы пыли наносили на углеродные держатели образцов для дальнейшего анализа.

На обочине с направлением движения из Москвы отобрана проба асфальтового покрытия. В лабораторных условиях для подготовки пробы к анализу материал подвергали механическому измельчению до гомогенной структуры, приготовленный образец также наносили на углеродный держатель.

Анализ проб воздуха, пыли и материалов проводили методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с определением типа частиц методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии путём сопоставления спектров анализируемых частиц со стандартными спектрами асбестов различных типов. Анализ проводили с использованием электронного микроскопа Hitachi TM 1000 (Япония), оснащённого детектором рентгеновской энергодисперсионной спектроскопии TM1000 EDS (Oxford Instruments Ltd., Великобритания).

Методика подсчёта волокон в пробах воздуха соответствовала требованиям стандарта Международной организации стандартов (ISO 14966)*. В качестве референтных использовали спектры, представленные в ISO 14966. Подсчёт

* ISO 14966:2019. «Ambient air — Determination of numerical concentration of inorganic fibrous particles — Scanning electron microscopy method» [«Окружающий воздух — Определение численной концентрации неорганических волокнистых частиц — метод сканирующей электронной микроскопии»].

вели на 200 полях зрения. Счётные концентрации волокон в воздухе — волокон на миллилитр (в/мл) или волокон на кубический метр (в/м³) — рассчитывали исходя из количества подсчитанных респираторных волокон асбеста (длина ≥ 5 мкм, диаметр ≤ 3 мкм, соотношение длины к диаметру ≥ 3/1). Пределом определения метода при данных условиях отбора и анализа проб являлась величина 0,0001 в/мл (0,1 в/л, или 100 в/м³). Контроль качества подсчёта волокон осуществляли анализом холостых проб, эталонных и контрольных образцов.

Анализ проб пыли и материалов проводили с использованием оборудования, указанного выше. Фильтры и углеродные держатели образцов пыли не подвергали дополнительным методам обработки, таким как вакуумное напыление золота и обработка в установке плазменной очистки.

Количество полей зрения, исследованных в пробах воздуха и пыли, составляло 200, при анализе проб материалов — 100.

Средневзвешенную по времени отбора всех разовых проб (общее время отбора всех 9 проб составило 1383 мин, то есть по факту можно говорить о среднесуточной концентрации) концентрацию респираторных волокон (C_{cc}) рассчитывали по формуле:

$$C_{cc} = \frac{\sum C_N \cdot T_N}{\sum T_N},$$

где C_N — концентрация волокон в разовой пробе; N , T_N — время отбора пробы; N , C_{cc} — средневзвешенная за время отбора концентрация волокон.

Полученный результат сравнивали с установленной в Российской Федерации среднесуточной ПДК для атмосферного воздуха городских и сельских поселений, равной 0,06 в/мл. Дополнительно проводили сравнение с показателем, установленным в Германии Техническими правилами в отношении опасных веществ № 519 (TRGS 519) и составляющим в 0,001 в/мл (1000 в/м³), который принимается как «критерий чистоты воздуха» (концентрация волокон в воздухе, допускаемая в воздухе вне рабочей зоны).

Результаты

Фактические данные по отбору представлены в таблице.

При исследовании всех 9 проб воздуха, отобранных возле автомобильной дороги, по факту не обнаружено ни одного волокна асбеста. При этом все фильтры имели высокую загрузку минеральными и органическими частицами. Все обнаруженные волокнистые частицы представляли собой волокна органической природы и минеральные волокна, внешний вид и спектр которых не соответствовали внешнему виду и спектру волокон асбеста (рис. 1, 2). За всё время отбора проб средняя концентрация, как и концентрации в каждой из проб, оказалась ниже предела обнаружения метода и составила ≤ 0,0001 в/мл, тем самым не превысив нормативных показателей, предусмотренных как в России (СанПиН), так и в Германии (TRGS 519). Верхний предел доверительных интервалов концентрации волокон (по ISO 14966) не определяли, поскольку условия измерения были относительно стабильны.

При исследовании всех трёх проб пыли, осевшей на обочине трассы, в первой пробе обнаружено два конгломерата волокон хризотилового асбеста с неволокнистым связующим (рис. 3, 4), во второй — один пучок волокон хризотилового асбеста (рис. 5). Общая концентрация волокон хризотилового асбеста в этих пробах составила менее 0,1% от общей массы образца. В третьем образце волокон хризотилового асбеста обнаружено не было. Во всех исследованных образцах концентрация волокон хризотилового асбеста была менее 0,1%. Необходимо отметить, что внешний вид и размерные характеристики выявленных пучков волокон и конгломератов волокон с неволокнистыми частицами позволяют утверждать, что их появление в дорожной пыли связано не с оседанием витающих в воздухе свободных волокон хризоти-

Фактические концентрации респирабельных волокон асбеста в пробах воздуха на участке автомобильной дороги (фактические концентрации совпадают с концентрациями в пробе)

Actual airborne fibre concentrations in the ambient air samples of the highway's part. (actual concentrations coincide with the sample concentration)

Место отбора Sample point	№ пробы Sample No.	Объём воздуха, л Air volume, litres	Концентрация Concentrations		Интенсивность автотранспортного движения (автомобилей в 1 мин), легковые а/м + грузовые а/м Vehicle traffic intensity (per minute), passenger cars + trucks
			в/мл fibers/ml	в/м ³ fibers/m ³	
Обочина трассы с движением автотранспорта из Москвы Roadside with traffic from Moscow	1	1210	≤ 0.0001	≤ 100	161 + 15
	2	1440	≤ 0.0001	≤ 100	161 + 15
	3	2790	≤ 0.0001	≤ 100	161 + 15
	4	990	≤ 0.0001	≤ 100	194 + 23
	5	1980	≤ 0.0001	≤ 100	194 + 23
	6	2160	≤ 0.0001	≤ 100	194 + 23
Обочина трассы, движение в Москву Roadside with traffic to Moscow	7	990	≤ 0.0001	≤ 100	164 + 19
	8	1440	≤ 0.0001	≤ 100	164 + 19
	9	2880	≤ 0.0001	≤ 100	164 + 19

лового асбеста, а с механическим повреждением полотна автомобильной дороги. Распространение в воздухе свободных волокон хризотилового асбеста из таких образований, какие выявлены при исследовании придорожной пыли, за счёт вторичного пыления практически невозможно.

В пробе асфальтового покрытия большая часть волокон находилась в связанном состоянии — едином конгломерате с другими частицами (рис. 6). В образце содержатся волокна хризотилового асбеста в концентрации более 0,5%.

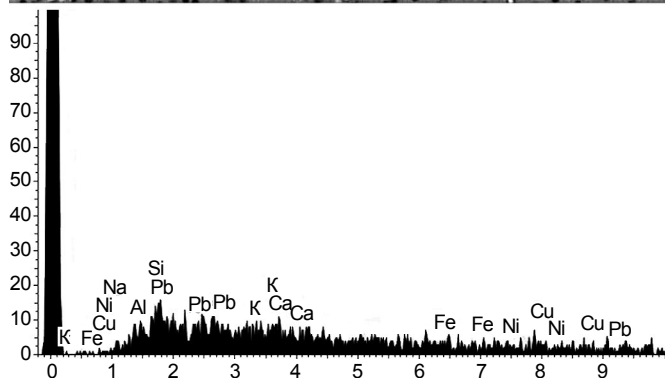
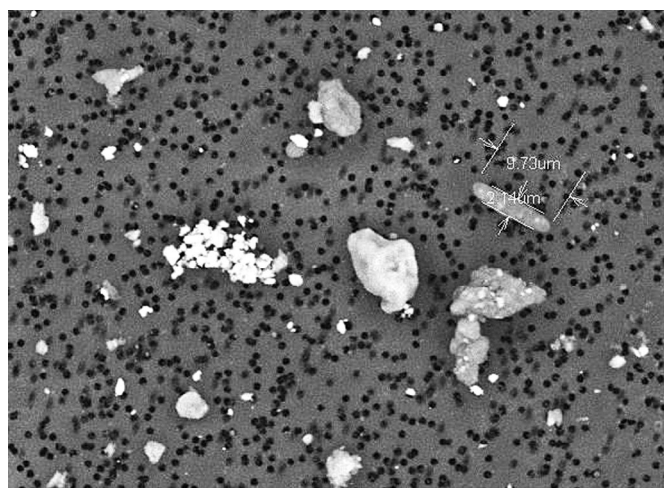


Рис. 1. Общая картина загрязнения и спектральный состав частиц на фильтре, увеличение ×2000.

Fig. 1. The general picture of contamination and spectral composition of particles.

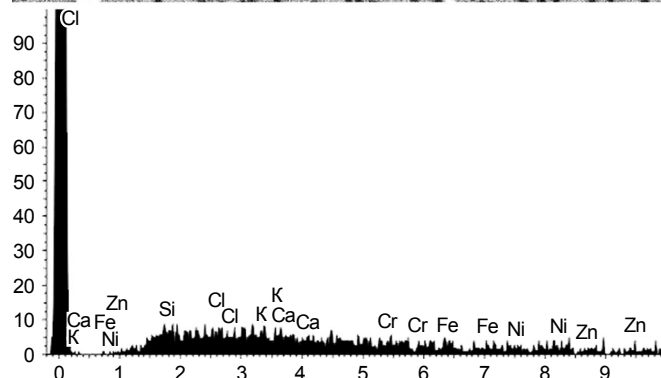
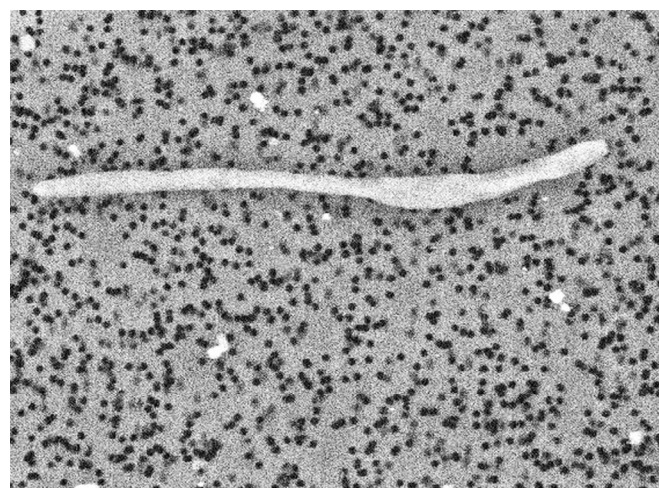


Рис. 2. Органическое волокно на фильтре и его спектральный состав, увеличение ×2000.

Fig. 2. The organic fibre on the filter and its spectral composition, ×2000.

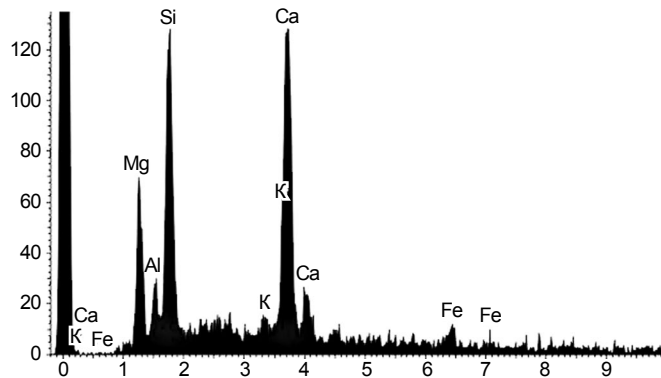
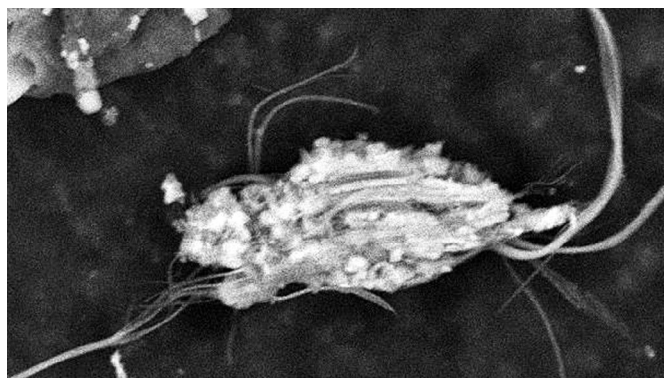


Рис. 3. Проба пыли № 1 и спектральный состав частиц, увеличение ×3000.

Fig. 3. The dust sample No. 1 and spectral composition of particles, ×3000.

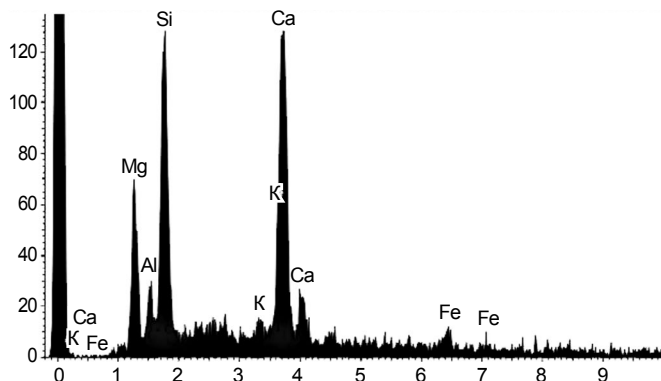


Рис. 4. Проба пыли № 2 и спектральный состав частиц, увеличение ×3000.

Fig. 4. The dust sample No. 2 and spectral composition of particles, ×3000 magnification.

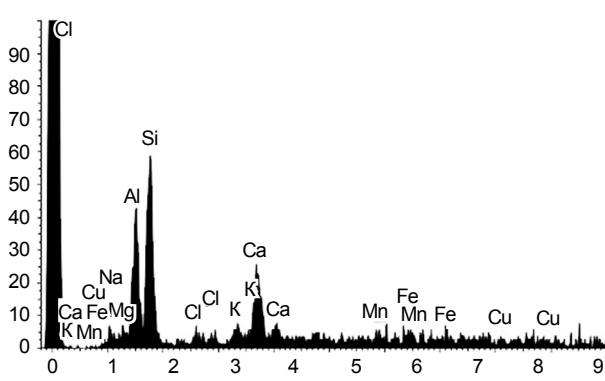


Рис. 5. Проба пыли № 3 и спектральный состав частиц, увеличение ×1000.

Fig. 5. The dust sample No. 3 and spectral composition of particles, ×1000.

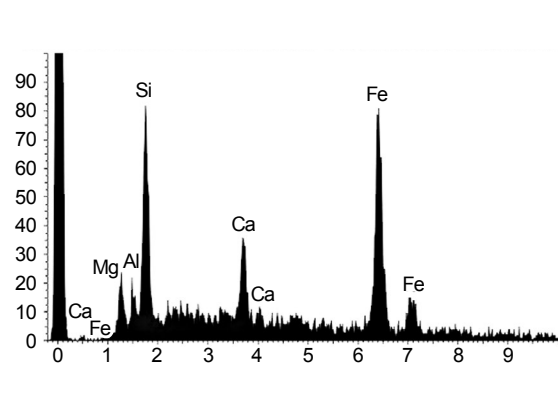


Рис. 6. Образец асфальтового покрытия и его спектральный состав, увеличение ×1000.

Fig. 6. The asphalt sample and its spectral composition, ×1000.

Обсуждение

На момент проведения исследования в пробах воздуха, отобранных рядом с автомобильной дорогой, не обнаружено волокон асбеста. При этом следует отметить, что движение транспортного потока характеризовалось большим количеством циклов торможения – ускорения ввиду высокой загруженности автомагистрали, что могло приводить к значительному истиранию дорожного покрытия. Пучок и два конгломерата волокон асбеста, найденные в пробах пыли, отобранной с обочины дорог, вероятно всего, входили в состав дорожного покрытия. Об этом могут свидетельствовать результаты исследования его образца. Несмотря на то что при подготовке пробы образец подвергали механическому воздействию, большая часть волокон хризотилового асбеста также присутствовала в виде конгломератов с неволокнистыми частицами. Однако их обнаружение не говорит о возможном существенном выделении волокон, поскольку их содержание оценивается в 0,1% от общей массы образца. К тому же размеры конгломератов не соответствуют определению респираторного волокна.

Маловероятным видится и загрязнение окружающего воздуха в результате эксплуатации хризотилсодержащих материалов тормозных систем автотранспорта, поскольку результаты исследования оседающей на обочине пыли свидетельствуют, что содержание в ней волокон асбеста составляет менее 1%. Это согласуется с некоторыми данными исследований о составе пыли в автомастерских, где производится замена тормозных колодок, и объясняется физической (укорочением волокнистых частиц) и химической (трансформацией вещества под действием высокой температуры) деградацией материалов из-за высокого трения при торможении [11].

Природных источников волокон асбеста вблизи автомагистрали не выявлено. Также следует отметить хорошее состояние дороги на момент исследования: при визуальном осмотре не выявлено дорожных дефектов (колеи, выбоины и др.). С учётом сказанного выше можно заключить, что используемые материалы для дорожного строительства имеют хорошие показатели прочности и устойчивы к истиранию, вследствие чего вероятность загрязнения воздуха волокнами асбеста крайне мала, а риски их воздействия на участников дорожного движения фактически отсутствуют. В то же время отмечалась высокая степень загрузки всех фильтров органическими и минеральными частицами, что может свидетельствовать о существенном загрязнении воздуха на обочине автомобильной дороги, где проводилось исследование. Количество взвешенных частиц в воздухе автомобильных дорог при высокой интенсивности движения автотранспорта может превышать установленные ПДК в несколько раз [12]. По данным [4], более трети всех твёрдых пылевых частиц, поступающих от дорожно-автомобильного комплекса, может образовываться при эксплуатационном износе дорожного покрытия. Однако можно сделать предположение, что количество поступающих в результате деградации дорожного покрытия частиц будет зависеть от его вида.

Все исследования на открытой местности проводили в сухую, тёплую погоду, при отсутствии осадков в течение трёх дней до даты отбора проб, то есть в условиях, наиболее способствующих загрязнению воздуха пылевыми частицами.

Европейским региональным бюро Всемирной организации здравоохранения выпущены «Рекомендации по качеству воздуха в Европе [13]», в которых в том числе представлены рекомендуемые предельные уровни загрязнения атмосферного воздуха волокнами асбеста. При использовании данных рекомендаций следует учитывать, что они, как и все принятые в европейских странах нормативы для волокон асбеста, установлены при помощи экстраполя-

ции данных, полученных при оценке рисков развития злокачественных новообразований при профессиональном воздействии волокон асбеста преимущественно амфиболовой группы или смесей хризотила и амфиболов. Несмотря на то что риски для здоровья человека при воздействии волокон хризотилового асбеста многократно ниже, чем при воздействии амфиболов, оценка риска была принята одинаковой для всех видов асбеста, что отражает реальную ситуацию во многих странах мира, где в отличие от России (и СССР) активно использовались амфиболовые асбесты. В Российской Федерации использование таких показателей для оценки качества воздуха представляется некорректным.

Следует обратить внимание на состав смеси ЦМА. Результаты исследования показывают, что волокна асбеста имеют распушённый вид, позволяющий им довольно прочно связываться с другими частицами асфальта (см. рис. 6). Можно предположить, что увеличение удельной поверхностной площади соприкосновения позволяет лучше удерживать битумное вяжущее, что сказывается на прочности дорожного покрытия и, следовательно, снижает эмиссию выделяемых частиц дорожного покрытия. Некоторые данные также указывают на то, что увеличенная удельная площадь поверхности волокнистой составляющей улучшает некоторые показатели прочности дорожных покрытий [14]. Трудно утверждать, что при использовании других материалов, например частиц пластика, в качестве наполнителя для асфальта прочность связи между компонентами смеси будет такой же сильной, поскольку измельчённые частицы пластика обычно имеют меньшую удельную поверхность, и их связь с матрицей (с собственно асфальтом) видится менее прочной. Таким образом, истираемость дорожного покрытия может возрасти, и это приведёт вместо утилизации пластика к ещё большему загрязнению его микрочастицами окружающей среды.

В мире насчитывается совсем не много успешных применений переработанных материалов в дорожном строительстве, поэтому их использование должно оцениваться не только с экологической, но и с экономической позиции [15]. Следует отметить и тот факт, что волокна хризотилового асбеста имеют минеральную природу и, следовательно, хорошие физические показатели, определяющие стойкость к перепадам температуры, а также водостойкость. Всё перечисленное определяет значение этих волокон в строительстве дорог во многих климатических зонах нашей страны, где имеются резкие перепады температуры и выпадает большое количество осадков.

Данное исследование является одномоментным скрининговым исследованием, целью которого являлась оценка возможности загрязнения воздуха свободными волокнами хризотилового асбеста при текущей эксплуатации дорожного покрытия, изготовленного с применением стабилизирующей асбестсодержащей добавки. Отбор проб выполняли в условиях «худшего случая», непосредственно вблизи потенциального источника загрязнения – на краю полотна автомобильной дороги. С учётом полученных результатов нет причин считать собственно эксплуатацию дорожных покрытий, изготовленных с использованием стабилизирующих асбестсодержащих добавок, потенциальным источником загрязнения воздуха волокнами асбеста в концентрациях, которые возможно определить наиболее чувствительными методами исследований, принятыми в мировой практике. Соответственно нет причин рекомендовать какие-либо дополнительные более масштабные исследования, что подтверждается и данными зарубежных публикаций [9–10]. В то же время при дальнейшей эксплуатации дорог вероятны образование дефектов, проведение ремонтных работ, замена покрытий, что может стать источником загрязнения воздуха волокнами асбеста. В дальнейшем планируется проведение исследо-

ваний загрязнения воздуха рабочей зоны и атмосферного воздуха на территориях, прилегающих к месту выполнения работ, при строительстве дорог. Это актуально при использовании асбестосодержащих материалов и при проведении работ, нарушающих целостность дорожных покрытий: их ремонт, снятие старых и укладка новых. Также представляют интерес исследования рабочей зоны предприятий, производящих асбестосодержащие материалы для дорожного строительства и являющихся начальным звеном цикла дорожного строительства.

В связи с этим следует отметить следующие ограничения настоящего исследования. Оценку загрязнения воздуха волокнами асбеста проводили только на одном этапе жизненного цикла (от производства до утилизации) дорожного покрытия – этапе эксплуатации. Не выполняли полную оценку загрязнения воздуха на автомобильных трассах всеми видами взвешенных частиц – учитывали только волокна асбеста и другие волокнистые частицы.

Заключение

На основе полученных данных можно сделать следующие выводы.

1. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии на момент проведения исследования загрязнения атмосферного воздуха возле автомобильной дороги свободными волокнами хризотилового асбеста: их средняя концентрация за всё время отбора проб, как и в каждой из отобранных проб, была ниже предела обнаружения метода и составила $\leq 0,0001$ в/мл, тем самым не превысив нормативных показателей, предусмотренных как в Российской Федерации (СанПиН 1.2.3685-21), так и в Германии (TRGS 519).

2. Для оценки возможности загрязнения воздуха волокнами асбеста в течение всего жизненного цикла (от производства до утилизации) дорожного покрытия, построенного с использованием стабилизирующих асбестосодержащих добавок, требуются дополнительные исследования.

Литература

(п.п. 1–3, 6–11, 13–15 см. References)

4. Рахманин Ю.А., Леванчук А.В. Гигиеническая оценка атмосферного воздуха в районах с различной степенью развития дорожно-автомобильного комплекса. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(12): 1117–21. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-12-1117-1121>
5. Аликбаева Л.А., Колодий С.П., Бек А.В. Гигиеническая оценка класса опасности отходов дорожно-автомобильного комплекса. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(8): 711–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-8-711-716>
12. Леванчук А.В. Гигиеническая характеристика воздушной среды в зоне влияния дорожно-автомобильного комплекса. *Медицина и образование в Сибири*. 2015; (1): 5.

References

1. WHO. World Health Assembly, 68. Health and the environment: addressing the health impact of air pollution; 2015. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/253237>
2. The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport: An Ignored Environmental Policy Challenge; 2020. Available at: <https://doi.org/10.1787/4a4dc6ca-en>
3. Timmers V.R.J.H., Achten P.A.J. Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. *Atmos. Environ.* 2016; 134: 10–7. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017>
4. Rakhmanin Yu.A., Levanchuk A.V. Hygienic assessment of atmospheric air in the areas with different degrees of the development of the road-traffic complex. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(12): 1117–21. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-12-1117-1121> (in Russian)
5. Alikbaeva L.A., Kolodiy S.P., Bek A.V. Hygienic evaluation of the class hazard of discharges from road-vehicles complex. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(8): 711–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-8-711-716> (in Russian)
6. United States Environmental Protection Agency (EPA). Naturally Occurring Asbestos: Approaches for Reducing Exposure; 2008. Available at: https://archive.epa.gov/region9/toxic/web/pdf/nea_factsheet.pdf
7. Putman B.J. Effects of fiber finish on the performance of asphalt binders and mastics. *Adv. Civ. Eng.* 2011; 2011: 172634. <https://doi.org/10.1155/2011/172634>
8. Virta R.L. *Worldwide Asbestos Supply and Consumption Trends from 1900 through 2003*. U.S. Geological Survey Circular 1298; 2006: 1–80. Available at: <https://pubs.usgs.gov/circ/2006/1298/c1298.pdf>
9. Chyc-Cies J., Wineberger B.G. To recycle or not to recycle Asbestos-containing RAP: that is the question. In: *2009 Annual Conference of the Transportation Association of Canada*. Vancouver; 2009: 1–18.
10. *National Post*. Kuitenbrouwer P. City says warning over asbestos-laced asphalt an "abundance of caution"; 2012. Available at: <https://nationalpost.com/posted-toronto/city-says-warning-over-asbestos-laced-asphalt-an-abundance-of-caution>
11. United States Environmental Protection Agency (EPA). Risk Evaluation for Asbestos. Part I: Chrysotile Asbestos; 2020. Available at: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-12/documents/1_risk_evaluation_for_asbestos_part_1_chrysotile_asbestos.pdf
12. Levanchuk A.V. Hygienic characteristic of air environment in the affected zone of road and automobile complex. *Meditsina i obrazovanie v Sibiri*. 2015; (1): 5. (in Russian)
13. World Health Organization Regional Office for Europe. *Air Quality Guidelines for Europe*. 2nd edition. WHO Regional Publications, European Series; 2000. Available at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf
14. Xu Q., Chen H., Prozzia J.A. Performance of fiber reinforced asphalt concrete under environmental temperature and water effects. *Constr. Build Mater.* 2010; 24(10): 2003–10.
15. Willis J.R., Howard I.L. Asphalt recycling: history of recycled materials and lessons learned about recycling plastic. *TR News*. 2020; 330: 21–4.