

Читать
онлайн
Read
onlineЦхомария И.М.^{1,2}, Ковалевский Е.В.^{1,2}, Кашанский С.В.³

Природно-антропогенные источники загрязнения атмосферного воздуха волокнами асбеста

¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», 105275, Москва, Россия;²ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия;³ФБУН «Екатеринбургский медицинский – научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 620014, Екатеринбург, Россия

Введение. Месторождения различных видов асбеста широко распространены в земной коре. На этих территориях, особенно в случае их промышленной разработки или активного использования местным населением, может присутствовать возможность загрязнения атмосферного воздуха населённых мест свободными волокнами асбестов.

Цель исследования – оценка возможности загрязнения воздуха волокнами амфиболовых асбестов в районах расположения отработанных затопленных карьеров в Свердловской области.

Материалы и методы. На территориях в Свердловской области, где ранее велась добыча магнезиоарфведсонита и антофиллита, отобрано и проанализировано по 5 проб атмосферного воздуха, воды и почвы.

Результаты. В пробах почвы выявлено чрезвычайно высокое содержание (до 20% от общей массы образцов) свободных волокон магнезиоарфведсонита и антофиллита, их концентрации в воде составляли в среднем $67 \cdot 10^6$ и $79 \cdot 10^6$ в/л соответственно. Средние концентрации респираторных волокон амфиболовых асбестов в воздухе составили 0,06 и 0,05 в/мл соответственно.

Ограничения исследования. В статье представлены результаты пилотного исследования загрязнения воздуха волокнистыми частицами, на основании которого не представляется возможным дать полноценную характеристику ситуации с учётом всех возможных видов антропогенной деятельности на обследованных территориях в различные сезоны года.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о повышенном риске загрязнения воздушной и водной среды свободными респираторными волокнами амфиболовых асбестов за счёт их вымывания и выветривания из горных пород, вследствие чего затопленные отработанные асбестовые карьеры следует считать природно-антропогенными источниками загрязнения. Необходимо проводить регулярный мониторинг экологической обстановки на указанных объектах, а также выработать меры по профилактике воздействия волокон амфиболовых асбестов на население.

Ключевые слова: волокна; асбест; амфиболы; загрязнение воздуха; загрязнение воды; загрязнение почвы

Соблюдение этических стандартов: исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Цхомария И.М., Ковалевский Е.В., Кашанский С.В. Природно-антропогенные источники загрязнения атмосферного воздуха волокнами асбеста. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(3): 294–302. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-3-294-302>

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

Участие авторов: Цхомария И.М. – сбор данных литературы, написание текста; Ковалевский Е.В., Кашанский С.В. – редактирование, утверждение окончательного варианта статьи. Все соавторы – разработка концепции и дизайна исследований, сбор первичного материала и обработка данных, ответственность за целостность всех частей статьи.

Благодарность. Выражаем благодарность АО «НИИПроектаасбест» за содействие при сборе материалов для исследования.

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 12.08.2021 / Принята к печати: 25.11.2021 / Опубликована: 08.04.2022

Iraklii M. Tskhomariia^{1,2}, Evgeny V. Kovalevskiy^{1,2}, Sergey V. Kashanskiy³

Natural and anthropogenic sources of atmospheric air pollution by asbestos fibers

¹Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation;²I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russian Federation;³Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation

Introduction. Deposits of various types of asbestos are widespread in the earth's crust. In these areas there may be a possibility of the atmospheric air pollution by asbestos fibers, especially in the case of industrial development of these deposits or active use by the resident population.

The purpose of this study was to assess the possibility of air pollution by amphibole asbestos fibers in the areas of disused flooded quarries in Sverdlovsk region.

Materials and methods. 5 samples of atmospheric air, water and soil were taken and analyzed at the territories in Sverdlovsk region where magnesio-arfvedsonite and anthophyllite were extracted in the past years.

Results. An extremely high content of free fibers of magnesio-arfvedsonite and anthophyllite (up to 20% of the total weight of the samples) was discovered in the soil samples. The concentrations of asbestos fibers in the water averaged $67 \cdot 10^6$ f/L and $79 \cdot 10^6$ f/L, respectively. The average concentrations of respirable amphibole asbestos fibers were 0.06 f/ml and 0.05 f/ml, respectively.

Limitations. The paper presents the results of a pilot study of air pollution by fibrous particles, based on which it is not possible to give a full description of the situation, taking into account all possible types of anthropogenic activity in the surveyed areas in different seasons of the year.

Conclusion. The results obtained indicate an increased risk of air pollution and water environment contamination by free amphibole asbestos fibers due to their leaching and weathering from rocks, as a result of which disused flooded quarries should be considered as natural and anthropogenic sources of pollution.

It is necessary to conduct regular monitoring of the environmental situation at these facilities, as well as to develop measures to prevent the exposure of amphibole asbestos fibers on the population.

Keywords: fibers; asbestos; amphiboles; water pollution; air pollution; soil pollution

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

For citation: Tskhomariia I.M., Kovalevskiy E.V., Kashanskiy S.V. Natural and anthropogenic sources of atmospheric air pollution by asbestos fibers. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(3): 294–302. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-3-294-302> (In Russian)

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

Information about the authors:

Tskhomariia I.M., <https://orcid.org/0000-0002-9615-3284>
Kashanskiy S.V., <https://orcid.org/0000-0002-0530-7496>

Kovalevskiy E.V. <https://orcid.org/0000-0001-5166-6871>

Contribution: Tskhomariia I.M. – collection of literature data, writing a text; Kovalevskiy E.V., Kashanskiy S.V. – editing, responsible for approval of the manuscript final version. 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.

Acknowledgement. The study had no sponsorship. We express our gratitude to JSC «NIIProektasbest» for their assistance in materials collection.

Received: August 12, 2021 / Accepted: November 25, 2021 / Published: April 08, 2022

Введение

Асбест — коммерческое название волокнистых природных минералов, различающихся по минералогическому строению, физико-химическим свойствам и биологической агрессивности. По минералогическим признакам асбест разделяется на две основные группы: группа серпентина и группа амфиболов [1]. В первую входит силикат магния — хризотилловый асбест (или белый асбест). Во вторую группу — силикаты железа, известные как амфиболы, из которых ранее наиболее широко применялись в промышленности крокидолит (голубой асбест) и амозит (коричневый, или бурый, асбест). В меньших объёмах использовались такие представители группы амфиболов, как антофиллит, магнезиоарфедсонит, актинолит и тремолит. Месторождения этих и других разновидностей волокнистых минералов чрезвычайно широко распространены в России и в мире.

Применение асбеста известно ещё с древних времён, на что указывают археологические находки. Асбест входил в состав различных текстильных изделий, а также кухонной посуды, фитилей ламп и многого другого. В России его промышленное применение датировано началом XVIII столетия, когда из добываемого на Урале минерала производили тканые изделия [2]. Использование асбестов резко возросло в конце XIX столетия, когда они стали применяться в производстве строительных материалов, судостроении, текстильной промышленности и др. Пик потребления приходится примерно на 1977 г., когда 25 стран в совокупности добывали почти 4,8 млн тонн асбеста в год и около 85 стран производили асбестосодержащие материалы [3]. Снижение потребления асбестов связано в первую очередь с исследованиями их воздействия на организм человека. Бесконтрольное применение асбестов привело к росту числа асбестообусловленных заболеваний, таких как асбестоз, рак лёгких, мезотелиома. Долгое время считалось, что данные заболевания связаны только с профессиональным воздействием. Однако в дальнейшем стали появляться исследования, указывавшие на развитие этих заболеваний вследствие загрязнения атмосферного воздуха населённых мест волокнами асбеста из природных источников (месторождений). В англоязычной литературе даже был введён специальный термин *naturally occurring asbestos*, или NOA [4–6]. Чаще всего речь шла об амфиболовых асбестах или похожих по строению группах волокнистых минералов (например, эрионите), поскольку риск развития злокачественных новообразований при воздействии амфиболовых асбестов значительно выше, нежели при воздействии хризотила [7]. Для выявления случаев заболеваний, связанных с загрязнением атмосферного воздуха населённых мест волокнами асбеста, необходим тщательный сбор информации о пациенте, в анамнезе которого отсутствовало профессиональное воздействие, но было указание

о пребывании в местности, где имеются асбестовые месторождения — потенциальные источники загрязнения воздуха волокнистой пылью. Идентификация природных источников в таком случае является первостепенной задачей для установления связи с заболеванием.

В мире зарегистрировано несколько тысяч месторождений различных видов асбеста и асбестопроявлений, непригодных для промышленной разработки. Многие массивы горных пород (гипербазитов) содержат проявления асбеста, не имеющие промышленного значения (содержание асбестового волокна не превышает 1%). Возможно присутствие волокон асбестов в промышленно разрабатываемых месторождениях других минералов (талк, вермикулит и др.). Однако распространённость проявлений асбеста (асбестоносности) в мире до настоящего времени изучена не полностью, поэтому реальные площади распространения асбестосодержащих пород могут быть намного более значительными [8]. Например, по данным Геологической службы США (United States Geological Survey — USGS), полученным только в результате анализа геологической литературы, в США имеется более 800 природных источников (рудопоявлений) асбеста [9].

В Российской Федерации добыча волокон асбеста осуществляется при эксплуатации промышленно значимых месторождений. В настоящее время коммерчески эксплуатируемыми являются месторождения единственно разрешённого для промышленного использования вида асбеста — хризотилового. Месторождения амфиболовых асбестов распространены на Урале, встречаются в Карело-Кольском регионе, на Кавказе, в Алтае-Саянском регионе и др. [8]. Они не эксплуатируются с конца XX столетия или вообще никогда не эксплуатировались. Ранее разрабатываемые месторождения амфиболов консервировались путём затопления, часть земель вокруг них подверглась рекультивации, однако со временем эти территории стали эксплуатироваться в качестве рекреационных зон. В качестве примера можно привести использование Анатольевского карьера (Свердловская область) для подводных погружений (занятий дайвингом) (рис. 1).

Картина дна Анатольевского карьера, где ранее добывалась одна из разновидностей асбестов амфиболовой группы — магнезиоарфедсонит, представленная на рис. 1, изобилует большим количеством горных пород и демонстрирует ясность их визуализации, что говорит о прозрачности воды. Прозрачность воды может быть обусловлена отсутствием источников органического загрязнения, однако следует предположить, что вода в этом водоёме может быть загрязнена свободными волокнами магнезиоарфедсонита вследствие их вымывания из вмещающих пород, которые отчётливо видны на рис. 1 (содержание собственно волокон асбеста во вмещающих породах может достигать до 5% в самых богатых месторождениях). Вымывание свободных волокон помимо загряз-



Рис. 1. Фотография погружения дайверов в воды затопленного карьера. Ссылка: [10].

Fig. 1. Photo of divers diving into the waters of a flooded quarry. Link: [10].

нения воды может привести к загрязнению почвы вблизи водоёма. В результате естественного движения воздушных масс, а также антропогенного воздействия свободные волокна амфиболовых асбестов распространяются на прилегающие территории, тем самым создавая определённую угрозу здоровью населения, в том числе использующего данный водоём в рекреационных целях.

В настоящее время карьеры в местах, где ранее осуществлялась добыча амфиболовых асбестов, являются популярными для туризма: на их территориях проводятся занятия по погружению в воду [11], обустраиваются участки для пикников и площадки под лагерную стоянку, по прилегающей территории осуществляется движение на автомобилях и других видах транспорта, а также имеются частные постройки [12]. К тому же некоторые отвалы использовались для переработки горных пород в щебёночно-песчаную смесь [11], которую в том числе использует местное население для отсыпки дорог на безбитумной основе в близлежащих районах и на территориях садоводческих товариществ. Но поскольку технология добычи асбеста не позволяет полностью извлечь волокнистую составляющую из вмещающих пород, многие «пустые» породы могут содержать волокна амфиболовых асбестов, что потенциально представляет опасность для окружающих в связи с высвобождением волокон при механическом воздействии (движении автотранспорта, использовании на производстве и т. д.). Изложенное выше является свидетельством неосведомлённости населения об опасности воздействия амфиболовых асбестов. Причиной тому может быть и отсутствие исследований, позволяющих качественно и количественно оценить содержание амфиболовых волокон в водной, воздушной и почвенной средах, поскольку такие исследования требуют использования специального высокотехнологичного оборудования.

В связи с этим целью настоящего исследования стало проведение оценки возможности загрязнения окружающей среды волокнами амфиболовых асбестов в районах расположения обработанных затопленных карьеров Свердловской области.

Материалы и методы

Исследование проводилось в местах расположения затопленных карьеров в Свердловской области, где ранее велась добыча магнезиоарфедсонита и антофиллита. На этих территориях было отобрано по 5 проб воздуха, воды и почвы.

Пробы воздуха отбирали на мембранные фильтры Izoroge (производство Merck Millipore, Германия), диаметр 25 мм, диаметр пор 0,8 мкм. Через каждый фильтр протягивали не менее 2000 л воздуха. Исследование проводили в сухую погоду, при отсутствии осадков в течение трёх дней до момента отбора проб.

Пробы почвы отбирали на берегах водоёмов в пластиковые контейнеры, которые доставляли в лабораторию и предварительно изучали без применения специальных методов исследования (визуальный осмотр), а затем подвергали измельчению и гомогенизации.

Пробы воды объёмом примерно 1000 мл отбирали в стерильные пластиковые ёмкости, после чего доставляли в лабораторию и помещали в холодильное оборудование до следующего дня (~16–18 ч) при температуре 4 ± 2 °C для предотвращения роста микроорганизмов. Затем пробы погружали в ультразвуковые ванны для равномерного распределения частиц в жидкости приблизительно на 15 мин, после чего фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,1 мкм при помощи фильтровальной установки с последующим выпариванием воды. Процедуры, связанные с удалением органических веществ в пробах воды (путём техники озонирования/обработки под ультрафиолетовой лампой), не проводились. Полученные фильтры доставляли в ФГБНУ «НИИ МТ» для дальнейшего исследования.

Анализ проб 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,

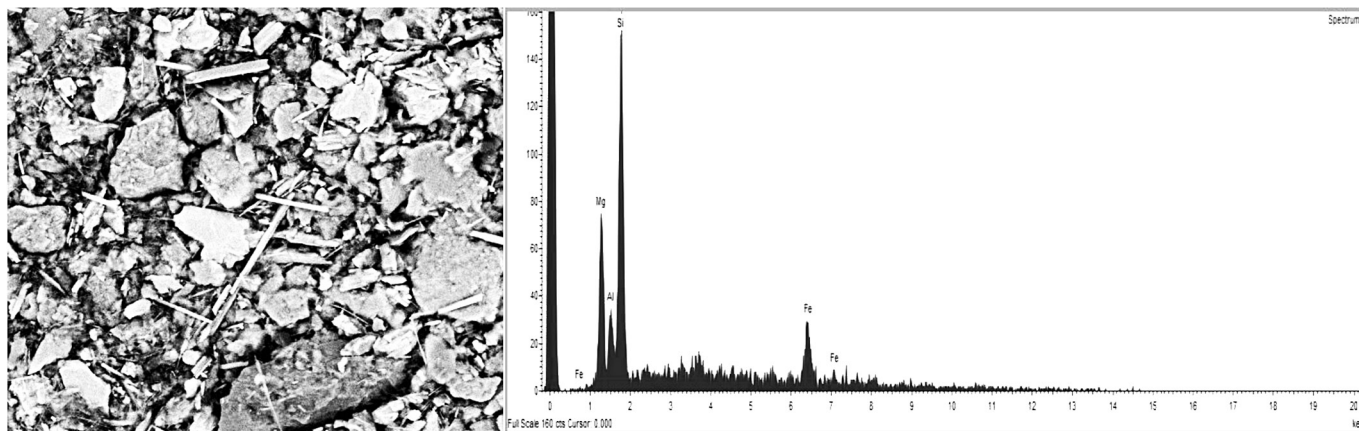


Рис. 2. Проба почвы, отобранная на борту карьера Анатольевского месторождения (свободные волокна магнезиоарфедсонита и спектр) при увеличении ×1000.

Fig. 2. Soil sample taken on the shore of the Anatolyevsky quarry (free magnesio-arfvedsonite fibers and spectrum) ×1000.

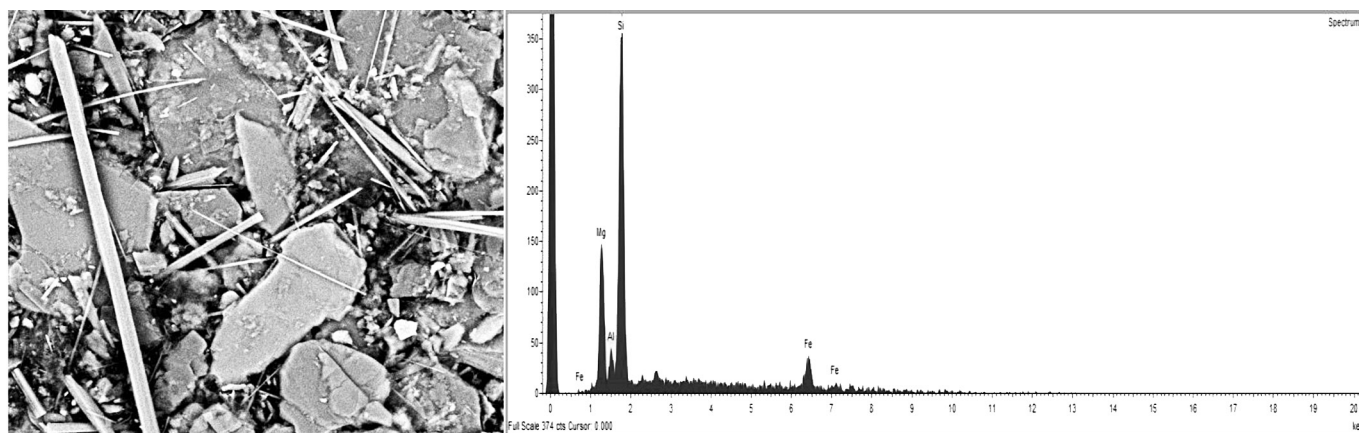


Рис. 3. Проба почвы, отобранная на борту карьера Сысертского месторождения: свободные волокна антофиллита и спектр при увеличении ×1000.

Fig. 3. Soil sample taken on the shore of the Sysertsky quarry (free anthophyllite fibers and spectrum) ×1000.

указанными в стандарте Международной организации стандартов ISO 14966 [13]. Анализ проводили с использованием электронного микроскопа Hitachi TM 1000 (Япония), оснащённого детектором для энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии TM1000 EDS, Oxford Instruments Ltd. (Великобритания).

Методика подсчёта волокон в пробах воздуха соответствовала требованиям стандарта ISO 14966 [13], а методика подсчёта волокон в пробах воды учитывала положения методики, разработанной Агентством по защите окружающей среды США (US EPA) [14]. В пробах воды подсчитывали все волокна, имеющие длину более 0,5 мкм и соотношение длины к диаметру как 3:1; в пробах воздуха подсчитывали волокна, соответствующие определению «респираторные» (то есть имеющие длину > 5 мкм, диаметр < 3 мкм и соотношение длины к диаметру, равное 3:1).

Результаты

В результате анализа проб почвы выявлено чрезвычайно высокое содержание свободных волокон антофиллита и магнезиоарфедсонита (до 20% от общей массы отобранных образцов) (рис. 2, 3). На рис. 2, 3 отчётливо просматриваются характерные игольчатые кристаллы – волокна амфиболовых асбестов. При этом большинство волокнистых частиц относятся по размерным характеристикам к респираторным волокнам.

Результаты анализа проб воды представлены в табл. 1. Концентрации свободных волокон асбеста длиной более 0,5 мкм составляли в среднем $67 \cdot 10^6$ волокон в литре воды карьера Анатольевского месторождения и $79 \cdot 10^6$ волокон в литре воды карьера Сысертского месторождения. На рис. 4, 5 представлены внешний вид и спектр отфильтрованных из воды волокон.

Таблица 1 / Table 1

Концентрации волокон асбеста (частиц магнезиоарфедсонита и антофиллита с соотношением длины к диаметру как 3:1) в пробах воды, отобранных из водоёмов на месте карьеров, волокон/л · 10⁶

Concentrations of asbestos fibers (particles of magnesio-arfvedsonite and anthophyllite with a length-to-diameter ratio of 3 to 1) in water samples taken from reservoirs at the quarry site, fibers/L · 10⁶

Место отбора Sample point	Концентрация Concentration		
	минимальная minimum	максимальная maximum	средняя average
Анатольевский карьер Anatolyevsky quarry	45.0	97.0	67.0
Сысертский карьер Sysertsky quarry	54.0	104.0	79.0

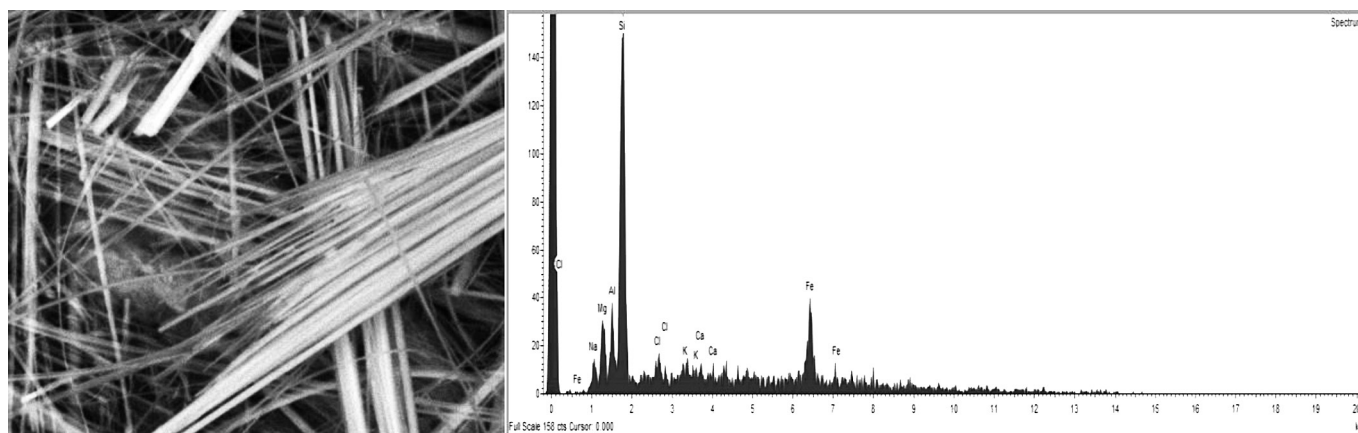


Рис. 4. Проба воды из карьера Анатольевского месторождения: свободные волокна магнезиоарфедсонита и спектр при увеличении $\times 3000$.

Fig. 4. Anatolyevsky quarry water sample (free magnesio-arfvedsonite fibers and spectrum) $\times 3000$.

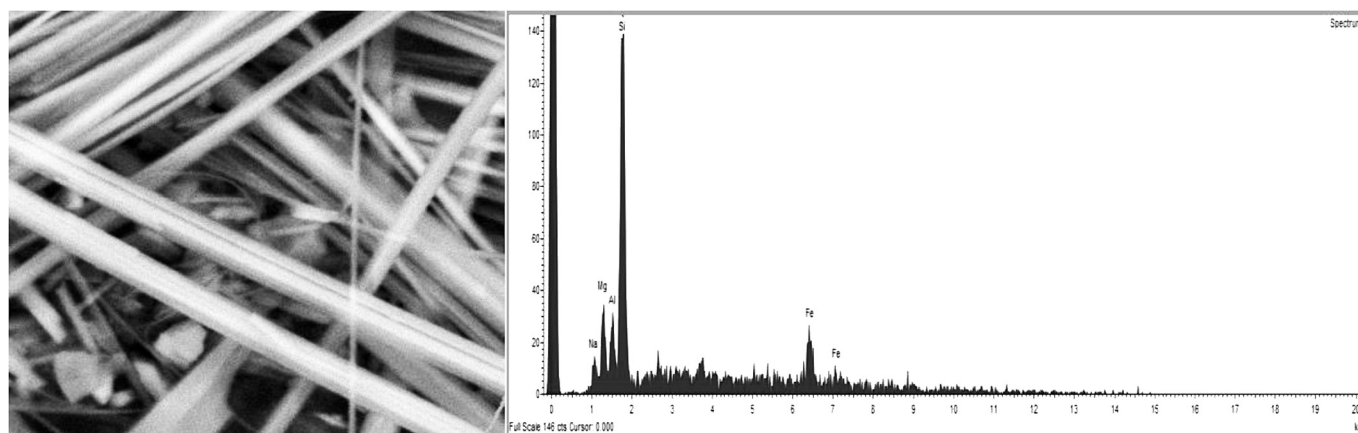


Рис. 5. Проба воды из карьера Сысертского месторождения (свободные волокна антофиллита и спектр) при увеличении $\times 5000$.

Fig. 5. Sysertsky quarry water sample (free anthophyllite fibers and spectrum) at $\times 5000$.

Результаты анализа проб воздуха представлены в табл. 2. Средние концентрации в воздухе респираторных волокон асбеста (частиц магнезиоарфедсонита и антофиллита) составили 0,06 в/мл в месте расположения Анатольевского карьера и 0,05 в/мл – в месте расположения Сысертского карьера.

Таблица 2 / Table 2

Концентрации респираторных волокон асбеста (частиц магнезиоарфедсонита и антофиллита) в пробах воздуха, отобранных на берегу водоёмов в местах расположения карьеров, волокон/мл

Respirable asbestos fibers concentrations (particles of magnesio-arfvedsonite and anthophyllite) in air samples taken on the shore of reservoirs at the quarries site, fibers/ml

Место отбора Sample point	Концентрация Concentration		
	минимальная minimum	максимальная maximum	средняя average
Анатольевский карьер Anatolyevsky quarry	0.001	0.09	0.06
Сысертский карьер Sysertsky quarry	0.001	0.07	0.05

Обсуждение

Промышленно значимые месторождения асбеста имеются более чем в 40 странах мира, но добыча его в разное время велась в 27 странах, из которых Российская Федерация является основным производителем хризотилового асбеста [1].

В России открыты месторождения практически всех известных в мире асбестов. Основные промышленно значимые российские месторождения асбестов находятся на Урале. На территории Свердловской области разведано свыше десятка промышленно значимых месторождений хризотилового и амфиболовых асбестов. Из последних наиболее крупное – Сысертское месторождение антофиллит-асбеста, включающее 8 месторождений и 49 асбестопроявлений [8].

Валовые выбросы предприятий по добыче и обогащению асбеста и эмиссия волокон из заброшенных асбестовых рудников и нерекультивированных отвалов отходов обогащения, особенно пылевых, на которых не проводились или несвоевременно проводились мероприятия по рекультивации, могут быть значимыми источниками загрязнения атмосферного воздуха минеральными волокнистыми частицами.

На территории Свердловской области имеются нерекультивированные отвалы отходов обогащения амфиболовых асбестов и семь затопленных амфиболовых рудников. В результате естественных природных процессов в водоёмах

может идти водное обогащение свободных волокон амфиболовых асбестов, которые выносятся водными массами на береговую полосу и способны загрязнять атмосферный воздух. На этих семи территориях Свердловской области, где в наибольшей степени присутствует вероятность внешнесредовой экспозиции амфиболовых асбестов, проживает порядка 800 тыс. человек [15]. Поэтому изучение санитарно-гигиенического состояния объектов окружающей среды селитебных зон и здоровья населения в условиях непрофессионального воздействия асбестов амфиболовой группы является важной эколого-гигиенической проблемой.

Вопросы оценки риска при воздействии низких концентраций асбестосодержащей пыли, характерных для внепроизводственной среды, по-прежнему остаются предметом дискуссий.

В ходе исследований, проведённых в разных странах мира, установлен повышенный риск развития мезотелиом у населения в результате непрофессиональной экспозиции (табл. 3). Стоит отметить, что фоновый показатель заболеваемости мезотелиомой (то есть без учёта всех видов воздействия асбеста) предположительно находится на уровне $1-2 \cdot 10^6$ в год [16].

Таблица 3 / Table 3

Риск развития мезотелиом в результате воздействия природных уровней различных видов асбеста/цеолитов (эрионита)**The risk of developing mesotheliomas as a result of exposure to environmental levels of various types of asbestos/zeolites (erionites)**

Страна, регион Country, region	Тип асбеста Asbestos type	Риск развития мезотелиом (в год)* или отношение шансов: OR и 95% доверительный интервал (ДИ) Risk of mesothelioma (per year) or odds ratio with 95 CI	Источник Reference
Китай, провинция Даяо Dayao, China	Крокидолит Crocidolite	от $85 \cdot 10^6$ до $365 \cdot 10^6$ в год from $85 \cdot 10^6$ to $365 \cdot 10^6$ per year	[17]
Виттенум, Австралия Wittenoom, Australia	Крокидолит Crocidolite	$260 \cdot 10^6$ в год / per year (стандартизованный показатель заболеваемости standardized incidence rate)	[18] [19]
Мецово, Греция Metsovo, Greece	Тремолит Tremolite	$446 \cdot 10^6$; 95% ДИ (CI) $329-603 \cdot 10^6$ (показатель заболеваемости среди бывших жителей города, проживавших в нём в детстве incidence rate among the former residents of the city who lived there as a child)	[20]
Сивас, Турция Sivas, Turkey	NOA	$204 \cdot 10^6$ в год / per year (с тенденцией к снижению в последние 10 лет наблюдения – с $260 \cdot 10^6$ в год в первые 10 лет до $110 \cdot 10^6$ в год – в последние 10 лет) (With a tendency to decrease in the last 10 years of observation – from $260 \cdot 10^6$ per year in the first 10 years to $110 \cdot 10^6$ per year in the last 10 years)	[21]
Калифорния, США California, USA	NOA	Повышенный риск / Increased risk (риск асбестообусловленных заболеваний (мезотелиомы плевры или плевральных бляшек) снижается на 8% при удалении на каждый 1 км от офиолитовых комплексов (горных пород, вмещающих NOA)) (The risk of asbestos-related diseases (pleural mesothelioma or pleural plaques) decreases by 8 for every 1 km farther from ophiolite complexes (rocks containing NOA))	[22]
Чермик, Турция Chermik, Turkey	Тремолит Tremolite	Повышенный риск (риск рассчитан в статье [24]) Increased risk (The risk is calculated in the article [24]) $\sim 50 \cdot 10^6$ в год (per year)	[23]
Новая Каледония, Франция New Caledonia, France	Тремолит Tremolite	$OR = 40.9$ (95% ДИ (CI) 5.15–325) $125 \cdot 10^6$ в год (per year)	[24]
ЮАР South Africa	В основном крокидолит (немного амозит) Mostly crocidolite (little amosite)	Повышенный риск / Increased risk	[25]
Италия Italy	Фторэденит (минерал амфиболовой группы) Fluoro-edenite (Amphibole group mineral)	$SIR = 5.76$ (95% ДИ (CI) 3.76–8.44)	[26]
Центральная Анатолия, Турция Central Anatolia, Turkey	В основном тремолит (или смесь других видов асбеста) Mainly tremolite (or a mixture of other types of asbestos)	$1148 \cdot 10^6$ – среди мужчин (in men) $1598 \cdot 10^6$ – среди женщин (in women) (стандартизованный показатель заболеваемости / standardized incidence rate)	[27]
Каппадокия, Турция Cappadocia, Turkey	Эрионит Erionite	$\sim 7000 \cdot 10^6$ и (and) $\sim 2000 \cdot 10^6$ для мезотелиомы плевры (for pleural mesothelioma) (стандартизованный показатель заболеваемости / standardized incidence rate)	[28]
Южная Корея South Korea	NOA	Повышенный риск (статистически значимый у мужчин) Increased risk (Statistically significant in men)	[29]

Примечание. * – грубый показатель заболеваемости.

Note. * – Crude incidence rate.

В Российской Федерации в СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» предельно допустимые концентрации амфиболовых асбестов установлены только для воздуха рабочей зоны по общей массе всей витающей в воздухе пыли в зависимости от счётной концентрации респираторных волокон, в то время как в атмосферном воздухе, воде и почве они никак не регламентируются. Несмотря на фактический запрет промышленного применения всех видов амфиболовых асбестов, население может подвергаться их воздействию, в том числе и за счёт природных источников. Отсутствие установленных показателей в гигиенических нормативах не позволяет регуляторным органам выявлять и контролировать содержание амфиболовых асбестов в окружающей среде, тем самым создаётся угроза здоровью населения.

Концентрации амфиболовых асбестов в пробах воды исследуемых карьеров превышали установленные в США нормативные показатели (Maximum Contaminant Level, определяется как максимально допустимый уровень содержания волокон асбеста в воде, далее – MCL), составляющие $7 \cdot 10^6$ в/л [30]. Несмотря на то что данный показатель установлен для волокон с длиной более 10 мкм, в пробах воды количество волокон такой длины составляло более 50%, что позволяет говорить о превышении данного показателя с поправкой на длину (при этом по методике [14] учитывали все волокна, имеющие длину более 0,5 мкм и с соотношением длины к диаметру, равным 3:1). Похожие данные получены и при исследованиях воды реки Альякмон (Греция), протекающей рядом с отработанным карьером. В пробах воды, отобранных на разном расстоянии от карьера, наблюдались высокие концентрации волокон: средняя концентрация волокон всех видов асбеста (основная доля приходится на хризотилевоподобный) составила $37,3 \cdot 10^6$ в/л ($42,2 \cdot 10^6$ в/л вместе с неасбестовыми волокнами). Карьер также подвергся рекультивации, но не был затоплен. В последней пробе, отобранной на расстоянии 21 км от карьера, концентрация волокон была меньше установленного порогового значения $7 \cdot 10^6$ в/л [31]. Несмотря на то что максимальная концентрация в пробах воды реки ($158,9 \cdot 10^6$) выше полученных нами максимальных значений ($97 \cdot 10^6$ и $104 \cdot 10^6$ в/л), средняя концентрация волокон в воде реки меньше полученных в нашем исследовании. Возможно, причина состоит в том, что по мере удаления от источника загрязнения поступление волокон в воду уменьшается, а оставшееся количество волокон в большей мере перераспределяется по объёму реки и частично вымывается на берега. Поскольку движение водных масс в затопленном карьере менее интенсивно, волокнистые частицы могут иначе распределяться по всему его объёму (при отсутствии каких-либо воздействующих факторов).

В другом исследовании, проведённом в уезде Даяо провинции Юньнань (КНР) [17], где встречаются природные источники (рудопоявления) крокидолита в почве, также показаны концентрации волокон асбеста, превышающие MCL, в различных видах водных источников: в воде колодцев и в поверхностных водоёмах. Более низкие концентрации волокон в колодезной воде по сравнению с водой из поверхностных водоёмов говорят о том, что основным путём поступления волокон в воду является воздушный. Поскольку колодцы в данной местности открыты, волокнистые частицы крокидолита также попадают в колодезную воду при выветривании из почвы, однако возможна миграция волокон через почву, поскольку в подповерхностных слоях, выстилающих стенки колодца, были также найдены отложения крокидолита [32]. К тому же в другом исследовании [33] показано, что при высоком содержании органических веществ в почве возможна миграция волокон асбеста в подземные воды. Средние концентрации в воде поверхностных водоёмов выше значений, полученных в нашем исследовании ($109,82 \cdot 10^6$ против $67 \cdot 10^6$ и $79 \cdot 10^6$ в/л соответственно), что может объясняться большим количеством волокон, поступающих не только в результате выветривания из горных пород, но и вследствие

деятельности человека (аграрной, строительной и других видов) [32], а также возможной миграции самих волокон [33].

Исходя из полученных данных, можно говорить о том, что в исследованных нами водоёмах на месте отработанных карьеров Анатолевского и Сысертского месторождений интенсивно протекает процесс естественного водного обогащения волокон асбеста и присутствует высокий риск загрязнения прилегающих территорий свободными волокнами амфиболовых асбестов. Следовательно, необходимо запретить купания/глубинные погружения в этих водоёмах, а также использование их в различных хозяйственно-бытовых целях.

В выполненном британскими специалистами эксперименте по моделированию миграции свободных волокон различных видов асбеста из разнообразных почв в воздух показано, что даже при содержании волокнистой составляющей 0,001% от общей массы образца счётные концентрации волокон в воздухе могли превышать значение, равное 0,01 в/мл. Стоит отметить, что концентрации респираторных волокон в атмосферном воздухе в основном определяются их содержанием в почве, но влиять на этот процесс могут и некоторые факторы, такие как тип почвы (рыхлая или плотная) и её влажность, тип волокон (хризотилевоподобный или различные виды амфиболовых асбестов) [34]. В свою очередь погодные условия и деятельность людей могут также вносить коррективы в этот процесс. В пробах почвы исследованных нами карьеров содержание волокон достигало 20% по массе. С одной стороны, загрязнение волокнами почвы необходимо снижать с помощью рекультивации и иных мероприятий, использование зелёных насаждений, а с другой стороны, загрязнение почвы свободными волокнами будет сохраняться (как водным, так и воздушным путём), поэтому реализация данных мер представляется достаточно трудной задачей.

Наличие в пробах воздуха свободных волокон амфиболовых асбестов указывает на возможность их распространения за счёт естественного перемещения воздушных масс даже в отсутствие антропогенной активности в непосредственной близости от карьера (например, движение автомобильного транспорта). Высвобождение в воздух свободных волокнистых частиц возможно как из нерекультивированных отвалов, так и при вымывании из пород затопленного карьера на берег и дальнейшем выветривании. Данные по средним концентрациям волокон асбеста в атмосферном воздухе превышают установленный в качестве рекомендуемого показатель, равный 0,001 в/мл* [35]. Это может создавать определённые риски не только для здоровья населения, проживающего в непосредственной близости от карьера или пребывающего там постоянно на протяжении длительного времени, но и для лиц, периодически посещающих эти территории. Причина заключается в том, что волокна амфиболовых асбестов практически не выводятся из глубоких отделов органов дыхания, и их накопление в лёгких до количеств, при которых возможно развитие неблагоприятных изменений в состоянии здоровья человека, возможно даже при непостоянном воздействии в малых концентрациях. Средние концентрации волокон амфиболовых асбестов в атмосферном воздухе на исследованных нами территориях оказались выше полученных в зарубежных исследованиях на карьерах, которые не использовались, но не подвергались затоплению [36, 37].

Таким образом, в настоящем исследовании подтверждено предположение о том, что территории, где расположены отработанные карьеры и рудопоявления амфиболовых асбестов, являются значимыми источниками загрязнения атмосферного воздуха асбестоносными аэрозолями. При этом следует отметить, что высокие концентрации волокон в воздухе являются результатом естественных процессов; антропогенная активность в момент отбора проб воздуха отсутствовала.

* Данное значение было получено при оценке дополнительного риска (excess risk) развития асбестообусловленных злокачественных новообразований лёгких и мезотелиомы в популяции и предполагается как обеспечивающее безопасность здоровья населения.

Полученные данные могут служить одним из объяснений специфики высокой частоты заболеваемости мезотелиомой в Свердловской области за период 1980–2004 гг.: из 125 случаев только у 15 (12%) пациентов имелся профессиональный контакт с хризотилловым асбестом, а высокая заболеваемость была зарегистрирована в районах, где велась добыча или расположены месторождения амфиболового асбеста (посёлки Новоасбест, Сысерть) [38].

Можно предположить целесообразность мониторинга ситуации и необходимость просветительной работы с населением для уменьшения неоправданных рисков. Это особенно важно, поскольку при анализе случаев злокачественной мезотелиомы, выявленных в Свердловской области за период 1980–2017 гг., возможное непрофессиональное воздействие амфиболовых асбестов может обуславливать большое число случаев мезотелиомы в регионе [15, 39].

Следует отметить, что ограничением настоящего исследования является выполненная единовременная оценка загрязнения воздуха волокнистыми частицами на обследованных территориях в период минимальной антропогенной активности со стороны постоянного населения близлежащих территорий и приезжающих. Это не позволяет провести полноценную оценку ситуации при различных видах антропогенной активности в различные периоды года.

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о возможности загрязнения воздушной и водной среды свободными волокнами амфиболовых асбестов за счёт их выветривания и вымывания из горных пород, вследствие чего затопленные отработанные карьеры следует считать природно-антропогенными источниками загрязнения.

Необходимо проводить регулярный мониторинг экологической обстановки на указанных объектах, а также выработать меры по профилактике воздействия волокон амфиболовых асбестов. Возможность принятия решения об ограничении пользования территориями и пребывания на них граждан следует рассматривать на законодательном уровне, как это практикуется в западных странах [40].

Профилактику воздействия волокон амфиболовых асбестов можно осуществить при выполнении ряда условий:

1. Следует разработать и внедрить в повседневную практику Роспотребнадзора национальные нормативы, регламентирующие содержание респираторных волокон амфиболовых асбестов в атмосферном воздухе населённых мест, воде и почве.
2. Затопленные отработанные карьеры и другие горные выработки, возникшие при добыче асбеста, не должны использоваться для хозяйственно-питьевого и рекреационного водопользования, в том числе для подводного плавания.
3. Территории, загрязнённые амфиболовыми асбестами, не должны передаваться под садоводческие товарищества и индивидуальное жилищное строительство.
4. Следует запретить движение мото-, автотранспорта, езду на велосипедах и других транспортных средствах на территориях, где расположены нерекультивированные поверхностные месторождения (рудопоявления) амфиболовых асбестов.
5. Необходимо полностью прекратить использование горных пород, содержащих амфиболовые асбесты, для производства строительных материалов и в других целях (например, в качестве гравия для отсыпки дорог и т. д.).
6. Требуется установить запрет на использование нерекультивированных отвалов для проведения спортивных мероприятий, сбора дикоросов (грибы, ягоды и т. д.).
7. На берегу существующих затопленных отработанных карьеров, отвалов и других горных выработок, содержащих амфиболовые асбесты, следует оборудовать запрещающие знаки (информационные щиты) для предотвращения использования водоёмов и отвалов как мест отдыха.
8. Среди населения, проживающего на территории, загрязнённой амфиболовыми асбестами, должны на постоянной основе проводиться разъяснительная работа и информирование о возможных негативных последствиях воздействия амфиболовых асбестов на здоровье.
9. Необходимо использовать средства индивидуальной защиты органов дыхания при работах на уже существующих приусадебных участках, в грунтовых теплицах и других объектах, расположенных на загрязнённых амфиболовыми асбестами почвах.
10. Должен быть запрещён выпас скота на территориях, загрязнённых амфиболовыми асбестами.

Литература

(п.п. 2–7, 9, 13, 14, 16–38 см. References)

1. Рыскин М.В. *Асбест в мировой экономике*. М.: Международные отношения; 1969.
8. Янин Е.П. Асбестоносные площади и горные породы как природные источники поступления асбестовой пыли в окружающую среду. *Научные и технические аспекты охраны окружающей среды*. 2013; (5): 18–47.
10. Новости Екатеринбурга. Доступно: https://www.e1.ru/news/spool/news_id-69848936.html
11. Путеводитель по достопримечательностям Урала. Доступно: <https://uraloved.ru/mesta/sverdlovskaya-obl/uralskaya-hurgada-karyeri-lazurnyj-triton-golubye-ozera>
12. Путеводитель по достопримечательностям Урала. Доступно: <https://uraloved.ru/mesta/sverdlovskaya-obl/karyeri-rudnika-asbest>
15. Кашанский С.В., Шабуров А.П. Риск развития мезотелиом в результате воздействия природно-антропогенных уровней асбеста. В кн.: *Охрана здоровья населения промышленных регионов: стратегия развития, инновационные подходы и перспективы. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Екатеринбург; 2009: 47–50.
39. Ковалевский Е.В., Кашанский С.В., Цхомария И.М. Злокачественная мезотелиома в Российской Федерации. *Медицина труда и промышленная экология*. 2019; 59(9): 646–7. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-9-646-647>
40. Сайт Департамента Западной Австралии по вопросам планирования, землепользования и культурного наследия. Доступно: <https://www.dplh.wa.gov.au/about/the-department/news,-events-and-public-engagement/news-and-events/2021/august/final-closure-of-wittenoom-nears-as-bill-returns-t>

References

1. Ryskin M.V. *Asbestos in the World Economy [Asbest v mirovoy ekonomike]*. Moscow: Mezhdunarodnye otnosheniya; 1969. (in Russian)
2. Ross M., Nolan R.P. History of asbestos discovery and use and asbestos-related disease in context with the occurrence of asbestos within ophiolite complexes. Special Paper 373. In: Dilek Y., Newcomb S., eds. *Ophiolite Concept and the Evolution of Geological Thought, Geological Society of America*. Boulder, Colorado; 2003: 447–70.
3. Virta R.L. Worldwide asbestos supply and consumption trends from 1900 through 2003. In: *U.S. Geological Survey Circular 1298*. 2006: 1–80.
4. Constantopoulos S.H. Environmental mesothelioma associated with tremolite asbestos: lessons from the experiences of Turkey, Greece, Corsica, New Caledonia and Cyprus. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2008; 52(Suppl. 1): S110–5. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2007.11.001>
5. Baumann F., Buck B.J., Metcalf R.V., McLaurin B.T., Merkle D.J., Carbone M. The presence of asbestos in the natural environment is likely related to mesothelioma in young individuals and women from Southern Nevada. *J. Thorac. Oncol.* 2015; 10(5): 731–7. <https://doi.org/10.1097/jto.0000000000000506>
6. Liu B., van Gerwen M., Bonassi S., Taioli E. Epidemiology of Environmental Exposure and Malignant Mesothelioma. *J. Thorac. Oncol.* 2017; 12(7): 1031–45. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2017.04.002>
7. Hodgson J.T., Darnton A. The quantitative risks of mesothelioma and lung cancer in relation to asbestos exposure. *Ann. Occup. Hyg.* 2000; 44(8): 565–601.
8. Янин Е.П. Асбестоносные площади и породы как природные источники асбестовой пыли в окружающую среду. *Научные и технические аспекты охраны окружающей среды*. 2013; (5): 18–47. (in Russian)

9. United States Geological Survey's. Available at: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20111188>
10. Ekaterinburg News. Available at: https://www.e1.ru/news/spool/news_id-69848936.html (in Russian)
11. Guide to the sights of the Urals. Available at: <https://uraloved.ru/mesta/sverdlovskaya-obl/uralskaya-hurgada-karyeri-lazurnyj-triton-golubye-ozera> (in Russian)
12. Guide to the sights of the Urals. Available at: <https://uraloved.ru/mesta/sverdlovskaya-obl/karyeri-rudnika-asbest> (in Russian)
13. International Organization for Standardization. Ambient air – determination of numerical concentration of inorganic fibrous particles – scanning electron microscopy method; 2002.
14. EPA 600/4-83-043 (Method 100.1). United States Environment Protection Agency. Determination of Asbestos Fibers in Drinking Water; 1983.
15. Kashanskiy S.V., Shaburov A.P. Risk of mesothelioma development as a result of exposure to natural and anthropogenic levels of asbestos. In: *Health Protection of the Population of Industrial Regions: Development Strategy, Innovative Approaches and Prospects. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation [Okhrana zdorov'ya naseleniya promyshlennykh regionov: strategiya razvitiya, innovatsionnye podkhody i perspektivy. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Ekaterinburg; 2009: 47–50. (in Russian)
16. McDonald J.C., McDonald A.D. The epidemiology of mesothelioma in historical context. *Eur. Respir. J.* 1996; 9(9): 1932–42. <https://doi.org/10.1183/09031936.96.09091932>
17. Luo S., Liu X., Mu S., Tsai S.P., Wen C.P. Asbestos related diseases from environmental exposure to crocidolite in Da-yao, China. I. Review of exposure and epidemiological data. *Occup. Environ. Med.* 2003; 60(1): 35–42. <https://doi.org/10.1136/oem.60.1.35>
18. Hansen J., de Klerk N.H., Musk A.W., Hobbs M.S. Environmental exposure to crocidolite and mesothelioma: exposure-response relationships. *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.* 1998; 157(1): 69–75. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.157.1.96-11086>
19. Reid A., Franklin P., Olsen N., Sleith J., Samuel L., Aboagye-Sarfo P., et al. All-cause mortality and cancer incidence among adults exposed to blue asbestos during childhood. *Am. J. Ind. Med.* 2013; 56(2): 133–45. <https://doi.org/10.1002/ajim.22103>
20. Gogali A., Manda-Stachouli C., Ntzani E.E., Matthaiou M., Konstantinidis A.K., Zampira I., et al. Malignant mesothelioma in Metsovo, Greece, from domestic use of asbestos: 30 years later. *Euro. Res. J.* 2012; 39: 217–9. <https://doi.org/10.1183/09031936.00017011>
21. Döngel I., Bayram M., Bakan N.D., Yalcin H., Gültürk S. Is living close to ophiolites related to asbestos related diseases? Cross-sectional study. *Respir. Med.* 2013; 107: 870–4. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2013.03.006>
22. Pan X.L., Day H.W., Wang W., Beckett L.A., Schenker M.B. Residential proximity to naturally occurring asbestos and mesothelioma risk in California. *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.* 2005; 172(8): 1019–25. <https://doi.org/10.1164/rccm.200412-1731oc>
23. Yazicioglu S., Ilcayto R., Balci K., Sayli B.S., Yorulmaz B. Pleural calcification, pleural mesotheliomas, and bronchial cancers caused by tremolite dust. *Thorax.* 1980; 35: 564–9. <https://doi.org/10.1136/thx.35.8.564>
24. Luce D., Bugel I., Goldberg P., Goldberg M., Salomon C., Billon-Galland M.A., et al. Environmental exposure to tremolite and respiratory cancer in New Caledonia: a case-control study. *Am. J. Epidemiol.* 2000; 151(3): 259–65. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a010201>
25. White N., Nelson G., Murray J. South African experience with asbestos related environmental mesothelioma: is asbestos fiber type important? *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2008; 52(Suppl 1.): S92–6. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2007.09.013>
26. Bruno C., Tumino R., Fazzo L., Cascone G., Cernigliaro A., De Santis M., et al. Incidence of pleural mesothelioma in a community exposed to fibres with fluoro-edenitic composition in Biancavilla (Sicily, Italy). *Ann. Ist. Super. Sanita.* 2014; 50(2): 111–8. https://doi.org/10.4415/ann_14_02_02
27. Metintas S., Metintas M., Ucgun I., Oner U. Malignant mesothelioma due to environmental exposure to asbestos. *Chest.* 2002; 122(6): 2224–9. <https://doi.org/10.1378/chest.122.6.2224>
28. Baris Y.I., Grandjean P. Prospective study of mesothelioma mortality in Turkish villages with exposure to fibrous zeolite. *J. Natl. Cancer Inst.* 2006; 98(6): 414–7.
29. Kwak K., Zoh K.E., Paek D. Incidence of cancer and asbestos-related diseases among residents living near abandoned asbestos mines in South Korea: a retrospective cohort study using national health insurance database. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021; 18(3): 875. <https://doi.org/10.3390/ijerph18030875>
30. EPA 816-F-09-004. United States Environment Protection Agency. National primary drinking water regulations; 2009.
31. Koumantakis E., Kalliopi A., Dimitrios K., Gidarakos E. Asbestos pollution in an inactive mine: determination of asbestos fibers in the deposit tailings and water. *J. Hazard. Mater.* 2009; 167(1–3): 1080–8. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.102>
32. Wei B., Ye B., Yu J., Jia X., Zhang B., Zhang X., et al. Concentrations of asbestos fibers and metals in drinking water caused by natural crocidolite asbestos in the soil from a rural area. *Environ. Monit. Assess.* 2013; 185(4): 3013–22. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2768-9>
33. Mohanty S.K., Salamati pour A., Willenbring J.K. Mobility of asbestos fibers below ground is enhanced by dissolved organic matter from soil amendments. *J. Hazard. Mater.* 2021; 2(100015). <https://doi.org/10.1016/j.hazl.2021.100015>
34. Addison J., Davies L.S.T., Robertson A., Willey R.J. The release of dispersed asbestos fibres from soils. Institute of Occupational Medicine Report No. TM/88/14; 1988.
35. World Health Organization Regional Office for Europe. Air Quality Guidelines for Europe, 2nd edition. WHO Regional Publications, European Series; 2000: 1–273.
36. Cavallo A. Environmental asbestos contamination in an abandoned chrysotile mining site: the example of Val Malenco (central Alps, northern Italy). *IUGS.* 2020; 43(3): 851–8. <https://doi.org/10.18814/epiugs/2020/0200s01>
37. Sakai K., Hisanaga N., Kohyama N., Shibata E., Takeuchi Y. Airborne fiber concentration and size distribution of mineral fibers in area with serpentinite outcrops in Aichi Prefecture, Japan. *Ind. Health.* 2001; 39(2): 132–40. <https://doi.org/10.2486/indhealth.39.132>
38. Kashanskiy S.V., Grinberg L.M., Berzin S.A. Impact of occupational activity on development risk of malignant mesothelioma. *Bulletin of Karaganda University. Biology. Medicine. Geography Series.* 2012; 2(66): 26–31.
39. Kovalevskiy E.V., Kashanskiy S.V., Tskhomariya I.M. Malignant mesothelioma in the Russian Federation. *Meditisina truda i promyshlennaya ekologiya.* 2019; 59(9): 646–7. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-9-646-647> (in Russian)
40. Website of Department of Planning, Lands and Heritage (Western Australia). Available at: <https://www.dplh.wa.gov.au/about/the-department/news,-events-and-public-engagement/news-and-events/2021/august/final-closure-of-wittenoom-nears-as-bill-returns-t> (in Russian)