

Карпова Е.А.¹, Газимова В.Г.¹, Гурвич В.Б.¹, Обухова Т.Ю.¹, Гоголева О.И.², Плотко Э.Г.¹, Ильина М.И.¹, Рузаков В.О.¹

Влияние слабофиброгенной пыли боксита на лёгкие у горнорабочих

¹ФБУН «Екатеринбургский медицинский – научный центр профилактики и охраны здоровья работников промпредприятий» Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург;

²ФБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 620028, Екатеринбург

Введение. На предприятиях Свердловской области по добыче бокситов ежегодно выявляются новые случаи пневмокониоза. Дифференциальная диагностика бокситового пневмокониоза с другими интерстициальными заболеваниями лёгких при использовании исключительно рентгенографии лёгких может вызывать затруднения.

Цель работы – уточнить характер изменений в лёгких у работников, подвергающихся воздействию слабофиброгенной пыли боксита, и связь изменений в лёгких с условиями труда в случаях затруднения постановки заключительного диагноза пневмокониоза.

Материал и методы. Обследованы подземные горнорабочие очистного забоя и подземные проходчики со стажем работы не менее 10 лет в условиях воздействия пыли боксита. Всем пациентам проводили обзорную рентгенографию органов грудной клетки и компьютерную томографию высокого разрешения (КТВР), бодиплетизмографию, бронхоскопическое исследование с транс-бронхиальной биопсией и последующим гистологическим исследованием биоптата. Для определения элементного состава микро- и наночастиц в образцах биологических тканей применяли сканирующую электронную микроскопию с рентгеноспектральным микроанализом.

Результаты. При гистологическом исследовании биоптатов ткани лёгкого в режиме светлого поля и с использованием поляризационного фильтра и при электронной микроскопии состав пыли в ткани лёгкого соответствовал составу промышленного аэрозоля, образующегося при добыче бокситов (соединения алюминия, железа, кварца). У лиц из группы риска развития профессиональных заболеваний органов дыхания без рентгенологических признаков, характерных для пневмокониозов, КТВР и бронхоскопия позволяют выявить признаки воздействия промышленного аэрозоля сложного состава в виде начального интерстициального фиброза паренхимы, изменений слизистой бронхов. У работников, контактирующих со слабофиброгенной пылью сложного состава, образующейся при добыче бокситов, до формирования рентгенологической картины, характерной для пневмокониоза, формируется бронхитический синдром, атрофические изменения слизистой бронхов. Изменения носят стойкий характер и прослеживаются спустя продолжительное время после прекращения контакта с пылевым фактором.

Ключевые слова: пыль боксита; компьютерная томография высокого разрешения; электронная микроскопия; рентгеноспектральный анализ

Для цитирования: Карпова Е.А., Газимова В.Г., Гурвич В.Б., Обухова Т.Ю., Гоголева О.И., Плотко Э.Г., Ильина М.И., Рузаков В.О. Влияние слабофиброгенной пыли боксита на лёгкие у горнорабочих. *Гигиена и санитария*. 2020; 99 (12): 1376-1379. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-12-1376-1379>

Для корреспонденции: Карпова Елена Андреевна, канд. мед. наук, зав. отделом по организации клинично-экспертной работы ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург. E-mail: karpovaea@yurc.ru

Благодарность. Выражаем благодарность за помощь в получении результатов: ФГБУ «Уральский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России, г. Екатеринбург, и лично Красноторовой Светлане Юрьевне, Савельеву Александру Владимировичу, Бердникову Роману Борисовичу и Гринбергу Льву Моисеевичу; Уральскому центру коллективного пользования «Современные нанотехнологии», Уральскому федеральному университету, г. Екатеринбург, и лично Зубареву Илье Владимировичу, Управлению Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, г. Екатеринбург, и лично Гооге Роману Вальтеровичу.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования, сбор и статистическая обработка материала, написание текста, редактирование – Карпова Е.А.; концепция и дизайн исследования, сбор и статистическая обработка материала, написание текста – Газимова В.Г.; концепция и дизайн исследования – Гурвич В.Б.; сбор и статистическая обработка материала – Обухова Т.Ю., Ильина М.И., Рузаков В.О.; редактирование – Гоголева О.И., Плотко Э.Г. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила 02.11.2020

Принята к печати 15.12.2020

Опубликована 25.01.2021

Elena A. Karpova¹, Venera G. Gazimova¹, Vladimir B. Gurvich¹, Tatyana Yu. Obukhova¹, Olga I. Gogoleva², Eduard G. Plotko¹, Marina I. Il'ina¹, Vadim O. Ruzakov¹

The impact of the weakly-fibrogenic bauxite dust on lungs in mine workers

¹Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation;

²Ural State Medical University, Yekaterinburg, 620028, Russian Federation

Introduction. New cases of pneumoconiosis are detected annually at the bauxite mining enterprises of the Sverdlovsk Region. Differential diagnosis of bauxite pneumoconiosis with other interstitial lung diseases using only lung radiography can be difficult.

The aim of the work was to clarify the nature of changes in the lungs of workers exposed to weakly fibrogenic dust of bauxite, and the relationship of changes in the lungs with working conditions in cases of difficulty in making the final diagnosis of pneumoconiosis.

Material and methods. Underground miners of a working face and underground drifters with a work experience of at least ten years in conditions of exposure to bauxite dust were examined. All patients underwent a plain chest x-ray and high-resolution computed tomography (HRCT), bodyplethysmography, bronchoscopic examination with trans-bronchial biopsy, and subsequent histological examination of the biopsy. To determine the elemental composition of micro- and nanoparticles in biological tissue samples, scanning electron microscopy with X-ray spectral microanalysis was used.

Results. During the histopathological examination of lung tissue biopsy materials by a bright-field method and polarized filter and using electron microscopy, the composition of dust in the lung tissue complied with the composition of industrial aerosol. It is formed during bauxite mining (aluminum, iron, and quartz compounds). High-resolution computed tomography (HRCT) and bronchoscopy can detect signs of exposure to industrial aerosol of complex composition represented by early interstitial parenchymal fibrosis and changes in bronchial mucosa. This is typical for individuals at risk of occupational respiratory diseases development without radiological features specific to pneumoconiosis. Before X-ray pattern formation, typical for pneumoconiosis, bronchitis syndrome and atrophic changes in the bronchial mucosa are developed. This happens in workers exposed to weakly-fibrogenic dust of a complex composition formed during the mining of bauxite. The changes are permanently observed long after the exposure to the dust factor has ceased.

Key words: bauxite dust; high resolution computed tomography; electron microscopy; X-ray spectrum analysis

For citation: Karpova E.A., Gazimova V.G., Gurvich V.B., Obukhova T.Yu., Gogoleva O.I., Plotko E.G., Il'ina M.I., Ruzakov V.O. The impact of the weakly-fibrogenic bauxite dust on lungs in mine workers. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)*. 2020; 99 (12): 1376-1379. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-12-1376-1379> (In Russ.)

For correspondence: Elena A. Karpova, MD, Ph.D., head of the department for organization of clinical and expert work at Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation. E-mail: karpovaea@ymrc.ru

Information about the authors:

Karpova E.A., <https://orcid.org/0000-0001-8659-0678>; Gurvich V.B., <https://orcid.org/0000-0002-6475-7753>; Ilyina M.I., <https://orcid.org/0000-0002-2039-8007>; Gazimova V.G., <https://orcid.org/0000-0003-3591-3726>; Plotko E.G., <https://orcid.org/0000-0002-3031-2625>; Gogoleva O.I., <https://orcid.org/0000-0001-6887-3738>; Obukhova T.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-7913-5586>; Ruzakov V.O., <https://orcid.org/0000-0002-8902-0416>

Gratitude. The study had no sponsorship. We would like to express our gratitude for the help in obtaining the results: "Ural Research Institute of Phthisiopulmonology" of the Ministry of Health of Russia, Yekaterinburg and personally Krasnoborova Svetlana Yurievna, Savelyev Alexander Vladimirovich, Berdnikov Roman Borisovich, and Grinberg Lev Moiseevich; The Ural Center for Collective Use "Modern Nanotechnologies", the Ural Federal University, Yekaterinburg and personally to Ilya Vladimirovich Zubarev, the Office of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, Yekaterinburg and personally to Roman Valterovich Googe.

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

Acknowledgment. The study had no funding.

Contribution: Karpova E.A. – the concept and design of the study, collection and statistical processing of the material, writing the text, editing; Gazimova V.G. – the concept and design of the study, collection and statistical processing of the material, writing the text; Gurvich V.B. – the concept and design of the study; Obukhova T.Yu., Ilyina M.I., Ruzakov V.O. – collection and statistical processing of material; Gogoleva O.I., Plotko E.G. – editing. All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Received: November 2, 2020

Accepted: December 15, 2020

Published: January 25, 2021

Введение

В структуре профессиональной заболеваемости Свердловской области на протяжении последних 5 лет более 70% от всех впервые выявленных профессиональных заболеваний зарегистрированы на 8 предприятиях, из них АО «Севуралбокситруда» занимает лидирующее место. В последние годы на предприятиях по добыче бокситов в Уральском регионе вновь выявляется от 9 до 27 случаев пневмокозиоза ежегодно.

Экспериментальным путём подтверждены фиброгенные и цитотоксические свойства различных алюмосиликатов, показано, что пролиферативно-клеточные процессы и начальные явления склероза в лёгких лабораторных животных под влиянием силикатов алюминия наступают раньше, чем при введении кварца. Однако у работников, подвергающихся воздействию слабофиброгенной пыли боксита, по данным рентгенологического обследования, при развитии бокситового пневмокозиоза интерстициальный фиброз носит преимущественно нерезкий или умеренно выраженный характер, изменение лёгочного рисунка сопровождается признаками эмфиземы [1].

В то же время в ряде работ показано значимое преимущество диагностики пневмокозиоза методом компьютерной томографии над диагностикой его на основе метода рентгенографии [2, 3].

Однако, согласно Клиническим рекомендациям «Пневмокозиозы» (КР508, 2016 г.), хотя проведение КТВР в условиях Центра профессиональной патологии рекомендовано всем пациентам с подозрением или установленным диагнозом пневмокозиоза, но заключительный диагноз пневмокозиоза, как и прежде, устанавливается в соответствии с требованиями рентгенологической Международной клас-

сификации пневмокозиозов Международной организации труда, пересмотр 2011 г.

Таким образом, постановка заключительного диагноза бокситового пневмокозиоза и проведение его дифференциальной диагностики с другими интерстициальными заболеваниями лёгких при использовании исключительно рентгенографии лёгких может вызывать затруднения.

Цель работы – уточнить характер изменений в лёгких у работников, подвергающихся воздействию слабофиброгенной пыли боксита, и связь изменений в лёгких с условиями труда в случаях затруднения постановки заключительного диагноза пневмокозиоза.

Материал и методы

В ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора проведено углублённое обследование 17 работников АО «Севуралбокситруда» с отдельными рентгенологическими признаками пневмокозиоза. Все обследованные – мужчины в возрасте от 46 лет до 71 года (средний возраст – 58 лет), стаж в подземных условиях труда от 16 до 32 лет (средний – 27 лет). Каждый из обследованных работал подземным горнорабочим очистного забоя или подземным проходчиком не менее 10 лет, затем продолжил работу в подземных условиях труда в какой-либо иной специальности (взрывник, раздатчик взрывчатых веществ). На момент обследования все пациенты уже не имели контакта с пылевым фактором от двух до 10 лет.

Всем пациентам проводили широкий комплекс обследования. Рентгенологическое обследование включало обзорную рентгенографию органов грудной клетки и КТВР (на аппарате «Aquilion 32», «Toshiba Medical Systems», Япония). Проводили исследование функции внешнего дыхания

(на аппарате «Спиро-Спектр», «Нейрософт», Россия), бодиплетизмографию (на аппарате «Master Screen», «CareFusion Germany 234 GmbH», Германия), бронхоскопическое исследование с транс-бронхиальной биопсией и последующим гистологическим исследованием биоптата.

При проведении гистологического исследования биопсийного материала лёгких и лимфатических узлов во всех случаях выполняли поляризационную микроскопию для выявления анизотропных структур в пылевых скоплениях (использовали микроскоп «Olimpus-CX41» (Япония) и поляризационные фильтры).

Для определения элементного состава микро- и наночастиц в образцах биологических тканей применяли наиболее эффективный и достоверный метод [4, 5] – сканирующую электронную микроскопию с рентгеноспектральным микроанализом в сканирующем электронном микроскопе «AURIGA FIB-SEM workstation», «Carl Zeiss & MT» (Германия) с SE2 и In lens детекторами в диапазоне увеличения 50–5000 на базе УЦКП «Современные нанотехнологии» ИЕНиМ УрФУ.

Санитарно-гигиеническая характеристика условий труда

Бокситы являются основной рудой для получения глинозёма (Al_2O_3), который используется для производства алюминия (Al). Состоят бокситы из гашёного оксида алюминия, гидратированных алюмосиликатов, оксидов железа, гидратированных оксидов железа, оксида титана и диоксида кремния [6].

По данным санитарно-гигиенических характеристик условий труда, в состав бокситов Североуральского месторождения входит: диАлюминий триоксид (Al_2O_3) – 54,2%; кремний диоксид (SiO_2) общий – 4,3%, в свободном состоянии – 1,3%; диЖелезо триоксид (Fe_2O_3) – 21,9% [7].

Данные по составу пыли в воздухе рабочей зоны на шахтах подтверждаются результатами исследований, проведёнными Управлением Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Свердловской области, – содержание диоксида кремния кристаллического в аэрозоле дезинтеграции в воздухе рабочей зоны колебалось от 3,4 до 7,7%.

На шахтах до 2002 г. определялась максимально разовая концентрация пыли в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 и Единых правил безопасности для АО «Североуральский бокситовый рудник» и ГН 2.2.5.686-96 «ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

С 2002 г. определяются среднесменные концентрации пыли. Производственный лабораторный контроль воздуха рабочей зоны на содержание АПФД (пыли боксита и известняка) на рабочем месте ГРОЗ проводит лаборатория ВГСО с периодичностью 1 раз в год. По данным производственного контроля за условиями труда, максимально-разовые концентрации пыли в воздухе рабочей зоны достигали 6–10 мг/м³, среднесменные концентрации пыли составляли от 3,6 до 6 мг/м³.

Результаты

Анализ медицинской документации показал, что жалобы на одышку и кашель, изменения показателей функции внешнего дыхания отмечались у больных ещё в период работы во вредных условиях труда, когда пациенты наблюдались в группе риска по развитию пылевой патологии.

У всех пациентов клинически прослеживался либо хронический бронхит (необструктивный, обструктивный), либо хроническая обструктивная болезнь лёгких (ХОБЛ) до третьей стадии включительно по GOLD, что подтверждалось увеличением остаточного объёма лёгких и падением показателей ОФВ₁ и ОФВ₁/ФЖЕЛ по данным бодиплетиз-

мографии. В ряде случаев регистрировалось снижение диффузионной способности лёгких как подтверждение кониотических изменений лёгочной ткани.

Фибробронхоскопия проведена 11 обследованным, у 6 выявлены признаки поражения бронхиального дерева, у 5 из них – атрофического характера (слизистая бронхов бледная, истончённая, подчеркнут хрящевой рельеф, диффузный двусторонний атрофический бронхит). Указанные изменения прослеживались, несмотря на прекращение контакта с пылевым фактором.

При обследовании подтверждались рентгенологические изменения, характерные для пневмокониоза первой стадии (в соответствии с требованиями Международной классификации пневмокониозов Международной организации труда, пересмотр 2011 г.): лёгочной рисунок диффузно усилен, больше в нижних отделах лёгких, деформирован по сетчатому типу, местами в виде сетчатого фиброза (s2), корни лёгких с кальцинатами, расширены (hi), лёгочные поля повышенной прозрачности, диафрагма низко расположена за счёт эмфиземы лёгких (em), у 14 человек определялись узелковые тени с чёткими контурами, высокой плотности в диаметре до 1,5 мм (p).

При проведении КТВР у всех обследованных регистрировалась аденопатия внутригрудных лимфоузлов с обызвествлением (лимфоузлы паратрахеальной, парааортальной, бифуркационной, бронхопульмональной групп вытянуты, уплощены в переднезаднем направлении, обызвествлены), эмфиземы лёгких (участки центрилобулярной эмфиземы). У трёх из обследованных больных зарегистрировано диффузное поражение лёгких интерстициального характера (с обеих сторон в средне-нижних отделах – диффузные изменения в виде паравазальных мелких уплотнений, прозрачность лёгких снижена за счёт внутридольковых участков по типу матового стекла и избыточности внутридолькового интерстиция в виде тонких линейных элементов), у одного – изменения по типу узелков.

Гистологическое исследование биоптатов проведено для 12 пациентов (1 биоптат лимфатического узла и 11 транс-бронхиальных биопсий лёгочной ткани – 3–6 образцов объёмом до 5 мм).

В одном из биоптатов встречаются клеточно-пылевые узелки в интерстиции, построенные из кониофагов. В трёх случаях в респираторной ткани зафиксированы участки склероза в интерстиции. В 11 случаях очаговые интерстициальные внеклеточные и внутриклеточные (в макрофагах) отложения, «запыление» лёгочной ткани, в составе пыли значительное количество анизотропных кристаллов кварца и железосодержащих телец. В лимфатическом узле у одного пациента также прослеживалась грубоволокнистая фиброзная ткань с массивными отложениями пыли слезного состава (кониотическая (бокситовая) атрофия лимфоузла). Пыль боксита, содержащая в своём составе соединения кремния, алюминия и других элементов, имеет характерное специфическое свечение при поляризации [8].

При проведении сканирующей электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализом в биологическом материале также обнаружены алюминий, железо и кремний.

По итогам углублённого обследования пациентов врачебной комиссией нашего Центра четверым пациентам установлен диагноз профессионального заболевания: «пневмокониоз», «гиперчувствительный пневмонит» (в пределах первой стадии). Дыхательная недостаточность у пациентов не превышала первой степени. Проведённое клинико-функциональное обследование (консультация пульмонолога, исследование функции внешнего дыхания, бодиплетизмография) позволило классифицировать бронхитический синдром (одышка, кашель) как сформировавшееся осложнение основного заболевания (пневмокониоз, гиперчувствительный пневмонит).

Обсуждение

В ходе исследования выявлено, что у работников, контактирующих со слабофиброгенной пылью сложного состава, образующейся при добыче бокситов, до формирования рентгенологической картины, характерной для пневмокониоза, формируется бронхитический синдром, атрофические изменения слизистой бронхов. Изменения носят стойкий характер и прослеживаются спустя продолжительное время после прекращения контакта с пылевым фактором.

Показано, что у лиц из группы риска развития профессиональных заболеваний органов дыхания без рентгенологических признаков, характерных для пневмокониозов, КТВР и бронхоскопия позволяют выявить признаки воздействия промышленного аэрозоля сложного состава в виде начального интерстициального фиброза паренхимы, изменений слизистой бронхов, прослеживаемые определённая корреляция между данными рентгенографии органов грудной клетки и КТВР.

Также при проведении световой микроскопии и по данным электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализом выявлено, что химический состав пыли в биологическом материале обследованных пациентов соответствовал составу промышленного аэрозоля, образующегося при добыче бокситов (соединения алюминия, железа, кремния). Применённые методы исследования позволили с достаточной степенью уверенности связать морфологические изменения, наблюдаемые в биоптате, с наличием и распределением пылевых частиц определённого состава.

Часть использованных авторами методов (бронхоскопическое обследование с транс-бронхиальной биопсией и последующим гистологическим исследованием биоптата) инвазивны и потребовали применения дорогостоящих методик (электронная микроскопия с рентгеноспектральным микроанализом в сканирующем электронном микроскопе), что ограничивает возможность их широкого, рутинного использования. Данную часть обследования авторы могут рекомендовать либо при проведении научных исследований, либо в исключительно сложных клинических случаях дифференциальной диагностики пневмокониоза от воздействия новообразованной производственной пыли с другими интерстициальными заболеваниями лёгких.

По итогам проведённого обследования можно отметить, что, даже несмотря на изменение технологии добычи бокситов (обводнение шахт) и применение средств индивидуальной защиты, в респираторной ткани обследованных присутствуют отложения пыли, аналогичные по составу про-

мышленному аэрозолю, образующемуся при добыче бокситов. Те есть выявленный при проведении КТВР и гистологического исследования фиброз лёгких развивался на фоне «бокситового запыления».

Таким образом, авторы считают возможным более широко рекомендовать именно КТВР для связи изменений в лёгких у работников, подвергающихся воздействию слабофиброгенной пыли, с условиями труда. Полученные результаты согласуются с данными отечественных авторов [2, 3], указывающих на высокую чувствительность (до 98,9%) и специфичность (до 90%) метода КТВР.

Также, согласно полученным данным, патологические изменения в органах дыхания клинически могут соответствовать не столько пневмокониозу с формированием узелковых изменений, сколько гиперчувствительному пневмониту, хроническому бронхиту и ХОБЛ без признаков дыхательной недостаточности. На необходимость учитывать не только формирование пневмокониоза, но и ХОБЛ при воздействии новообразованной промышленной пыли указывают также и работы зарубежных авторов [9].

Заключение

Проведение сканирующей электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализом позволяет с высокой степенью точности определить химический состав и структуру пылевых частиц в биоматериалах, что даёт возможность уточнить, соответствует ли «запыление» в фиброзированных участках лёгкого составу промышленного аэрозоля, воздействию которого работники подвергаются в процессе своей трудовой деятельности.

Возможно более широко рекомендовать КТВР как арбитражный метод для уточнения характера изменений в лёгких у работников, подвергающихся воздействию слабофиброгенной пыли, для связи данных изменений с условиями труда в случаях затруднения постановки заключительного диагноза пневмокониоза.

При очередном пересмотре Клинических рекомендаций «Пневмокониозы» (КР508) считаем нужным разработать диагностические критерии КТВР, необходимые и достаточные для установления заключительного диагноза пневмокониоза, а также рекомендовать проведение гистологического исследования материала лёгких с проведением сканирующей электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализом в качестве дополнительного метода исследования для уточнения этиологии фиброзных изменений в лёгких в сложных случаях диагностики.

Литература (п.п. 4–6, 9 см. References)

- Измеров Н.Ф. *Профессиональные заболевания органов дыхания: Национальное руководство*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2015.
- Стецюк Л.Д. *Компьютерная томография в клинической оценке профессиональной бронхолегочной патологии*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2016.
- Ковалева А.С., Серова Н.С., Бухтияров И.В. Компьютерная томография в диагностике и дифференциальной диагностике пневмокониоза. *Лучевая диагностика и терапия*. 2020; (3): 38–43. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-3-38-43>
- Суханова М.М. *Гигиеническая характеристика условий труда при добыче и переработке алюминиевых руд*: Дисс. ... канд. мед. наук. Свердловск; 1976.
- Гринберг Л.М., Валамина И.Е., Мещерякова Е.Ю., Неволин А.Н., Зубарев И.В. Методы выявления и верификации минеральных частиц в легких. *Уральский медицинский журнал*. 2018; (8): 113–6. <https://doi.org/10.25694/URMJ.2018.05.67>

References

- Izmerov N.F. *Occupational Diseases of Respiratory Organs: A National Guide [Professional'nye zabolevaniya organov dykhaniya: Natsional'noe rukovodstvo]*. Moscow: GEOTAR-Media; 2015. (in Russian)
- Stetsyuk L.D. *Computed tomography in the clinical evaluation of occupational bronchopulmonary pathology*: Diss. Moscow; 2016. (in Russian)
- Kovaleva A.S., Serova N.S., Bukhtiyarov I.V. Computed tomography in the diagnosis and differential diagnosis of pneumoconiosis. *Luchevaya diagnostika i terapiya*. 2020; (3): 38–43. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-3-38-43> (in Russian)
- Chino H., Hagiwara E., Sugisaki M., Baba T., Koga Y., Hisada T., et al. Pulmonary aluminosis diagnosed with in-air microparticle induced x-ray emission analysis of particles. *Intern Med*. 2015; 54(16): 2035–40. <https://doi.org/10.2169/intermedicine.54.4246>
- Rinaudo C., Allegrina M., Fornero E., Musa M., Crocea A., Bellis D. Micro-Raman spectroscopy and VP-SEM/EDS applied to the identification of mineral particles and fibres in histological sections. *J. Raman Spectrosc*. 2010; 41(1): 27–32. <https://doi.org/10.1002/jrs.2403>
- Sporn T.A., Roggli V.L. *Pneumoconioses Associated with Nonasbestos Silicates (Silicates). Kaolin Pneumoconiosis. Dail and Hammar's Pulmonary Pathology. Volume I: Neoplastic Lung Disease*. New York: Springer-Verlag; 2008: 920–1.
- Sukhanova M.M. *Hygienic features of working conditions in the mining and processing of aluminum ores*: Diss. Sverdlovsk; 1976. (in Russian)
- Grinberg L.M., Valamina I.E., Meshcheryakova E.Yu., Nevolin A.N., Zubarev I.V. Methods for the detection and verification of mineral particles in the lungs. *Ural'skiy meditsinskiy zhurnal*. 2018; (8): 113–6. <https://doi.org/10.25694/URMJ.2018.05.67> (in Russian)
- Lytras T., Kogevinas M., Kromhout H., Carsin A.E., Antó J.M., Bentouhami H., et al. Occupational exposures and incidence of chronic bronchitis and related symptoms over two decades: the European Community Respiratory Health Survey. *Occup. Environ. Med*. 2019; 76(4): 222–9. <https://doi.org/10.1136/oemed-2018-105274>