



© Коллектив авторов, 2026

УДК [614.7+613.6] : 616-006.04

Экологические риски и морфологические особенности канцерогенеза у населения промышленного города

М.С. Бугаева¹, О.И. Бондарев², А.Ю. Герус¹, В.В. Кислицына¹, Ю.С. Ликонцева¹

¹ ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», ул. Кутузова, д. 23, г. Новокузнецк, 654041, Российская Федерация

² Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, пр-т Строителей, д. 5, г. Новокузнецк, 654005, Российская Федерация

Резюме

Введение. Ведущая роль факторов окружающей среды и профессионально-производственной нагрузки в развитии онкопатологии органов дыхания определяет актуальность изучения региональных особенностей канцерогенеза у населения промышленного города.

Цель исследования: изучение экологических рисков и морфологических особенностей развития злокачественных онкологических заболеваний с акцентом на бронхолегочный гистион у населения г. Новокузнецка.

Материалы и методы. На основе данных по среднегодовым концентрациям загрязняющих веществ в г. Новокузнецке за 2018–2022 гг. определялся индивидуальный канцерогенный риск. Проведен анализ заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований легких и бронхов жителей Кузбасса за данный период. Осуществлены морфологические исследования аутопсийного материала бронхолегочной системы 50 шахтеров г. Новокузнецка (у 12 выявлен рак легких 4-й стадии).

Результаты. В 2018–2022 гг. показано превышение в атмосферном воздухе Новокузнецка гигиенического норматива по бенз(а)пирену и формальдегиду. Повышенные концентрации вредных канцерогенных примесей определялистораживающие уровни рисков для здоровья населения. В данные годы отмечен прирост случаев заболеваемости раком легких и бронхов жителей Кузбасса, преимущественно мужчин. По состоянию на 2022 г. у 74 % лиц при первичной диагностике заболевание носило условно операбельный или неоперабельный характер. В г. Новокузнецке высокие уровни заболеваемости и смертности характерны для лиц старше 50 лет, односторонняя летальность от рака легкого и бронхов составила 46,1 %. В зонах пневмофиброза у шахтеров г. Новокузнецка выявлена высокая активность фибробластических клеток с потенциалом малигнизации, что позволяет рассматривать фиброз, ассоциированный с длительным воздействием угольно-породной пыли, как триггер опухолевого роста.

Выводы. Полученные результаты дают основание для необходимости проведения комплекса мероприятий по управлению канцерогенными рисками, обусловленными воздействием экологических факторов и производственной деятельностью.

Ключевые слова: канцерогенез, факторы риска, население промышленного города, злокачественные новообразования, дыхательная система, шахтеры, антракосиликоз.

Для цитирования: Бугаева М.С., Бондарев О.И., Герус А.Ю., Кислицына В.В., Ликонцева Ю.С. Экологические риски и морфологические особенности канцерогенеза у населения промышленного города // Здоровье населения и среда обитания. 2026. Т. 34. № 2. С. 70–80. doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-70-80

Environmental Risks and Morphological Features of Carcinogenesis in the Population of an Industrial City

Maria S. Bugaeva,¹ Oleg I. Bondarev,² Anna Yu. Gerus,¹ Vera V. Kislitsyna,¹ Julia S. Likontseva¹

¹ Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, 23 Kutuzov Street, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation

² Novokuznetsk State Institute of Advanced Medical Training – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, 5 Stroiteley Avenue, Novokuznetsk, 654005, Russian Federation

Summary

Introduction: The leading role of environmental factors and occupational hazards in the development of respiratory cancers determines the relevance of studying regional characteristics of carcinogenesis in the population of an industrial city.

Objective: To establish environmental risks and morphological features of the development of malignant tumors with an emphasis on bronchopulmonary histology in the population of the city of Novokuznetsk.

Materials and Methods: Individual carcinogenic risk was determined using data on average annual pollutant concentrations in Novokuznetsk for 2018–2022. We analyzed morbidity and mortality from malignant neoplasms of the lungs and bronchi among Kuzbass residents during that period and conducted morphological studies of autopsy specimens from the bronchopulmonary system of 50 Novokuznetsk miners, 12 of whom were diagnosed with stage 4 lung cancer.

Results: In 2018–2022, ambient benzo(a)pyrene and formaldehyde levels in Novokuznetsk exceeded their permissible limits. Elevated concentrations of harmful carcinogenic air contaminants posed alarming risks to public health. During those years, an increase in lung and bronchial cancer cases was observed among Kuzbass residents, primarily men. As of 2022, 74 % of individuals diagnosed with lung and bronchial cancer were considered conditionally resectable or inoperable at initial diagnosis. In Novokuznetsk, high morbidity and mortality rates were typical for individuals over 50 years of age, with the one-year fatality rate from lung and bronchial cancer reaching 46.1 %. High activity of fibroblastic cells with malignant potential was detected in the areas of pulmonary fibrosis in Novokuznetsk miners. This suggests that fibrosis associated with long-term exposure to coal dust may trigger tumor growth.

Conclusion: Our findings substantiate the need for a comprehensive set of measures aimed to manage carcinogenic risks posed by environmental and occupational factors.

Keywords: carcinogenesis, risk factors, population of an industrial city, malignant neoplasms, respiratory system, miners, anthracosilicosis.

Cite as: Bugaeva MS, Bondarev OI, Gerus AYU, Kislitsyna VV, Likontseva JS. Environmental risks and morphological features of carcinogenesis in the population of an industrial city. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2026;34(2):70–80. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-70-80

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-70-80>
Оригинальная исследовательская статья

Введение. Онкологические заболевания являются второй ведущей причиной смертности в мире после сердечно-сосудистых. В 2020 г. зарегистрировано 19,3 млн новых случаев рака и почти 10 млн случаев смерти от злокачественных новообразований [1]. На конец 2021 г. в Российской Федерации число состоящих на диспансерном наблюдении пациентов с данной патологией составило 3 940 529 человек¹, впервые выявлено 580 415 злокачественных новообразований². В 2022 г. отмечен прирост новых случаев на 7,6 %³.

Региональные особенности распространенности и структуры заболеваемости определяются климато-географическими, экологическими, промышленными и социально-экономическими характеристиками, некоторые из которых могут выступать факторами риска для здоровья населения. Вклад факторов окружающей среды в ухудшение состояния здоровья населения достигает 25–33 % [2]. Многочисленными исследованиями доказана роль вредных атмосферных примесей в развитии экологозависимых патологий, в частности онкологических заболеваний [3–8]. Основной критической системой органов, на которую оказывается наибольшее воздействие, является дыхательная.

Промышленный г. Новокузнецк относится к центру, характеризующемуся катастрофическим загрязнением атмосферы (превышение ПДК в 5 и более раз), в связи с высокой концентрацией предприятий угольно-металлургической отрасли [3, 9]. Кроме того, значительная часть его трудоспособного населения подвержена профессионально-производственной нагрузке. Ведущими вредными факторами производственной среды и трудового процесса угольной промышленности являются неблагоприятные метеорологические условия, угольно-породная пыль (УПП) и вредные газы, отсутствие дневного света в подземных выработках, шум и вибрация при работе пневматического отбойного оборудования, угольных комбайнов и пр. [10–13]. Частицы угля имеют сложную химическую структуру и могут вызывать активацию макрофагов, эпителиальных клеток и фибробластов, высвобождение активных форм кислорода и экспрессию цитокинов. Провоспалительные цитокины играют важную роль в воспалительной реакции легких и окислительном стрессе у лиц, подвергающихся воздействию профессиональных загрязнителей [14–16]. Неблагоприятное гигиеническое значение УПП заключается и в ее фиброгенном действии на легочную ткань, обусловленном содержанием в пыли свободнорадикального кремнезема (SiO_2), что ведет к развитию специфического профессионального заболевания легких – антракосиликоза [17]. Спектральный

анализ показывает, что при отработке углей, добываемых на шахтах г. Новокузнецка, в воздухе забоя в большом проценте присутствуют и другие биологически агрессивные элементы: германий, мышьяк, стронций, иттрий, олово, барий, ртуть, свинец⁴. Кроме того, исследованиями Сидоровой Г.П. и соавт. установлено, что «уголь всегда содержит природные радиоактивные вещества уранового и актиноуранового рядов (^{238}U и продукты его распада ^{234}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Po и т. д.; ^{235}U и продукты его распада ^{219}Rn и т. д.), ториевого ряда (^{232}Th и продукты его распада ^{220}Rn , ^{216}Po), а также долгоживущий радиоактивный изотоп ^{40}K , что обеспечивает его естественную радиоактивность. Угли различного марочного состава существенно отличаются по уровням накопления радиоактивных элементов. Практически на всех разрезах в Кузнецком бассейне имеются локальные участки окисленных углей. Они требуют специального обращения, так как часто характеризуются аномально высокими активностями ^{226}Ra » [18]. Это свидетельствует о высокой потенциальной опасности избыточного поступления компонентов промышленной пыли в организм. В работе Савченко Я.А. и соавт. показано, что ее «цитотоксичность и генотоксичность обуславливают повреждение ДНК, в результате чего могут произойти трансформация протоонкогенов в онкогены, инактивация генов раковых супрессоров, нарушение функционирования системы репарации ДНК. Любой из этих процессов может послужить причиной опухолевой трансформации клеток и неконтролируемого клеточного роста» [19].

Ранее различными авторами были предприняты попытки установить взаимосвязь между антракосиликозом и карциномой легкого. Вместе с тем данные исследования содержат по большей части статистическую информацию и не раскрывают морфогенез неопластических изменений в бронхолегочной системе шахтеров. Так, в работе Stayner L.T. и Wegman D.H. изучалась корреляция между профессией, курением и тремя наиболее распространенными гистологическими типами злокачественных новообразований легких (плоскоклеточный рак, мелкоклеточный рак и аденокарцинома)⁵. Курение было достоверно связано со всеми тремя разновидностями онкопатологии, наиболее сильно с мелкоклеточным раком. Плоскоклеточный рак был типом, чаще всего ассоциируемым с профессиональными категориями. Vallyathan V. с соавторами в рамках Национального исследования аутопсий угольщиков проведено исследование по изучению связи между силикозом у шахтеров и раком легких⁶. Средний подземный стаж работы у исследуемых рабочих составлял 29 ± 14 лет, средний стаж

¹ Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О., ред. Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2022. 239 с.

² Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О., ред. Злокачественные новообразования в России в 2021 году (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2022. 252 с.

³ Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О., Лисичникова И.В., ред. Злокачественные новообразования в России в 2022 году (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2023. 275 с.

⁴ Золоева П.В. Гигиенические аспекты профессионального антракосиликоза и особенности его формирования в эксперименте: дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 2010.

⁵ Stayner L.T., Wegman D.H. Smoking, occupation, and histopathology of lung cancer: A case-control study with the use of the Third National Cancer Survey. J Natl Cancer Inst. 1983;70(3):421–426.

⁶ Vallyathan V, Green FH, Rodman NF, Boyd CB, Althouse R. Lung carcinoma by histologic type in coal miners. Arch Pathol Lab Med. 1985;109(5):419–423.

курения – 31 ± 23 пачка/лет, доля карцином по типу: плоскоклеточный рак – 30 %; аденокарцинома – 27 %; мелкоклеточный недифференцированный рак – 26 %; крупноклеточный недифференцированный рак – 9 %; другие карциномы – 8 %. Установлено, что в правом легком и в верхних долях обоих легких наблюдалось больше опухолей, чем в левом и нижних долях. Большинство из них были центральных локализаций (81 %). Плоскоклеточный рак преобладал у шахтеров старшего возраста и в более крупных дыхательных путях, а аденокарциномы чаще встречались в периферических отделах легких.

Вышеизложенное диктует необходимость определения экологических рисков и морфологических особенностей канцерогенеза у населения промышленного г. Новокузнецка, изучения триггерных механизмов развития онкологической патологии дыхательной системы.

Цель исследования – изучение экологических рисков и морфологических особенностей развития злокачественных онкологических заболеваний с акцентом на бронхолегочный гистион у населения г. Новокузнецка.

Материалы и методы. В работе использовались данные по валовым атмосферным выбросам и среднегодовым концентрациям загрязняющих веществ из официальных докладов по состоянию и охране окружающей среды Кемеровской области и Новокузнецка⁷. Предельно допустимые концентрации (ПДК) атмосферных загрязнителей определялись по СанПиН 1.2.3685–21⁸. Расчет канцерогенного риска для здоровья населения проводился в соответствии с Руководством Р 2.1.10.3968–23⁹. Индивидуальный риск определялся от воздействия веществ с доказанным канцерогенным эффектом: бенз(а)пирена, формальдегида и углерода (сажи). Верхней границей допустимого индивидуального канцерогенного риска считается 1×10^{-4} . Классификация уровней рисков осуществлялась на основе МР 2.1.10.0156–19¹⁰.

На основании материалов базы данных Федерального ракового регистра проведен анализ заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований рака легких и бронхов жителей Кузбасса и г. Новокузнецка, состоящих на учете в ГБУЗ «Кузбасский клинический онкологический диспансер имени М.С. Раппопорта», за 2018–2022 гг.

Осуществлены гистологическое и иммуногистохимическое исследования бронхолегочной си-

стемы 50 шахтеров г. Новокузнецка, погибших при техногенной катастрофе (аутопсийный материал). Вредный стаж работников варьировался от 6 до 35 лет, распределение по возрастным группам было следующим: ≤ 29 лет – 14 человек; $\geq 30 \dots \leq 39$ – 12; $\geq 40 \dots \leq 49$ – 14; $\geq 50 \dots \leq 59$ – 10 шахтеров. У 12 лиц выявлен рак легких различного гистологического типа. Согласно классификации злокачественных новообразований TNM, все исследуемые случаи соответствовали четвертой стадии онкологического процесса. Для сравнения полученных результатов были созданы контрольные группы, представленные морфологическими данными судебно-медицинских экспертиз 40 мужчин из г. Таштагола и Междуреченска, погибших в дорожно-транспортном происшествии и находившихся в возрасте от 18 до 55 лет (диапазоны возрастных групп: ≤ 29 лет – 10 человек; $\geq 30 \dots \leq 39$ – 10; $\geq 40 \dots \leq 49$ – 10; $\geq 50 \dots \leq 55$ – 10 человек). Данные лица проживали в благоприятной экологической обстановке, не подвергались воздействию профессиональной пылевой нагрузки и, согласно результатам патолого-анатомического исследования, не имели признаков хронических соматических заболеваний.

В ходе исследования проводилось микроскопическое изучение тканей легких, бронхов, плевры и сосудов легких различного калибра. Применялись стандартные методы окраски гистологических препаратов гематоксилин-эозином, а также специализированные для визуализации патологических изменений соединительной ткани (неопластических процессов и деструктивных поражений). С целью детального анализа структурных изменений в воздухоносных путях, кровеносных сосудах и респираторных отделах легких также проводились морфометрические исследования с количественной оценкой гистологических параметров. Морфометрическое измерение осуществлялось на микроскопе Nikon Eclipse E 200 с цифровой видеокамерой Nikon Digital Sight – Fi1 (Japan) с использованием компьютерной программы фирмы West Medica HandelsgrmbH – Bio Vision 4.0.

Статистическая обработка данных проведена с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics 22 (лицензионный договор № 20/604/3–1 от 22.04.2016). Нормальность распределения количественных признаков оценивали с помощью показателей эксцесса и асимметрии. При отклонении распределения от нормального

⁷ Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2018 году. Кемерово, 2019. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://ecokem.ru/wp-content/uploads/2019/09/do%D1%81lad-2018.pdf> (дата обращения: 20 января 2025 г.); доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2019 году. Кемерово, 2020. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2020/09/gosdoclad2019.pdf> (дата обращения: 20 января 2025 г.); доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2020 году. Кемерово, 2021. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://ecokem.ru/wp-content/uploads/2022/02/%D0%94%D0%9E%D0%9A%D0%9B%D0%90%D0%94-2020-%D0%BD%D0%B0-04.02.2022_1-1.pdf (дата обращения: 20 января 2025 г.); доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2021 году. Кемерово, 2022. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2022/08/doklad_2021.pdf (дата обращения: 20 января 2025 г.); доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2022 году. Кемерово, 2023. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2023/11/Doklad_zh_2022_01_07_2023_04.pdf (дата обращения: 20 января 2025 г.).

⁸ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Введены 01.03.2021. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. 668 с.

⁹ Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания». Руководство (утв. Роспотребнадзором 06.09.2023). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2023. 320 с.

¹⁰ МР 2.1.10.0156–19 «Оценка качества атмосферного воздуха и анализ риска здоровью населения в целях принятия обоснованных управленческих решений в сфере обеспечения качества атмосферного воздуха и санитарно-эпидемиологического благополучия населения». Утверждены Роспотребнадзором от 02.12.2019. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. 28 с.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-70-80>

Оригинальная исследовательская статья

использовали непараметрический *U*-критерий Манна – Уитни для попарного сравнения стажированных групп шахтеров с группой контроля. Критический уровень значимости (*p*) для отклонения нулевой гипотезы принимали равным 0,05. Полученные данные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха (Me (25 %; 75 %)).

Иммуногистохимическое исследование выполняли с использованием антител к маркеру пролиферации Ki-67, маркерам межклеточных взаимодействий: ЕМА, SMA, мышечной ткани: виментину и десмину, факторам эндотелиальной функции CD31 и CD34. Технически была применена мультимерная безбиотиновая система детекции – REVEAL Biotin-Free Polyvalent DAB (Spring Bioscience) по стандартной методике для иммуногистохимической диагностики. Результаты оценивали полуквантитивным методом в 10 полях зрения микроскопа, по 100 клеток в каждом, при увеличении $\times 100$. Подсчет количества антиген-положительных клеток к общему количеству всех клеток в изучаемых органах выполняли двумя способами – вручную и в автоматическом режиме с использованием компьютерной программы фирмы West Medica Production und Handels-GmbH – Bio Vision 4.0. Количество

клеток до 7 в одном поле зрения расценивали как слабо выраженную реакцию (+), от 10 до 15 – как умеренную (++), более 25 – как резко выраженную реакцию (+++).

Результаты. Анализ показателей валовых выбросов в атмосферу г. Новокузнецка в 2018–2022 гг. выявил динамику к снижению общего объема выбросов с 295,8 тыс. т в 2018 г. до 263,2 тыс. т в 2022 г. На рис. 1 представлены среднегодовые концентрации канцерогенных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Новокузнецка в 2018–2022 гг., выраженные в долях ПДК.

Основным загрязняющим веществом, среднегодовые концентрации которого превышают гигиенический норматив в 3,5–11,2 раза, является бенз(а)пирен. Наибольшая его концентрация наблюдалась в 2022 г. (11,2 ПДК). Среднегодовые концентрации формальдегида были выше ПДК в 1,7 и 3,4 раза в 2021 и 2022 гг., углерода (сажи) – находились в пределах нормы. В 2022 г. измерения концентраций углерода (сажи) не проводились.

Индивидуальный канцерогенный риск, обусловленный воздействием формальдегида, составил $1,3 \times 10^{-4}$ в 2022 г., что соответствует настораживающему уровню согласно МР 2.1.10.0156–19.

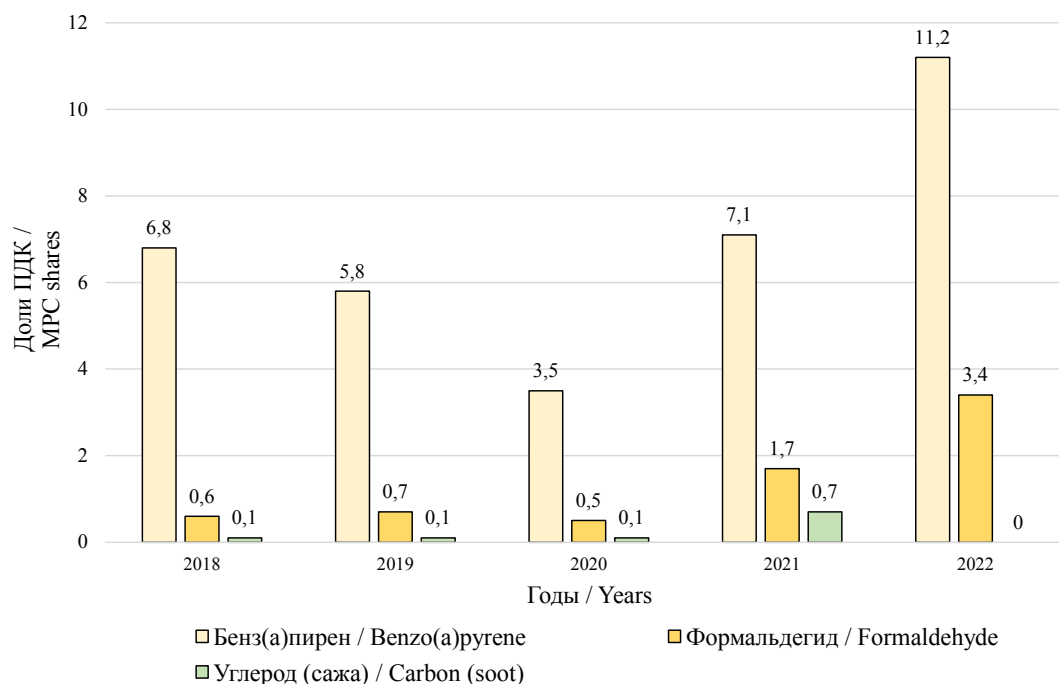


Рис. 1. Среднегодовые концентрации канцерогенных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Новокузнецка, выраженные в долях ПДК

Fig. 1. Average annual concentrations of carcinogenic ambient air pollutants in Novokuznetsk, expressed as % MPC

Таблица 1. Индивидуальный канцерогенный риск для здоровья жителей Новокузнецка

Table 1. Individual carcinogenic health risk for residents of Novokuznetsk

Загрязняющее вещество / Pollutant	Год / Year				
	2018	2019	2020	2021	2022
Бенз(а)пирен / Benzo(a)pyrene	$0,08 \times 10^{-4}$	$0,06 \times 10^{-4}$	$0,04 \times 10^{-4}$	$0,08 \times 10^{-4}$	$0,12 \times 10^{-4}$
Формальдегид / Formaldehyde	$0,2 \times 10^{-4}$	$0,3 \times 10^{-4}$	$0,2 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-4}$
Углерод (сажа) / Carbon (soot)	$0,1 \times 10^{-4}$	$0,1 \times 10^{-4}$	$0,1 \times 10^{-4}$	$0,8 \times 10^{-4}$	—
Суммарный риск / Total risk	$0,4 \times 10^{-4}$	$0,5 \times 10^{-4}$	$0,3 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-4}$

В остальные годы значения индивидуального канцерогенного риска от влияния бенз(а)пирена, формальдегида и углерода (сажи) не превышали допустимый уровень.

Суммарный индивидуальный канцерогенный риск не превышал допустимый уровень (1×10^{-4}) в 2018–2020 гг. Рост его наблюдался в 2021–2022 гг. Наибольший суммарный индивидуальный канцерогенный риск ($1,6 \times 10^{-4}$) выявлен в 2021 г. и оценивается как настораживающий. В 2022 г. отсутствовали наблюдения по углероду (саже), но даже в отсутствие таких данных уровень риска превышает верхнюю границу допустимого риска и считается настораживающим.

На рис. 2 приведен удельный вес загрязняющих веществ в формировании суммарного индивидуального канцерогенного риска.

Наибольший вклад в формирование уровня суммарного индивидуального канцерогенного риска в 2018–2020 гг. вносил формальдегид (52,6–58,8 %), в 2021 г. наибольший удельный вес имел углерод (сажа), составляя 50,6 %. В 2022 г. вклад формальдегида составил 91,5 %.

Таким образом, за изученный период выявлено снижение валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Новокузнецка. Вместе с тем наблюдаются повышенные концентрации вредных канцерогенных примесей (бенз(а)пирена, формальдегида), определяющие настораживающие уровни рисков для здоровья жителей города.

Анализ заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований легких и бронхов жителей Кузбасса и г. Новокузнецка, состоящих на учете в ГБУЗ «Кузбасский клинический онкологический диспансер имени М.С. Раппопорта», показал прирост числа случаев онкопатологии за 2018–2022 гг. Рак легких у мужчин выходит на первое место, а рост онкологических заболеваний приходится на возрастную группу 45 лет и старше.

По состоянию на 2022 г. в онкологическом диспансере состояло на учете 16 783 пациента с диагнозом «рак легкого», подавляющее большинство – мужчины (13 358 человек). Все исследуемые лица проживали в Кузбассе. У 3510 (26 %) пациентов мужского пола рак легкого диагностирован на 1–2-й стадии (первично операбельный), у 9848 (74 %) – на 3–4-й стадии. Таким образом, у большей части наблюдаемых лиц заболевание носило уже условно операбельный или неоперабельный характер.

На рис. 3 показано, что количество жителей г. Новокузнецка, состоящих на учете по поводу злокачественных новообразований легких и бронхов, по состоянию на 2022 г. в 1,5 раза превышало показатели г. Кемерово.

Наибольший вклад в формирование уровня суммарного индивидуального канцерогенного риска в 2018–2020 гг. вносил формальдегид (52,6–58,8 %), в 2021 г. наибольший удельный вес имел углерод (сажа), составляя 50,6 %. В 2022 г. вклад формальдегида составил 91,5 %.

Таким образом, за изученный период выявлено снижение валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Новокузнецка. Вместе с тем наблюдаются повышенные концентрации вредных канцерогенных примесей (бенз(а)пирена, формальдегида), определяющие настораживающие уровни рисков для здоровья жителей города.

Анализ заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований легких и бронхов жителей Кузбасса и г. Новокузнецка, состоящих на учете в ГБУЗ «Кузбасский клинический онкологический диспансер имени М.С. Раппопорта», показал прирост числа случаев онкопатологии за 2018–2022 гг. Рак легких у мужчин выходит на первое место, а рост онкологических заболеваний приходится на возрастную группу 45 лет и старше.

В г. Новокузнецке рост заболеваемости раком легких и бронхов 3–4 стадии характерен для

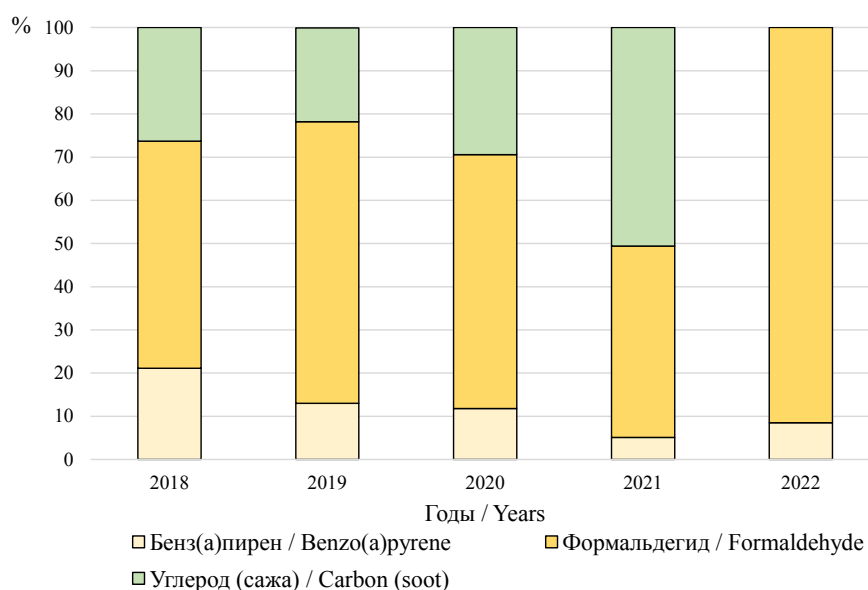


Рис. 2. Удельный вес загрязняющих веществ в формировании суммарного индивидуального канцерогенного риска, %

Fig. 2. Contribution of pollutants to the total individual carcinogenic risk, %

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-70-80>
Оригинальная исследовательская статья

возрастной группы мужчин 50–60 лет (2263 пациента). Из рис. 4 видно, что начиная с 55 лет она резко более чем в 5 раз возрастает, с дальнейшим поступательным увеличением, ассоциированным с возрастом.

Одногодичная летальность от рака легкого и бронхов в 2022 г. составила 46,1 %. Смертность от злокачественных опухолей бронхов и легких среди пациентов возрастной группы 1960–1970 гг. рождения с неоперабельной и условно операбельной стадией составила 1951 человек (86 %).

Морфологическое исследование бронхолегочного гистиона шахтеров г. Новокузнецка показало

прогрессирующее склерозирование всех тканевых компонентов с вовлечением в фиброзный процесс бронхов, легочных сосудов различного диаметра и плевры, истончение слизистой оболочки бронхов при одновременном утолщении мышечной пластинки за счет увеличения объема ее волокон (табл. 2). В зонах фиброза встречалось значительное количество фибробластов и фибробластоподобных клеток с признаками повышения их функциональной активности в виде гиперхроматоза, изменения формы и размеров клеток, увеличения ядерно-цитоплазматического соотношения. На этом фоне у шахтеров с раком легких отмечалась метаплазия

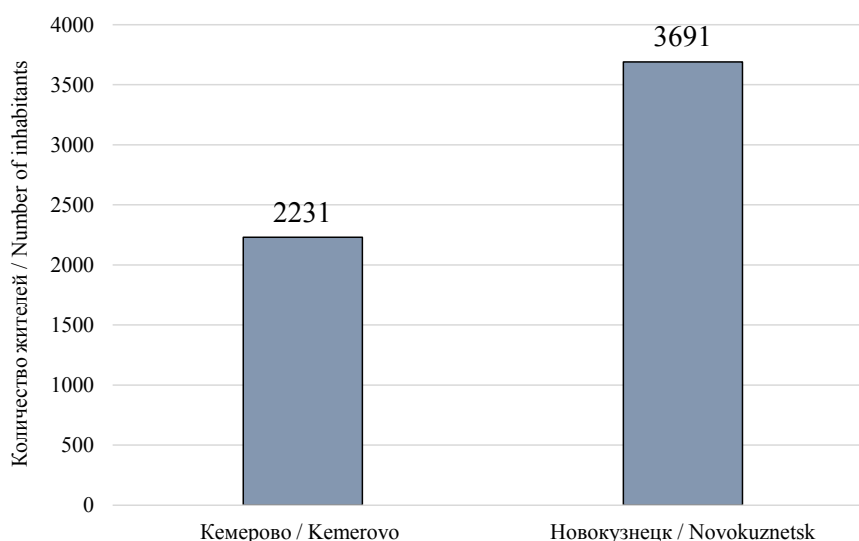


Рис. 3. Количество жителей г. Кемерово и г. Новокузнецка, состоящих на учете по поводу злокачественных новообразований легких и бронхов на 2022 г.

Fig. 3. Number of residents of Kemerovo and Novokuznetsk receiving follow-up care for malignant neoplasms of the lungs and bronchi in 2022

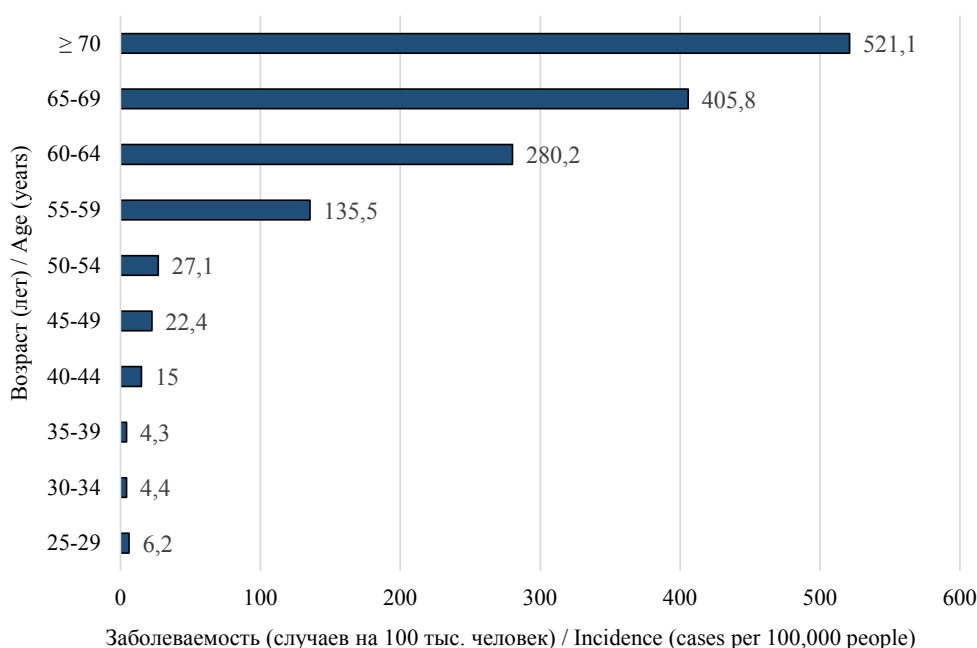


Рис. 4. Заболеваемость раком легких и бронхов у мужчин по возрастным группам в г. Новокузнецке, 2022 г. (случаев на 100 тыс. человек)

Fig. 4. Incidence of lung and bronchial cancer in men by age groups in Novokuznetsk, 2022 (cases per 100,000 people)

бронхиального эпителия, а также появление признаков атипии и анаплазии с формированием опухолевых конгломератов различного размера. В бронхиальном эпителии наблюдалась повышенная экспрессия виментина (++ – +++), сопровождающаяся изменением клеточной морфологии, нарушением полярности и дезинтеграцией межклеточных связей. Интенсивность экспрессии виментина существенно варьировала в зависимости от топографической локализации и усиливалась со стажем работы. В проекции фенотипически измененных клеточных сообществ имелось определенное снижение окрашивания цитоплазматических рецепторных зон (EMA и SMA) с положительной реакцией на виментин и десмин (+++). Базальная мембрана имела размытые границы, местами гомогенизирована, с участками расслоения, образованием фенестрированных зон и единичными фибробластоподобными элементами, деструкцией коллагеновой основы. В стенках крупных бронхов отмечались проявления частичного замещения мышечных волокон элементами соединительной ткани. Характерно разрастание фиброзных прослоек, формирующих петлистую структуру соединительного межмышечного каркаса. Одновременно выявлялось нарушение организации фиброзного матрикса бронхов с признаками дегенеративного преобразования коллагеновых волокон.

Отмечена экспрессия Ki-67 в эпителиальной ткани легкого, в большей степени в очагах метаплазии (+) и зоне опухолевой трансформации бронхиального эпителия (++) . Площадь анаплазированных опухолевых клеток в зоне фиброзной трансформации составляла 350 (200,4; 524,3) мкм², статистически значимо превышая показатели дистрофически измененного эпителия у шахтеров без данной патологии (156,4 (99,6; 220,6) мкм²) ($U = -3,878$, $p = 0,001$). Эти данные указывали на повышение функциональной активности метаплазированных клеток и переход их в качественно новые опухолевые клеточные типы.

В легочных сосудах наблюдались следующие патологические изменения: утолщение мышечного слоя стенки, склеротические процессы и увеличение объемных характеристик эндотелиальных клеток. В окружающих тканях отмечалось разрастание соединительной ткани, приводящее к частичной деформации сосудистых просветов (табл. 2). При проведении иммуногистохимического анализа в склерозированных участках, распространяющихся за границы сосудистого гистиона, были идентифицированы клеточные кластеры, соответствовавшие по морфологическим характеристикам фибробластам. Они экспрессировали панэндотелиальные маркеры CD31 и CD34 (++ – +++), что позволяет отнести их к клеточной популяции дедифференцированной эпителиальной ткани. Данные элементы выявлялись в умеренном количестве в перибронхиальной и периваскулярной соединительной ткани, формируя обширные зоны. Сам фиброзный каркас склонен к изменению своей основы с признаками новообразования и тканевой перестройки.

У лиц контрольной группы скопления угольной пыли в бронхолегочной системе полностью отсутствовали, не наблюдалось признаков фиброза.

Слизистая оболочка бронхов имела сохранную структуру с эпителием респираторного типа (призматический тип), стенка бронхов не утолщена. Ни у одного исследуемого, вошедшего в группу контроля, не обнаружено признаков метаплазии бронхиального эпителия. Эндотелиоциты сосудов не увеличены, в периваскулярных пространствах практически отсутствовали фибропластические изменения (табл. 2).

Таким образом, изменения в тканевом гистионе у шахтеров характеризовались выраженными обменно-дистрофическими процессами со стороны соединительнотканного каркаса в условиях воздействия УПП и прогрессирующими признаками дезорганизации коллагеновой основы базальных мембран. Трансформированные фибробласты, миофибробласты являются клеточной популяцией дедифференцированной эпителиальной ткани с различной экспрессией неспецифических маркеров. В зонах пневмофиброза у шахтеров выявлена высокая активность данных фибробластических клеток с потенциалом опухолевой трансформации.

Обсуждение. В связи с большой концентрацией в Кемеровской области промышленных предприятий остается актуальным вопрос о негативном влиянии экологической среды и производственной деятельности как на работников предприятий, так и на население городов в целом вследствие высокой атмосферного загрязнения воздуха. Установлено, что на атмосферу Новокузнецка и Новокузнецкого района оказывается критическая антропогенная нагрузка [3]. Несмотря на общее снижение валовых выбросов в 2018–2022 гг., повышенные концентрации вредных канцерогенных примесей (бенз(а)пирена, формальдегида) определяютстораживающие уровни рисков для здоровья жителей города. Наиболее сильному влиянию веществ, содержащихся в воздухе, подвержены органы дыхания человека с риском развития онкопатологий. Это подтверждается высоким уровнем заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований легких и бронхов жителей г. Новокузнецка. Вместе с тем природа возникновения и развития опухолевой ткани в легких у работников угольной промышленности до конца остается неясной. Последние исследования показывают, что сама фиброзная ткань может являться источником ее формирования. Отмечено, что эндотелиальные клетки и фибробласты играют важную роль в прогрессировании, росте и распространении рака. Фибробласты связаны с раковыми клетками на всех стадиях прогрессирования болезни. Продукция ими факторов роста, хемокинов и внеклеточного матрикса облегчает ангиогенное рекрутирование эндотелиальных клеток и перицитов. Активированные фибробласты (миофибробласты), которые обнаруживаются в ассоциации с раковыми клетками, известны как опухоль-ассоциированные фибробласты. Они модулируют микроокружение опухоли и влияют на поведение неопластических клеток, либо стимулируя, либо ингибируя новообразование [20, 22]. В связи с этим, опираясь на полученные в данных работах результаты гистологических и иммуногистохими-

Таблица 2. Морфометрический анализ бронхолегочной системы шахтеров г. Новокузнецка**Table 2. Morphometric analysis of the bronchopulmonary system of miners in Novokuznetsk**

Группа / Group	Толщина слизистой оболочки бронхов диаметром 500–1500 мкм, мкм / Thickness of the bronchial mucosa of 500–1500 µm in diameter, µm		Толщина перибронхиального фиброза бронхов диаметром 500–1500 мкм, мкм / Thickness of peribronchial fibrosis of bronchi with a diameter of 500–1500 µm, µm		Толщина периваскулярного фиброза сосудов легких диаметром 100–250 мкм, мкм / Thickness of perivascular fibrosis of pulmonary vessels with a diameter of 100–250 µm, µm		Толщина межальвеолярной перегородки, мкм / Thickness of the interalveolar septum, µm	
	Me (25 %; 75 %)	U-критерий Манна – Уитни, p / Mann–Whitney U test, p	Me (25 %; 75 %)	U-критерий Манна – Уитни, p / Mann–Whitney U test, p	Me (25 %; 75 %)	U-критерий Манна – Уитни, p / Mann–Whitney U test, p	Me (25 %; 75 %)	U-критерий Манна – Уитни, p / Mann–Whitney U test, p
Шахтеры со стажем работы 6–11 лет / Miners with 6–11 years of work experience	19,73 (14,87; 25,1)	U = –5,99 p = 0,001	70,66 (56,57; 100,4)	U = –5,48 p = 0,001	36,24 (25,25; 46,7)	U = –7,03 p = 0,001	37,94 (24,15; 41,62)	U = –10,17 p = 0,001
Контрольная группа / Control group	46,75 (29,81; 55,8)		8,63 (6,58; 11,7)		2,95 (1,71; 5,63)		4,07 (3,43; 5,21)	
Шахтеры со стажем работы 12–20 лет / Miners with 12–20 years of work experience	10,26 (6,5; 12,35)	U = –5,035 p = 0,001	150,07 (112,26; 182,79)	U = –4,437 p = 0,001	38,58 (33,29; 44,68)	U = –6,614 p = 0,001	12,87 (8,41; 14,86)	U = –10,193 p = 0,001
Контрольная группа / Control group	45,3 (32,77; 56,52)		18,46 (13,86; 25,26)		3,54 (2,35; 6,41)		4,76 (3,98; 5,88)	
Шахтеры со стажем работы более 20 лет / Miners with more than 20 years of experience	14,64 (9,43; 17,14)	U = –6,66 p = 0,000	101,26 (71,68; 128,67)	U = –6,94 p = 0,001	23,4 (14,48; 27,81)	U = –6,07 p = 0,001	15,17 (13,23; 17,64)	U = –10,32 p = 0,001
Контрольная группа / Control group	55,75 (50,34; 62,43)		65,98 (59,74; 80,13)		3,77 (3,15; 4,29)		6,25 (5,01; 7,51)	

ческих исследований, представляется возможным рассмотреть фиброзную трансформацию легких, ассоциированную с антракосиликозом, как триггер опухолевого роста.

Лекарственная терапия неоперабельных форм бронхопульмонального рака ингибиторами контрольных точек приводит к увеличению продолжительности жизни только на один-два года [23, 24]. Кроме того, следует отметить экономическую составляющую проблемы лечения злокачественных опухолей легкого на неоперабельной стадии. В связи с этим необходимо осуществление своевременной диагностики онкозаболевания. Выявление субклинических рентгенологических изменений органов грудной клетки в первую очередь должно проводиться у лиц, задействованных на вредных производствах в условиях контакта с вредными производственными факторами.

Основной эффект от проведения расширенного онкоскрининга заключается в выявлении патологии на ранних стадиях, возможности назначения своевременного лечения с сохранением качества жизни. Это позволит минимизировать затраты на оказание специализированной онкологической помощи, снизить длительность временной нетру-

доспособности и уровень инвалидизации населения промышленного города.

Выводы. Анализ показателей среднегодовых концентраций канцерогенных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Новокузнецка в 2018–2022 гг. показал превышение гигиенического норматива по бенз(а)пирену (в 3,5–11,2 раза) и формальдегиду (в 1,7 и 3,4 раза в 2021 и 2022 гг.), повышенные концентрации вредных канцерогенных примесей определяли нарастающие уровни рисков для здоровья жителей промышленного города.

1. Наибольший вклад в формирование уровня суммарного индивидуального канцерогенного риска в 2018–2020 гг. вносил формальдегид (52,6–58,8 %), в 2021 г. наибольший удельный вес имел углерод (сажа), составляя 50,6 %. В 2022 г. вклад формальдегида составил 91,5 %.

2. За 2018–2022 гг. показан прирост случаев заболеваемости раком легких и бронхов жителей Кузбасса, преимущественно мужчин, при этом по состоянию на 2022 г. у 74 % лиц при первичной диагностике заболевание носило условно операбельный или неоперабельный характер.

3. В г. Новокузнецке в 2022 г. высокие уровни заболеваемости и смертности характерны для

возрастной группы лиц старше 50 лет, одногодичная летальность от рака легкого и бронхов составила 46,1 %.

4. Результаты гистологических и иммуногистохимических исследований аутопсийного материала дыхательной системы шахтеров г. Новокузнецка показали высокую активность фибробластических клеток в зонах пневмофиброза с потенциалом малигнизации, что позволяет рассматривать фиброз, ассоциированный с длительным воздействием угольно-породной пыли, как триггер опухолевого роста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Sung H, Ferlay J, Siegel RL, *et al.* Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2021;71(3):209-249. doi: 10.3322/caac.21660
- Мурашко Р.А. Экологические процессы, влияющие на показатели здоровья населения Краснодарского края // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2021. № 1. С. 602–615. doi: 10.24411/2312-2935-2021-00043
- Рябов В.А., Мамасев П.С., Егорова Н.Т. Антропогенная нагрузка на природную среду как фактор, формирующий качество жизни населения индустриального Кузбасса // Экология урбанизированных территорий. 2018. № 2. С. 84–90. doi: 10.24411/1816-1863-2018-12084
- Кузьмин С.В., Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицин В.А., Пинигин М.А., Бударина О.В. Воздействие атмосферных загрязнений на здоровье населения: диагностика, оценка и профилактика // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 10. С. 1145–1150. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1145-1150
- Мякишева Ю.В., Михайлюк Н.А., Федосейкина И.В., Халитова Ю.А., Дудина А.И. Комплексная оценка влияния основных источников выбросов загрязняющих веществ на качество атмосферного воздуха Куйбышевского района городского округа Самара // Экология человека. 2021. Т. 28. № 12. С. 56–64. doi: 10.33396/1728-0869-2021-12-56-64
- Горский А.И., Туманов К.А., Чекин С.Ю., Иванов В.К. Вклад атмосферных техногенных выбросов в заболеваемость раком легкого в Российской Федерации // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. № 2. С. 106–112. doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-2-106-112
- Ракитский В.Н., Степкин Ю.И., Клепиков О.В., Куролап С.А. Оценка канцерогенного риска здоровью городского населения, обусловленного воздействием факторов среды обитания // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 3. С. 188–195. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195
- Колпакова А.Ф., Шарипов Р.Н., Волкова О.А., Колпаков Ф.А. Роль загрязнения воздуха взвешенными частицами в патогенезе онкологических заболеваний // Сибирский онкологический журнал. 2021. Т. 20. № 2. С. 102–109. doi: 10.21294/1814-4861-2021-20-2-102-109
- Фридман Ю.А., Речко Г.Н., Логинова Е.Ю. «Кузбасс» и «уголь» в контексте совершенствования механизмов гармонизации развития // Мир экономики и управления. 2019. Т. 19. № 2. С. 89–98. doi: 10.25205/2542-0429-2019-19-2-89-98
- Ворошилов Я.С., Фомин А.И. Влияние угольной пыли на профессиональную заболеваемость работников угольной отрасли // Уголь. 2019. № 4. С. 20–24. doi: 10.18796/0041-5790-2019-4-20-24
- Batievsky V, Sokolovsky M, Moroz E. Problems of improving the quality of life of miners in mining regions on the example of the Kemerovo region (Kuzbass) and ways to solve them. *E3S Web Conf.* 2021;278:02001. doi: 10.1051/e3sconf/202127802001
- Зибарев Е.В., Вострикова С.М., Кравченко О.К., Бессонова А.К., Никонова С.М. Самооценка уровней воздействия вредных производственных факторов на рабочих местах шахтеров // Экология человека. 2025. Т. 32. № 7. С. 504–516. doi: 10.17816/humeco685787
- Пиктушанская Т.Е., Часовских Е.В., Землякова С.С. Состояние здоровья работников угольной промышленности // Медицина труда и промышленная экология. 2023. Т. 63. № 6. С. 359–366. doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-6-359-366
- León-Mejía G, Rueda, RA, Pérez Pérez J, *et al.* Analysis of the cytotoxic and genotoxic effects in a population chronically exposed to coal mining residues. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2023;30(18):54095-54105. doi: 10.1007/s11356-023-26136-9
- Chen YH, Gibb M, Brindley S, Brune J, Brown JM, Tsai C. Respirable mineral dust toxicity across mining locations: A comparative study of field samples in an underground mine. *Sci Total Environ.* 2026;1014:181414. doi: 10.1016/j.scitotenv.2026.181414
- Zhang Y, Yan J, Ren Y, *et al.* Coal dust particles can upregulate the expression of NLRP3 inflammasome components in rat alveolar macrophages through phagocytosis. *Sci Rep.* 2025;15(1):8989. doi: 10.1038/s41598-025-93946-x
- Бабанов С.А., Стрижаков Л.А., Лебедева М.В., Фомин В.В., Будащ Д.С., Байкова А.Г. Пневмокониозы: современные взгляды // Терапевтический архив. 2019. Т. 91. № 3. С. 107–113. doi: 10.26442/00403660.2019.03.000066
- Сидорова Г.П., Крылов Д.А. Проблемы радиационной опасности в угольной энергетике // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 11. С. 200–209. doi: 10.25018/0236-1493-2017-11-0-200-209
- Савченко Я.А., Минина В.И., Баканова М. Л., Глушков А.Н. Генотоксические и канцерогенные эффекты воздействия факторов производственной среды угледобывающей и углеперерабатывающей индустрии // Генетика. 2019. Т. 55. № 6. С. 643–654. doi: 10.1134/S0016675819060158
- Baghy K, Ladányi A, Reszegi A, Kovalszky I. Insights into the tumor microenvironment-components, functions and therapeutics. *Int J Mol Sci.* 2023;24(24):17536. doi: 10.3390/ijms242417536
- Yang D, Liu J, Qian H, Zhuang Q. Cancer-associated fibroblasts: From basic science to anticancer therapy. *Exp Mol Med.* 2023;55(7):1322-1332. doi: 10.1038/s12276-023-01013-0
- Glabman RA, Choyke PL, Sato N. Cancer-associated fibroblasts: Tumorigenicity and targeting for cancer therapy. *Cancers (Basel).* 2022;14(16):3906. doi: 10.3390/cancers14163906
- Girard N, Bar J, Garrido P, *et al.* Treatment characteristics and real-world progression-free survival in patients with unresectable stage III NSCLC who received durvalumab after chemoradiotherapy: Findings from the PACIFIC-R study. *J Thorac Oncol.* 2023;18(2):181-193. doi: 10.1016/j.jtho.2022.10.003
- Garassino MC, Mazieres J, Reck M, *et al.* Durvalumab after sequential chemoradiotherapy in stage III, unresectable NSCLC: The phase 2 PACIFIC-6 trial. *J Thorac Oncol.* 2022;17(12):1415-1427. doi: 10.1016/j.jtho.2022.07.1148

REFERENCES

- Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2021;71(3):209-249. doi: 10.3322/caac.21660
- Murashko RA. Environmental processes affecting the health indicators of the population of the Krasnodar Territory. *Sovremennye Problemy Zdravookhraneniya i Meditsinskoy Statistiki.* 2021;(1):602-615. (In Russ.) doi: 10.24411/2312-2935-2021-00043
- Ryabov VA, Mamasyov PS, Egorova NT. Anthropogenic load on the environment as a factor forming the quality of life of the population of the industrial Kuzbass. *Ekologiya Urbanizirovannykh Territoriy.* 2018;(2):84-90. (In Russ.) doi: 10.24411/1816-1863-2018-12084
- Kuzmin SV, Dodina NS, Shashina TA, Kislitsin VA, Pinigin MA, Budarina OV. The impact of atmospheric pollution on public health: Diagnosis, assessment, and prevention. *Gigiena i Sanitariya.* 2022;101(10):1145-1150. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1145-1150
- Myakisheva YuV, Mikhailuk NA, Fedoseykin IV, Halitova YuA, Dudina AI. Comprehensive assessment of the impact of the main sources of emissions of pollutants on the air quality of the Kuibyshevsky district of Samara. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology).* 2021;(12):56-64. (In Russ.) doi: 10.33396/1728-0869-2021-12-56-64
- Gorski AI, Tumanov KA, Chekin SYu, Ivanov VK. Contribution of atmospheric technogenic emissions to the incidence of lung cancer in the Russian Federation. *Gigiena i Sanitariya.* 2023;102(2):106-112. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-2-106-112
- Rakitskii VN, Stepin Yul, Klepikov OV, Kurolap SA. Assessment of carcinogenic risk caused by the impact of the environmental factors on urban population health. *Gigiena i Sanitariya.* 2021;100(3):188-195. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195
- Kolpakova AF, Sharipov RN, Volkova OA, Kolpakov FA. The role of particulate matter air pollution in cancer pathogenesis. *Sibirskiy Onkologicheskii Zhurnal.* 2021;20(2):102-109. (In Russ.) doi: 10.21294/1814-4861-2021-20-2-102-109
- Fridman YuA, Rechko GN, Loginova EYu. "Kuzbass" and "Coal" in the context of perfecting development harmonization mechanisms. *Mir Ekonomiki i Upravleniya.* 2019;19(2):89-98. (In Russ.) doi: 10.25205/2542-0429-2019-19-2-89-98
- Voroshilov YaS, Fomin AI. Impact of coal dust on the professional morbidity of coal industry workers. *Ugol'.* 2019;(4):20-24. (In Russ.) doi: 10.18796/0041-5790-2019-4-20-24
- Batievsky V, Sokolovsky M, Moroz E. Problems of improving the quality of life of miners in mining regions on the example of the Kemerovo region (Kuzbass) and ways to solve them. *E3S Web Conf.* 2021;278:02001. doi: 10.1051/e3sconf/202127802001
- Zibarev EV, Vostrikova SM, Kravchenko OK, Bessonova AK, Nikonova SM. Self-assessment of exposure levels to harmful occupational factors at the workplaces of miners. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology).* 2025;32(7):504-516. (In Russ.) doi: 10.17816/humeco685787
- Piktushanskaya TE, Chasovskikh EV, Zemlyakova SS. Health status of coal industry workers. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya.* 2023;63(6):359-366. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-6-359-366
- León-Mejía G, Rueda, RA, Pérez Pérez J, et al. Analysis of the cytotoxic and genotoxic effects in a population chronically exposed to coal mining residues. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2023;30(18):54095-54105. doi: 10.1007/s11356-023-26136-9
- Chen YH, Gibb M, Brindley S, Brune J, Brown JM, Tsai C. Respirable mineral dust toxicity across mining locations: A comparative study of field samples in an underground mine. *Sci Total Environ.* 2026;1014:181414. doi: 10.1016/j.scitotenv.2026.181414
- Zhang Y, Yan J, Ren Y, et al. Coal dust particles can upregulate the expression of NLRP3 inflammasome components in rat alveolar macrophages through phagocytosis. *Sci Rep.* 2025;15(1):8989. doi: 10.1038/s41598-025-93946-x
- Babanov SA, Strizhakov LA, Lebedeva MV, Fomin VV, Budash DS, Baikova AG. Pneumoconioses: Modern view. *Terapevticheskiy Arkhiv.* 2019;91(3):107-113. (In Russ.) doi: 10.26442/00403660.2019.03.000066
- Sidorova GP, Krylov DA. Radiation hazard issues in the coal power generation industry. *Gornyy Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten' (Nauchno-Tekhnicheskiy Zhurnal).* 2017;(11):200-209. (In Russ.) doi: 10.25018/0236-1493-2017-11-0-200-209
- Savchenko YA, Minina VI, Bakanova ML, Glushkov AN. Genotoxic and carcinogenic effects of industrial factors in coal mining and coal-processing industry (review). *Russian Journal of Genetics.* 2019;55(6):681-691. doi: 10.1134/S1022795419060140
- Baghy K, Ladányi A, Reszegi A, Kovalszky I. Insights into the tumor microenvironment-components, functions and therapeutics. *Int J Mol Sci.* 2023;24(24):17536. doi: 10.3390/ijms242417536
- Yang D, Liu J, Qian H, Zhuang Q. Cancer-associated fibroblasts: From basic science to anticancer therapy. *Exp Mol Med.* 2023;55(7):1322-1332. doi: 10.1038/s12276-023-01013-0
- Glabman RA, Choyke PL, Sato N. Cancer-associated fibroblasts: Tumorigenicity and targeting for cancer therapy. *Cancers (Basel).* 2022;14(16):3906. doi: 10.3390/cancers14163906
- Girard N, Bar J, Garrido P, et al. Treatment characteristics and real-world progression-free survival in patients with unresectable stage III NSCLC who received durvalumab after chemoradiotherapy: Findings from the PACIFIC-R study. *J Thorac Oncol.* 2023;18(2):181-193. doi: 10.1016/j.jtho.2022.10.003
- Garassino MC, Mazieres J, Reck M, et al. Durvalumab after sequential chemoradiotherapy in stage III, unresectable NSCLC: The phase 2 PACIFIC-6 trial. *J Thorac Oncol.* 2022;17(12):1415-1427. doi: 10.1016/j.jtho.2022.07.1148

Сведения об авторах:

✉ Бугаева Мария Сергеевна – к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и экспериментальных исследований ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний»; e-mail: bugms14@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3692-2616>.

Бондарев Олег Иванович – д.м.н., доцент, заведующий кафедрой патологической анатомии и судебной медицины Новокузнецкого государственного института усовершенствования врачей – филиала ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; e-mail: gis.bondarev@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5821-3100>.

Герус Анна Юрьевна – к.м.н., научный сотрудник лаборатории охраны здоровья работающего населения ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний»; e-mail: gerus.anny@yandex.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8118-4395>.

Кислицына Вера Викторовна – к.м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории экологии человека и гигиены окружающей среды ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний»; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2495-6731>.

Ликонцева Юлия Сергеевна – научный сотрудник лаборатории экологии человека и гигиены окружающей среды ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний»; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8468-2533>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Бугаева М.С.*; обзор литературы: *Бугаева М.С., Герус А.Ю.*; сбор данных: *Бугаева М.С., Бондарев О.И., Герус А.Ю., Кислицына В.В.*; анализ и интерпретация результатов: *Бугаева М.С., Бондарев О.И., Герус А.Ю., Кислицына В.В., Ликонцева Ю.С.*; редактирование текста: *Бугаева М.С.*; подготовка проекта рукописи: *Бугаева М.С., Бондарев О.И.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требовало заключения этического комитета. В основе изучения бронхолегочной системы шахтеров лежала вторичная экспертиза парафиновых блоков и готовых гистологических микропрепаратов материала бюро судебно-медицинской экспертизы г. Новокузнецка. Первичное патолого-анатомическое исследование материала осуществлялось в соответствии с Федеральным законом от 21.11.2011, № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации», в частности, со статьей 67 «Проведение патолого-анатомических вскрытий», Федеральный закон от 12.01.1996, № 8-ФЗ «О погребении и похоронном деле (статья 5 п. 1, 2), а также на основании Приказа Минздрава России от 29.04.2025 № 261н «Об утверждении Порядка проведения патолого-анатомических вскрытий и унифицированных форм медицинской документации, используемых при проведении патолого-анатомических вскрытий», Приказа Минздрава России от 14.04.2025 № 207н «Об утверждении Правил проведения патолого-анатомических исследований и унифицированных форм медицинской документации, используемых при проведении прижизненных патолого-анатомических исследований».

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 16.05.25 / Принята к публикации: 10.02.26 / Опубликовано: 27.02.26

Author information:

✉ **Maria S. Bugaeva**, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Molecular Genetic and Experimental Studies, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: bugms14@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3692-2616>.

Oleg I. Bondarev, Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Head of the Department of Pathological Anatomy and Forensic Medicine, Novokuznetsk State Institute for Advanced Medical Training – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; e-mail: gis.bondarev@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5821-3100>.

Anna Yu. Gerus, Cand. Sci. (Med.), Researcher, Laboratory for Occupational Safety, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: gerus.anny@yandex.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8118-4395>.

Vera V. Kislitsyna, Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, Laboratory of Human Ecology and Environmental Health, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2495-6731>.

Julia S. Likontseva, Researcher, Laboratory of Human Ecology and Environmental Health, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8468-2533>.

Author contributions: study conception and design: *Bugaeva M.S.*; data collection: *Bugaeva M.S., Bondarev O.I., Gerus A.Yu., Kislitsyna V.V.*; analysis and interpretation of results: *all authors*; bibliography compilation and referencing: *Bugaeva M.S., Gerus A.Yu.*; draft manuscript preparation: *Bugaeva M.S., Bondarev O.I.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: This study did not require ethics approval. The study of the miners' bronchopulmonary system was based on the secondary examination of paraffin blocks and histological preparations available from the Novokuznetsk Forensic Medical Examination Bureau. The primary pathological examination of the material was carried out in accordance with Federal Law No. 323-FZ of November 21, 2011, On the Fundamentals of Health Protection of Citizens in the Russian Federation, particularly, with Article 67, On Pathological Autopsies; Federal Law No. 8-FZ of January 12, 1996, On Burial and Funeral Services (Article 5, paragraphs 1 and 2), and based on the Order of the Russian Ministry of Health No. 261n of April 29, 2025, On Approval of the Procedure for Conducting Pathological Autopsies and Unified Forms of Medical Documentation Used in Conducting Pathological Autopsies, and the Order of the Russian Ministry of Health No. 207n of April 14, 2025, On Approval of the Rules for Conducting Pathological Research and Unified Forms of Medical Documentation Used in Conducting Intravital Pathological Anatomy Studies.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: May 16, 2025 / Accepted: February 10, 2026 / Published: February 27, 2026