

A Science-Policy
Initiative

Air Pollution and Health

Загрязнение
воздуха и здоровье



Academy of Science
of South Africa



Brazilian Academy
of Sciences



German National Academy
of Sciences Leopoldina



U.S. National Academy
of Medicine



U.S. National Academy
of Sciences

Перевод с английского языка: «Загрязнение воздуха и здоровье. Научно-политическая инициатива Академии наук ЮАР, Бразильской академии наук, Национальной академии наук Германии «Леопольдина», Национальной академии медицины США и Национальной академии наук США». Не является официальным документом.

Загрязнение воздуха — главная, предотвратимая и поддающаяся решению угроза здоровью людей, их благополучию и достижению целей устойчивого развития. Согласно оценкам загрязнение воздуха ежегодно является причиной по крайней мере 5 миллионов преждевременных смертей во всем мире. Загрязненный воздух влияет на всех, при этом неблагоприятные последствия загрязнения воздуха больше всего проявляются среди уязвимых групп населения — детей, женщин и бедных слоев общества, т. е. тех групп, перед которыми государства имеют особые обязательства в соответствии с международным законодательством о правах человека.

Плохое качество воздуха угрожает жизни людей, здоровью населения и будущему благополучию детей. Загрязнение воздуха также угрожает устойчивости окружающей среды Земли, поскольку чистый воздух в той же мере необходим для жизни на нашей планете, как и чистая вода.

Наукой четко доказано, что загрязнение воздуха приносит вред здоровью в течение всей жизни. Оно ведет к болезням, нетрудоспособности и смерти, негативно отражается на общем качестве жизни. Грязный воздух является причиной заболеваний легких, сердца, мозга, кожи и других органов, он повышает риск болезни и нетрудоспособности, влияя на практически все системы организма человека.

Издержки, возникающие из-за загрязнения воздуха для общества и экономики стран с низким и средним уровнем доходов, имеют колоссальные размеры. Эти экономические потери настолько значительны, что они могут полностью подорвать устойчивое развитие. Экономический рост, мирящийся с загрязнением воздуха и игнорирующий здоровье общества и вредное воздействие на окружающую среду, характеризуется нестабильностью и этическими проблемами.

Сжигание ископаемого топлива и биомассы — самые крупные источники загрязнения воздуха во всем мире. Кроме того, эти источники также вносят значительный вклад в возникновение короткоживущих климатических загрязнителей, например, сажи, метана и приповерхностного озона; они же являются главной причиной эмиссии CO₂. Решение многих проблем, связанных с загрязнением воздуха, также положительно повлияет на уменьшение последствий изменения климата и во многом позволит достичь поставленной цели — увеличения глобальной температуры не более чем на 1,5 °C.

Государственные и частные инвестиции, призванные решить проблему загрязнения воздуха, недостаточны и не соответствуют масштабу имеющейся ситуации. Существует немало возможностей для получения синергетических эффектов в ходе контроля уровня загрязнения воздуха, смягчения отрицательных последствий изменения климата и устойчивого развития. Однако эти возможности все еще не полностью реализованы.

Загрязнение воздуха — предотвратимая проблема. Но без продолжения необходимой деятельности воздействие загрязнения воздуха останется серьезным фактором для глобальной смертности. Учитывая старение и рост населения, а также процессы урбанизации, каждый год будет страдать и умирать все больше людей. Экономически эффективное управление загрязнением воздуха и его контроль возможны посредством комбинации

мероприятий в области политики, законодательства, регулирования, стандартизации и контроля выполнения в сочетании с внедрением новых технологий и увеличением информированности общественности. Контроль загрязнения воздуха способствует экономическому росту и создает преимущества для национальных экономик, предотвращая возникновение болезней и падение производительности.

Национальные академии наук и медицины ЮАР, Бразилии, Германии и США призывают глав правительств, бизнес и граждан принять срочные меры для уменьшения загрязнения воздуха во всем мире — на пользу здоровью и благополучию людей, на пользу окружающей среде и как необходимое условие для устойчивого развития. Тема загрязнения воздуха красной нитью проходит через многие цели устойчивого развития ООН.

Наши пять национальных академий наук и медицины предлагают заключить Глобальный договор о загрязнении воздуха, чтобы контроль и уменьшение загрязнения воздуха стали приоритетным делом для всех.

Влияние загрязнения воздуха на здоровье каждого человека

Чистый воздух — это фундаментальное условие для жизни и здоровья. Сегодня загрязнение воздуха является основной экологической причиной болезней и ранней смертности. С ним связано по меньшей мере 5 миллионов преждевременных смертельных случаев ежегодно. В то время как загрязнение воздуха влияет на всех людей, наибольшее распространение связанных с ним заболеваний наблюдается среди бедных и бессильных, меньшинств и маргинализированных слоев населения.

Загрязнение воздуха влияет на людей с момента начала и до конца жизни, являясь причиной широкого спектра острых и хронических болезней от самых ранних стадий развития ребенка до глубокой старости. Особенно чувствительные группы населения — младенцы в утробе матери, дети, пожилые люди и люди с уже имеющимися хроническими заболеваниями. Могут быть затронуты практически все органы, системы и процессы в организме человека: легкие, сердце, мозг, сосудистая система, система обмена веществ и репродуктивные функции.

Загрязнение воздуха — основная причина пневмонии, бронхита и астмы у младенцев и детей. Оно замедляет рост развивающихся легких у детей и подростков. Оно способствует развитию сердечно-сосудистых заболеваний, в том числе нарушений сердечного ритма и острого инфаркта миокарда, инсульта, рака, астмы, хронической обструктивной болезни легких, диабета, аллергии, экземы и старения кожи. Появляется все больше доказательств того, что загрязнение воздуха способствует возникновению деменции у взрослых и влияет на развитие мозга у детей.

В странах с низким уровнем дохода непропорционально большое отрицательное воздействие оказывается на женщин. Оно возникает вследствие загрязнения воздуха в условиях домашнего хозяйства из-за использования твердого топлива (угля и биомассы) для приготовления пищи. И именно они больше всего

страдают от болезней, связанных с таким загрязнением. Помимо этого, женщины несут основное бремя заботы о других членах семьи, страдающих от плохого состояния здоровья вследствие загрязнения воздуха. Риски загрязнения воздуха варьируются в зависимости от различных обществ, а уязвимость людей имеет разные уровни среди отдельных лиц. Факторы, влияющие на индивидуальную уязвимость, включают в себя возраст, пол, образование, социально-экономический статус, местоположение и место жительства, топливо, используемое для приготовления пищи и отопления, а также род занятий. Биологические факторы, которые повышают индивидуальную уязвимость, включают в себя генетическую восприимчивость и первичные заболевания, например, астму, болезни сердца или диабет.

Заболевания, связанные с загрязнением воздуха, приводят к снижению производительности, что, в свою очередь, может привести к сокращению валового внутреннего продукта, отсутствию на работе и в школе, а также законсервировать существующее социальное неравенство. Эти заболевания также приводят к росту затрат на здравоохранение, которые в быстро индустриализирующихся странах могут составлять до 7 % в национальных расходах на здравоохранение.

Мировое экономическое бремя из-за болезней, вызванных загрязнением воздуха (как в помещениях, так и на открытых пространствах), оценивалось для 176 стран в 2015 году в 3,8 триллиона долларов США. Как правило, польза для здоровья и экономическая выгода от борьбы с загрязнением воздуха значительно превышают стоимость таких мер.

Налицо этическая обязанность, указывающая на необходимость совместной работы с целью защиты каждого от факторов рисков для здоровья, связанных с загрязнением воздуха, которые воспринимаются населением как вредные последствия действий загрязнителей, не несущих за это никакой ответственности.

Сжигание ископаемого топлива и биомасса — главные источники загрязнения воздуха

Наибольшую опасность для здоровья человека среди веществ, загрязняющих воздух, представляют твердые частицы, содержащиеся в воздухе. Выбросы, возникающие при сгорании и не прошедшие фильтрацию, содержат значительные концентрации мельчайших, мелких и крупных частиц, в том числе сажи, а также вредные газы.

Загрязнители воздуха представляют собой сложную смесь различных компонентов. Содержание мелких частиц (с массовой концентрацией на уровне PM_{2,5}) наряду с озоном служит надежным индикатором для целей регулирования; при этом сажа указывает на выбросы, возникающие при сгорании.

Основными источниками загрязнения воздуха, связанного с горением, являются: а) стационарные установки для сжигания, б) отопление и приготовление пищи в домашних условиях, в) контролируемое сжигание биомассы и отходов и г) мобильные источники. Относительная важность этих источников варьируется

от страны к стране.

К стационарным источникам относятся электростанции, производственные сооружения и добыча полезных ископаемых с ограниченным контролем выбросов. Как правило, худшими загрязнителями являются предприятия, сжигающие уголь или другие виды топлива низкого качества или использующие дизельные генераторы из-за недостаточной надежности энергосистемы.

Важный источник загрязнения воздуха — домохозяйства, особенно в странах с низкими доходами, где для отопления и приготовления пищи используется биомасса. Эти страны также являются тем местом, где люди самым серьезным образом страдают из-за загрязнения.

Крупными источниками загрязнения воздуха в развивающихся странах является контролируемое сжигание биомассы для удаления сельскохозяйственных отходов и очистки лугов и лесов в сельскохозяйственных целях. Другим неконтролируемым видом сжигания является уничтожение бытовых и иных видов отходов.

В качестве мобильных источников загрязнения воздуха можно назвать работающие на нефтяном топливе легковые и грузовые автомобили и автобусы, принадлежащие как частным лицам, так и государственным организациям. Эти транспортные средства — главный источник загрязнения воздуха в городах. Особенную опасность представляют старые и плохо обслуживаемые транспортные средства, для которых используется низкосортное топливо. Главными мобильными источниками загрязнения воздуха в зонах портов и аэропортов являются выбросы судов и самолетов.

Между контролем загрязнения воздуха и смягчением изменения климата существуют синергетические эффекты, так как оба этих процесса относятся к одним источникам, а зачастую к ним применимы и общие решения, и при этом большинство загрязнителей воздуха также оказывает влияние на климат. Кроме того, они также различными путями усиливают друг друга, например, вследствие выбросов таких парниковых газов, как метан, способствуют формированию приповерхностного озона, а его уровень увеличивается при росте температур, при этом повышение температуры увеличивает частоту пожаров, из-за которых, в свою очередь, растет уровень загрязнения воздуха различными частицами.

Сажа, возникающая в процессе сгорания, отрицательно влияет не только на здоровье, но и на температуру в разных регионах, на осадки и ведет к возникновению экстремальных погодных явлений. Накопление сажи особенно повышает уязвимость арктических регионов и ледников, например, в Гималаях, так как ее наличие ведет к ускорению таяния из-за повышенного поверхностного нагрева. Изменение характера дождей из-за взаимодействия частиц сажи и облачных аэрозолей может иметь далеко идущие последствия как для экосистем, так и для жизнедеятельности человека, поскольку такой эффект, например, нарушает муссонные циклы и вызывает засухи, что катастрофически сказывается на сельском хозяйстве в обширных регионах Азии и Африки.

Призыв к действию

Пять национальных академий наук и медицины ЮАР, Бразилии, Германии и США призывают глав правительств, бизнес и граждан приступить к действиям, направленным на уменьшение загрязнения воздуха во всех странах. Этот призыв подкреплен четкими научными доказательствами влияния загрязнения воздуха на здоровье.

Уже существует множество соглашений, резолюций, договоров и инициатив, посвященных различным аспектам загрязнения воздуха. К ним относятся Монреальский протокол, Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния Европейской экономической комиссии ООН, Рамочная конвенция ВОЗ по борьбе против табака и резолюция Всемирной ассамблеи здравоохранения о влиянии загрязнения воздуха на здоровье.

В связи с этим вышеуказанные Академии предлагают принять Глобальный договор о загрязнении воздуха. Его принятие могло бы обеспечить соблюдение обязательств на высшем уровне и сделать приоритетным контроль загрязнения воздуха и его сокращение. Также это поощрило бы влиятельных политиков и других ключевых партнеров, в том числе частный сектор, интегрировать меры контроля выбросов и их сокращение в национальное и региональное планирование, процессы развития и финансовые стратегии и бизнес. Для достижения успеха в ходе такого процесса требуется совместная работа политического руководства и различных партнерств, включая сотрудничество с существующими международными структурами.

Академии осознают, что невозможно разработать идеальное решение, соответствующее всем ситуациям во всех странах. Тем не менее, необходимо принять срочные меры в следующих областях:

Существует множество политических и технологических решений для уменьшения объема вредных продуктов горения. В случае стационарных источников к ним относится внедрение средств управления выбросами для промышленности и электростанций или переход на чистые виды топлива. Для домашних хозяйств к таким решениям относится предоставление доступа к чистым видам топлива для бытовых нужд. В случае контролируемого сжигания биомассы такие решения включают в себя соблюдение определенных правил с целью устранения сжигания мусора и применения новых сельскохозяйственных методов для уменьшения сжигания сельскохозяйственных культур. Для мобильных источников к подобным решениям относится поддержка экологически устойчивого общественного транспорта и городской инфраструктуры, а также инвестиции в этих сферах.

Необходимо обеспечить общий доступ к эффективной политике и технологиям. В тех случаях, где это применимо, требуется незамедлительно начать использовать данные стратегии в странах любого уровня экономического развития по всему миру. Некоторые решения имеют высокий уровень консенсуса относительно их реализации. Там же, где уровень общего согласия недостаточен или же политический выбор в большой мере зависит от имеющихся условий (с учетом разнородности правовых систем, географических условий, стадии экономического развития, источников загрязнения), требуется индивидуальная адаптация политических подходов, хотя при этом существуют универсальные меры, необходимость которых отмечается во всех частях мира.

Необходимо собирать успешные примеры в деле контроля загрязнения воздуха в разных городах и странах и извлекать уроки из этих примеров и делиться полученным опытом со странами, которые только приступают к борьбе с данной проблемой.

Вредное воздействие на население непосредственно связано с его плотностью, концентрацией загрязнителей и продолжительностью такого воздействия. В ходе оптимизации расходов на меры и пользы от мероприятий, выполняемых для улучшения качества воздуха, следует отдавать приоритет тем источникам загрязнения, в случае которых возможно экономически эффективное уменьшение воздействия на население и снижение этого воздействия на самых бедных членов общества. При этом следует осознавать, что эти два показателя могут иногда вступать в противоречие друг с другом.

Во всех странах критически важно обеспечить достаточный контроль ключевых показателей загрязнения, особенно концентрации $PM_{2.5}$, и негативного воздействия на население. Также необходимо создать условия для сопутствующих статистических исследований, которые могут использоваться для оценки успешности конкретных мер.

Требуется определить сопутствующие выгоды при использовании политических инструментов. Приоритет должен отдаваться такой политике, которая максимизирует синергетические эффекты при достижении многих целей развития, включая смягчение последствий изменения климата и достижение продовольственной безопасности. Улучшение уровня энергоэффективности ведет к сокращению выбросов как CO_2 , так и вредных продуктов сгорания. И такой совместный эффект имеют многие другие стратегии, призванные уменьшить изменение климата, например, рост использования возобновляемых источников энергии и электрификация транспорта.

Необходимо приложить усилия для разработки стратегий с целью внедрения подобных решений. Данные стратегии могут включать в себя формирование институционального потенциала, улучшение государственного управления и поощрение механизмов сотрудничества между разными государственными органами, а также поддержку такого сотрудничества.

Использование инструментария для оценки рисков и анализа экономической эффективности окажет помощь при выборе стратегических проектов и целей. Чтобы обеспечить экономическую эффективность при снижении вредного воздействия, следует разработать политические меры в области контроля загрязнения воздуха. В идеальном случае данные меры также должны создавать преимущества и в других сферах, например, в области климата, или в других секторах, например, в сельском хозяйстве. Следует стимулировать загрязнителей для поиска наиболее дешевых методов уменьшения загрязнения, а там самым и вредного воздействия.

Этот призыв к действию требует мобилизации финансов и существенных инвестиций с целью создания возможностей для уменьшения загрязнения воздуха. Помимо этого, увеличение финансирования необходимо для проведения исследований, мониторинга загрязнений, создания

инфраструктуры, управления и контроля, а также для взаимодействия между заинтересованными сторонами и участниками.

В заключение следует отметить, что необходимо организовать пропаганду предпринимаемых мер, чтобы информировать граждан и стимулировать их с целью уменьшения загрязнения воздуха и поощрения к ответственным действиям со стороны как государственного, так и частного сектора.

Привлеченные лица

Рабочая группа

Maria de Fatima Andrade, Professor of Meteorology and Atmospheric Sciences, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Paulo Artaxo, Professor of Environmental Physics, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Simone Georges El Khouri Miraglia, Associate Professor and Leader of the Laboratory of Economics, Health and Environmental Pollution (LESPA), Federal University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Nelson Gouveia, Associate Professor of Epidemiology, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Alan J. Krupnick, Senior Fellow, Resources for the Future, Washington, DC, U.S.A.

Jean Krutmann, Scientific Director, IUF – Leibniz Research Institute for Environmental Medicine, Düsseldorf, Germany

Philip J. Landrigan, Professor of Biology and Director, Program in Global Public Health and the Common Good, Boston College, Boston, U.S.A.

Kristy Langerman, Senior Lecturer, University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa

Tafadzwa Makonese, Senior Researcher and Lab Manager, University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa

Angela Mathee, Director MRC Environment & Health Research Unit, South African Medical Research Council (SAMRC), Johannesburg, South Africa

Stuart Piketh, Professor of Environmental Science, North-West University, Potchefstroom, South Africa

Beate Ritz, Professor of Epidemiology and Environmental Health Sciences, University of California, Los Angeles, USA

Paulo H. N. Saldiva, Director, Institute of Advanced Studies, University of São Paulo, São Paulo, Brazil
Jonathan Samet, Dean, Colorado School of Public Health, Aurora, USA

Tamara Schikowski, Head of Research Group “Environmental epidemiology of lung, brain and skin aging”, IUF – Leibniz Research Institute for Environmental Medicine, Düsseldorf, Germany

Alexandra Schneider, Head of Research Group “Environmental Risks”, Institute of Epidemiology, Helmholtz Zentrum München – German Research Center for Environmental Health, Neuherberg, Germany

Kirk R. Smith, Professor of Global Environmental Health, University of California, Berkeley, U.S.A. and Director, Collaborative Clean Air Policy Centre, Delhi, India

Claudia Traidl-Hoffmann, Chair and Institute of Environmental Medicine, UNIKA-T, Technical University of Munich and Helmholtz Zentrum München – German Research Center for Environmental Health, Augsburg, Germany

Alfred Wiedensohler, Head of Department for Experimental Aerosol and Cloud Microphysics, Leibniz Institute for Tropospheric Research, Leipzig, Germany

Caradee Wright, Specialist Scientist, South African Medical Research Council (SAMRC), Parktown, South Africa

Внешние приглашенные эксперты

David Richard Boyd, United Nations Special Rapporteur on Human Rights and the Environment, Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights (OHCHR), Geneva, Switzerland

Valentin Foltescu, Senior Science and Programme Officer, Climate and Clean Air Coalition Secretariat, United Nations Environment, New Delhi, India

Richard Fuller, Lancet Commission on Pollution and Health Co-Chair, Pure Earth and Global Alliance on Health and Pollution, New York, U.S.A.

Dorota Jarosińska, Programme Manager, World Health Organization, European Centre for Environment and Health, Bonn, Germany

Jacqueline Myriam McGlade, Former Chief Scientist, United Nations Environment, Nairobi, Kenya

Drew Shindell, Duke University Durham, NC, U.S.A. and Chair of the Scientific Advisory Panel, Climate and Clean Air Coalition, Paris, France

Секретариат

Marcos Cortesao Barnsley Scheuenstuhl, Executive Director of International Affairs, Brazilian Academy of Sciences (ABC), Rio de Janeiro, Brazil

John P. Boright, Director of International Affairs, U.S. National Academy of Sciences (NAS), Washington, DC, U.S.A.

Siyavuya Bulani, Senior Liaison Officer, Academy of Science of South Africa (ASSAf), Pretoria, South Africa

Margaret Hamburg, Foreign Secretary, U.S. National Academy of Medicine (NAM), Washington, DC, U.S.A.

Kathrin Happe, Deputy Head of Department of Science – Policy – Society, German National Academy of Sciences Leopoldina, Halle (Saale), Germany

Jan Nissen, Senior Officer, Department of International Relations, German National Academy of Sciences Leopoldina, Halle (Saale), Germany

Isabel Scheer, Assistant, Department of International Relations, German National Academy of Sciences Leopoldina, Halle (Saale), Germany

Дополнительная
литература

Комплексная оценка

European Environment Agency. Air Quality in Europe — 2018. EEA Report. doi:10.2800/777411

International Energy Agency. Energy and Air Pollution. World Energy Outlook Special Report. Paris: 2016. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlookSpecialReport2016EnergyandAirPollution.pdf> (accessed 21 Nov 2018).

Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, et al. The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet* 2018;391:462–512. doi:10.1016/S0140-6736(17)32345-0

United Nations Environment Programme. Healthy Environment, Healthy People. Thematic Report, Ministerial Policy Review Session. 2016 UNEA 2 Inf. Doc 5. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/17602/K1602727%20INF%205%20Eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed 10 May 2019).

World Health Organization. Burden of disease from the joint effects of household and ambient air pollution for 2016. Geneva: 2018. https://www.who.int/airpollution/data/AP_joint_effect_BoD_results_May2018.pdf (accessed 9 Nov 2018).

Воздействие на здоровье

Atkinson RW, Kang S, Anderson HR, et al. Epidemiological time series studies of PM_{2.5} and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis. *Thorax* 2014;69:660–5. doi:10.1136/thoraxjnl-2013-204492

Balakrishnan K, Dey S, Gupta T, et al. The impact of air pollution on deaths, disease burden, and life expectancy across the states of India: the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet Planetary Health* 2019;3:e26–39. doi:10.1016/S2542-5196(18)30261-4

Bowe B, Xie Y, Li T, et al. The 2016 global and national burden of diabetes mellitus attributable to PM_{2.5} air pollution. *The Lancet Planetary Health* 2018;2:e301–12. doi:10.1016/S2542-5196(18)30140-2

Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010;121:2331–78. doi:10.1161/CIR.0b013e3181d8bece1

Burke KE. Mechanisms of aging and development — A new understanding of environmental damage to the skin and prevention with topical antioxidants. *Mechanisms of Ageing and Development* 2018;172:123–30. doi:10.1016/j.mad.2017.12.003

Calderón-Garcidueñas L, Calderón-Garcidueñas A, Torres-Jardón R, et al. Air pollution and your brain: what do you need to know right now. *Primary Health Care Research & Development* 2015;16:329–45. doi:10.1017/S146342361400036X

Chen H, Kwong JC, Copes R, et al. Exposure to ambient air pollution and the incidence of dementia: A population-based cohort study. *Environment International* 2017;108:271–7. doi:10.1016/j.envint.2017.08.020

Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet* 2017;389:1907–18. doi:10.1016/S0140-6736(17)30505-6

Contreras ZA, Heck JE, Lee P-C, et al. Prenatal air pollution exposure, smoking, and uterine vascular resistance. *Environ Epidemiol* 2018;2. doi:10.1097/EE9.000000000000017

Dadvand P, Figueras F, Basagaña X, et al. Ambient Air Pollution and Preeclampsia: A Spatiotemporal Analysis. *Environ Health Perspect* 2013;121:1365–71. doi:10.1289/ehp.1206430

Dimakakou E, Johnston H, Streftaris G, et al. Exposure to Envi-

ronmental and Occupational Particulate Air Pollution as a Potential Contributor to Neurodegeneration and Diabetes: A Systematic Review of Epidemiological Research. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018;15:1704. doi:10.3390/ijerph15081704

Ding A, Yang Y, Zhao Z, et al. Indoor PM_{2.5} exposure affects skin aging manifestation in a Chinese population. *Sci Rep* 2017;7:15329. doi:10.1038/s598-017-15295-8

Di Q, Wang Y, Zanobetti A, et al. Air Pollution and Mortality in the Medicare Population. *New England Journal of Medicine* 2017;376:2513–22. doi:10.1056/NEJMoa1702747

Eze IC, Hemkens LG, Bucher HC, et al. Association between Ambient Air Pollution and Diabetes Mellitus in Europe and North America: Systematic Review and Meta-Analysis. *Environ Health Perspect* 2015;123:381–9. doi:10.1289/ehp.1307823

Gauderman WJ, Urman R, Avol E, et al. Association of Improved Air Quality with Lung Development in Children. *New England Journal of Medicine* 2015;372:905–913. doi:10.1056/NEJMoa1414123

Guxens M, Garcia-Esteban R, Giorgis-Allemand L, et al. Air Pollution During Pregnancy and Childhood Cognitive and Psychomotor Development. *Epidemiology* 2014;25:636–47. doi:10.1097/EDE.0000000000000133

Health Effects Institute. State of Global Air 2019. Boston, MA. <https://www.stateofglobalair.org/> (accessed 18 Apr 2019).

Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, et al. Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environmental Health* 2013;12:43. doi:10.1186/1476-069X-12-43

International Agency for Research on Cancer, IARC. Outdoor air pollution. 2016. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK368024/> (accessed 5 Oct 2018).

Kaufman JD, Adar SD, Barr RG, et al. Association between air pollution and coronary artery calcification within six metropolitan areas in the U.S.A. (the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollution): a longitudinal cohort study. *The Lancet* 2016;388:696–704. doi:10.1016/S0140-6736(16)00378-0

Kirrane EF, Bowman C, Davis JA, et al. Associations of ozone and PM_{2.5} concentrations with Parkinson's disease among participants in the Agricultural Health Study. *J Occup Environ Med* 2015;57:509–17. doi:10.1097/JOM.0000000000000451

Krutmann J, Bouloc A, Sore G, et al. The skin aging exposome. *Journal of Dermatological Science* 2017;85:152–61. doi:10.1016/j.jdermsci.2016.09.015

Landrigan PJ. Air pollution and health. *The Lancet Public Health* 2017;2:e4–5. doi:10.1016/S2468-2667(16)30023-8

Lee P-C, Liu L-L, Sun Y, et al. Traffic-related air pollution increased the risk of Parkinson's disease in Taiwan: A nationwide study. *Environment International* 2016;96:75–81. doi:10.1016/j.envint.2016.08.017

Leiser CL, Hanson HA, Sawyer K, et al. Acute effects of air pollutants on spontaneous pregnancy loss: a case-crossover study. *Fertility and Sterility* 2019;111(2):341–347. doi:10.1016/j.fertnstert.2018.10.028

Lelieveld J, Evans JS, Fnais M, et al. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature* 2015;525:367–71. doi:10.1038/nature15371

Li T, Zhang Y, Wang J, et al. All-cause mortality risk associated with long-term exposure to ambient PM_{2.5} in China: a cohort study. *The Lancet Public Health* 2018;3:e470–7. doi:10.1016/S2468-2667(18)30144-0

Malley CS, Kuylensstierna JCI, Vallack HW, et al. Preterm birth associated with maternal fine particulate matter exposure: A global, regional and national assessment. *Environment International* 2017;101:173–82. doi:10.1016/j.envint.2017.01.023

McConnell R, Berhane K, Gilliland F, et al. Prospective study of air pollution and bronchitic symptoms in children with asthma.

- Am J Respir Crit Care Med 2003;168:790–7. doi:10.1164/rcm.200304-466OC
- Newby DE, Mannucci PM, Tell GS, et al. Expert position paper on air pollution and cardiovascular disease. *Eur Heart J* 2015;36:83–93. doi:10.1093/eurheartj/ehu458
- Ngoc L, Park D, Lee Y, et al. Systematic Review and Meta-Analysis of Human Skin Diseases Due to Particulate Matter. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2017;14:1458. doi:10.3390/ijerph14121458
- Paul KC, Haan M, Mayeda ER, et al. Ambient Air Pollution, Noise, and Late-Life Cognitive Decline and Dementia Risk. *Annual Review of Public Health* 2019;40:203–20. doi:10.1146/annurev-publhealth-040218-044058
- Pedersen M, Giorgis-Allemand L, Bernard C, et al. Ambient air pollution and low birthweight: a European cohort study (ESCAPE). *The Lancet Respiratory Medicine* 2013;1:695–704. doi:10.1016/S2213-2600(13)70192-9
- Pedersen M, Stayner L, Slama R, et al. Ambient air pollution and pregnancy-induced hypertensive disorders: a systematic review and meta-analysis. *Hypertension* 2014;64:494–500. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.114.03545
- Pope III CA, Dockery DW. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association* 2006;56:709–42. doi:10.1080/10473289.2006.10464485
- Power MC, Adar SD, Yanosky JD, et al. Exposure to air pollution as a potential contributor to cognitive function, cognitive decline, brain imaging, and dementia: A systematic review of epidemiologic research. *NeuroToxicology* 2016;56:235–53. doi:10.1016/j.neuro.2016.06.004
- Puri P, Nandar SK, Kathuria S, et al. Effects of air pollution on the skin: A review. *Indian Journal of Dermatology, Venereology, and Leprology* 2017;83:415. doi:10.4103/0378-6323.199579
- Lee KK, Miller MR, Shah ASV. Air Pollution and Stroke. *Journal of Stroke* 2018;20:2–11. doi:10.5853/jos.2017.02894
- Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *The Lancet Oncology* 2013;14:813–22. doi:10.1016/S1470-2045(13)70279-1
- Resolution WHA68.8: Health and the environment: addressing the health impact of air pollution. World Health Organization 2015. http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/wha68/a68_r8-en.pdf (accessed 8 Nov 2018).
- Ritz B, Lee P-C, Hansen J, et al. Traffic-Related Air Pollution and Parkinson's Disease in Denmark: A Case-Control Study. *Environ Health Perspect* 2016;124:351–6. doi:10.1289/ehp.1409313
- Ritz B, Liew Z, Yan Q, et al. Air pollution and autism in Denmark. *Environmental Epidemiology* 2018;2:e028. doi:10.1097/EE9.0000000000000028
- Rückerl R, Schneider A, Breitner S, et al. Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhalation Toxicology* 2011;23:555–92. doi:10.3109/08958378.2011.593587
- Samoli E, Stergiopoulou A, Santana P, et al. Spatial variability in air pollution exposure in relation to socioeconomic indicators in nine European metropolitan areas: A study on environmental inequality. *Environmental Pollution* 2019;249:345–53. doi:10.1016/j.envpol.2019.03.050
- Shah ASV, Lee KK, McAllister DA, et al. Short term exposure to air pollution and stroke: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2015;350:h1295. doi:10.1136/bmj.h1295
- Shindell D, Faluvegi G, Seltzer K, et al. Quantified, localized health benefits of accelerated carbon dioxide emissions reductions. *Nature Climate Change* 2018;8:291–5. doi:10.1038/s41558-018-0108-y
- Shiraiwa M, Ueda K, Pozzer A, et al. Aerosol Health Effects from Molecular to Global Scales. *Environ Sci Technol* 2017;51:13545–67. doi:10.1021/acs.est.7b04417
- Stanek LW, Brown JS, Stanek J, et al. Air Pollution Toxicology—A Brief Review of the Role of the Science in Shaping the Current Understanding of Air Pollution Health Risks. *Toxicol Sci* 2011;120:S8–27. doi:10.1093/toxsci/kfq367
- Stieb DM, Chen L, Eshoul M, et al. Ambient air pollution, birth weight and preterm birth: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research* 2012;117:100–11. doi:10.1016/j.envres.2012.05.007
- Suades-González E, Gascon M, Guxens M, et al. Air Pollution and Neuropsychological Development: A Review of the Latest Evidence. *Endocrinology* 2015;156:3473–82. doi:10.1210/en.2015-1403
- Taylor C, Golding J, Emond A. Adverse effects of maternal lead levels on birth outcomes in the ALSPAC study: a prospective birth cohort study. *BJOG* 2015;122:322–8. doi:10.1111/1471-0528.12756
- Thurston GD, Kipen H, Annesi-Maesano I, et al. A joint ERS/ATS policy statement: what constitutes an adverse health effect of air pollution? An analytical framework. *Eur Respir J* 2017;49. doi:10.1183/13993003.00419-2016
- Vrijheid M, Casas M, Gascon M, et al. Environmental pollutants and child health — A review of recent concerns. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2016;219:331–42. doi:10.1016/j.ijheh.2016.05.001
- Wang B, Xu D, Jing Z, et al. Mechanisms in endocrinology: Effect of long-term exposure to air pollution on type 2 diabetes mellitus risk: a systemic review and meta-analysis of cohort studies. *European Journal of Endocrinology* 2014;171:R173–82. doi:10.1530/EJE-14-0365
- World Health Organization. Fact sheet on household air pollution and health. 2018. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health> (accessed 18 Feb 2019).
- World Health Organization. Fact sheet on ambient (outdoor) air quality and health. 2018. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (accessed 18 Feb 2019).
- Wu J, Ren C, Delfino RJ, et al. Association between Local Traffic-Generated Air Pollution and Preeclampsia and Preterm Delivery in the South Coast Air Basin of California. *Environ Health Perspect* 2009;117:1773–9. doi:10.1289/ehp.0800334
- Wu J, Laurent O, Li L, et al. Adverse Reproductive Health Outcomes and Exposure to Gaseous and Particulate-Matter Air Pollution in Pregnant Women. *Research on Reproductive Health Effects Inst* 2016:1–58.
- Эмиссия загрязнителей воздуха
- Apte JS, Messier KP, Gani S, et al. High-Resolution Air Pollution Mapping with Google Street View Cars: Exploiting Big Data. *Environ Sci Technol* 2017;51:6999–7008. doi:10.1021/acs.est.7b00891
- Beekmann M, Prévôt ASH, Drewnick J, et al. In situ, satellite measurement and model evidence on the dominant regional contribution to fine particulate matter levels in the Paris megacity. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2015;15:9577–9591. doi:10.5194/acp-15-9577-2015
- Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *The Lancet* 2014; 383:785–795. doi: 10.1016/S0140-6736(13)62158-3
- Belis CA, Karagulian F, Larsen BR, Hopke PK. Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe. *Atmospheric Environ-*

- ment 2013;69:94–108. doi:10.1016/j.atmosenv.2012.11.009
- Bond TC, Bhardwaj E, Dong R, et al. Historical emissions of black and organic carbon aerosol from energy-related combustion, 1850–2000. *Global Biogeochemical Cycles* 2007;21. doi:10.1029/2006GB002840
- Braspenning Radu O, van den Berg M, Klimont Z, et al. Exploring synergies between climate and air quality policies using long-term global and regional emission scenarios. *Atmospheric Environment* 2016;140:577–91. doi:10.1016/j.atmosenv.2016.05.021
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA 3rd, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010;121:2331–2378. doi:10.1161/CIR.0b013e3181d8bece1
- Brown JS. Nitrogen dioxide exposure and airway responsiveness in individuals with asthma. *Inhalation Toxicology* 2015;27:1–14. doi:10.3109/08958378.2014.979960
- Burnett R, Chen H, Szyszkowicz M, et al. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *PNAS* 2018;115:9592–9597. doi:10.1073/pnas.1803222115
- Butt EW, Rap A, Schmidt A, et al. The impact of residential combustion emissions on atmospheric aerosol, human health, and climate. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2016;16:873–905. doi:10.5194/acp-16-873-2016
- Cesaroni G, Forastiere F, Stafoggia M, et al. Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. *BMJ* 2014;348:f7412. doi:10.1136/bmj.f7412
- Clifford A, Lang L, Chen R, et al. Exposure to air pollution and cognitive functioning across the life course — A systematic literature review. *Environmental Research* 2016;147:383–398. doi:10.1016/j.envres.2016.01.018
- Chen H, Huang Y, Shen H, et al. Modeling temporal variations in global residential energy consumption and pollutant emissions. *Applied Energy* 2016;184:820–9. doi:10.1016/j.apenergy.2015.10.185
- Dave P, Bhushan M, Venkataraman C. Aerosols cause intraseasonal short-term suppression of Indian monsoon rainfall. *Scientific Reports* 2017;7:17347. doi:10.1038/s41598-017-17599-1
- Dawn Alas H, Müller T, Birmili W. Spatial Characterization of Black Carbon Mass Concentration in the Atmosphere of a Southeast Asian Megacity: An Air Quality Case Study for Metro Manila, Philippines. *Aerosol and Air Quality Research* 2018;18:2301–2317. doi:10.4209/aaqr.2017.08.0281
- Franklin BA, Brook R, Pope CA 3rd. Air pollution and cardiovascular disease. *Current Problems in Cardiology* 2015;40:207–38. doi:10.1016/j.cpcardiol.2015.01.003
- Gallardo L, Escribano J, Dawidowski L, et al. Evaluation of vehicle emission inventories for carbon monoxide and nitrogen oxides for Bogotá, Buenos Aires, Santiago, and São Paulo. *Atmospheric Environment* 2012;47:12–9. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.11.051
- Giddeen MJ, Riahi K, Smith SJ, et al. Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geoscientific Model Development* 2019;12:1443–75. doi:10.5194/gmd-12-1443-2019
- Hassler B, McDonald BC, Frost GJ, et al. Analysis of long-term observations of NO_x and CO in megacities and application to constraining emissions inventories. *Geophysical Research Letters* 2016;43:9920–30. doi:10.1002/2016GL069894
- Huang Y, Shen H, Chen Y, et al. Global organic carbon emissions from primary sources from 1960 to 2009. *Atmospheric Environment* 2015;122:505–512. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.10.017
- Ibarra-Espinosa S, Ynoue R, O’Sullivan S et al. VEIN v0.2.2: an R package for bottom-up vehicular emissions inventories. *Geoscientific Model Development* 2018;11:2209–2229. doi:10.5194/gmd-11-2209-2018
- Janssens-Maehout G, Crippa M, Guizzardi D, et al. HTAP_v2.2: a mosaic of regional and global emission grid maps for 2008 and 2010 to study hemispheric transport of air pollution. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2015;15:11411–11432. doi:10.5194/acp-15-11411-2015
- Jimenez JL, Canagaratna MR, Donahue NM, et al. Evolution of organic aerosols in the atmosphere. *Science* 2009;326:1525–1529. doi:10.1126/science.1180353
- Klimont Z, Kupainen K, Heyes C, et al. Global anthropogenic emissions of particulate matter including black carbon. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2017;17:8681–8723. doi:10.5194/acp-17-8681-2017.
- Lamarque JF, Bond TC, Eyring V, et al. Historical (1850–2000) gridded anthropogenic and biomass burning emissions of reactive gases and aerosols: Methodology and application. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2010;10:7017–7039. doi:10.5194/acp-10-7017-2010
- Liu J, Mauzerall DL, Chen Q, et al. Air pollutant emissions from Chinese households: A major and underappreciated ambient pollution source. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2016;113:7756–7761. doi:10.1073/pnas.1604537113
- Madrazo J, Clappier A, Belalcazar LC, et al. Screening differences between a local inventory and the Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR). *Science of The Total Environment* 2018;631–632:934–941. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.03.094
- van der Werf GR, Randerson, JT, Giglio L, et al. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmospheric Chemistry and Physics* 2010;10:11707–11735. doi:10.5194/acp-10-11707-2010
- van Donkelaar A, Martin RV, Brauer M, et al. Global Estimates of Fine Particulate Matter using a Combined Geophysical-Statistical Method with Information from Satellites, Models, and Monitors. *Environmental Science and Technology* 2016;50:3762–3772. doi:10.1021/acs.est.5b05833
- Расходы и выгоды в экономике
- Amann M, Holland M, Maas R, et al. Costs, benefits and economic impacts of the EU clean air strategy and their implications on innovation and competitiveness. IIASA report. Laxenburg: 2017. http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/clean_air_outlook_economic_impact_report.pdf (accessed 10 May 2019).
- Roy R, Braathen NA. The Rising Cost of Ambient Air Pollution thus far in the 21st Century — Results from the BRIICS and the OECD Countries. *OECD Environment Working Papers*. 2017. doi:10.1787/d1b2b844-en
- US Environmental Protection Agency Office of Air and Radiation. The Benefits and Costs of the Clean Air Act from 1990 to 2020 — Summary Report. 2011. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/summaryreport.pdf> (accessed 16 Nov 2018).
- The World Bank. The cost of air pollution: strengthening the economic case for action. The World Bank 2016. <http://documents.worldbank.org/curated/en/781521473177013155/pdf/108141-REVISED-Cost-of-PollutionWebCORRECTEDfile.pdf> (accessed 10 May 2019).
- World Health Organization. Health risks of air pollution in Europe — HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen: 2013. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_

project.pdf (accessed 10 May 2019).

Стратегии и действия

Boyd DR. Report of the Special Rapporteur on human rights obligations relating to the enjoyment of a safe, clean, healthy and sustainable environment. Human Rights Council. 2019. <https://undocs.org/A/HRC/40/55> (accessed 28 May 2019).

DeShazo J, Sheldon TL, Carson RT. Designing policy incentives for cleaner technologies: Lessons from California's plug-in electric vehicle rebate program. *Journal of Environmental Economics Management* 2017;84:18–43. doi:10.1016/j.jeem.2017.01.002

Figueres C, Landrigan PJ, Fuller R. Tackling air pollution, climate change, and NCDs: time to pull together. *The Lancet* 2018;392:1502–3. doi:10.1016%2FS0140-6736(18)32740-5

Fuller R, Rahona E, Fisher S, et al. Pollution and non-communicable disease: time to end the neglect. *The Lancet Planetary Health* 2018;2(3):e96–8. doi:10.1016/S2542-5196(18)30020-2

Haines A, Landrigan PJ. It's time to consider pollution in NCD prevention. *The Lancet* 2018;392:1625–6. doi:10.1016/S0140-6736(18)32200-1

Kutlar Joss M, Eeftens M, Gintowt E, et al. Time to harmonize national ambient air quality standards. *International Journal of Public Health* 2017;62:453–462. doi:10.1007/s00038-017-0952-y

Samet JM, Gruskin S. Air pollution, health, and human rights. *The Lancet Respiratory Medicine* 2015;3:98–100. doi:10.1016/S2213-2600(14)70145-6

United Nations Environment Programme. Ministerial declaration of the United Nations Environment Assembly at its third session: Towards a pollution-free planet. UNEP/EA.3/L.19. 2017. <https://papersmart.unon.org/resolution/ministerial-declaration> (accessed 28 May 2019).

Watts N, Amann M, Ayeb-Karlsson S, et al. The Lancet Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health. *The Lancet* 2018;391:581–630. doi:10.1016/S0140-6736(17)32464-9

World Bank Group. Independent Evaluation Group. Toward a clean world for all: an IEG evaluation of the World Bank Group's support for pollution management. Washington, DC: World Bank, 2017. <http://ieg.worldbankgroup.org/evaluations/pollution> (accessed 10 May 2019).

World Health Organization. Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013–2020. Geneva: 2013. https://www.who.int/nmh/events/ncd_action_plan/en/ (accessed 10 May 2019).

World Health Organization. Resolution WHA68.8: Health and the environment: addressing the health impact of air pollution. Geneva: 2015. http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/wha68/a68_r8-en.pdf (accessed 8 Nov 2018).

World Health Organization. Air pollution and child health: prescribing clean air. Geneva: 2018. <http://www.who.int/ceh/publications/air-pollution-child-health/en/> (accessed 31 Oct 2018).

World Health Organization. Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen: 2006. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide> (accessed 10 May 2019).

World Health Organization. Review of evidence on health aspects of air pollution — REVIHAAP. Technical Report. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen: 2013. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1 (accessed 28 May 2019).

ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Copy-Editing

German National Academy of Sciences Leopoldina,
Halle (Saale), Germany
internationalrelations@leopoldina.org
www.leopoldina.org

Translation

GlobalSprachTeam, Sassenberg+Kollegen, Berlin
www.sprachteam.com

Art Direction

Lamm & Kirch, Berlin / Leipzig
www.lamm-kirch.com

Print

Printed in Germany by Elbe Druckerei Wittenberg GmbH
www.elbedruckerei.de

Printed on recycled paper.

Publication date

June 2019

Copyright

© Academy of Science of South Africa (ASSAf)
www.assaf.org.za

© Brazilian Academy of Sciences (ABC)
www.abc.org.br

© German National Academy of Sciences Leopoldina
www.leopoldina.org

© U.S. National Academy of Medicine (NAM)
www.nam.edu

© U.S. National Academy of Sciences (NAS)
www.nationalacademies.org

ISBN: 978-3-8047-4017-4 (English original)