Влияние загрязнения воздуха и изменения климата на показатели психического здоровья: зонтичный обзор глобальных данных

Joaquim Radua[1–3], Michele De Prisco[1–4], Vincenzo Oliva[1,2,4], Giovanna Fico[1,2,4], Eduard Vieta[1–4], Paolo Fusar-Poli[5–8]

[1]Institut d'Investigacions Biomèdiques August Pi i Sunyer (IDIBAPS), Barcelona, Spain; [2]Department of Medicine, Institute of Neuroscience, University of Barcelona, Barcelona, Spain; [3]Centro de Investigación Biomédica en Red de Salud Mental (CIBERSAM), Instituto de Salud Carlos III, Madrid, Spain; [4] Bipolar and Depressive Disorders Unit, Hospital Clinic de Barcelona, Barcelona, Spain; [5]Early Psychosis: Interventions and Clinical-detection (EPIC) Lab, Department of Psychosis Studies, King's College London, London, UK; [6] Department of Brain and Behavioral Sciences, University of Pavia, Pavia, Italy; [7] Outreach and Support in South-London (OASIS) service, South London and Maudlsey NHS Foundation Trust, London, UK; [8]Department of Psychiatry and Psychotherapy, Ludwig-Maximilian-University Munich, Munich, Germany

В последнее время влияние загрязнения воздуха и изменения климата на психическое здоровье вызывает серьезные опасения. Однако комплексный обзор, анализирующий существующие доказательства, учитывающий возможные погрешности и систематические ошибки, отсутствует. В этом зонтичном обзоре был проведен систематический поиск в базах данных PubMed/Medline, Scopus и PsycINFO (по состоянию на 26 июня 2023 г.) систематических обзоров с метаанализом, исследующих связь загрязнения воздуха или изменения климата с последствиями для психического здоровья. Мы использовали пакет R metaumbrella для расчета и стратификации достоверности доказательств в соответствии с критериями (т. е. убедительные, весьма вероятные, вероятные или слабые), с учетом анализа возможных систематических ошибок, дополненных анализом чувствительности. Мы включили 32 систематических обзора с метаанализом, в которых рассматривались 284 отдельных исследования и 237 ассоциаций воздействия загрязнения воздуха или вредных последствий изменения климата с последствиями для психического здоровья. Большинство ассоциаций (n=195, 82,3%) были связаны с загрязнением воздуха, в то время как остальные (n=42, 17,7%) касались вредных последствий изменения климата (в основном с акцентом на температуре: n=35, 14,8%). Показатели психического здоровья в большинстве случаев (n=185, 78,1%) включали частоты психических расстройств, за которыми следовали суицидальное поведение (n=29, 12,4%), обращение за помощью в сфере психического здоровья (n=9, 3,7%), симптоматика, связанная с психическими расстройствами (n=8, 3,3%), и совмещенные категории (n=6, 2,5%). Двенадцать ассоциаций (5,0%) получили убедительные (класс I) или весьма вероятные (класс II) доказательства. Что касается воздействия загрязнения воздуха, то были получены убедительные (класс I) доказательства связи между длительным воздействием растворителей и более высокой частотой деменции или когнитивных нарушений (отношение шансов (odds ratio, OR=1,139), а также весьма вероятные (класс II) доказательства связи между длительным воздействием некоторых загрязняющих веществ и более высоким риском когнитивных расстройств (более высокая частота деменции при высоких, по сравнению с низкими, уровнях оксида углерода, CO: OR=1,587; более высокая частота сосудистой деменции на 1 мкг/м3 увеличения оксидов азота, NOx отношение рисков (hazard ratio), HR=1,004). Также были получены весьма вероятные (класс II) доказательства связи между воздействием взвешенных в воздухе твердых частиц диаметром ≤10 мкм (PM10) во втором триместре беременности и частотой послеродовой депрессии (OR=1,023 на 1 мкг/м3 увеличения); а также связи между краткосрочным воздействием диоксида серы (SO_2) и рецидивом шизофрении (относительный риск (risk ratio) RR=1,005 и 1,004 на 1 мкг/м3 увеличения, соответственно через 5 и 7 дней после воздействия). Что касается вредных последствий изменения климата, были получены весьма вероятные (класс II) доказательства связи между краткосрочным воздействием повышенной температуры и смертностью, связанной с суицидом или психическими расстройствами (RR=1,024), суицидальным поведением (RR=1,012) и обращением за стационарной помощью (т. е. госпитализация или посещение отделения неотложной помощи) из-за суицидального поведения или психических расстройств (RR=1,011) или только психических расстройств (RR=1,009) (значения RR на 1 °C увеличения). Также были получены весьма вероятные (класс II) доказательства ассоциации между краткосрочным воздействием субъективного ощущения повышенной температуры (т. е. температурного эквивалента, воспринимаемого людьми) и суицидальным поведением (RR=1,01 на 1 °C повышения). Наконец, были получены весьма вероятные (класс II) доказательства ассоциации между близостью во времени воздействия циклона и тяжестью симптомов посттравматического стрессового расстройства (r=0,275). Хотя большинство из вышеперечисленных ассоциаций были небольшими по величине, они распространяются на все население мира и, следовательно, могут иметь существенное влияние. В этом зонтичном обзоре впервые классифицируются и количественно определяются глобальные негативные влияния, которые оказывают загрязнение воздуха и изменение климата на психическое здоровье, определяются основанные на фактических данных цели для будущих исследований и мер, принимаемых на уровне здравоохранения.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, изменение климата, психическое здоровье, температура, деменция, когнитивные расстройства, послеродовая депрессия, суицид, шизофрения, посттравматическое стрессовое расстройство.

Radua J, De Prisco M, Oliva V et al. Impact of air pollution and climate change on mental health outcomes: an umbrella review of global evidence. *World Psychiatry*. 2024;23(2):244-256. doi:10.1002/wps.21219.

Загрязнение воздуха, повышение температуры и экстремальные изменения погодных условий представляют собой взаимосвязанные элементы серьезного глобального кризиса, который при отсутствии быстрых и радикальных действий, обречен на ухудшение[1,2]. Все это влечет за собой значительную угрозу физическому здоровью, приводя к повышенному риску развития и/или обострению различных заболеваний, включая инфекционные, аллергические, метаболические, неопластические, респираторные и сердечно-сосудистые[3].

Это также влияет на состояние психического здоровья, хотя эта проблема попала в поле внимания исследователей только в последние годы[4]. Например, воздействие загрязнения воздуха было связано с более высоким риском когнитивных расстройств[5], а повышение температуры, как было обнаружено, связано с повышенным риском самоубийств[6]. Экстремальные погодные явления, такие как циклоны, наводнения или лесные пожары, могут способствовать травматическим переживаниям, приводящим к посттравматическому стрессовому расстройству (ПТСР) у пострадавшего населения[7].

Хотя эти факторы окружающей среды могут напрямую воздействовать на психическое здоровье людей, они также, по-видимому, оказывают и косвенное влияние. Например, изменение климата может влиять на экономическую стабильность, продовольственную безопасность, благосостояние общества и физическое здоровье, а также приводить к миграции и конфликтам, которые сами по себе являются ключевыми факторами психического здоровья[8,9].

Проблема прямого и косвенного влияния изменений окружающей среды на психическое здоровье настолько актуальна, особенно для молодых поколений, что были придуманы новые слова: *соластальгия* (т. е. дистресс, вызванный трансформацией и деградацией домашней среды)[10], *экологическое горе* (т. е. горе, связанное с экологической потерей)[11] и *экотревожность* (т. е. тревога, связанная с изменяющейся и неопределенной средой)[12].

Ассоциации между этими воздействиями окружающей среды и последствиями для психического здоровья широко исследовались, что привело к экспоненциальному росту числа научных публикаций и нескольким систематическим обзорам[5,6,13]. Однако результаты этих исследований часто противоречат друг другу. Например, в одной из работ[14] показана значимая ассоциация между длительным воздействием взвешенных в воздухе твердых частиц (particulate matter, PM) и частотой диагностированной депрессии, в то время как другое исследование, проведенное на большей выборке,[15] не выявило эту ассоциацию. Аналогичным образом, в одном из исследований сообщалось о повышении смертности из-за суицида в связи с кратковременным воздействием повышенной температуры среды[16], в другой работе эта ассоциация не была обнаружена[17]. Подобные несоответствия присутствуют даже между различными систематическими обзорами с метаанализом. Например, один систематический обзор с метаанализом не выявил общей ассоциации между воздействием PM ≤2,5 мкм в диаметре (PM2.5) и депрессией[18], хотя другой ее подтвердил[13].

Эти противоречивые результаты могут быть частично обусловлены различными размерами выборки[19], эффектами малых исследований, систематическими ошибками представления данных, большой гетерогенностью и неоднородными определениями и измерениями соответствующих воздействий. В связи с этим само существование, направленность и выраженность ассоциаций между этими воздействиями окружающей среды и их последствиями для психического здоровья остаются неопределенными. Отсутствие вследствие этого доказательств достаточного уровня и надежных мишеней для изменения препятствует дальнейшим исследованиям и не позволяет предпринимать действия в области здравоохранения, направленные на смягчение влияния этих воздействий на психическое здоровье.

Целью настоящей работы является восполнение этих пробелов посредством проведения всеобъемлющего зонтичного обзора, в котором были систематически изучены и классифицированы данные об ассоциациях загрязнения воздуха и изменения климата с показателями психического здоровья во всем мире. С этой целью была проведена стандартизация единиц измерения, а также был использован пакет R *metaumbrella* для расчета и стратификации достоверности доказательств в соответствии с критериями, которые учитывают несколько погрешностей и систематических ошибок.

Представленная в этом обзоре доказательная классификация призвана послужить основой для создания рекомендаций, касающихся новых исследований и воздействия загрязнения воздуха и изменения климата на психическое здоровье, и разработки новых профилактических мер.

МЕТОДЫ

Мы провели настоящий обзор в соответствии с Предпочтительными элементами отчетности по систематическим обзорам и метаанализам (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses, PRISMA)20 и предварительно зарегистрировали его протокол на https://osf.io/rgjdp/?view_only=d60ab9238c714014ae148acde5e55ad2.

Стратегия поиска

Мы провели систематический поиск в базах данных PubMed/Medline, Scopus и PsycINFO с момента их создания до 26 июня 2023 года. Стратегия поиска включала термины, связанные с загрязнением воздуха и изменением климата, а также с последствиями для психического здоровья (см. дополнительную информацию). Мы вручную искали ссылки на работы в каждом из включенных обзоров, учебников и других материалов, чтобы выявить потенциальные дополнительные систематические обзоры с метаанализом, не охваченные исходным поиском.

Воздействия и последствия

Загрязнение воздуха и изменение климата трактовались в соответствии с определениями, представленными в каждом систематическом обзоре с метаанализом. Они относились к общей популяции, если не указано иное (например, загрязнение воздуха во время беременности).

Последствия для психического здоровья включали: а) психические расстройства, сгруппированные в диагностические блоки МКБ-10: органические психические расстройства; психические и поведенческие расстройства, вызванные употреблением психоактивных веществ; шизофрения, шизотипические и бредовые расстройства; расстройства настроения (аффективные); невротические, связанные со стрессом и соматоформные расстройства; поведенческие синдромы, связанные с физиологическими нарушениями и физическими факторами; расстройства личности и поведения в зрелом возрасте; умственная отсталость; расстройства психологического развития; эмоциональные расстройства, расстройства поведения, обычно начинающиеся в детском и подростковом возрасте; б) симптоматика, связанная с психическими расстройствами (например, симптомы или проявления, связанные с психическим расстройством, такие как симптомы депрессии или тревоги); в) суицидальное поведение; г) обращение в службы охраны психического здоровья.

КРИТЕРИИ ВКЛЮЧЕНИЯ И ИСКЛЮЧЕНИЯ

Мы включали любые систематические обзоры с метаанализом, содержавшие наблюдательные исследования (как поперечные, так и продольные), которые: а) исследовали ассоциации либо загрязнения воздуха, либо изменения климата, либо и того, и другого с любым последствием для психического здоровья (как определено выше); и б) сравнивали подверженные и не подверженные воздействию популяции или популяции на разных уровнях воздействия. Каждая ассоциация должна была основываться как минимум на двух отдельных исследованиях, чтобы быть включенной.

Мы исключали: а) любые публикации, кроме систематических обзоров с метаанализом, включая систематические обзоры без метаанализа и метаанализы, которые не следовали процедуре систематического поиска; б) систематические обзоры с метаанализом, включающие только интервенционные исследования; в) систематические обзоры с метаанализом, включающие только исследования, предоставляющие данные о распространенности в одной группе; г) систематические обзоры с метаанализом, включающие только данные «до-после»; д) систематические обзоры с метаанализом, которые не были связаны с нашим исследовательским вопросом; е) «серую» литературу (т. е. публикации, которые не прошли процесс рецензирования, такие как докторские диссертации и тезисы конференций); ж) систематические обзоры с метаанализом, которые были отозваны после публикации; з) систематические обзоры с метаанализом, сообщающие о тех же ассоциациях, что и другие, более полные или недавние, систематические обзоры; и) систематические обзоры с метаанализом, в которых не предоставлено достаточных данных для проведения зонтичного обзора.

Отбор систематических обзоров с метаанализом и извлечение данных

Три автора (MDP, VO, GF) независимо друг от друга оценили потенциально актуальные систематические обзоры с метаанализом на уровне заголовка, аннотации и полного текста. Любое разногласие разрешалось на основе консенсуса и консультаций с другими авторами (JR, PFP), если не удавалось достичь соглашения. Те же три автора независимо друг от друга извлекали информацию из включенных обзоров.

Из каждого систематическом обзора с метаанализом мы извлекали следующую информацию: имя первого автора, год публикации, количество включенных индивидуальных

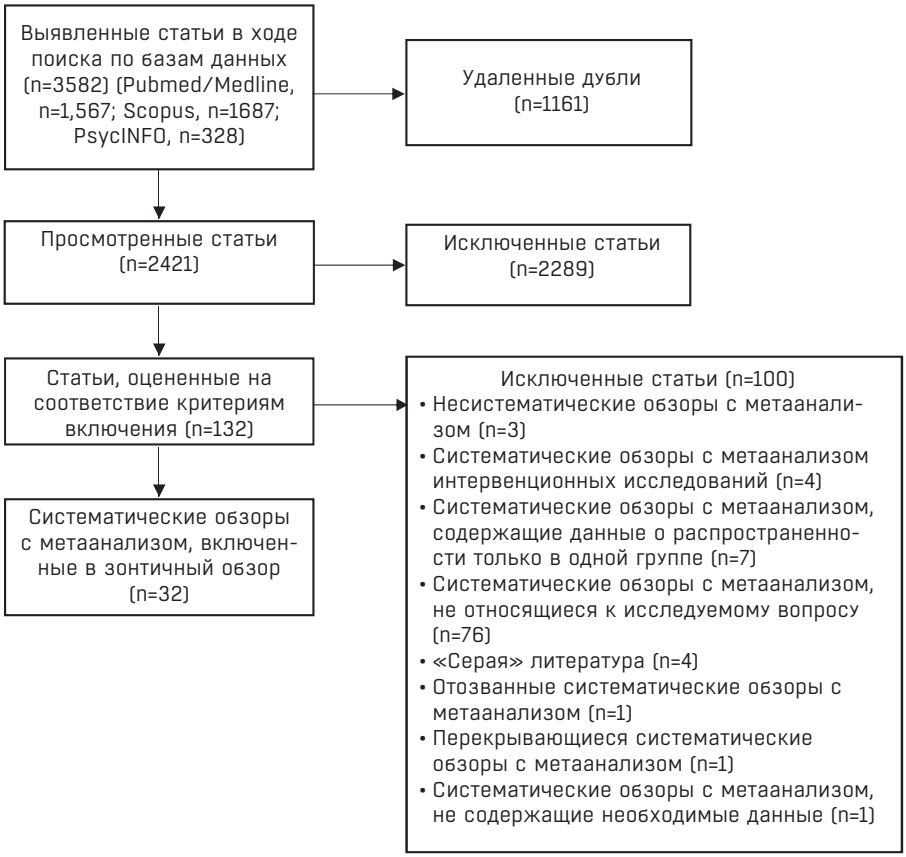


Рисунок 1. Схема PRISMA

исследований, тип воздействия, тип результата психического здоровья и тип рассматриваемого размера эффекта, т. е. отношение шансов (odds ratio, OR), отношение рисков (hazard ratio, HR) или относительный риск (relative risk, RR). Для зависящих от времени воздействий (т. е. долгосрочных и краткосрочных) мы извлекали временные рамки, рассматриваемые для каждой конкретной ассоциации. Долгосрочными воздействиями считались те, которые длились месяцы или годы, в то время как краткосрочными – те, которые длились дни или недели (обычно менее 30 дней).

На уровне индивидуального исследования мы извлекали имя первого автора, год публикации, дизайн исследования, любые показатели, полезные для расчета размера эффекта, и зависимости в данных (несколько результатов из одной и той же группы или несколько групп в исследовании).

Качество доказательств

Мы использовали специальный инструмент для оценки качества включенных систематических обзоров с метаанализом – Measurement Tool To Assess Systematic Reviews (AMSTAR-2)[21]. Мы классифицировали методологическое качество как «высокое» (нет критических недостатков и не более одного некритического недостатка); «умеренное» (нет критических недостатков, но более одного некритического недостатка); «низкое» (один критический недостаток); и «критически низкое» (более одного критического недостатка)[21].

Статистический анализ

На раннем этапе сбора данных мы заметили, что включенные систематические обзоры с метаанализом исследовали ассоциации между воздействием загрязнения воздуха или изменения климата и последствиями для психического здоровья либо непрерывно (например, смертность от самоубийств увеличивается при каждом повышении температуры среды на 5 °C), либо бинарно (например, различия в заболеваемости деменцией между лицами, сильно подверженными воздействию растворителей и теми, кто подвергался мало или не подвергался вообще). Систематические обзоры с метаанализом, изучающие непрерывные ассоциации, были неоднородны в отношении интервалов воздействия, используемых для представления результатов. Чтобы преодолеть эту проблему, мы преобразовали все интервалы в одну единицу, согласно Международной системе единиц (СИ) (например, изменение при повышении на 1 °C или изменение при повышении на 1 мкг/м^3). Это было выполнено путем деления логарифма RR или OR на количество единиц международной системы[22]. Когда в обзоре анализировались непрерывные и бинарные данные вместе, мы подвергали метаанализу отдельно исследования с непрерывными данными и отдельно – с бинарными.

Мы оценили достоверность связей в соответствии с признанными международными критериями[23–26]. В частности, мы классифицировали каждую ассоциацию как убедительную (класс I), высоковероятную (класс II), вероятную (класс III) или слабую (класс IV). Если связь была незначимой, мы классифицировали ее как таковую. Класс I требует соблюдения следующих критериев: более 1000 случаев; $p<10^{-6}$; отсутствие эффектов малых исследований или избытка смещения значимости; интервал прогнозирования не включает нулевое значение; крупнейшее исследование номинально значимо; низкая гетерогенность (т. е. $I^2<50\%$). Класс II требует более 1000 случаев, $p<10^{-6}$ и номинальной значимости результатов крупнейшего исследования. Класс III требует более 1000 случаев и $p<10^{-3}$. Класс IV требует только $p<0{,}05$.

Мы провели анализ чувствительности, который включал только продольные исследования, чтобы проверить влияние дизайна исследования на результаты и убедиться, что воздействие загрязнения воздуха и изменения климата достоверно предшествовали последствиям в отношении психического здоровья.

Мы провели дополнительный анализ путем выведения увеличения показателей выбранных последствий для пси-

Таблица 1. Характеристики систематических обзоров с метаанализом, включенных в общий обзор

	Включенные исследования	Размер выборки	Включенные ассоциации	Воздействие	Последствия для психического здоровья
Abolhasani et al[28]	4	86,516,610	1	Загрязнение воздуха	Госпитализация в связи с деменцией
Borroni et al[13]	39	4,659,344	12	Загрязнение воздуха	Депрессия
Braithwaite et al[31]	4	34,451	1	Загрязнение воздуха	Суицидальное поведение (смертность)
Cheng et al[33]	19	40,217,872	2	Загрязнение воздуха	Деменция, сосудистая деменция
Chun et al[34]	4	91,363	1	Загрязнение воздуха	РАС
Bernardina Dalla et al[35]	11	95,607	5	Загрязнение воздуха	СДВГ
Davoudi et al[36]	9	1,532,847	13	Загрязнение воздуха	Суицидальное поведение (смертность)
Dhiman et al[37]	4	578,383	1	Загрязнение воздуха	Болезнь Альцгеймера
Dutheil et al[38]	26	748,247	14	Загрязнение воздуха	РАС
Flores-Pajot et al[39]	4	141,061	9	Загрязнение воздуха	РАС
Fu et al[40]	15	218,487	2	Загрязнение воздуха	РАС, легкие когнитивные нарушения
Fu et al[5]	8	13,528,702	2	Загрязнение воздуха	Болезнь Альцгеймера
Gong et al[41]	14	77,053,755	4	Загрязнение воздуха	Болезнь Альцгеймера, деменция, сосудистая деменция
Li et al[44]	9	70,214	1	Загрязнение воздуха	Депрессия
Lin et al[45]	17	645,663	10	Загрязнение воздуха	СДВГ
Liu et al[46]	27	1,009,799	4	Загрязнение воздуха	СДВГ, РАС
Pourhoseini et al[48]	3	31,587	20	Загрязнение воздуха	Послеродовая депрессия
Song et al[49]	13	27,055	40	Загрязнение воздуха	Шизофрения
Tang et al[50]	12	13,158,086	3	Загрязнение воздуха	Болезнь Альцгеймера, деменция, сосудистая деменция
Trushna et al[51]	9	445,562	4	Загрязнение воздуха	Тревожные расстройства, психологический стресс
Wilker et al[52]	12	16,357,675	2	Загрязнение воздуха	Деменция
Yu et al[53]	10	2,703,941	2	Загрязнение воздуха	Когнитивные нарушения, деменция
Zeng et al[54]	12	289,066	11	Загрязнение воздуха	Депрессия и отдельные симптомы депрессии
Zhang et al[55]	5	102,925	3	Загрязнение воздуха	СДВГ
Zhao et al[56]	52	80,986,923	23	Загрязнение воздуха	Болезнь Альцгеймера, когнитивные нарушения, деменция, сосудистая деменция
Beaglehole et al[29]	2	1,144	2	Оползни, лесные пожары	Психические расстройства, психологический стресс
Bonde et al[30]	4	2,702	1	Циклоны, наводнения, цунами	Депрессия
Chan et al[32]	8	2,934	1	Циклоны	Симптомы ПТСР
Frangione et al[6]	20	3,021,622	7	Осадки, температура	Суицидальное поведение (смерть или суицидальные попытки)
Li et al[43]	32	8,179,080	15	Атмосферное давление, продолжительность солнечного сияния, температура	Психические расстройства; аффективные расстройства; невротические, связанные со стрессом и соматоформные расстройства; шизофрения
Liu et al[47]	30	3,159,423	14	Температура	Психические расстройства, органические психические расстройства, шизофрения, психические расстройства, связанные с употреблением психоактивных веществ, суицидальное поведение (смертность), обращение в стационар
Heo et al[42]	29	2,635,678	7	Загрязнение воздуха, температура	Суицидальное поведение (смертность, суицидальные попытки или мысли, самоповреждение)

СДВГ – синдром дефицита внимания и гиперактивности, ПТСР – посттравматическое стрессовое расстройство, РАС – расстройство аутистического спектра.

хического здоровья (т. е. тех, которые, как было установлено, связаны с повышением температуры с доказательствами класса I или II) как функцию аномалии среднегодовой температуры земли. Мы получили среднюю годовую температуру земли с 1750 по 2022 год из Berkeley Earth (https://berkeleyearth.org) и рассчитали аномалию

годовой температуры земли, вычитая из наблюдаемой температуры земли 1800–2022 годов среднюю температуру земли в доиндустриальный период (т. е. с 1750 по 1799 год).

Мы использовали соответствующий RR, полученный из зонтичного обзора, чтобы сделать эти выводы. Например, если исход психического здоровья имел RR=1,01 на 1°C повышения, а аномалия температуры земли в данном году составляла 1°, мы предполагали 1% повышения в этом году.

Мы оценили ежегодный темп роста температуры земли за последние десятилетия и спрогнозировали этот темп до 2050 года (т. е. предполагая, что аномалия температуры земли будет увеличиваться на одинаковую величину каждый год). До 2022 года мы вывели доверительные интервалы (ДИ) предполагаемого увеличения последствий в области психического здоровья непосредственно из ДИ настоящего зонтичного обзора. ДИ с 2023 по 2050 год оценивались с помощью моделирования Монте-Карло комбинации наших ДИ с прогнозируемыми интервалами аномалии температуры земли.

Мы выполнили все зонтичные расчеты с помощью пакета R *metaumbrella*[27], который был разработан нашей группой и впервые применен в предыдущей публикации в этом журнале[23]. Это первый комплексный пакет, который позволяет проводить зонтичные обзоры, автоматически выполняя все необходимые расчеты и впоследствии классифицируя достоверность доказательств.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Поиск литературы и найденные исследования

Всего было выявлено 3582 ссылки. После удаления дубликатов мы просмотрели 2421 из них на уровне заголовка и аннотации и 132 на уровне полного текста. Окончательный набор из 32 систематических обзоров с метаанализом[5,6,13,28–56], охватывающий 284 индивидуальных исследования (231 продольное и 53 поперечных), был включен в зонтичный обзор (см. рис. 1 и табл. 1). Исключенные исследования подробно описаны в дополнительной информации.

Отдельные исследования включали выборки из США (n=74), Китая (n=41), Великобритании (n=21), Южной Кореи (n=20), Канады (n=19), Тайваня (n=13), Германии (n=12), Нидерландов (n=11), Испании (n=11), Швеции (n=11), Франции (n=8), Австралии (n=6), Италии (n=6), Гонконга (n=4), Японии (n=4), Дании (n=3), Финляндии (n=3), Ирана (n=3), Израиля (n=3), Норвегии (n=3), Бельгии (n=2), Бразилии (n=2), Индии (n=2), Мексики (n=2), Новой Зеландии (n=2), Польши (n=2), Португалии (n=2), Австрии (n=1), Бангладеш (n=1), Колумбии (n=1), Ганы (n=1), Греции (n=1), Гренландии (n=1), Казахстана (n=1), Нигерии (n=1), Словакии (n=1), Южной Африки (n=1), Шри-Ланки (n=1), Швейцарии (n=1), Турции (n=1) и Вьетнама (n=1). Сумма этих выборок не составляет 284, поскольку индивидуальное исследование могло включать несколько выборок из разных стран.

Характеристики включенных систематических обзоров с метаанализом

Из всех включенных систематических обзоров с метаанализом 25 были сосредоточены на влиянии загрязнения воздуха на психическое здоровье[5,13,31,33–41,44–46,48–56]; шесть – на влиянии вредных последствий изменения климата[6,29,30,32,43,47]; и один – на обеих проблемах[42]. Последствия в области психического здоровья включали психические расстройства[5,13,30,33–35,37–41,44–46,48–50,52,53,55,56]; суицидальное поведение[6,31,36,42]; симптоматику, связанную с психическими расстройствами[32]; обращение в службы охраны психического здоровья[28]; как психические расстройства, так и симптоматику, связанную с психическими расстройствами[29,51,54]; психические расстройства, суицидальное поведение и обращение в службы охраны психического здоровья[47].

Связь между загрязнением воздуха, изменением климата и последствиями для психического здоровья

Мы включили и проанализировали 237 ассоциаций между воздействием загрязнения воздуха или вредными последствиями изменения климата и последствиями для психического здоровья. Из них 195 (82,3%) касались загрязнения воздуха, а 42 (17,7%) – вредных последствий изменения климата.

К показателям загрязнения воздуха относились (по убыванию частоты): PM2.5 (n=40, 16,9%), взвешенные в воздухе частицы диаметром ≤10 мкм (PM10) (n=35, 14,8%), диоксид азота (NO2) (n=32, 13,6%), озон (O3) (n=22, 9,3%), диоксид серы (SO2) (n=17, 7,2%), монооксид углерода (CO) (n=11, 4,6%), крупнодисперсные PM (n=8, 3,4%), оксиды азота (NOx) (n=6, 2,5%), растворители (n=5, 2,1%), пестициды (n=3, 1,3%), металлы (n=2, 0,8%), твердые топливные элементы (n=1, 0,4%), дизельные PM (n=1, 0,4%), полициклические ароматические углеводороды (n=1, 0,4%) или несколько загрязняющих веществ вместе (n=11, 4,6%).

К показателям вредных последствий изменения климата относились: температура среды (n=35, 14,8%), атмосферное давление (n=1, 0,4%), циклоны (n=1, 0,4%), осадки (n=1, 0,4%), продолжительность солнечного сияния (n=1, 0,4%) или нескольких последствий вместе (n=3, 1,3%).

В качестве показателей последствий для психического здоровья использовались: психические расстройства (n=185, 78,1%), суицидальное поведение (n=29, 12,4%), обращение в службы охраны психического здоровья (n=9, 3,7%), симптоматика, связанная с психическими расстройствами (n=8, 3,3%), или несколько категорий вместе (n=6, 2,5%).

Были исследованы ассоциации со следующими психическими расстройствами: органические психические расстройства (n=42, 17,7%); шизофрения (n=42, 17,7%); расстройства аутистического спектра (n=38, 16%); аффективные расстройства (n=36, 15,3%); синдром дефицита внимания и гиперактивности (n=9, 3,8%); невротические, связанные со стрессом и соматоформные расстройства (n=5, 2,1%); психические расстройства, связанные с употреблением психоактивных веществ (n=1, 0,4%); несколько психические расстройства вместе (n=12, 5,1%).

Суицидальное поведение включало суицид (n=15, 6,4%); суицид, суицидальные попытки и мысли или самоповреждения (n=7, 3,0%); и суицид или суицидальные попытки (n=7, 3,0%). Симптоматика, связанная с психическими расстройствами, включала: депрессивные симптомы (n=5, 2,1%), психологический дистресс (n=2, 0,8%) и симптомы ПТСР (n=1, 0,4%). Обращение в службы охраны психического здоровья включало обращение в стационар (т. е. госпитализация или посещение отделения неотложной помощи) (n=8, 3,3%) и только госпитализацию (n=1, 0,4%) при определенных психических нарушениях.

Убедительные (класс I) и высоковероятные (класс II) ассоциации

Среди 237 ассоциаций, включенных в зонтичный обзор, только одна (0,4%) достигла убедительного уровня достоверности (класс I), одиннадцать (4,6%) достигли высоковероятного уровня достоверности (класс II) (см. табл. 2).

Единственная ассоциация класса I была между длительным воздействием растворителей и более высокой частотой развития деменции или когнитивных нарушений (OR=1,139; 95% ДИ: 1,090–1,191).

Длительное воздействие высоких уровней CO было ассоциировано с более высокой частотой развития деменции (OR=1,587; 95% ДИ: 1,389–1,812, класс II). Длительное воздействие повышенного содержания NO_x было ассоциировано с более высокой частотой возникновения сосудистой деменции (HR=1,004 на 1 мкг/м^3, 95% ДИ: 1,003–1,005, класс II).

Увеличение концентрации PM_{10} во втором триместре беременности было ассоциировано с повышенным риском развития послеродовой депрессии (OR=1,023 на 1 мкг/м^3

Таблица 2. Убедительные (класс I) и высокопредположительные (класс II) связи

Воздействие	Последствие для психического здоровья	Оценка (95% ДИ)	*p*	N	I^2	PIs	SSE/ESB	LS	Класс
Растворители (высокий уровень воздействия по сравнению с низким в долгосрочной перспективе)	Частота возникновения деменции или когнитивных нарушений	OR=1.139 (1.090–1.191)	$<10^{-6}$	19,379	41%	Значимый	Нет/Нет	Да	I
CO (высокий уровень по сравнению с низким в долгосрочной перспективе)	Частота возникновения деменции	OR=1.587 (1.389–1.812)	$<10^{-6}$	2,629	0%	Незначимый	Нет/Нет	Да	II
NO_X (увеличение на 1 мкг/м³ в долгосрочной перспективе)	Частота возникновения сосудистой деменции	HR=1.004 (1.003–1.005)	$<10^{-6}$	7,608	0%	-	-/-	Да	II
PM_{10} (увеличение на 1 мкг/м³ во втором триместре беременности)	Частота возникновения послеродовой депрессии	OR=1.023 (1.014–1.033)	$<10^{-6}$	2,211	36%	-	-/-	Да	II
SO_2 (кратковременное увеличение на 1 мкг/м³)	Рецидив шизофрении								
	через 5 дней после воздействия	RR=1.005 (1.004–1.006)	$<10^{-6}$	8,682	0%	-	-/-	Да	II
	через 7 дней после воздействия	RR=1.004 (1.003–1.005)	$<10^{-6}$	8,682	0%	-	-/-	Да	II
Температура (кратковременное повышение на 1 °C)	Смертность, связанная с суицидом или психическими расстройствами	RR=1.024 (1.015–1.033)	$<10^{-6}$	1,559,502	75%	Незначимый	Да/Да	Да	II
	Суицидальное поведение (смертность, попытки или мысли о самоубийстве, самоповреждение)	RR=1.012 (1.011–1.014)	$<10^{-6}$	2,260,123	70%	Значимый	Нет/Нет	Да	II
	Обращение в стационар в связи с суицидальным поведением или психическими расстройствами	RR=1.011 (1.008–1.015)	$<10^{-6}$	1,052,237	86%	Незначимый	Да/Да	Да	II
	Обращение в стационар в связи с психическими расстройствами	RR=1.009 (1.006–1.012)	$<10^{-6}$	640,651	78%	Незначимый	Да/Да	Да	II
Средняя «кажущаяся» температура (кратковременное повышение на 1 °C)	Суицидальное поведение (смерть или попытки самоубийства)	RR=1.010 (1.009–1.011)	$<10^{-6}$	323,163	0%	-	-/-	Да	II
Воздействие циклона (временная близость)	Тяжесть симптомов ПТСР	r=0.275 (0.189–0.357)	$<10^{-6}$	≥1,000	75%	Значимый	Нет/Нет	Да	II

CO – монооксид углерода, PM_{10} – взвешенные частицы диаметром ≤10 мкм, NO_X – оксиды азота, SO_2 – диоксид серы, ПТСР – посттравматическое стрессовое расстройство, OR – odds ratio, отношение шансов, HR – hazard ratio, отношение рисков, RR – risk ratio, относительный риск, PIs – prediction intervals, интервалы прогнозирования, SSE – small study effect, эффект небольшого исследования, ESB – excess significant bias, избыточное смещение значимости, LS – largest study with significant effect, крупнейшее исследование со значимым эффектом.

увеличения; 95% ДИ: 1,014–1,033, класс II). Краткосрочное воздействие повышенной концентрации SO_2 было связано с более высоким риском рецидива шизофрении (RR=1,005 на 1 мкг/м³, 95% ДИ: 1,004–1,006; и RR=1,004 на 1 мкг/м³, 95% ДИ: 1,003–1,005, соответственно через 5 и 7 дней после воздействия; класс II).

Кратковременное воздействие повышенной температуры среды было связано с более высоким риском смертности, связанной с суицидом или психическими расстройствами (RR=1,024 на 1 °C повышения; 95% ДИ: 1,015–1,033, класс II). Оно также было связано с более высоким риском суицидального поведения (RR=1,012 на 1 °C повышения; 95% ДИ: 1,011–1,014, класс II), более высоким риском обращения в стационар в связи с суицидальным поведением или психических расстройств (RR=1,011 на 1 °C повышения; 95% ДИ: 1,008–1,015, класс II) и более высоким риском обращения в стационар только в связи с психическими расстройствами (RR=1,009 на 1 °C повышения; 95% ДИ: 1,006–1,012, класс II).

Кратковременное воздействие повышенной «ощущаемой» температуры («ощущаемая» температура определяется как та, которая воспринимается людьми «по ощущениям»[57]) было связано с более высоким риском суицидального поведения (RR=1,010 на повышение на 1 °C; 95% ДИ: 1,009–1,011, класс II).

Более длительная временная близость воздействия циклона (т. е. меньшее количество месяцев с момента воздействия) была связана с более высокой тяжестью симптомов ПТСР (r=0,275; 95% ДИ: 0,189–0,357, класс II).

Анализ чувствительности и дополнительный анализ

Анализ чувствительности, который включал только продольные исследования, подтвердил все вышеуказанные связи класса I и класса II, за исключением связи между временной близостью воздействия циклона и тяжестью ПТСР, которая была основана только на поперечных исследованиях.

Также доказательств класса II в продольном анализе достигла связь между воздействием твердого топлива (например, биомассы, дров) и более высокой частотой депрессии (OR=1,27; 95% ДИ: 1,16–1,39, ранее класс III) (см. также дополнительную информацию).

На Рисунке 2, согласно приведенным выше данным, показано, насколько аномалия температуры земли в год (т. е. повышение температуры земли по сравнению с доиндустриальным периодом) могла увеличить соответствующие нарушения психического здоровья (например, смертность, связанную с суицидом или психическими расстройствами) до 2022 года и потенциальное увеличение в предстоящие годы. По нашим оценкам, этот рост смертности составляет ~5% в настоящее время и достигнет ~7% (95% ДИ: 4,2–9,7) к 2050 году.

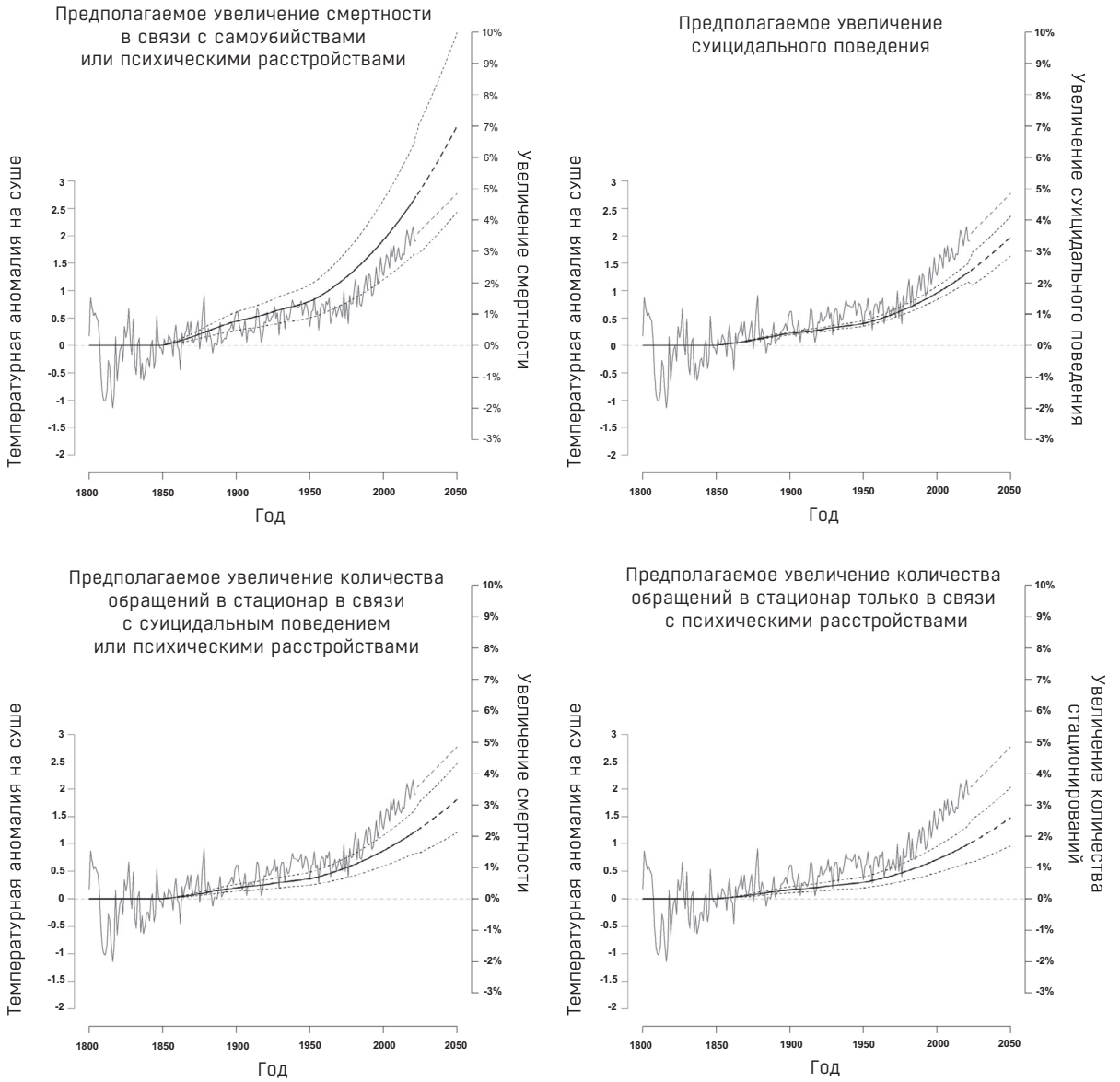


Рисунок 2. Предполагаемое увеличение последствий для психического здоровья, связанное с температурной аномалией (ежегодное повышение температуры земли по сравнению со средним значением доиндустриального периода). Колеблющаяся линия отражает температурную аномалию. Ровная линия представляет относительные риски (RRs), соответствующие температурным аномалиям, согласно RRs из общего обзора. Пунктирные линии представляют доверительные интервалы, полученные из зонтичного обзора исследований до 2022 года и рассчитанные с помощью моделирования методом Монте-Карло на 2023–2050 годы.

Предполагаемые (класс III), слабые (класс IV) и незначимые ассоциации

Среди 237 ассоциаций между воздействием загрязнения воздуха или вредными последствиями изменения климата и последствиями для психического здоровья, включенных в этот зонтичный обзор, 24 (10,1%) достигли вероятного уровня достоверности (класс III); 65 (27,3%) достигли слабого уровня достоверности (класс IV); 136 (57,6%) не были значимыми (см. также дополнительную информацию).

Качество включенных систематических обзоров с метаанализом

Качество всех включенных систематических обзоров с метаанализом было оценено как «низкое» или «критически низкое». В частности, пункт 2 AMSTAR-2 (т. е. наличие протокола) не был удовлетворен 14 обзорами (43,8%); пункт 4 (т. е. всесторонний поиск литературы) – 15 обзорами (46,9%); пункт 7 (т. е. список исследований, исключенных с указанием причин) – 31 обзором (96,9%); пункт 9 (т. е. удовлетворительная оценка риска систематической ошибки) – четыре обзора (12,5%); пункт 13 (т. е. учет риска систематической ошибки при обсуждении результатов) – 15 обзорами (46,9%); и пункт 15 (т. е. изучение и учет публикационной систематической ошибки при обсуждении результатов) – 17 обзоров (53,1%) (см. также дополнительную информацию).

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем обзоре впервые было проведено всестороннее обобщение существующих доказательств влияния загрязнения воздуха и изменения климата на последствия в области психического здоровья и оценена их достоверность. Появились доказательства того, что некоторые из этих воздействий связаны с последствиями для психического здоровья. Более высокие уровни определенных загрязнителей воздуха были связаны с более высоким риском деменции или когнитивных нарушений (класс I), когнитивных расстройств (класс II), послеродовой депрессии (класс II) и рецидива шизофрении (класс II). Повышение температуры было связано с ростом суицидального поведения, смертности, связанной с суицидом или психическими расстройствами; и обращениями в стационар в связи с суици-

дальным поведением или психическими расстройствам, или только в связи с психическими расстройствами (класс II).

Первое преимущество этого зонтичного обзора – обширная база данных (284 отдельных исследования), охватывающая все континенты, включая Глобальный Юг, и, следовательно, дающая глобальную картину. Кроме того, мы включили самый большой набор ассоциаций (n=237), систематически оцененных с использованием доказательных критериев классификации, оценивающих существующие погрешности и систематические ошибки. Чтобы предоставить более строгие доказательства, мы преобразовали все интервалы воздействия в одну единицу, согласно Международной системе единиц (СИ); применили анализ чувствительности, ограниченный продольными исследованиями; и провели дополнительный анализ для прогнозирования будущего воздействия ассоциаций, связанных с повышенной температурой. Передовой метод зонтичного обзора был дополнительно улучшен с помощью пакета *metaumbrella*[27], который облегчает масштабный синтез данных по нескольким базам данных и показателям ассоциаций.

Самым главным выводом этого зонтичного обзора является выявленная убедительная (класс I) ассоциация между более высокими уровнями воздействия растворителей и более высоким риском развития деменции или когнитивных нарушений. Растворители (например, толуол, ацетон, ксилол, гексан, гептан и этилацетат) могут выделять летучие органические соединения в атмосферу, способствуя образованию O_3 на уровне земли и смога[58]. Они также напрямую токсичны для многих частей тела и вызывают различные симптомы и проявления: от раздражения кожи, головных болей и нечеткости зрения до потери сознания и смерти[59]. Наиболее изученным в контексте влияния на центральную нервную систему растворителем является толуол, неблагоприятное воздействие которого проявляется в виде острой энцефалопатии и повреждения белого вещества, многоочаговой демиелинезации и накоплением макрофагов[60,61].

В основном растворители применяются при производстве краски, средств для снятия краски, чернил и реагентов для химической чистки. Они продолжают представлять серьезную опасность для здоровья, особенно в странах с низким и средним уровнем дохода, где трудно найти альтернативы этим материалам для строительных и производственных процессов[62,63]. Из-за их широкого использования ожидается, что выбросы растворителей примерно удвоятся к 2030 году[64], что вызывает тревогу, учитывая их экологический риск[58] и потенциальное влияние на изменение климата[65].

Мы также обнаружили весьма убедительные (класс II) доказательства более высокой частоты когнитивных расстройств при повышенном воздействии CO и NO_X. CO входит в число основных газов, которые удерживают тепло в атмосфере (парниковые газы), делая планету теплее и «утолщая атмосферный покров Земли»[66]. Он в основном вырабатывается в результате деятельности человека (например, сжигание ископаемого топлива, твердых отходов, химических реакций)[66]. NO_x – это газы, которые в основном вырабатываются при сжигании ископаемого топлива. Они являются прекурсорами образования O_3, который оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую среду[67].

CO и NO_x оказывают токсическое воздействие на мозг, как и другие загрязнители воздуха[68,69], вызывая нейровоспаление, нейродегенерацию и повреждение сосудов головного мозга[70]. Эти загрязнители воздуха могут проникать в организм через дыхательные пути[71]. Попав в организм, они могут активировать воспалительную систему и способствовать активации микроглии[72], оксидативному стрессу и повреждению или гибели клеток[73,74]. Таким образом, текущие результаты согласуются с данными, полученными в популяционных когортных исследованиях, указывающих на то, что проживание вблизи крупных дорог связано с более высокой заболеваемостью деменцией[75].

Также стоит отметить, что связь между CO и деменцией не достигла доказательств класса I из-за интервалов прогнозирования, которые пересекли нулевое значение. Пакет metaumbrella, который мы использовали для проведения анализов, оценивает интервалы прогнозирования с помощью t-распределения с k-2 степенями свободы[76]. Этот метод дает более консервативные результаты по сравнению с другими принятыми методами, такими как построение интервалов прогнозирования с использованием нормального распределения, что повысило бы эту связь до доказательств класса I.

Кроме того, мы выявили доказательства (класс II), что частота развития послеродовой депрессии увеличивается при воздействии PM_{10} во втором триместре беременности. PM_{10} может содержать вредные вещества (например, бензопирены, фураны, диоксины и канцерогенные тяжелые металлы), которые могут попадать в дыхательные пути. Эти частицы в основном производятся в ходе деятельности человека (например, при сжигании топлива, отоплении, использовании транспортных средств, сжигании биомассы и промышленной деятельности), и их пагубное воздействие на физическое здоровье (например, дыхательную систему) хорошо известно[77]. Возможно, что их воздействие на психическое здоровье опосредовано повышением уровня гормонов стресса[78].

Действительно, есть некоторые доказательства, что воздействие этих частиц повышает уровень кортизола[79]. Он, как правило, повышается во втором и третьем триместрах беременности[80] (когда наблюдается повышенная секреция кортиколиберина из плаценты) и ассоциирован с риском развития послеродовой депрессии[81]. Таким образом, взаимодействие этих загрязняющих веществ с физиологическим повышением уровня гормонов стресса может объяснять повышенную заболеваемость послеродовой депрессией. Однако для подтверждения этой гипотезы необходимы будущие эмпирические исследования.

Мы также обнаружили доказательства (класс II) более высокого риска рецидива у пациентов с шизофренией вскоре (через 5–7 дней) после воздействия повышенного уровня SO_2. Это токсичный газ, естественным образом выделяющийся при вулканической активности и при производстве серной кислоты. Его также используют в качестве дезинфицирующего средства, хладагента, восстановителя, отбеливателя и пищевого консерванта. Он может модулировать процессы изменения климата[82], а также ассоциирован с повышенной смертностью от всех причин[83], более высоким риском респираторных заболеваний и повышенной вероятностью сердечно-сосудистых катастроф[84], включая острое нарушение мозгового кровообращения[85].

Тем не менее механизм, связывающий кратковременное воздействие SO_2 с физическими последствиями для здоровья, еще не установлен. Хотя это воздействие может способствовать развитию воспаления, потенциально усугубляя или запуская возникновение новых симптомов у лиц с шизофренией, однако убедительных доказательств, связывающих воспалительные маркеры с рецидивом шизофрении, нет, поэтому этот возможный механизм все еще остается на уровне предположения[86]. Хотя природа этой ассоциации требует дальнейших эмпирических исследований, это открытие концептуально подтверждает глубокие социально-экологические аспекты и предпосылки шизофрении, которые ранее были оценены нашей и другими группами[26,87].

В целом, эти открытия согласуются с пагубной ролью загрязнения воздуха как серьезной глобальной экологической и физической проблемы для общественного здоровья, способствующей более чем 8 миллионам смертей в год[88]. По оценкам, почти все население мира (99%) дышит воздухом, уровень загрязнения которого превышает пределы, рекомендованные Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ)[89]. Текущее исследование дополняет эти доказательства, указывая на то, что загрязнение воздуха также оказывает негативное влияние на психическое здоровье во всем мире.

Недавно были запущены инновационные стратегии и инициативы по улучшению качества воздуха, мониторингу загрязняющих веществ и укреплению сотрудничества между странами, такие как Форум для международного сотрудничества в сфере загрязнения воздуха (Forum for International Cooperation on Air Pollution)[90], Рабочая группа по техно-экономическим вопросам Клирингового центра

контрольных технологий (Task Force on Techno-Economic Issues (TFTEI) Clearing House of Control Technologies)[91] и Руководства ВОЗ по качеству воздуха[92]. Будущие обновления этих направлений могли бы учитывать ассоциации, выявленные в этом зонтичном обзоре, в качестве показателей результатов для картирования их глобального воздействия на психическое здоровье.

Вторым основным выводом этого исследования являются весьма вероятные (класс II) доказательства ассоциации между повышением температуры и несколькими последствиями для психического здоровья, такими как смертность, связанная с суицидом или психическими расстройствами, суицидальное поведение; обращение в стационар в связи с суицидальным поведением или психическими расстройствами, или только в связи с психическими расстройствами. Это ключевые реальные показатели высокой клинической значимости, и их ассоциация с повышением температуры может представлять собой тревожное открытие.

В последние годы глобальное потепление стало одной из самых серьезных проблем, особенно для молодых людей[93]. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата, средняя температура поверхности Земли в 2011–2020 годах была на 1,09 °C выше, чем в 1850–1900 годах[94]. Недавние отчеты показали, что 2023 год стал самым жарким годом за всю историю наблюдений, а глобальные температуры приблизились к пределу Парижского соглашения в 1,5 °C[95]. Это открытие вызывает еще большее беспокойство, если учесть, что температура на суше растет быстрее (1,59 °C), чем в океане (0,88 °C), что подчеркивает преимущественное влияние на нее людей[94]. Парниковый эффект, вызванный определенными загрязняющими веществами, является основным фактором повышения температуры и глобального потепления[96]. В этом ключе мы демонстрируем, что глобальное потепление отрицательно влияет на психическое здоровье. Однако, несмотря на огромные масштабы проблемы, биологические механизмы, лежащие в основе этой связи, остаются неизвестными и, вероятно, включают сложные многофакторные взаимодействия[97–99]. Некоторые данные свидетельствуют о том, что воздействие высоких температур может напрямую влиять на функцию мозга, вызывая изменения в надлежащей оксигенации и проницаемости гематоэнцефалического барьера. Другие исследования предполагают изменения в нейромедиаторах[97], а также непосредственное ухудшение настроения при повышении температуры, заставляющее людей чувствовать себя более раздражительными и напряженными, а также усиливающее симптомы психических расстройств[100].

Также существует множество косвенных влияний глобального потепления на психическое здоровье. Например, в 2022 году 84% беженцев и просителей убежища бежали от кризисов, в значительной степени обусловленных климатически, и из стран, уязвимых к климату (например, из-за засух и повышения уровня моря), представляя собой, таким образом, «экологических беженцев»[101]. Краткосрочные прогнозы до 2040 года предполагают, что средняя глобальная температура поверхности увеличится на 0,4–1 °C, а долгосрочные прогнозы предполагают повышение температуры до 4,8 °C при сохранении высокого уровня выбросов[102]. Соответственно, прогнозы Организации Объединенных Наций предсказывают, что ситуация с экологическими беженцами значительно ухудшится в будущем.

Чтобы еще больше подтвердить эти прогнозы и, следовательно, проинформировать будущие глобальные инициативы, которые могли бы решать эти проблемы, мы оценили будущее увеличение смертности, связанной с самоубийствами или психическими расстройствами, ассоциированное с прогнозируемым повышением температуры земли. Мы предположили, что эта повышенная смертность уже составляет ~5% сейчас (по сравнению с доиндустриальным уровнем) и достигнет ~7% к 2050 году.

Этот зонтичный обзор также обнаружил доказательства (класс II) того, что циклоны усиливают тяжесть ПТСР. Циклоны представляют собой большие массы воздуха, вращающиеся вокруг области низкого давления, обычно связанные с сильными ливнями, которые на своем пути могут приводить к огромному ущербу для населения. Фактически они могут нанести как физический, так и психологический ущерб, нарушая повседневную жизнь и вынуждая к эвакуации и перемещению в укрытия[103]. Эти события наряду со значительными экономическими потерями и невзгодами последующего периода могут представлять собой серьезные травматические события, связанные с развитием ПТСР[104]. Однако этот зонтичный обзор требует дальнейших исследований и будущих подтверждений, поскольку имеющиеся доказательства не были подтверждены в анализах чувствительности.

Настоящая работа имеет некоторые ограничения. Во-первых, в рамках методологии зонтичного обзора представленные доказательства были ограничены только теми, что были обнаружены в систематических обзорах с метаанализом, при этом не учитывались ассоциации, не отраженные в метаанализах. Во-вторых, качество включенных систематических обзоров с метаанализом было в целом низким, в основном из-за недостаточного обсуждения и исследования источников гетерогенности или недостаточной прозрачности в представлении исключенных исследований. В-третьих, хотя мы оценили увеличение определенного воздействия и соответствующее увеличение риска для конкретного последствия в области психического здоровья, это не предполагало, что уменьшение того же воздействия автоматически соответствует пропорциональному снижению этого риска. Действительно, наши доказательства не противоречат тому факту, что, например, воздействие экстремального холода может также ухудшать результаты психического здоровья, как описано в странах Северной Европы[105].

В-четвертых, хотя мы проанализировали конкретные ассоциации, рассматриваемые воздействия не являются независимыми в реальном мире и, как правило, происходят одновременно. Поэтому наши результаты не могут предоставить информацию о взаимодействии и взаимозависимости между различными воздействиями. В-пятых, некоторые ассоциации могут быть ложными или опосредоваться внешними факторами, не включенными в анализ, такими как возраст, пол или социально-экономическое распределение рассматриваемого населения. Наконец, ассоциация не означает причинно-следственную связь. Будущие исследования позволят лучше изучить ассоциации, для которых мы не нашли никаких доказательств или выявили только слабые, исследовать нелинейные связи и одновременно изучить несколько воздействий окружающей среды.

В заключение, проведенный зонтичный обзор подтверждает, что загрязнение воздуха и изменение климата являются частью главного глобального кризиса нашего времени. Исследование расширяет обширный список неблагоприятных последствий воздействия загрязнения воздуха и опасностей изменения климата на физическое здоровье, указывая, что они также представляют угрозу для глобального психического здоровья. Мы впервые количественно оценили негативное влияние, которое эти факторы могут оказывать на психическое здоровье во всем мире, обобщив доказательные ассоциации, которые могут быть использованы для будущих исследований и действий в области здравоохранения населения. Примечательно, что, хотя величина большинства рассмотренных выше ассоциаций класса I или II невелика, они распространяются на все население мира и, следовательно, могут оказать существенное влияние.

Наши результаты могут быть использованы для разработки образовательных и общественных кампаний по повышению осведомленности о влиянии загрязнения воздуха и вредных последствий изменения климата на психическое здоровье, а также для обеспечения участия общественности в программах и доступа к информации по этому вопросу. Поскольку мы живем во время, которое многие авторы называют «антропоценом» (т. е. геологической эпохой, датируемой началом значительного воздействия человека на экосистемы Земли, включая антропогенное загрязнение воздуха и изменение климата[106]), образование имеет важное значение для поощрения людей к изменению своих взглядов и поведения и принятию обоснованных решений. Повы-

шение грамотности в отношении воздействия загрязнения воздуха и изменения климата на психическое здоровье может расширить возможности всех людей в целом, а также, в частности, дополнительно мотивировать молодежь к действию[107]. Знание имеющихся доказательств и связанных с ними действий может также смягчить возникающие в настоящее время патологические страхи (например, *экотревожность, соластальгия* или *экологическое горе*)[10–12].

Полученные результаты также могут быть непосредственно использованы регулирующими органами и учреждениями для более эффективного учета психического здоровья в качестве ключевого показателя при разработке и внедрении соответствующих нормативно-правовых мер. Хотя психическому здоровью в последнее время уделяется больше внимания в контексте экологической политики, этого все еще недостаточно. Например, такие инициативы, как Обратный отсчет Lancet по здоровью и изменению климата (Lancet Countdown on Health and Climate Change), направленные на поддержание обновляемой системы мониторинга изменения климата и здоровья человека, признают, что их система в настоящее время ограничена, когда речь идет о влиянии изменения климата на психическое здоровье[108]. Аналогичным образом, в аналитической записке ВОЗ по психическому здоровью и изменению климата 2022 года[2] признается, что страны недостаточно учитывают вопросы психического здоровья в своих ответных мерах на чрезвычайную климатическую ситуацию. В другом докладе, подготовленном ВОЗ в преддверии Конференции по изменению климата 2023 года, подчеркивается, что вопросы психического здоровья по-прежнему в значительной степени отсутствуют в обязательствах стран по выполнению Парижского соглашения[109]. Мы надеемся, что наши результаты могут стать отправной точкой для разработки следующего поколения мер и исследований в области изменения климата.

Поскольку срочность действий по борьбе с загрязнением воздуха и изменением климата возрастает, изучение конкретных факторов, модулирующих ассоциации, описанные в этом обзоре, становится критически важным. Будущие исследования должны способствовать более тесному междисциплинарному взаимодействию исследований окружающей среды и клинической психиатрии. Ключевая область будущих исследований может включать изучение потенциальных преимуществ профилактических подходов, нацеленных на воздействие окружающей среды, для совместного улучшения результатов физического и психического здоровья. Этот обзор предоставляет первоначальный набор доказательных целевых показателей, которые могут быть эмпирически изучены в будущих интервенционных исследованиях.

В целом, выявленные доказательные ассоциации подчеркивают необходимость совместных междисциплинарных усилий по разработке и внедрению стратегий, которые выявляют и смягчают последствия загрязнения воздуха и изменения климата, а также проактивно защищают психическое здоровье во всем мире. Этот обзор призывает к срочным мерам реагирования на уровне населения, предлагая организаторам, специалистам в области здравоохранения и общественности расставить приоритеты и инвестировать в инициативы, которые решают проблему пересечения загрязнения воздуха и изменения климата с психическим здоровьем, чтобы создать условия для более устойчивого будущего.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке NextGenerationEU (NGEU) и профинансирована Italian Ministry of University and Research, National Recovery and Resilience Plan, проектом MNESYS (PE0000006). J. Radua поддерживается Spanish Ministry of Science and Innovation (PI22/00261), the AXA Research Fund, EIT Health, и the CERCA Program. Работа G. Fico поддерживается стипендией "La Caixa" Foundation. E. Vieta поддерживается Spanish Ministry of Science and Innovation (PI21/00787); the Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament d'Economia i Coneixement (2021-SGR-01358); the CERCA Programme, Generalitat de Catalunya; La Marató-TV3 Foundation; и European Union Horizon 2020 Research and Innovation Program (H2020-EU.3.1.1 and H2020-EU.3.1.3). J. Radua и M. De Prisco внесли равный вклад в данную работу. Дополнительная информация об этом исследовании доступна по адресу: https://imardgroup.com/air_pollution_and_climate_change.

Перевод: Арбенина Анастасия Алексеевна, г. Москва
Редактура: Кибитов Андрей Александрович, г. Москва

Библиография

1. Campbell-Lendrum D, Neville T, Schweizer C et al. Climate change and health: three grand challenges. Nat Med 2023;29:1631-8.
2. World Health Organization. Mental health and climate change: policy brief. Geneva: World Health Organization, 2022.
3. Abbasi K, Ali P, Barbour V et al. Time to treat the climate and nature crisis as one indivisible global health emergency. BMC Public Health 2023;1:29.
4. Massazza A, Teyton A, Charlson F et al. Quantitative methods for climate change and mental health research: current trends and future directions. Lancet Planet Health 2022;6:e613-27.
5. Fu P, Yung KKL. Air pollution and Alzheimer's disease: a systematic review and meta-analysis. J Alzheimer's Dis 2020;77:701-14.
6. Frangione B, Villamizar LAR, Lang JJ et al. Short-term changes in meteorologicalconditions and suicide: a systematic review and meta-analysis. Environ Res 2022;207:112230.
7. Patz JA, Frumkin H, Holloway T et al. Climate change: challenges and opportunities for global health. JAMA 2014;312:1565-80.
8. Berry HL, Bowen K, Kjellstrom T. Climate change and mental health: a causal pathways framework. Int J Public Health 2010;55:123-32.
9. Crandon TJ, Dey C, Scott JG et al. The clinical implications of climate change for mental health. Nat Hum Behav 2022;6:1474-81.
10. Albrecht G. 'Solastalgia'. A new concept in health and identity. PAN: Philosophy Activism Nature 2005;3:41-55.
11. Cunsolo A, Harper SL, Minor K et al. Ecological grief and anxiety: the start of a healthy response to climate change? Lancet Planet Health 2020;4:e261-3.
12. Albrecht G. Chronic environmental change: emerging 'psychoterratic' syndromes. In: Weissbecker I (ed). Climate change and human well-being: global challenges and opportunities. Berlin: Springer, 2011:43-56.
13. Borroni E, Pesatori AC, Bollati V et al. Air pollution exposure and depression: a comprehensive updated systematic review and meta-analysis. Environ Pollut 2022;292:118245.
14. Pelgrims I, Devleesschauwer B, Guyot M et al. Association between urban environment and mental health in Brussels, Belgium. BMC Public Health 2021; 21:1-18.
15. Zijlena WL, Wolf K, Emeny R et al. The association of air pollution and depressed mood in 70,928 individuals from four European cohorts. Int J Hyg Environ Health 2016;219:212-9.
16. Luan G, Yin P, Wang L et al. Associations between ambient high temperatures and suicide mortality: a multi-city time-series study in China. Environ Sci Pollut Res 2019;26:20377-85.
17. Fernández-Niño JA, Flórez-García VA, Astudillo-García CI et al. Weather and suicide: a decade analysis in the five largest capital cities of Colombia. Int J Environ Res Public Health 2018;15:1313.
18. Fan S-J, Heinrich J, Bloom MS et al. Ambient air pollution and depression: a systematic review with meta-analysis up to 2019. Sci Total Environ 2020;701:134721.
19. De Prisco M, Vieta E. The never-ending problem: sample size matters. Eur Neuropsychopharmacol 2023;79:17-8.
20. Page MJ, Moher D, Bossuyt PM et al. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. BMJ 2021;372:n160.
21. Shea BJ, Reeves BC, Wells G et al. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. BMJ 2017;358: j4008.
22. Bureau International des Poids et Mesures. The International System of Units (SI): base units. www.bipm.org.
23. Dragioti E, Radua J, Solmi M et al. Impact of mental disorders on clinical outcomes of physical diseases: an umbrella review assessing population attributable fraction and generalized impact fraction. World Psychiatry 2023;22:86-104.
24. Ioannidis JP. Integration of evidence from multiple meta-analyses: a primer on umbrella reviews, treatment networks and multiple treatments meta-analyses. CMAJ 2009;181:488-93.

25. Machado MO, Veronese N, Sanches M et al. The association of depression and all-cause and cause-specific mortality: an umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. BMC Med 2018;16:1-13.
26. Radua J, Ramella-Cravaro V, Ioannidis JP et al. What causes psychosis? An umbrella review of risk and protective factors. World Psychiatry 2018;17:49-66.
27. Gosling CJ, Solanes A, Fusar-Poli P et al. metaumbrella: the first comprehensive suite to perform data analysis in umbrella reviews with stratification of the evidence. BMJ Ment Health 2023;26:e300534.
28. Abolhasani E, Hachinski V, Ghazaleh N et al. Air pollution and incidence of dementia: a systematic review and meta-analysis. Neurology 2023;100:e242-54.
29. Beaglehole B, Mulder RT, Frampton CM et al. Psychological distress and psychiatric disorder after natural disasters: systematic review and meta-analysis. Br J Psychiatry 2018;213:716-22.
30. Bonde JP, Utzon-Frank N, Bertelsen M et al. Risk of depressive disorder following disasters and military deployment: systematic review with meta-analysis. Br J Psychiatry 2016;208:330-6.
31. Braithwaite I, Zhang S, Kirkbride JB et al. Air pollution (particulate matter) exposure and associations with depression, anxiety, bipolar, psychosis and suicide risk: a systematic review and meta-analysis. Environ Health Perspect 2019;127:126002.
32. Chan CS, Rhodes JE. Measuring exposure in Hurricane Katrina: a metaanalysis and an integrative data analysis. PLoS One 2014;9:e92899.
33. Cheng S, Jin Y, Dou Y et al. Long-term particulate matter 2.5 exposure and dementia: a systematic review and meta-analysis. Public Health 2022;212:33-41.
34. Chun H, Leung C, Wen SW et al. Maternal exposure to air pollution and risk of autism in children: a systematic review and meta-analysis. Environ Pollut 2020;256:113307.
35. Bernardina Dalla MD, Ayala CO, Castro FCAQ et al. Environmental pollution and attention deficit hyperactivity disorder: a meta-analysis of cohort studies. Environ Pollut 2022;315:120351.
36. Davoudi M, Barjasteh-Askari F, Amini H et al. Association of suicide with shortterm exposure to air pollution at different lag times: a systematic review and meta-analysis. Sci Total Environ 2021;771:144882.
37. Dhiman V, Trushna T, Raj D et al. Is air pollution associated with increased risk of dementia? A meta-analysis of epidemiological research. Neurol India 2022;70:1004.
38. Dutheil F, Comptour A, Morlon R et al. Autism spectrum disorder and air pollution: a systematic review and meta-analysis. Environ Pollut 2021;278:116856.
39. Flores-Pajot M-C, Ofner M, Do MT et al. Childhood autism spectrum disorders and exposure to nitrogen dioxide, and particulate matter air pollution: a review and meta-analysis. Environ Res 2016;151:763-76.
40. Fu P, Guo X, Cheung FMH et al. The association between PM2.5 exposure and neurological disorders: a systematic review and meta-analysis. Sci Total Environ 2019;655:1240-48.
41. Gong Y, Zhang X, Zhao X et al. Global ambient particulate matter pollution and neurodegenerative disorders: a systematic review of literature and metaanalysis. Environ Sci Pollut Res 2023;30:39418-30.
42. Heo S, Lee W, Bell ML. Suicide and associations with air pollution and ambient temperature: a systematic review and meta-analysis. Int J Environ Res Public Health 2021;18:7699.
43. Li D, Zhang Y, Li X et al. Climatic and meteorological exposure and mental and behavioral health: a systematic review and meta-analysis. Sci Total Environ 2023;892:164435.
44. Li N, Song Q, Su W et al. Exposure to indoor air pollution from solid fuel and its effect on depression: a systematic review and meta-analysis. Environ Sci Pollut Res 2022;29:49553-67.
45. Lin L-Z, Zhan X-L, Jin C-Y et al. The epidemiological evidence linking exposure to ambient particulate matter with neurodevelopmental disorders: a systematic review and meta-analysis. Environ Res 2022;209:112876.
46. Liu H, Ding L, Qu G et al. Particulate matter exposure during pregnancy and infancy and risks of autism spectrum disorder in children: a systematic review and meta-analysis. Sci Total Environ 2023;855:158830.
47. Liu J, Varghese BM, Hansen A et al. Is there an association between hot weather and poor mental health outcomes? A systematic review and meta-analysis. Environ Int 2021;153:106533.
48. Pourhoseini SA, Akbary A, Mahmoudi H et al. Association between prenatal period exposure to ambient air pollutants and development of postpartum depression: a systematic review and meta-analysis. Int J Environ Health Res 2024;34:455-65.
49. Song R, Liu L, Wei N et al. Short-term exposure to air pollution is an emerging but neglected risk factor for schizophrenia: a systematic review and metaanalysis. Sci Total Environ 2023;854:158823.
50. Tang J, Chen A, He F et al. Association of air pollution with dementia: a systematic review with meta-analysis including new cohort data from China. Environ Res 2022;223:115048.
51. Trushna T, Dhiman V, Raj D et al. Effects of ambient air pollution on psychological stress and anxiety disorder: a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. Rev Environ Health 2021;36:501-21.
52. Wilker EH, Osman M, Weisskopf MG. Ambient air pollution and clinical dementia: systematic review and meta-analysis. BMJ 2023;381:e071620.
53. Yu X, Zheng L, Jiang W et al. Exposure to air pollution and cognitive impairment risk: a meta-analysis of longitudinal cohort studies with dose-response analysis. J Glob Health 2020;10:010417.
54. Zeng Y, Lin R, Liu L et al. Ambient air pollution exposure and risk of depression: a systematic review and meta-analysis of observational studies. Psychiatry Res 2019;276:69-78.
55. Zhang M, Wang C, Zhang X et al. Association between exposure to air pollutants and attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD) in children: a systematic review and meta-analysis. Int J Environ Health Res 2022;32:207-19.
56. Zhao Y-L, Qu Y, Ou Y-N et al. Environmental factors and risks of cognitive impairment and dementia: a systematic review and meta-analysis. Ageing Res Rev 2021;72:101504.
57. National Weather Service. What is the heat index? www.weather.gov.
58. Lewis AC, Hopkins JR, Carslaw DC et al. An increasing role for solvent emissions and implications for future measurements of volatile organic compounds. Philos Trans R Soc A 2020;378:20190328.
59. Joshi DR, Adhikari N. An overview on common organic solvents and their toxicity. J Pharm Res Int 2019;28:1-18.
60. Al-Hajri Z, Del Bigio MR. Brain damage in a large cohort of solvent abusers. Acta Neuropathol 2010;119:435-45.
61. Filley CM, Halliday W, Kleinschmidt-DeMasters B. The effects of toluene on the central nervous system. J Neuropathol Exp Neurol 2004;63:1-12.
62. Dodson RE, Udesky JO, Colton MD et al. Chemical exposures in recently renovated low-income housing: influence of building materials and occupant activities. Environ Int 2017;109:114-27.
63. Roose B, Tennyson EM, Meheretu G et al. Local manufacturing of perovskite solar cells, a game-changer for low-and lower-middle income countries? Energy Environ Sci 2022;15:3571-82.
64. US Environmental Protection Agency. Global mitigation of non-CO2 greenhouse gases: solvents. www.epa.gov.
65. Jimenez-Gonzalez C. Life cycle considerations of solvents. Curr Opin Green Sustain Chemistry 2019;18:66-71.
66. US Environmental Protection Agency. Overview of greenhouse gases. www.epa.gov.
67. UK Department for Environment Food & Rural Affairs. National statistics. Nitrogen dioxide (NO2). www.gov.uk.
68. Lo C-P, Chen S-Y, Lee K-W et al. Brain injury after acute carbon monoxide poisoning: early and late complications. Am J Roentgenol 2007;189:205-11.
69. Ridgway P, Nixon T, Leach J-P. Occupational exposure to organic solvents and long-term nervous system damage detectable by brain imaging, neurophysiology or histopathology. Food Chem Toxicol 2003;41:153-87.
70. Block ML, Calderón-Garcidueñas L. Air pollution: mechanisms of neuroinflammation and CNS disease. Trends Neurosci 2009;32:506-16.
71. Jankowska-Kieltyka M, Roman A, Nalepa I. The air we breathe: air pollution as a prevalent proinflammatory stimulus contributing to neurodegeneration. Front Cell Neurosci 2021;15:647643.
72. Gómez-Budia M, Konttinen H, Saveleva L et al. Glial smog: interplay between air pollution and astrocyte-microglia interactions. Neurochem Int 2020;136:104715.
73. Levy RJ. Carbon monoxide pollution and neurodevelopment: a public health concern. Neurotoxicol Teratol 2005;49:31-40.

74. Li H, Xin X. Nitrogen dioxide (NO2) pollution as a potential risk factor for developing vascular dementia and its synaptic mechanisms. Chemosphere 2013;92:52-8.
75. Chen H, Kwong JC, Copes R et al. Living near major roads and the incidence of dementia, Parkinson's disease, and multiple sclerosis: a population-based cohort study. Lancet 2017;389:718-26.
76. Riley RD, Higgins JP, Deeks JJ. Interpretation of random effects meta-analyses. BMJ 2011;342:d549.
77. Dominski FH, Branco JHL, Buonanno G et al. Effects of air pollution on health: a mapping review of systematic reviews and meta-analyses. Environ Res 2021;201:111487.
78. Payne JL, Maguire J. Pathophysiological mechanisms implicated in postpartum depression. Front Neuroendocrinol 2019;52:165-80.
79. Khamirchi R, Moslem A, Agah J et al. Maternal exposure to air pollution during pregnancy and cortisol level in cord blood. Sci Total Environ 2020;713:136622.
80. Duthie L, Reynolds RM. Changes in the maternal hypothalamic-pituitaryadrenal axis in pregnancy and postpartum: influences on maternal and fetal outcomes. Neuroendocrinology 2013;98:106-15.
81. Yim IS, Glynn LM, Schetter CD et al. Risk of postpartum depressive symptoms with elevated corticotropin-releasing hormone in human pregnancy. Arch Gen Psychiatry 2009;66:162-69.
82. Ward PL. Sulfur dioxide initiates global climate change in four ways. Thin Solid Films 2009;517:3188-203.
83. Orellano P, Reynoso J, Quaranta N. Short-term exposure to sulphur dioxide (SO2) and all-cause and respiratory mortality: a systematic review and metaanalysis. Environ Int 2021;150:106434.
84. Mustafic´ H, Jabre P, Caussin C et al. Main air pollutants and myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis. JAMA 2012;307:713-21.
85. Shen S, Li X, Yuan C et al. Association of short-term exposure to sulfur dioxide and hospitalization for ischemic and hemorrhagic stroke in Guangzhou, China. BMC Public Health 2020;20:1-7.
86. Miller BJ, Lemos H, Schooler NR et al. Longitudinal study of inflammation and relapse in schizophrenia. Schizophr Res 2023;252:88-95.
87. Arango C, Dragioti E, Solmi M et al. Risk and protective factors for mental disorders beyond genetics: an evidence-based atlas. World Psychiatry 2021;20:417-36.
88. Lelieveld J, Haines A, Burnett R et al. Air pollution deaths attributable to fossil fuels: observational and modelling study. BMJ 2023;383:e077784.
89. World Health Organization. Air pollution. Geneva: World Health Organization, 2022.
90. Swedish Environmental Protection Agency. Forum for International Cooperation on Air Pollution. www.naturvardsverket.se.
91. Task Force on Techno-Economic Issues. TFTEI Clearing House of Control Technologies. www.tftei.citepa.org.
92. World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization, 2021.
93. Marlon J, Rosenthal S, Goldberg M et al. Younger Americans are growing more worried about global warming. New Haven: Yale Program on Climate Change Communication, 2022.
94. Gulev SK, Thorne PW, Ahn J et al. Changing state of the climate system. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A et al. (eds). Climate change 2021: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2021:287-422.
95. Copernicus Climate Change Service. 2023 is the hottest year on record, with global temperature close to the 1.5 °C limit. https://climate.copernicus.eu.
96. D'Amato G, Akdis C. Global warming, climate change, air pollution and allergies. Allergy 2020;75:2158-60.
97. Lõhmus M. Possible biological mechanisms linking mental health and heat – a contemplative review. Int J Environ Res Public Health 2018;15:1515.
98. Minor K, Bjerre-Nielsen A, Jonasdottir SS et al. Rising temperatures erode human sleep globally. One Earth 2022;5:534-49.
99. Bundo M, Preisig M, Merikangas K et al. How ambient temperature affects mood: an ecological momentary assessment study in Switzerland. Environ Health 2023;22:52.
100. Massazza A. Explained: How climate change affects mental health. https://wellcome.org.
101. United Nations High Commissioner for Refugees. Climate change and disaster displacement. www.unhcr.org.
102. Lee J-Y, Marotzke J, Bala G et al. Future global climate: scenario-based projections and near-term information. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A et al (eds). Climate change 2021: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2021:553-672.
103. Espinel Z, Kossin JP, Galea S et al. Forecast: Increasing mental health consequences from Atlantic hurricanes throughout the 21st century. Psychiatr Serv 2019;70:1165-67.
104. Galea S, Brewin CR, Gruber M et al. Exposure to hurricane-related stressors and mental illness after Hurricane Katrina. Arch Gen Psychiatry 2007;64:1427-34.
105. Ruuhela R, Hiltunen L, Venäläinen A et al. Climate impact on suicide rates in Finland from 1971 to 2003. Int J Biometeorol 2009;53:167-75.
106. Pavid K. What is the Anthropocene and why does it matter? www.nhm.ac.uk.
107. United Nations Climate Actions. Education is key to addressing climate change. www.un.org.
108. Romanello M, di Napoli C, Green C et al. The 2023 report of the Lancet Countdown on health and climate change: the imperative for a health-centred response in a world facing irreversible harms. Lancet 2023;402:2346-94.
109. World Health Organization. 2023 WHO review of health in Nationally Determined Contributions and long-term strategies: health at the heart of the Paris Agreement. Geneva: World Health Organization, 2023.

DOI:10.1002/wps.21219