



**Восьмая Конференция министров
«Окружающая среда для Европы»**

**Батуми, Грузия
8–10 июня 2016 года**

**Отопление жилищ древесиной и углем:
Влияние на здоровье и варианты политики в Европе и
Северной Америке**



Всемирная организация
здравоохранения
Европейское региональное бюро



ЕВРОПЕЙСКИЙ ПРОЦЕСС
«ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА И
ЗДОРОВЬЕ»

Отопление жилищ древесиной и углем

*Влияние на здоровье и варианты
политики в Европе и Северной
Америке*



Реферат

Отопление жилых помещений с использованием древесины и угля является важным источником загрязнения наружного (атмосферного) воздуха; оно также может быть причиной загрязнения воздуха внутри помещений либо путем прямого воздействия, либо при проникновении загрязнителей извне (инфильтрация). Фактические данные указывают на то, что с выбросами, образующимися при сжигании древесины и угля, связаны такие серьезные исходы в отношении здоровья, как респираторные и сердечно-сосудистые заболевания и смертность от них. Кроме того, при горении древесины и угля выделяются канцерогенные вещества. Представленные в докладе результаты исследований показывают, что во многих регионах мира будет трудно решать проблемы загрязнения наружного воздуха, игнорируя этот источник. Необходимо, чтобы национальные, региональные и местные власти, политики, а также общество в целом лучше понимали, что во всем мире обогрев жилищ с помощью биомассы является основным источником образования вредных для здоровья загрязнителей атмосферного воздуха (особенно тонкодисперсных частиц).

Ключевые слова

AIR POLLUTION

BIOMASS

HEALTH POLICY

HEATING

INDOOR AIR QUALITY

Запросы относительно публикаций Европейского регионального бюро ВОЗ следует направлять по адресу:

Publications

WHO Regional Office for Europe

UN City

Marmorvej 51

DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark

Кроме того, запросы на документацию, информацию по вопросам здравоохранения или разрешение на цитирование или перевод документов ВОЗ можно заполнить в онлайн-режиме на сайте Регионального бюро (<http://www.euro.who.int/pubrequest?language=Russian>).

ISBN 978 92 890 50852

© Всемирная организация здравоохранения, 2015 г.

Все права защищены. Европейское региональное бюро Всемирной организации здравоохранения охотно удовлетворяет запросы о разрешении на перепечатку или перевод своих публикаций частично или полностью.

Обозначения, используемые в настоящей публикации, и приводимые в ней материалы не отражают какого бы то ни было мнения Всемирной организации здравоохранения относительно правового статуса той или иной страны, территории, города или района или их органов власти или относительно делимитации их границ. Пунктирные линии на географических картах обозначают приблизительные границы, относительно которых полное согласие может быть еще не достигнуто.

Упоминание тех или иных компаний или продуктов отдельных изготовителей не означает, что Всемирная организация здравоохранения поддерживает или рекомендует их, отдавая им предпочтение по сравнению с другими компаниями или продуктами аналогичного характера, не упомянутыми в тексте. За исключением случаев, когда имеют место ошибки и пропуски, названия патентованных продуктов выделяются начальными прописными буквами.

Всемирная организация здравоохранения приняла все разумные меры предосторожности для проверки информации, содержащейся в настоящей публикации. Тем не менее, опубликованные материалы распространяются без какой-либо явной выраженной или подразумеваемой гарантии. Ответственность за интерпретацию и использование материалов ложится на пользователей. Всемирная организация здравоохранения ни при каких обстоятельствах не несет ответственности за ущерб, связанный с использованием этих материалов. Мнения, выраженные в данной публикации авторами, редакторами или группами экспертов, необязательно отражают решения или официальную политику Всемирной организации здравоохранения.

Оформление: Christophe Lanoux, Париж, Франция

Макет: Edb&Rdb di Daniela Berretta, Рим, Италия

Авторские права на фото: обложка и стр. 1 - Shutterstock/Tudor Spinu, стр. 3 - Shutterstock/Buslik, стр. 7 - Shutterstock/Goodluz, стр. 14 и 25 - Fotolia/Giorgio Clementi, стр. 19 - Shutterstock/Thomas Oswald, стр. 22 - Roberto del Balzo, стр. 31 - Shutterstock/Tudor Spinu, стр. 34 - Shutterstock/Tchara

<i>Авторы</i>	v
<i>Благодарности</i>	vi
<i>Сокращения и определения</i>	vii
<i>Резюме</i>	viii
1. Введение и контекст	1
2. Использование твердых видов топлива для обогрева жилищ как основной источник загрязнения воздуха	7
3. Последствия для здоровья в результате воздействия выбросов, образующихся при отоплении твердым топливом	15
4. Бремя болезней, обусловленных загрязнением атмосферного воздуха из-за отопления жилищ древесиной и углем	19
5. Мероприятия, позволяющие уменьшить выбросы, повысить качество наружного воздуха и воздуха внутри помещений и улучшить здоровье людей	22
6. Нормативно-правовые и добровольные меры, позволяющие сократить выбросы от дровяного отопления в развитых странах	27
7. Необходимые направления политики в отношении использования биомассы для отопления и производства энергии в будущем	32
8. Сопутствующие выгоды в отношении здоровья и климата, полученные в результате сокращения выбросов при обогреве жилищ	34
9. Выводы	36
10. Библиография	37
Приложение 1. Вклад от сжигания древесины в домашних хозяйствах в концентрацию РМ в атмосферном воздухе	44

Список вставок

Вставка 1. Новое руководство ВОЗ по качеству воздуха в помещениях	2
Вставка 2. Использование угля для обогрева жилищ	8
Вставка 3. Использование твердых видов топлива для приготовления пищи в жилых помещениях	9
Вставка 4. Вдыхаемая фракция	10
Вставка 5. Компоненты, входящие в состав загрязнителей, образующихся при сжигании биомассы и угля в жилищах	13
Вставка 6. DALY	20
Вставка 7. Пеллетные печи	29

Список рисунков

Рисунок 1. Бытовое потребление древесины в Финляндии, 1970–2012 гг., по данным национальной энергетической статистики	5
Рисунок 2. Выбросы $PM_{2,5}$ из бытовых источников, ЕС-28, 1990–2030 гг.	12
Рисунок 3. Базовый уровень выбросов CO из основных, широко распространенных источников, ЕС-28, 1990–2030 гг.	12

Список таблиц

Таблица 1. Примеры государственных дотаций и субсидий, предоставляемых для отопления жилищ древесиной	4
Таблица 2. Центр внимания доклада	6
Таблица 3. Вклад отопления жилищ в уровень $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе и в бремя болезней, выбранные регионы, 1990 и 2010 гг.	19

Zoë Chafe, Калифорнийский университет, Беркли, Соединенные Штаты Америки

Michael Brauer, Университет Британской Колумбии, Ванкувер, Канада

Marie-Eve Héroux, Европейское региональное бюро ВОЗ, Бонн, Германия

Zbigniew Klimont, Международный институт прикладного системного анализа (МИПСА), Лаксенбург, Австрия

Timo Lanki, Национальный институт здравоохранения и социального обеспечения, Куопио, Финляндия

Raimo O. Salonen, Национальный институт здравоохранения и социального обеспечения, Куопио, Финляндия

Kirk R. Smith, Калифорнийский университет, Беркли, Соединенные Штаты Америки





Эта публикация подготовлена Объединенной целевой группой ВОЗ и Конвенции по аспектам воздействия загрязнения воздуха на здоровье человека в соответствии с Меморандумом о взаимопонимании между Европейской экономической комиссией Организации Объединенных Наций и Европейским региональным бюро ВОЗ. Региональное бюро выражает благодарность Федеральному ведомству по охране окружа-

ющей среды Швейцарии и Министерству здравоохранения и социального обеспечения Франции за предоставленную финансовую поддержку работы Целевой группы. Деятельность Целевой группы координируется Европейским центром ВОЗ по окружающей среде и охране здоровья (Бонн, Германия), входящим в структуру Европейского регионального бюро ВОЗ.



БТЕ	британская тепловая единица	DALY	показатель бремени болезни, соответствующий числу утраченных лет здоровой жизни
ГББ	Глобальное бремя болезней (исследование)	EC JRC	Объединенный исследовательский центр Европейской комиссии
ДИ	доверительный интервал	EPA	Агентство по охране окружающей среды США
ЕС	Европейский союз	GAINS	Синергии и взаимодействия парниковых газов и загрязнения воздуха (модель)
ЛОС	летучие органические соединения	HEPA	высокоэффективные фильтры очистки воздуха
МИПСА	Международный институт прикладного и системного анализа	NO ₂	диоксид азота
ОУ	органический углерод	NO _x	оксиды азота
ПАУ	полициклический ароматический углеводород	NSPS	нормы выбросов для новых источников загрязнения
СНГ	сжиженный нефтяной газ	PM	взвешенные твердые частицы
СУ	сажистый (черный) углерод	PM _{2,5}	взвешенные твердые частицы с аэродинамическим диаметром менее 2,5 мкм
ХОБЛ	хроническая обструктивная болезнь легких	PM ₁₀	взвешенные твердые частицы с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм
ЭУ	элементарный углерод	SO ₂	диоксид серы
ССМЕ	Канадский совет министров по охране окружающей среды		
CH ₄	метан		
CO	монооксид углерода		
CO ₂	диоксид углерода		
CSA	Канадская ассоциация стандартов		
биомасса:	биоразлагаемые продукты, отходы и остатки сельского, лесного и рыбного хозяйства и связанных с ними отраслей промышленности, а также биоразлагаемая часть промышленных и бытовых отходов		
ископаемое топливо:	топливо с высоким содержанием углерода, кроме биомассы, в том числе антрацит, бурый уголь, кокс, каменный уголь и торф		
жидкостный нагреватель:	дровяной котел, часто располагающийся вне здания (например, в сарае), генерирующий тепло, которое затем поступает в здание и служит источником отопления		
твердое топливо:	топливо, которое имеет твердую консистенцию при обычной комнатной температуре, в том числе биомасса и уголь		
котел на твердом топливе:	устройство с генератором (или генераторами) тепла, работающем на твердом топливе, из которого тепло поступает в систему центрального отопления на водяной основе, с потерей тепла в окружающую среду менее 6% от номинального тепловыделения		
прибор для местного обогрева помещения, работающий на твердом топливе:	устройство с открытой топкой или с закрытой камерой сгорания для обогрева помещения или кухонная плита, работающие на твердом топливе, для генерации тепла путем прямой теплопередачи (с передачей тепла жидкости или без этого)		
древесная биомасса:	биомасса, получаемая из деревьев и кустарников, включая бревна, щепу, прессованную древесину в виде гранул или брикетов и древесных опилок		

¹ Все определения взяты непосредственно или адаптированы из проекта Директивы Европейской комиссии по требованиям экодизайна для котлов на твердом топливе (доступно на англ. языке; <http://ec.europa.eu/transparency/regcomitology/index.cfm?do=Search.getPDF&7YrbbCuiY/4ycAKX8F1akuCXCTkEMvjCa-XWhWTT3prm5SVAw47eF02NzJLXFBE77kGvLzo2Pu5uyjPyPE0HGhn1Yyu8a5hceFqN5ixnqYl=>, accessed 4 February 2015)

Примерно 3 млрд людей во всем мире, в том числе в странах Европы и Северной Америки, продолжают использовать древесину, уголь и другие виды твердого топлива для приготовления пищи и обогрева жилищ (по крайней мере, часть года). Отопление жилых помещений с использованием древесины и угля является важным источником загрязнения наружного (атмосферного) воздуха; оно также может быть причиной загрязнения воздуха внутри помещений либо путем прямого воздействия, либо при проникновении загрязнителей извне. Специфический масштаб проблемы широко варьирует в зависимости от географии, распространения использования твердых видов топлива и применяемых технологий.

Из всех регионов Европы и Северной Америки Центральная Европа вносит самый значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха взвешенными твердыми частицами с аэродинамическим диаметром менее 2,5 мкм (PM_{2,5}) за счет использования твердых видов топлива для обогрева жилищ (21% в 2010 г.). Фактические данные указывают на то, что с выбросами, образующимися при сжигании древесины и угля, связаны такие серьезные исходы в отношении здоровья, как респираторные и сердечно-сосудистые заболевания и смертность от них. Кроме того, при горении древесины и угля выделяются канцерогенные вещества. Ежегодно в Европе 61 000 случаев преждевременной смерти вызваны загрязнением атмосферного воздуха в результате отопления жилищ древесиной и углем, и к ним добавляются около 10 000 подобных случаев в Соединенных Штатах Америки.

В большинстве мест доступны меры, позволяющие снизить выбросы от сжигания твердого топлива, используемого для обогрева жилищ. Поощрение перехода на другие виды топлива (с угля и других видов твердого топлива) и использования более эффективного отопительного оборудования

(такого, например, как сертифицированные камины или печи, работающие на пеллетах) может приводить к снижению выбросов от устройств для обогрева жилищ, работающих на древесине или угле. Образовательные кампании также могут быть полезным инструментом для снижения выбросов от обогревателей жилищ, работающих на твердых видах топлива. Кроме того, воздействие загрязнения воздуха внутри помещений на здоровье могут снизить фильтры для очистки воздуха.

Существующие меры регулирования включают нормативные требования к экодизайну и маркировке в Европейском союзе (ЕС), а также введение технологически обоснованных предельных значений выбросов в Соединенных Штатах Америки и Канаде. Финансовое стимулирование перехода на другие виды топлива и замены технологического оборудования, так же, как введение специальных дней «без сжигания» и использование экомаркировки, являются другими инструментами, которые могут использовать лица, определяющие политику.

Учитывая существенный вклад отопления жилищ твердыми видами топлива в загрязнение воздуха, во многих регионах мира будет трудно решать проблемы загрязнения наружного воздуха, игнорируя этот источник. Тем не менее, как ожидается, в ближайшие десятилетия использование для обогрева твердого топлива сохранится и, вероятно, даже увеличится (особенно это коснется ЕС) в результате политики в области климата, поощряющей сжигание древесины. Следовательно, во многих странах необходимо координировать два направления политики – в области климата и в области загрязнения воздуха. Поэтому приветствуются информационные кампании, особенно те, которые повышают уровень знаний об энергоэффективности различных вариантов обогрева жилищ.



Введение и контекст

Отопление жилых помещений – важнейшая энергетическая услуга, в которой нуждаются многие люди во всем мире. Даже при широкой доступности электричества и природного газа использование твердых видов топлива для обогрева жилья остается распространенной практикой во многих местах, в том числе в странах Европы и Северной Америки. Твердые виды топлива – это, прежде всего, древесина и уголь, но, кроме того, это могут быть отходы лесного и сельского хозяйства и даже мусор. Большая часть топлива сжигается в устройствах небольшого размера, таких как бытовые печи или небольшие котлы для отопления индивидуальных и многоквартирных домов или централизованного отопления. Открытые камины пользуются популярностью во многих частях развитого мира, но фактически в большинстве жизненных обстоятельств они не используются исключительно для обогрева; поэтому они часто характеризуются как устройства для рекреационных целей, а не для отопления.

В настоящее время сжигание топлива для отопления в большинстве случаев осуществляется в устройствах, не обеспечивающих полного сгорания топлива из-за низких температур горения и других эксплуатационных ограничений. Это приводит к относительно высоким уровням выбросов на единицу топлива, в том числе множества продуктов

неполного сгорания, таких, как $PM_{2.5}$ и монооксид углерода (CO) – двух основных загрязнителей воздуха. Кроме того, сжигание твердого топлива в небольших устройствах является важным источником выбросов сажи (черного) углерода (СУ). СУ является компонентом $PM_{2.5}$, ответственным за потепление климата. Когда для отопления жилых помещений используется уголь, это также может приводить к выбросам серы и других токсичных загрязнителей, содержащихся в некоторых видах угля; даже при хорошем сгорании эти загрязняющие вещества не разрушаются.

Количество топлива, необходимого для отопления в определенном климате, зависит от эффективности его сжигания в печи, а также от характеристик жилища, в котором оно используется (таких, например, как инфильтрация через изоляционную оболочку – проникновение воздуха через оболочку здания); эта тема далее в настоящей публикации не рассматривается. В некоторых развитых странах почти все устройства для отопления помещений снабжены дымовыми трубами; в развивающихся странах во многих местах отопление осуществляется с помощью расположенных в доме открытых очагов. В обоих случаях большая часть выбросов попадает в атмосферу, способствуя загрязнению наружного воздуха, на чем и сфокусирован настоящий доклад (см. вставку 1).



Вставка 1. Новое руководство ВОЗ по качеству воздуха в помещениях

Недавно был выпущен документ "Руководящие принципы ВОЗ по качеству воздуха внутри помещений. Сжигание топлива в домашних хозяйствах", касающийся сжигания топлива в домах (ВОЗ, 2014а). В нем описаны технологии сжигания и виды топлива (и связанные с ними уровни производительности), которые необходимо использовать в домашних хозяйствах, чтобы не допустить негативных последствий для здоровья, приписываемых сегодня этому источнику загрязнения воздуха. Рекомендации, относящиеся к отоплению жилищ, включают:

- установление целевых показателей интенсивности выбросов (для $PM_{2,5}$ и CO) (см. Рекомендации по конкретным целевым значениям) как для вентилируемых, так и для невентилируемых бытовых печей;
- стимулирование правительств к активизации усилий по выполнению рекомендаций по качеству воздуха, в частности, путем расширения доступа к чистым видам топлива и усовершенствованным печам и поощрения их устойчивого использования, включая техническое обслуживание и со временем замену печей;
- недопущение использования необработанного угля в качестве бытового топлива, принимая во внимание, что попадающие в воздух помещений выбросы от бытового сжигания угля являются канцерогенными для человека, как установлено Международным агентством по изучению рака (IARC, 2010); следует отметить, что указанный здесь "необработанный уголь" отличается от так называемого "чистого" или "бездымного" угля, воздействию которого на здоровье было посвящено меньше исследований;
- предупреждение об опасности сжигания керосина в домашних хозяйствах, поскольку имеются убедительные доказательства, что при обогреве с использованием керосина уровни загрязнения воздуха внутри помещений $PM_{2,5}$, диоксидом азота (NO_2) и диоксидом серы (SO_2) превышают рекомендованные ВОЗ; кроме того, использование керосина в быту связано с риском ожогов и отравлений;
- стимулирование правительств к получению максимальной выгоды для здоровья при разработке мероприятий по использованию энергии в домашних хозяйствах в соответствии с климатическими условиями.

Медленно, в течение столетий, приходило осознание опасности сжигания угля для отопления жилищ в городах развитых стран, но важный политический резонанс был связан с "Великим смогом" 1952 г. в Лондоне, ставшим причиной нескольких тысяч случаев преждевременной смерти за короткий период времени (Brimblecombe, 2012). Смерти были вызваны воздействием дыма из домов, отапливавшихся углем. Дровяное отопление, хотя и продолжало оставаться распространенной практикой даже в некоторых городских районах, не привлекало такого же внимания, как уголь; однако при этом оно также является одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха в отопительный сезон практически во всех частях света, где доступна древесина (см. приложение 1). Например, с дровяным отоплением жилых помещений было связано 11% среднегодового уровня $PM_{2,5}$ в Калифорнии и 22% выбросов $PM_{2,5}$ в этом штате зимой 2012 г. (Air Resources Board, 2014).

В регионе столицы Финляндии Хельсинки вклад отопления жилищ древесиной в уровень выбросов $PM_{2,5}$ в течение 6-месячного холодного сезона 2005–2009 гг. составил по результатам мониторинга 19–28% в городских и 31–66% в пригородных районах (Saarnio et al., 2012).

Отопление жилищ древесиной – это та область, где существует возможность уменьшить выбросы $PM_{2,5}$ и CO с большей экономической эффективностью, чем при снижении выбросов из других источников. Тем не менее в Европе и Северной Америке только несколько стран или штатов установили правовые ограничения в отношении минимальной эффективности сгорания и максимальных значений выбросов PM и таких опасных соединений, как CO и газообразные органические соединения (см. раздел 6).

Стороны Экономической комиссии Организации Объединенных Наций для Европейской конвенции о трансграничном за-

грязнении воздуха на большие расстояния одобрили целевые ориентиры для снижения выбросов $PM_{2,5}$ в странах-участниках на 2012 г. Было решено сделать приоритетом меры по снижению уровня загрязнения

$PM_{2,5}$, особенно по уменьшению выбросов CO_2 , в первую очередь из-за сильного воздействия CO_2 на климат и возможности “обеспечить выгоды в отношении здоровья человека и окружающей среды” (UNECE, 2012).

Причины озабоченности

Основная, связанная с отоплением жилищ древесиной и углем причина озабоченности, – это эффект, который оно оказывает на загрязнение окружающего воздуха и здоровье. Виды топлива, используемые для отопления жилья, являются во многих странах важной детерминантой качества атмосферного воздуха, а также воздуха внутри помещений. Сжигаемое в домах твердое топливо создает в близлежащем окружении более высокие уровни загрязнения PM , чем использование для отопления электричества, газа или жидкого топлива. Зачастую условия для сжигания неэффективны, а контроль за выбросами или регуляторные меры на уровне домашних хозяйств отсутствуют.

По сообщениям ВОЗ, в 2012 г. экспозиция к загрязнению наружного воздуха взвешенными частицами вызвала 3,7 млн случаев преждевременной смерти, в том числе 482 000 в Европе и 94 000 в Канаде и США (WHO, 2014b). Использование домашними хозяйствами твердого топлива для обогрева жилищ вносит свой вклад в это загрязнение наружного воздуха (см. раздел 3).

Другие причины для беспокойства связаны с политикой в области климата и энергетики. Во многих странах Северной Америки

и Европы поощряется использование древесины и других видов биомассы для обогрева жилищ (см. таблицу 1). В ряде случаев биомасса рекламируется как возобновляемое топливо, использование которого может помочь смягчению последствий изменения климата и способствовать энергетической безопасности. Например, принятая в Соединенном Королевстве в 2014 г. система поощрения использования возобновляемых источников тепла содержит прямое указание на предоставление выплат тем домохозяйствам, в которых установлены котлы, работающие на биомассе; это является частью стратегии по уменьшению выбросов парниковых газов в стране на 80% к 2050 г. (от уровней 1990 г.) (Ofgem, 2014). Использование топлива на основе биомассы также включено в стратегию Европейской комиссии по достижению целей «202020» (к 2020 г. на 20% должны быть уменьшены выбросы парниковых газов, 20% конечного энергопотребления должно приходиться на возобновляемые источники энергии и на 20% должна быть повышена энергоэффективность), хотя в ЕС большая часть новых источников биомассы используется для производства электроэнергии, а не для обогрева жилищ (ECF, 2010).



Таблица 1. Примеры государственных дотаций и субсидий, предоставляемых для отопления жилищ древесиной

Страна (схема)	Дотация/субсидия	Примечания по внедрению
Дания (Стимулирование утилизации дровяных котлов, произведенных до 1980 г.)	Дотация в размере менее 530 евро для домохозяйств, заменивших старые дровяные котлы на новые котлы, соответствующие норме выбросов (2008–2009 гг.)	Заменено 3500 дровяных котлов – примерно в два раза больше, чем можно было ожидать без дотации
Германия (Программа по использованию рыночных стимулов)	Субсидия в размере более 2000 евро на установку пеллетных котлов (мощностью свыше 150 кВт) или 2500 евро на установку пеллетных котлов вместе с солнечными панелями	Программе более 10 лет; в некоторые годы целевое финансирование корректировалось в сторону уменьшения
Норвегия (Запрет на использование электрического и масляного отопления в новых зданиях; 40% потребностей в тепле должно удовлетворяться в новых зданиях за счет несетевой электроэнергии или энергии, полученной с использованием неископаемого топлива)	Субсидии в размере 20% от стоимости при покупке новой пеллетной печи (в пределах 490 евро) или нового пеллетного котла (в пределах 1225 евро)	В 2013 г. фонд, из которого поступают субсидии, составлял в целом 4,3 млрд евро; управление частично осуществляла государственная компания Enova SF
Соединенное Королевство (Программа стимулирования использования внутренних возобновляемых источников тепла, 2014 г.)	Государственный тариф для домохозяйств в размере 12,2 пенса (0,15 евро) за кВт-ч вырабатываемой энергии, когда для обогрева жилья используются котлы, работающие на биомассе, или пеллетные печи	Начиная с августа 2014 г., более 1600 домохозяйств, которые используют для обогрева жилья отопительные системы, работающие на биомассе, были одобрены для участия в этой программе.

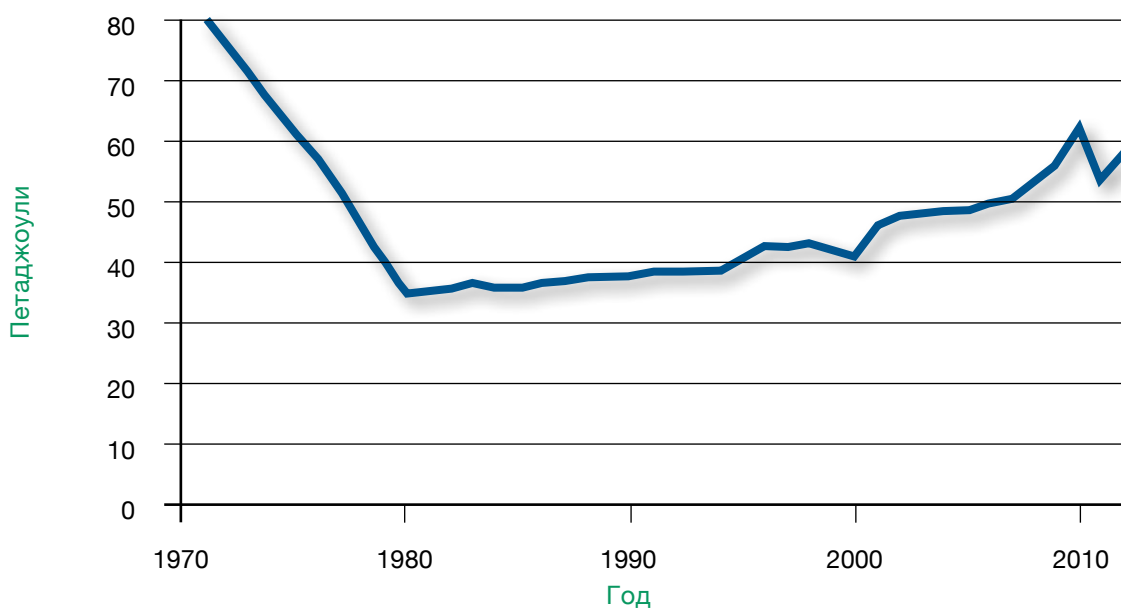
Источники: IEA (Международное энергетическое агентство) (2013); Levander & Bodin (2014); Ofgem (2014).

По всей видимости, в некоторых странах сжигание древесины в домашних хозяйствах для обогрева жилья растет благодаря государственным дотациям и субсидиям, удорожанию получения энергии из других источников и представлениям населения, что отопление древесиной – это "зеленый выбор" (см. таблицу 1 и рис. 1). Поскольку во многих регионах уже приняты меры регулирования и контроля в отношении снижения выбросов из многих других источников (таких, как наземный транспорт, промышленность и электростанции), ожидается, что сжигание биомассы в жилищах будет приобретать все большее значение как источник PM_{2,5}, особенно если не будут предприняты усилия по продвижению (или стимулированию) использования современных и

эффективных устройств для сжигания древесины. Всемирный банк в 2013 г. отметил, что "существует настоятельная потребность в разработке и реализации эффективного подхода к ограничению выбросов черного углерода из домашних источников получения тепла, так как их использование продолжает расти" (Pearson et al., 2013).

Другие поводы для беспокойства – экономический спад и переход на другое топливо. В связи с экономическими трудностями некоторые семьи возвращаются к отоплению жилищ твердыми видами топлива (например, используют обломки мебели, деревянные отходы и уголь), как это недавно произошло в Греции и других европейских странах (Saffari et al., 2013). По заключению

Рисунок 1. Бытовое потребление древесины в Финляндии, 1970–2012 гг., по данным национальной энергетической статистики



Примечание: Петаджоуль = 10^{15} джоулей.

Источник: Личное сообщение, д-р Niko Karvosenoja, Институт окружающей среды Финляндии (SYKE). Рисунок основан на общедоступных статистических данных (Statistics Finland, 2014).

проведенного в 2012 г. исследования Международного энергетического агентства, даже при отсутствии соглашения по вопросу глобального изменения климата, использование биомассы в жилищном энергетическом секторе будет увеличиваться (цитируется по Pearson et al., 2013). В США число домохозяйств (особенно семей с низким

и средним уровнем доходов), отапливающих дома древесиной, выросло с 2000 по 2010 г. на 34%, то есть потребление этого вида топлива росло быстрее, чем любого другого, а в двух штатах число домохозяйств, обогревающих жилье древесиной, увеличилось за этот период более чем вдвое (Alliance for Green Heat, 2011).

Структура доклада

Руководствуясь тем, что существует угроза повышения выбросов, обусловленная продвижением сжигания топлива с получением биоэнергии из соображений возобновляемости источников энергии и энергетической безопасности, а также в результате осуществления политики по смягчению последствий климатических изменений (без надлежащего учета эффектов в отношении здоровья), авторы этого доклада рассматривают несколько сопутствующих факторов:

- стойкие уровни выбросов при сжигании твердого топлива для обогрева жилищ (раздел 2);
- доказательства воздействия на здоровье экспозиции к РМ из этого источника, полученные в эпидемиологических исследованиях (разделы 3 и 4);

- имеющиеся в большинстве случаев меры и стратегии, необходимые для снижения выбросов в результате использования твердого топлива для обогрева жилищ (разделы 5–8).

Данная публикация не является полным систематическим обзором всей литературы, относящейся к этой теме; авторы в основном опирались на недавно опубликованные подробные обзоры, доклады и руководства ВОЗ с тем, чтобы дать общее актуальное для осуществления политики представление об этих вопросах. Сезонное отопление помещений с использованием древесины распространено в горных районах многих стран с низким и средним уровнем доходов (например, в Чили и Непале), а уголь

используется для отопления жилищ в некоторых областях стран со средним уровнем доходов, расположенных в умеренном поясе, таких, как Монголия и Китай. Однако из-за недостатка времени и ресурсов, а также относительно небольшого объема дан-

ных по использованию твердых видов топлива и выбросам в Азии и Латинской Америке, основное внимание в докладе уделяется ситуации в Европе и Северной Америке (см. таблицу 2).

Таблица 2. Центр внимания доклада

Категория	Главный фокус	Меньший акцент
Географический охват (регионы)	Европа и Северная Америка	Другие страны, где необходимо отопление жилищ, включая Китай и Индию
Вид топлива	Древесина и уголь	Другие виды твердого топлива, такие, как древесный уголь, торф, сельскохозяйственные отходы и мусор
Вид отопления	Отопление индивидуального жилого дома	Централизованное отопление
Вид воздействия	Воздействие на население загрязнителей, попадающих в наружный воздух при работе отопительного оборудования	Загрязнение воздуха внутри помещений (в доме); выбросы от использования твердого топлива для приготовления пищи



2.

Использование твердых видов топлива для обогрева жилищ как основной источник загрязнения воздуха

Отопление жилищ древесиной и углем – важный источник загрязнения атмосферного воздуха, который может также вызывать значительное загрязнение воздуха внутри помещений, как за счет непосредственного воздействия, так и в результате проникновения загрязнителей снаружи. Конкретный масштаб проблемы значительно отличается в зависимости от географического положения, распространенности применения твердого топлива и используемых технологий сжигания. Тем не менее предполагается, что в ближайшие десятилетия применение твердых видов топлива для обогрева жилищ в странах ЕС будет продолжаться и, возможно, даже расширяться, что обусловлено политикой в области климата, поощряющей сжигание древесины.

Сжигание в жилищах твердых видов топлива – основной источник выбросов $PM_{2,5}$

На печи и котлы жилых домов приходится менее 10% загрязнения атмосферного воздуха $PM_{2,5}$ (за счет выбросов первичных PM и вторично образующихся PM); около половины этого количества попадает в воздух в результате сжигания биомассы для обогрева

ва домов, а большая часть остатка за счет того, что в домашних хозяйствах применяется отопление углем (см. вставку 2). (Эти количественные характеристики не учитывают вклад централизованного теплоснабжения.)



Вставка 2. Использование угля для обогрева жилищ

Уголь на протяжении веков использовали для обогрева жилищ. В 1960-е гг. уголь и кокс (продукт переработки угля) были основными видами топлива в Германии и Франции, где их доля составляла соответственно 84 и 68% от всех источников энергии, использовавшихся в жилом секторе. Уголь был вторым по значимости видом топлива после нефти в Дании (33%) и Канаде (22%). Однако к 1980-м гг. в Канаде, Норвегии и Швеции фактически прекратили использовать уголь или кокс для обогрева жилищ (доля жилищ, продолжавших эту практику, составила меньше 5%) (Schipper et al., 1985). В Нидерландах уголь был основным видом топлива в 1950-е и 1960-е гг., но исчез из употребления к середине 1970-х гг. в первую очередь из-за появившейся возможности использовать в домашних условиях нефть и природный газ (Dzioubinski & Chipman, 1999).

В США в 1940 г. 55% домов отапливались углем или коксом. В 1960 г. этот показатель снизился до 12%, в начале 1970-х гг. составлял менее 5%, и в начале 1980-х гг. – менее 1% (Schipper et al., 1985; United States Census Bureau, 2011). Согласно оценке, приведенной в одном из исследований, в период с 1945 по 1960 г. уменьшение масштабов отопления жилых домов США битумным углем привело к тому, что в зимние месяцы смертность во всех возрастных группах и младенческая смертность сократились на 1 и 3% соответственно. Таким образом, в течение одного зимнего месяца было сохранено около 2 000 жизней, включая жизни 310 младенцев (Barreca et al., 2014).

Уголь обычно характеризуется более высокими температурами воспламенения и горения и содержит больше серы и азота, чем древесина и другие виды биомассы. Это означает, что сжигание угля в домашних условиях приводит к выделению SO_2 и оксидов азота (NO_x) (4% выбросов SO_2 и 1% выбросов NO_x в мировом масштабе), а также токсичных загрязнителей, которые связываются с РМ путем адсорбции (образование очень тонкого слоя на поверхности частиц) или поглощения. В Китае, где сжигание угля в жилищах служит причиной 7–8% общенациональных выбросов SO_2 , и в некоторых странах Центральной Европы, используемых для отопления значительные количества угля, эти показатели могут быть намного выше средних общемировых. Ситуация усугубляется тем, что уголь, добываемый в определенных географических регионах, содержит такие токсичные элементы, как фтор, мышьяк, селен, ртуть и свинец. Сжигание таких видов угля ассоциировалось с отравлением токсичными соединениями, выделяющимися при горении.

На основании этих данных, а также данных о канцерогенности для человека выбросов, образующихся внутри жилых помещений при сжигании угля, в последнем пересмотре Руководящих принципов ВОЗ по качеству воздуха внутри помещений настоятельно рекомендуется не использовать в домашних условиях необработанный или сырой уголь, в том числе для отопления (ВОЗ, 2014а). В настоящее время ВОЗ не дает рекомендаций относительно возможности использования в жилищах переработанного угля, однако считает необходимым проведение дальнейших исследований для определения содержания в "чистом" или "бездымном" угле загрязнителей (включая токсичные примеси), а также для изучения выбросов этих соединений и экспозиции к ним при сжигании такого топлива.

В то время как на жилой сектор в целом приходится около 40% мировых антропогенных выбросов $\text{PM}_{2,5}$, в развивающихся странах большая их часть (примерно 80% $\text{PM}_{2,5}$, образующихся непосредственно при сжигании топлива в домашних хозяйствах) связана не столько с обогревом жилищ, сколько с приготовлением пищи (см. вставку 3). Однако в некоторых регионах мира использование для обогрева жилищ твер-

дых видов топлива (биомассы и угля) вносит значительный вклад в общее загрязнение атмосферного воздуха $\text{PM}_{2,5}$. В число таких регионов входит Европа, чей вклад в мировой уровень выбросов $\text{PM}_{2,5}$ в 2010 г. составлял 13–21%, (причем наиболее высокие показатели отмечались в странах Центральной Европы), США и Канада (10%), а также Центральная Азия (10%) (Chafe et al., в печати) (см. раздел 4).

Вставка 3. Использование твердых видов топлива для приготовления пищи в жилых помещениях

Около 40% населения земного шара – приблизительно 2,8 млрд человек – используют для приготовления пищи твердые виды топлива (Bonjour et al., 2013). При этом происходит загрязнение воздуха в жилых помещениях $PM_{2,5}$, содержащими вещества, аналогичные тем, которые образуются при использовании твердых видов топлива для обогрева жилищ. Эти выбросы загрязнителей по некоторым оценкам ассоциируются с 3,5 млн ежегодных смертей. Кроме того, приготовление пищи в домах вносит приблизительно 12%-ный (а в некоторых регионах и более весомый) вклад в общемировой уровень загрязнения атмосферного воздуха $PM_{2,5}$. Экспозиция к $PM_{2,5}$, попадающим в атмосферный воздух из этого источника, ежегодно становится причиной 370 000 преждевременных смертей в мире (Chafe et al., 2014).

В двух регионах – в Восточной Азии (включая Китай) и в Южной Азии (включая Индию) – значительная доля $PM_{2,5}$ поступает в воздух как при обогреве жилищ, так и при приготовлении пищи. Если также учесть большую численность населения, то становится ясно, что необходимо в срочном порядке помочь жителям этих двух регионов отказаться от использования твердого топлива, обеспечив электроснабжение жилищ или доступ к передаваемому по трубам природному газу или сжиженному нефтяному газу (СНГ).

Наблюдаемые уровни загрязнения наружного воздуха в результате отопления жилищ

Проведенные исследования показали относительно высокие кратковременные концентрации $PM_{2,5}$, PM с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм (PM_{10}) и летучих органических соединений (ЛОС) в местностях, где для обогрева жилищ преимущественно используется сжигание древесины.

В некоторых районах сжигание древесины – основной источник загрязнения атмосферного воздуха $PM_{2,5}$, особенно во время отопительного сезона (см. приложение 1). Исследования пропорционального распределения источников, позволяющие установить, какие источники выбросов вносят свой вклад в измеренные уровни загрязнения воздуха, обычно показывают, что во время отопительных сезонов сжигание древесины дает 20–30% локального загрязнения атмосферного воздуха $PM_{2,5}$, хотя этот показатель существенно колеблется в зависимости от конкретной местности. Например, исследование, проведенное в 2008 г. в Италии, показало, что в Милане обогрев жилищ древесиной служил причиной 3% выбросов PM_{10} . Для 7 других городских территорий и 3 сельских районов эти показатели составили 18–76% и 40–85% соответственно (Gianelle et al., 2013).

В Австрии на протяжении зимних месяцев 2004 г. дым от сжигаемой древесины стал причиной около 10% выбросов PM_{10} в атмосферный воздух вблизи Вены и приблизительно 20% в сельских местностях двух сильно залесенных регионов (Зальцбург и федеральная земля Штирия) (Caseiro et al., 2009). По данным исследования, проведенного в одной из небольших деревень Чешской Республики, где в зимнее время единственным значимым источником загрязнения воздуха PM было сжигание в домах древесины, угля и домашнего мусора, среднезимняя концентрация в воздухе PM_{10} в периоды 1997–1998 гг. и 1998–1999 гг. составила приблизительно 40 мкг/м³ и была выше, чем в Праге (около 33 мкг/м³) (Braniš & Domasová, 2003).

Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха, проведенный вблизи жилых районов Сиэтла, показал, что 31% выбросов $PM_{2,5}$ обусловлен сжиганием древесины или других растительных материалов (Kim & Норке, 2008). Во время отопительного сезона вклад этих источников в загрязнение воздуха, измеренное на ближайших постах мониторинга, доходил до 62% (Larson et al., 2004).

Роль инфильтрации

Учитывая, что по своей природе сжигание древесины в жилищах происходит в населенных пунктах, где люди проживают в тесной близости, существует высокая вероятность повышения уровней воздействия загрязнителей за счет выбросов как из собственных, так и/или из соседских устройств для сжигания. Главным образом, это воздействие проявляется внутри помещений (как за счет выбросов при сжигании древесины в самих домах, так и в результате инфильтрации загрязненного наружного воздуха), особенно в зимнее время. Домашнее хозяйство, использующее устройство для сжигания древесины, вероятно, будет окружено другими домами с аналогичными устройствами, а процесс сжигания характеризуется одновременностью; так, в холодные вечера и ночи большинство жителей соседних домов будут топить дровами.

С учетом того, что сжигание древесины чаще всего происходит в местах с холодным климатом, где дома строятся с хорошей теплоизоляцией, можно ожидать, что такие здания будут иметь низкий уровень инфильтрации. Это означает, что лишь сравнительно небольшие количества загрязнителей, включая древесный дым, могут попадать в дом извне и вносить свой вклад в загрязнение воздуха внутри помещения, особенно во время отопительного сезона. Однако

в сравнительных исследованиях, проведенных в европейских городах, не обнаружено значимой связи между изменениями климата в течение года и среднегодовым уровнем инфильтрации: среднегодовой уровень инфильтрации незначительно менялся в зависимости от климатических условий (Hoek et al., 2008).

В Северной Америке определяющим фактором инфильтрации является температура наружного воздуха во время отопительного сезона, и уровни инфильтрации обычно ниже, чем в сезон, когда дома не отапливаются, а двери и окна чаще бывают открыты (Allen et al., 2012). В Британской Колумбии зимой среднее значение обусловленной инфильтрацией доли $PM_{2,5}$ внутри помещений варьировало для различных домов в интервале 0,1–0,6, составляя в среднем 0,28, а летом этот показатель равнялся 0,61 (Barn et al., 2008). Другое исследование показало сходные низкие значения уровней инфильтрации ($0,32 \pm 0,17$) в зимнее время (Allen et al., 2009). Сжигание древесины в жилых районах (часто в холодную безветренную погоду) может, тем не менее, обуславливать более высокие уровни экспозиции по сравнению с другими источниками загрязнения за счет принципа вдыхаемой фракции (см. вставку 4).

Вставка 4. Вдыхаемая фракция

Вдыхаемая фракция – это доля выбросов, вдыхаемая людьми. Ее значение определяется как отношение количества загрязнителя, попавшего в дыхательные пути, к количеству загрязнителя, выброшенного в окружающую среду. Величина вдыхаемой фракции зависит от территориальной близости населения к источнику выбросов и, следовательно, возможного уменьшения концентрации загрязнителя, а также от плотности населения, подверженного воздействию загрязнителя из данного источника (Bennett et al., 2002).

Анализ, проведенный в городской зоне Ванкувера (Канада), продемонстрировал высокий уровень вдыхаемой фракции при воздействии древесного дыма во время отопительного сезона (Ries et al., 2009), что отчасти объяснялось большой плотностью населения в местах сжигания древесины. Зимние показатели вдыхаемой фракции, которые оценивались в 5–13 частей на млн, были сходны с рассчитанными значениями вдыхаемых фракций для транспортных выбросов в Северной Америке. В то же время анализ вдыхаемой фракции древесного дыма, проведенный на уровне общей популяции в Финляндии, показал, что рассчитанная величина (2,9 частей на млн) была значительно ниже, чем значения вдыхаемых фракций загрязнителей, выбрасываемых транспортом (9,6 частей на млн), что, возможно, связано с тем, что плотность населения в Финляндии меньше, чем в Северной Америке (Taimisto et al., 2011).

Уровни загрязнения воздуха внутри помещений

Эксплуатация современных дровяных печей и каминов с соблюдением инструкций производителей сопровождается выбросами некоторого количества РМ и газообразных загрязнителей непосредственно в воздух внутри помещений, хотя в большинстве случаев имеются весьма немногочисленные доказательства возможности серьезного загрязнения воздуха при работе этих современных устройств. Однако повышение концентраций продуктов горения (например, РМ, СО, ЛОС, NO_x и альдегидов) в воздухе внутри помещений может быть следствием несоблюдения правил эксплуатации, плохой вентиляции или наличием обратной тяги в дымоходе. Выбросы продуктов горения при плохой вентиляции устройства для сжигания древесины могут стать причиной острого и даже смертельного отравления СО. В некоторых случаях может также отмечаться

высокий уровень экспозиции к мельчайшим частицам (РМ с диаметром менее 100 нм).

Внутридомовые источники загрязнения продуктами горения древесины часто располагаются ближе к реципиентам и, следовательно, обуславливают более высокий показатель вдыхаемой фракции, чем некоторые источники вне дома. Состав частиц, загрязняющих воздух внутри помещений, отличается от наблюдаемого снаружи из-за того, что внутренние выбросы смешиваются и вступают в атмосферные реакции в течение более короткого периода времени, а температура внутри здания, как правило, выше, чем снаружи. Неизвестно, каким образом эти факторы влияют на экспозицию к загрязнителям и ее последствия для здоровья.

Сравнение выбросов при обогреве жилищ с выбросами из других источников

За период между 1990 и 2005 гг. во многих регионах произошло значительное увеличение доли всех выбросов РМ_{2,5}, обусловленное использованием твердых видов топлива для отопления жилищ. Это можно объяснить как существенно возросшим применением топлива на основе биомассы, так и снижением в Европе и Северной Америке выбросов из других источников (промышленные предприятия, электростан-

ции, наземный транспорт). Сектор наземного транспорта был исторически связан с выбросами в воздух большого количества РМ_{2,5} (сейчас этот процесс частично контролируется) и до сих пор остается главным источником выбросов других загрязнителей воздуха, включая соединения, участвующие в образовании тропосферного озона (Chafe et al., в печати).

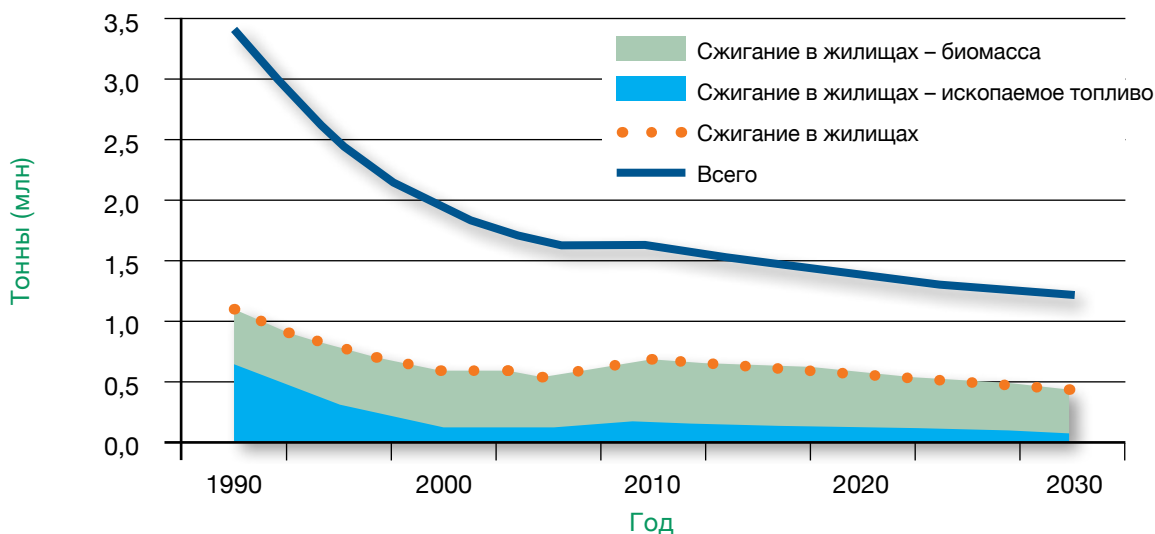
Будущие тенденции в отношении выбросов от сжигания биомассы в жилищах

В целом, если сегодняшние тенденции сохранятся, можно ожидать, что сжигание биомассы для обогрева домашних хозяйств будет в дальнейшем вносить все больший вклад в выбросы первичных РМ_{2,5}, несмотря на уменьшение абсолютных величин этих выбросов (см. рис. 2).

Это связано с усилиями, направленными на решение проблемы изменения климата (при осуществлении определенной политики в этой области биомасса рассматривается как возобновляемый вид топлива), возможным ростом зависимости от твердых видов топлива при экономических спадах, медлен-

ным внедрением современных технологий и отсутствием серьезных стимулов для замены находящихся в эксплуатации неэффективных печей и котлов. Эти выбросы РМ_{2,5} содержат СУ, вещество, активно влияющее на потепление климата (см. рис. 3). Однако фактическое влияние выбросов СУ из различных источников на потепление климата меняется в зависимости от происходящих одновременно с этим выбросов аэрозолей, оказывающих охлаждающее воздействие, например, содержащих органический углерод (ОУ).

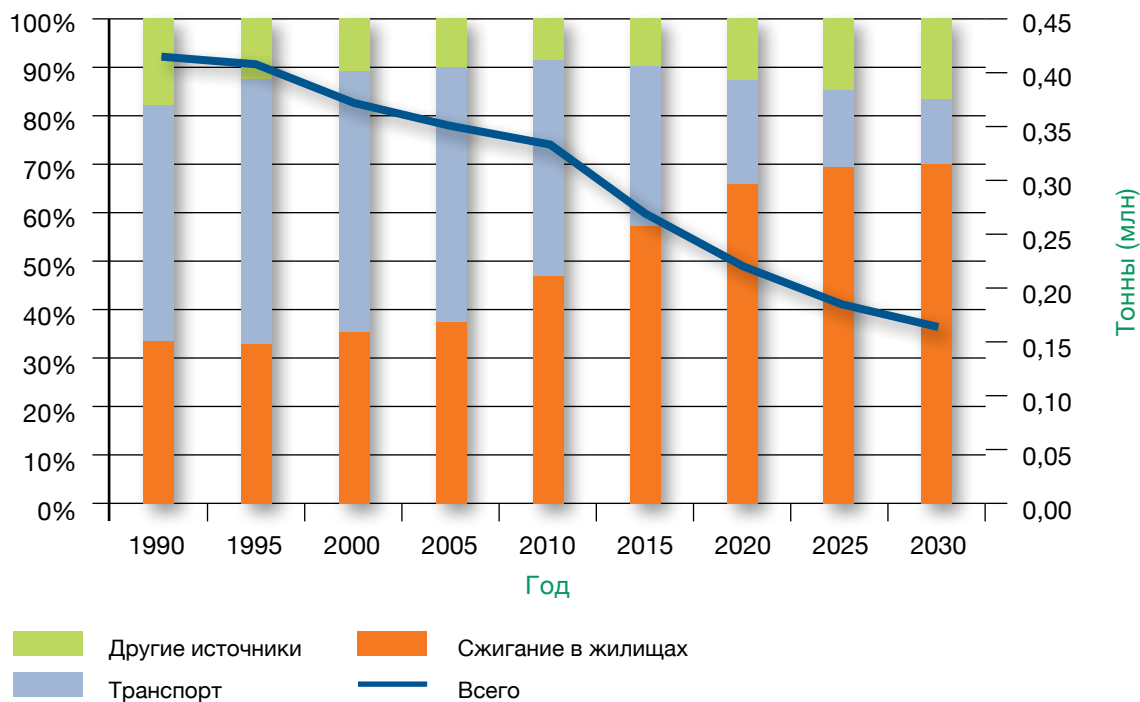
Рисунок. 2. Выбросы PM_{2,5} из бытовых источников, ЕС-28, 1990–2030 гг.



Примечания: ЕС-28 – это страны, входящие в ЕС по состоянию на 1 июля 2013 г.; сценарий действующего на сегодня законодательства, как представлено в работе Amann et al. (2014), с использованием модели GAINS (Синергии и взаимодействия парниковых газов и загрязнения воздуха) (Amann et al., 2011).

Источник: воспроизводится с разрешения Международного института прикладного системного анализа (МИПСА).

Рисунок. 3. Базовый уровень выбросов CO₂ из основных, широко распространенных источников, ЕС-28, 1990–2030 гг.



Примечание: ЕС-28 – это страны, входящие в ЕС по состоянию на 1 июля 2013 г.; сценарий действующего на сегодня законодательства, как представлено в работе Amann et al. (2014), с использованием модуля сажистых частиц (Kurjainen and Klimont, 2007) модели GAINS (Amann et al., 2011).

Источник: воспроизводится с разрешения МИПСА.

В большинстве случаев печи и котлы, используемые в настоящее время в жилом секторе, относительно неэффективны по сравнению с наилучшими из имеющихся в продаже моделями. При идеальных условиях горения весь углерод, входящий в состав древесины, других типов биомассы, угля, керосина, СНГ, природного газа, дизельного топлива и бензина, должен в процессе выделения энергии полностью превратиться в CO_2 . В этом случае можно говорить о 100%-ной эффективности сгорания. К сожалению, эффективность сгорания твердых видов топлива в простых домашних печах

обычно значительно меньше 100% (ВОЗ, 2014a).

Далекое от идеальных условия сгорания в большинстве каминов и печей в домашних хозяйствах, включающие низкие температуры горения, неоптимальные параметры циркуляции воздуха/доступа кислорода, перегрузку топки древесиной, использование сырого топлива на основе биомассы, а также потери тепла, приводят к выбросам вредных для здоровья РМ и газообразных соединений, которые часто относят к "продуктам неполного сгорания" (см. вставку 5).

Вставка 5. Компоненты, входящие в состав загрязнителей, образующихся при сжигании биомассы и угля в жилищах

Частицы: $\text{PM}_{2,5}$, CO , O_3

$\text{PM}_{2,5}$ – один из основных загрязнителей воздуха, образующихся при сжигании твердых видов топлива. Тонкодисперсные частицы, источником которых является сжигание древесины, обычно считаются самым лучшим индикатором воздействия на здоровье; этот загрязнитель наиболее широко изучен и находится в центре внимания большинства нормативов, регламентирующих выбросы.

CO – это одна из составляющих $\text{PM}_{2,5}$, который оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье (см. раздел 3) и признается важным короткоживущим загрязнителем, влияющим на климат (Bond et al., 2013; Janssen et al., 2012). (Дополнительная информация о связях между использованием для отопления жилищ твердого топлива и изменением климата представлена в разделе 8.) По мере того как выбросы из дровяных печей или устройств для сжигания длинных древесных поленьев остывают или "старятся", CO адсорбирует ряд газообразных углеводородов. При правильной эксплуатации, позволяющей оптимизировать воздушный поток, печи, работающие на древесных гранулах (пеллетах), выбрасывают гораздо меньше CO и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), чем традиционные дровяные печи (Eriksson et al., 2014).

O_3 – другой компонент РМ, который непосредственно выбрасывается в воздух при горении многих видов твердого топлива, а также образуется как вторичный загрязнитель. Органические и некоторые неорганические выбросы подвергаются быстрой физико-химической трансформации, за которой следуют более поздние реакции в атмосфере (Kocbach Bølling et al., 2009; Naeher et al., 2007). Скорость многих реакций зависит от солнечного освещения (ультрафиолетового излучения), а также от атмосферной температуры; это означает, что в холодный и темный период отопительного сезона они протекают намного медленнее, чем в другие, более солнечные и теплые периоды года. В отличие от CO , светлоокрашенные аэрозоли, содержащие O_3 , как правило, оказывают охлаждающее воздействие на климат.

При использовании малогабаритных нагревателей даже повышение эффективности сгорания практически не повлияет на уровень выбросов CO при сжигании определенного количества топлива. Однако более полное сгорание приведет к значительному снижению выбросов органических соединений и увеличению выбросов таких неорганических солей, как сульфаты, хлориды и карбонаты калия и цинка, состав которых зависит от вида биомассы (Larson & Koenig, 1994; Lighty et al., 2000).

Вставка 5. Продолжение

Газы: CO, NO_x, ПАУ, SO₂, ЛОС

Дым горящей древесины (и других видов биомассы) содержит также газообразные загрязнители воздуха, с которыми может быть связан ряд неблагоприятных последствий для здоровья. Среди этих газов: CO, NO_x, ЛОС (акролеин, формальдегид, бензол), газообразные и взвешенные ПАУ, а также другие органические соединения, включая карбоновые кислоты, многочисленные насыщенные и ненасыщенные углеводороды, ароматические соединения и кислородсодержащие органические соединения (альдегиды, хиноны, фенолы, органические кислоты и спирты). Сгорание биомассы, которая, например, в результате обработки соленой водой или транспортировки по морю содержит хлор, может приводить также к выбросам хлорсодержащих органических соединений. Сжигание угля часто сопровождается выбросом SO₂ из-за возможного высокого содержания серы в этом виде топлива (см. вставку 2).

Левоглюкозан

Левоглюкозан – это маркер горения биомассы, который часто используется как индикатор для определения экспозиции к продуктам горения топлива на основе биомассы или при исследовании распределения источников. В то время как польза от применения левоглюкозана в качестве маркера сжигания биомассы уже доказана, необходимо проведение дополнительных исследований для количественной оценки взаимосвязи между уровнями левоглюкозана и массовой концентрацией РМ при сценариях, включающих применение различных видов древесины и устройств для ее сжигания (Mazzoleni et al., 2007).

Другие выбросы

При сжигании угля могут выделяться особенно опасные для здоровья человека элементы и соединения (фтор, мышьяк, селен, ртуть и свинец); сжигание угля в домашних хозяйствах может приводить к выбросам этих загрязнителей во внутреннюю среду помещений (см. вставку 2). В особо тяжелой экономической ситуации люди часто прибегают к сжиганию обломков мебели, пластика и мусора. Горение этих материалов сопровождается выбросами таких крайне вредных для здоровья человека загрязнителей, как диоксины и свинец.



3.

Последствия для здоровья в результате воздействия выбросов, образующихся при отоплении твердым топливом

Фактические данные указывают на связь выбросов, образующихся при использовании для отопления древесины и угля, с серьезными нарушениями здоровья. Как краткосрочная, так и долгосрочная экспозиция к дыму от горящих древесины и угля наносят вред здоровью. Образующиеся загрязнители воздуха содержат канцерогенные соединения и, по-видимому, оказывают такое же действие, как РМ из других источников. Респираторные нарушения – распространенная проблема, связанная с экспозицией к дыму от сжигания древесины. Результаты недавних исследований позволяют предположить, что экспозиция к дыму от горящих древесины и угля может также оказывать неблагоприятное воздействие на сердечно-сосудистую систему. Исследования других процессов горения биомассы, например, при лесных пожарах, могут помочь лучше разобраться в том, как именно сжигание древесины в жилищах воздействует на здоровье.

Кратковременное воздействие частиц, образующихся при горении древесины, и частиц, выделяемых при сжигании различных видов ископаемого топлива, по-видимому, одинаково опасно для здоровья. В экспериментах на животных было показано, что в дыме от сжигания твердого топлива присутствует 28 токсичных загрязнителей, в том числе 14 канцерогенных соединений и 4 агента, способствующих развитию рака (Smith et al., 2014). Недавно Международное агентство по изучению рака заявило о канцерогенности недифференцированных РМ, в том числе образующихся при использовании в домашних хозяйствах угля и других видов твердого топлива (Loomis et al., 2013). Результаты этих исследований были учтены при разработке последнего пересмотра Ру-

ководящих принципов ВОЗ по качеству воздуха внутри помещений (ВОЗ, 2014а; см. вставку 1) и обобщены в относящихся к ним вспомогательных документах.

Для изучения воздействия на здоровье выбросов, образующихся при использовании для обогрева помещений твердых видов топлива, было использовано несколько подходов. Среди них эпидемиологические исследования, прослеживающие воздействие загрязнения воздуха на здоровье в различных группах населения, исследования других процессов горения биомассы, например, образование дыма при лесных пожарах, а также токсикологические и клинические исследования экспозиции к загрязнителям.

Эпидемиологические исследования

Связь между повышениями суточных концентраций РМ в атмосферном воздухе и ростом смертности и числа госпитализаций была продемонстрирована в сотнях эпидемиологических исследований временных рядов, проведенных в различных климатических условиях и популяциях. Долгосрочная (годы) экспозиция к РМ, по-видимому, оказывает большее влияние на здоровье, чем краткосрочная (дни), хотя следует учесть, что исследований долгосрочной экспозиции было проведено меньше. Результаты проведенных исследований по-

зволяют предположить, что воздействие РМ не только вызывает острые проявления заболевания, но может также ускорять развитие хронических болезней или даже служить причиной их возникновения (Европейское региональное бюро ВОЗ, 2013). В странах с низким уровнем доходов долгосрочное воздействие высоких концентраций загрязнителей в составе древесного дыма ассоциировалось с инфекциями нижних дыхательных путей (включая пневмонию) у детей, хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ), снижением функции легких и

раком легких у женщин, а также с мертворождениями и низкой массой тела при рождении (Smith et al., 2011; ВОЗ, 2014a).

Хотя количество исследований эффектов в отношении здоровья от сжигания древесины в жилых домах в развитых странах сравнительно невелико, все же была установлена связь между горением древесины и появлением респираторных симптомов. продемонстрирована зависимость между уровнями загрязнения атмосферного воздуха РМ, выбрасываемыми при сжигании древесины, и обострениями респираторных заболеваний, особенно астмы и ХОБЛ (Gap et al., 2013), а также бронхолита (Karr et al., 2009) и среднего отита (начинающегося в виде инфекции верхних дыхательных путей) (MacIntyre et al., 2011). Обзор данных относительно воздействия на здоровье ча-

стиц, выделяющихся при горении биомассы, позволяет сделать вывод, что нет оснований считать РМ, образующиеся при горении биомассы, менее вредными для здоровья, чем частицы, поступающие в воздух из других источников в городской среде. При этом авторы отметили, что лишь в немногих работах изучалось влияние РМ на развитие сердечно-сосудистых заболеваний (Naehler et al., 2007). Данные недавно проведенных эпидемиологических исследований свидетельствуют о том, что краткосрочное воздействие частиц, образующихся при сжигании биомассы, ассоциируется с возникновением не только респираторных, но и сердечно-сосудистых заболеваний (McCracken et al., 2012; Европейское региональное бюро ВОЗ, 2013).

Сведения о сжигании других видов биомассы

С учетом сходного состава топлива, можно предположить, что выбросы в атмосферный воздух РМ при сжигании древесины в домах приводят к тем же последствиям для здоровья, что и горение биомассы на открытых пространствах, в том числе при лесных, кустарниковых и торфяных пожарах. В большом количестве исследований было показано, что стихийные пожары оказывают выраженное воздействие на состояние дыхательных путей, ассоциируясь с:

- повышением частоты госпитализаций и обращений в пункты неотложной помощи по поводу респираторных заболеваний (Arbex et al., 2007; Duclos & Sanderson, 1990; Hanigan et al., 2008; Jacobs & Kreutzer, 1997; Johnston et al., 2007; Mott et al., 2005; Ovadnevaite et al., 2006);
- раздражением глаз и появлением таких респираторных симптомов, как кашель и хрипы у детей и подростков (Kunii et al., 2002; Mirabelli et al., 2009);
- более широким использованием лекарственных препаратов при ХОБЛ и снижением функции легких в результате воздействия РМ (Саамано-Isorna et al., 2011; Jacobson et al., 2012).

Наибольшая опасность, по-видимому, грозит людям, страдающим астмой или ХОБЛ. Обзор данных о влиянии лесных пожаров на развитие заболеваний дыхательных путей показал наличие ассоциации между респираторной заболеваемостью и воздействием дыма от кустарниковых пожаров, что согласуется с результатами, полученными при

исследовании связи респираторных заболеваний с загрязнением воздуха в городских условиях (Dennekamp & Abramson, 2011). Подсчитано, что дым от природных пожаров становится причиной 339 000 смертей ежегодно (Johnston et al., 2012).

Сжигание сельскохозяйственных остатков, вероятно, также оказывает воздействие на состояние дыхательных путей. Во время задымления из-за сжигания соломы и пожнивных остатков вблизи Виннипега (Канада) в группе лиц со слабо или умеренно выраженной обструкцией дыхательных путей отмечалось появление таких симптомов, как кашель, хрипы, сдавленность в груди, одышка, затрудненное дыхание (Long et al., 1998). В Иране сжигание остатков, образовавшихся при выращивании риса, ассоциировалось, среди прочих, с повышением распространенности приступов астмы, применения лекарственных средств для лечения астмы, кашля и снижения функции легких (Golshan et al., 2002).

Лишь в немногих исследованиях, проведенных в развитых странах, изучалось влияние на здоровье долгосрочной или пренатальной экспозиции к дыму от сжигания древесины в жилищах. Однако было показано, что длительность (количество дней) воздействия дыма от горящей древесины во время беременности коррелировала с уменьшением гестационного возраста (Gehring et al., 2014), а экспозиция беременных к дыму лесных пожаров приводила в среднем к некоторому снижению массы тела младенцев при рождении (Holstius et al., 2012).

Токсикологические и клинические исследования последствий воздействия загрязнителей

Частицы, содержащиеся в дыме от горящей древесины, причиняют вред здоровью человека, участвуя в окислительном стрессе, непосредственном токсическом воздействии на клетки, нарушении механизма обновления поврежденных клеток, повреждении легких с последующим воспалением и генотоксическим эффектом, повышающим риск возникновения рака дыхательных путей. Воспалительный процесс в легких может в дальнейшем приводить к системному воспалению. Многие из этих эффектов в отношении здоровья могут быть вызваны воздействием ПАУ, а также их производных, входящих в состав РМ.

При проведении контролируемых исследований последствий для здоровья в результате воздействия РМ_{2,5} или РМ₁₀ такой источник выбросов РМ, как сжигание древесины в жилищах, рассматривался реже, чем выхлопы дизельных двигателей. Концентрации РМ (200–500 мкг/м³ РМ_{2,5} или РМ₁₀), использованные в этих исследованиях, соответствуют максимальным часовым уровням, измеренным в период зимних температурных инверсий в пригородных жилых районах развитых стран, где древесина используется как первичное и вторичное топливо для обогрева жилищ. Только в одной статье из рецензируемого журнала рассматриваются эффекты от воздействия более чем одной концентрации РМ_{2,5} или РМ₁₀ (Riddervold et al., 2011). Сравнительный анализ этих результатов затруднен из-за различий в протоколах исследования. Различные фазы горения (возгорание, оптимальное горение и прекращение горения) могут отличаться по своему воздействию. Кроме того, характеристики экспозиции и, возможно, ее воздействия могут меняться в зависимости от различий в обращении с устройством для сжигания.

Лишь в немногочисленных контролируемых клинических исследованиях с участием преимущественно здоровых добровольцев из-

учали экспериментальное воздействие на людей разбавленного аэрозоля древесного дыма. В исследованиях, продолжавшихся, как правило, в течение одного – двух часов, моделировали экспозицию к высоким концентрациям РМ_{2,5} или РМ₁₀ в атмосферном воздухе регионов с высокой плотностью населения, практикующего сжигание древесины. Слабо выраженное воспаление дыхательных путей обнаружено в 2 из 6 исследований, результаты которых были опубликованы в рецензируемых журналах. В то же время в других исследованиях зафиксированы воспаление легких и признаки системной воспалительной реакции (по результатам анализа крови). При этом ни в одном из исследований не выявлено снижения функции легких. Исследования с участием здоровых добровольцев показали, в частности, что экспозиция к дыму от горящей древесины ассоциировалась с:

- системной воспалительной реакцией, а также воспалением бронхов и альвеол (Ghio et al., 2012);
- тенденцией к ускорению свертывания крови (Barregard et al., 2006);
- воспалением дистальных (нижних) отделов дыхательных путей (Barregard et al., 2008);
- усилением симптомов заболеваний верхних дыхательных путей (Sehlstedt et al., 2010);
- повышенной частотой выявленных при опросах случаев раздражения слизистых оболочек (Riddervold et al., 2011).

Если испытуемые подвергались воздействию дыма от горящей древесины в течение 3 часов, периодически выполняя физические упражнения, это приводило к резкому повышению жесткости основных артерий и частоты сердечных сокращений (Unosson et al., 2013).

Воздействие СУ на здоровье

Дым от горящей древесины содержит большое количество СУ; по некоторым оценкам 34–46% общемировых выбросов СУ – результат использования различных видов топлива из биомассы для приготовления пищи и отопления домов (Bond et al., 2013). Недавний обзор (Janssen et al., 2012) эпидемиоло-

гических, клинических и токсикологических исследований продемонстрировал убедительные доказательства воздействия СУ на здоровье, как при краткосрочной, так и при долгосрочной экспозиции. Исследователи обнаружили существование ассоциаций между суточными концентрациями СУ

в наружном воздухе и смертностью от всех причин и от сердечно-сосудистых заболеваний, а также количеством госпитализаций при сердечно-легочных заболеваниях. Кроме того, в другом исследовании на модели с одним загрязнителем обнаружена корреляция между длительным воздействием СУ и смертностью от всех причин и от сердечно-легочных заболеваний (Smith et al., 2009). СУ сам по себе не обязательно является глав-

ным токсическим компонентом $PM_{2,5}$, но может выступать в роли индикатора присутствия других образующихся при горении токсических соединений. СУ может переносить широкий спектр химических соединений в легкие, к основным клеткам защитной системы организма и, возможно, в общий кровоток. Снижение уровня экспозиции к $PM_{2,5}$, содержащим СУ, должно приводить к уменьшению воздействия на здоровье.



4.

Бремя болезней, обусловленных загрязнением атмосферного воздуха из-за отопления жилищ древесиной и углем

Из всех регионов Европы и Северной Америки Центральная Европа вносит самый высокий вклад в загрязнение атмосферного воздуха $PM_{2.5}$ за счет использования твердых видов топлива для обогрева жилищ (21% в 2010 г.). Загрязнение атмосферного воздуха из-за обогрева жилищ древесиной и углем ежегодно становится причиной 61 000 преждевременных смертей в Европе и около 10 000 смертей в Северной Америке.

Отопление помещений домашних хозяйств твердыми видами топлива на основе биомассы (древесина, сельскохозяйственные отходы и другие сходные материалы) вызывает загрязнение наружного воздуха, что, в свою очередь, приводит к значительной нагрузке на общественное здравоохранение (из-за роста числа преждевременных смертей и утраченных лет здоровой жизни) во многих регионах мира. Европа входит в число регионов с наиболее серьезными проблемами в этой области: во многих ее районах особенно высока доля выбросов в атмосферный воздух $PM_{2.5}$, возникающих в результате обогрева помещений домашних

хозяйств древесиной и углем (см. таблицу 3).

В Европе в 2010 г. загрязнение атмосферного воздуха $PM_{2.5}$ за счет обогрева жилищ твердыми видами топлива (древесиной и углем) вызвало, согласно оценкам, 61 000 случаев преждевременной смерти, примерно столько же, сколько в 1990 г. (Chafe et al., в печати). Это составило 55% от числа всех случаев смерти в мире, которые можно "приписать" воздействию атмосферного воздуха, загрязненного в результате отопления жилищ древесиной и углем. Кроме того, загрязнение атмосферного воздуха при отоплении домашних хозяйств твер-

Таблица 3. Вклад отопления жилищ в уровень $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе и в бремя болезней, выбранные регионы, 1990 и 2010 гг.

Регион	$PM_{2.5}$ за счет отопления жилищ (%)		$PM_{2.5}$ за счет отопления жилищ (мкг/м ³)		Число преждевременных смертей/год		Число утраченных лет здоровой жизни (DALY)/год	
	1990	2010	1990	2010	1990	2010	1990	2010
Центральная Европа	11,1	21,1	3,5	3,4	18 000	20 000	370 000	340 000
Восточная Европа	9,6	13,1	2,0	1,4	24 000	21 000	480 000	410 000
Западная Европа	5,4	11,8	1,3	1,7	17 000	20 000	280 000	290 000
Северная Америка (высокий уровень доходов)	4,6	8,3	0,9	1,1	7 500	9 200	140 000	160 000
Центральная Азия	9,9	8,3	2,4	1,6	5 500	4 200	180 000	110 000
Глобально	3,0	3,1	0,9	0,7	120 000	110 000	2 800 000	2 200 000

дыми видами топлива стало причиной того, что в 2010 г. число DALY в Европе оценивалось в 1 млн (см. вставку 6) (47% от общемирового значения), снизившись на 0,3 млн по сравнению с 1990 г.

В 1990 г. в Северной Америке воздействие атмосферного воздуха, загрязненного $PM_{2,5}$ в результате отопления жилищ твердыми видами топлива, стало причиной 7 500 смертей. В 2010 г. этот показатель вырос

до 9 200. Оценка последствий этого же загрязнения, выраженная в DALY, составила 160 000 в 2010 г., несколько превышая показатель 1990 г. (140 000). Это бремя могло быть снижено при сокращении использования биомассы для отопления помещений или снижения уровня выбросов за счет более полного сгорания топлива или улавливания загрязнителей.

Вставка 6. DALY

DALY – это комбинированная единица, суммирующая показатели смертности (преждевременные смерти), выраженные числом утраченных лет жизни, и показатели заболеваемости (травмы и болезни), выраженные числом утраченных лет жизни в связи с нарушениями здоровья. Показатель DALY позволяет дать полную оценку нездоровья вызванного каким-либо фактором риска или болезнью. Для оценки заболеваемости используется, кроме того, такой показатель, как весовой коэффициент нетрудоспособности (disability weight), который позволяет дать количественную оценку потери здоровья и определяется для каждого года, прожитого с конкретным недугом.

Европейский регион вносит самый высокий вклад в общемировые выбросы в атмосферу $PM_{2,5}$, обусловленные использованием твердых видов топлива для отопления в домашних хозяйствах. Так, в 2010 г. Западная Европа, Центральная Европа и Восточная Европа обеспечили соответственно 12, 21 и 13% мировых выбросов $PM_{2,5}$. Это соответствует средним, взвешенным по численно-

сти населения концентрациям $PM_{2,5}$, равным 1,7 мкг/м³, 3,4 мкг/м³ и 1,4 мкг/м³ соответственно. Для сравнения, в Северной Америке (Канада и США) только 8% всех выбросов в окружающий воздух $PM_{2,5}$ обусловлено использованием твердых видов топлива для обогрева домашних хозяйств (средняя, взвешенная по численности населения концентрация $PM_{2,5}$ составляет 1,1 мкг/м³).



Методология

Анализ, представленный в разделе 4, сочетает оценки энергопотребления и выбросов, полученные на модели GAINS, разработанной МИПСА. Количественные показатели образования вторичных РМ рассчитывали с помощью компьютерной программы TM5-FASST в Объединенном исследовательском центре Европейской комиссии (ЕС JRC). Данные о влиянии на здоровье получены из исследования глобального бремени болезней 2010 г. (ГББ) (Amann et al., 2011; IASA, 2014; ЕС JRC, 2014; Lim et al., 2012). Все оценки загрязнения взвешены по численности населения и учитывали другие источники РМ, такие как горение биомассы на открытых пространствах (лесные пожары, сжигание сельскохозяйственных отходов) и образование пыли. Эффекты в отношении здоровья рассчитывали как долю от всех эффектов, вызванных загрязнением атмосферного воздуха, основываясь на том, какой вклад в общее загрязнение вносит использование твердого топлива для обогрева жилищ. Эта процедура соответствует подходу, использованному в исследовании, посвященном оценке мировых энергетических ресурсов (Riahi et al., 2012) и в отчете Всемирного банка о бремени болезней, связанных с дорожным движением (Bhalla et al., 2014). Хотя воздействие на здоровье оценивается в региональных масштабах, нужно учитывать, что преимущества для здоровья в результате снижения уровня экспозиции к загрязненному атмосферному воздуху будут существенно отличаться в разных стра-

нах из-за различий в исходных показателях здоровья и характеристиках загрязнения.

Очень важен вопрос о том, насколько результаты эпидемиологических исследований воздействия РМ, присутствующих в городских выбросах загрязнителей, могут быть распространены на явления, наблюдаемые при воздействии РМ, образовавшихся за счет горения древесины в жилых домах. Руководящие принципы ВОЗ по качеству воздуха (Европейское региональное бюро ВОЗ, 2006) содержат вывод, что имеется мало данных о различиях в токсичности частиц, образующихся при горении биомассы, и более широко изученных РМ, загрязняющих городской воздух. Такой же подход был использован в анализе, представленном в разделе 4, и недавнем исследовании ГББ (Lim et al., 2012), когда все частицы, образовавшиеся при горении, независимо от источника их выброса, считались опасными для здоровья в зависимости от уровня их воздействия. Такой подход был основан на изучении интегральных кривых, разработанных для исследования ГББ и отражающих взаимосвязь экспозиции к частицам, образовавшимся при горении и присутствующим в загрязненном атмосферном воздухе, вторичном табачном дыме, загрязненном воздухе внутри помещений и дыме от активного курения, и такими исходами в отношении здоровья, как ишемическая болезнь сердца, инсульт, ХОБЛ, рак легких и пневмония у детей (Burnett et al., 2014).



5.

Мероприятия, позволяющие уменьшить выбросы, повысить качество наружного воздуха и воздуха внутри помещений и улучшить здоровье людей

Стимулирование перехода на другие виды топлива (с отказом от сжигания угля и других разновидностей твердого топлива) и более эффективные технологии отопления (например, использование сертифицированные модели каминов или печей, работающих на пеллетах) может привести к снижению уровня выбросов из бытовых нагревательных устройств, работающих на древесине и угле. Использование фильтров может уменьшить неблагоприятные последствия для здоровья от загрязнения воздуха внутри помещений. Образовательно-информационные кампании также могут стать полезным инструментом для снижения уровня выбросов из обогревателей жилья, работающих на твердом топливе.

Надзорные органы, действующие на уровне страны, штата/провинции или населенного пункта, предприняли много усилий по нормативно-правовому регулированию качества воздуха. Эти усилия были направлены на снижение концентраций загрязнителей, выбрасываемых в окружающий воздух при сжигании древесины в жилищах. Цели проведенных мероприятий включали переход на другие виды топлива, совершенствование технологии сжигания (за-

мена печей), внедрение централизованного теплоснабжения, высокоэффективную фильтрацию воздуха в домах с применением HEPA-фильтров, а также информирование населения о надлежащих приемах сжигания топлива. Эффективность этих мероприятий изучалась в сравнительно небольшом количестве исследований, и лишь в части этих работ давалась оценка полученных выгод в отношении здоровья.

Переход на другие виды топлива

Исследование, проведенное в Ирландии, показало, что запрещение маркетинга, продажи и распределения угля (особенно битумного) положительно сказалось как на качестве воздуха, так и на состоянии здоровья населения, и привело к снижению показателей смертности от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний. После запрещения продаж угля в Дублине среднее значение концентрации сажи в черном дыме (количество тонкодисперсных РМ, измеренное по степени почернения фильтров) уменьшилось на 35,6 г/м³ (70%), а скорректированные показатели смертности от причин, не связанных с травмами, снизились на 5,7%. Число смертей от болезней дыхательных путей и сердечно-сосудистых заболеваний сократилось на 15,5 и 10,3% соответственно. Запрещение привело к тому, что количество жителей Дублина, умерших в течение года от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, уменьшилось при-

мерно на 116 и 243 человека соответственно (Clancy et al., 2002).

По итогам последующего повторного анализа авторы оригинальной статьи пришли к выводу, что статистическая обработка данных о смертности не позволяла в полной мере контролировать нисходящую долговременную тенденцию, что в результате приводило к систематической ошибке с завышением результатов. Однако повторный анализ все же продемонстрировал значительное снижение смертности от заболеваний дыхательных путей (Dockery et al., 2013). В этой работе было также показано, что при распространении запрета на другие ирландские города в них отмечалось значительное улучшение качества воздуха, а также снижение показателей заболеваемости и смертности, в особенности от респираторных болезней. Как отмечалось ранее (вставка 2), документ "Руководящие принципы ВОЗ по качеству воздуха в помещениях.

Сжигание топлива в домашних хозяйствах" содержит настоятельную рекомендацию не применять в домашних хозяйствах необработанный или сырой уголь в качестве топлива (ВОЗ, 2014а).

Успешное вмешательство в Лонсестоне (Тасмания) сочетало переход на другой вид топлива (путем замены дровяных печей на электроснабжение), образовательную информационную деятельность в общине и контроль за соблюдением нормативных требований по охране окружающей среды (Johnston et al., 2013). В результате доля домашних хозяйств, использовавших для отопления древесину, сократилась с 66 до 30%. В начале 13-летнего исследования вклад отопления домов древесиной в выбросы РМ составлял 85%. Вмешательства позволили сократить среднезимние концентрации РМ₁₀ на 39% (с 44 до 27 мкг/м³).

Это повышение качества воздуха ассоции-

ровалось с уменьшением ежегодных показателей смертности после корректировки по общему показателю улучшения состояния здоровья жителей региона, зафиксированному в период исследования в близлежащих районах (Хобарт). Были получены характеризующиеся пограничной значимостью показатели снижения смертности от сердечно-сосудистых заболеваний (-19,6%; 95% доверительный интервал (ДИ): от -36,3% до 1,5%) и респираторных заболеваний (-27,9%; 95% ДИ: от -49,5% до 3,1%) в зимние месяцы. В то же время в популяции мужчин отмечалось более выраженное и статистически значимое снижение смертности от всех причин (-11,4%; 95% ДИ: от -19,2% до 2,9%), от сердечно-сосудистых заболеваний (-17,9%; 95% ДИ: от -30,6% до -2,8%) и респираторных заболеваний (-22,8%; 95% ДИ: от -40,6% до 0,3%), чем в общей популяции.

Замена нагревателей и дровяных печей

Успешное осуществление программы замены дровяных печей на уровне общины в Либби (Монтана), позволило за 4 года заменить 95% (n=1100) старых печей, не имевших сертификата Агентства по охране окружающей среды Соединенных Штатов (EPA), на устройства, сертифицированные EPA, или другие источники тепла. До обмена вклад выбросов домашних дровяных печей в загрязнение воздушного бассейна (части атмосферы со сходным характером рассеивания выбросов) РМ_{2,5} в зимние месяцы составлял около 80%. Сравнение с зимой, предшествовавшей вмешательству, показало, что в результате обмена среднезимняя массовая концентрация РМ_{2,5} снизилась на 27%, а определенная при анализе распределения источников доля выбросов РМ_{2,5}, связанная с образованием древесного дыма, на 28% (Ward & Lange, 2010; Ward et al., 2008; 2010; 2011). Уменьшение концентрации РМ_{2,5} в атмосферном воздухе ассоциировалось также со снижением вероятности регистрации случаев респираторных инфекций. При использовании для сравнения данных, полученных в течение двухлетнего периода, установленного для получения исходных показателей до замены печей, оказалось, что в результате вмешательства уменьшение концентрации РМ_{2,5} на каждые 5 мкг/м³ сопровождалось снижением вероятности сообщений о наличии хрипов у школьников на 26,7% (95% ДИ: от 3,0% до 44,6%).

Исследование распределения источников, проведенное в Голдене (Британская Колумбия), показало 4-кратное снижение доли

РМ_{2,5}, выбрасываемых при горении древесины, в общем количестве этого загрязнителя атмосферного воздуха после выполнения программы замены дровяных печей (Jeong et al., 2008). В период осуществления программы доля домов, оснащенных дровяными печами современной конструкции (имеющими сертификат EPA), выросла с 25% до 41%. Однако одновременно с этим, в целом, выросла доля домов (с 29% до 32%) использующих традиционные дровяные печи. Исходы в отношении здоровья не изучались.

При оценке влияния замены печей на качество воздуха внутри помещений были получены неоднозначные результаты. Так, в Либби (Монтана) концентрации РМ_{2,5} в различной степени снизились во всех домах, где произошла замена печей; 24-часовые концентрации РМ_{2,5} в воздухе внутри помещений в среднем уменьшились на 71%; кроме этого отмечалось также снижение концентраций ОУ и левоглюкозана (Ward et al., 2008). Однако существенное различие температур окружающего воздуха при отборе проб до и после замены печей могло повлиять на скорость инфильтрации и на принятую в данной общине практику сжигания древесины. Для того чтобы учесть эти факторы и оценить результаты замены печей на протяжении более длительного промежутка времени, было проведено дополнительное исследование в течение двух зим, следующих друг за другом. При этом пробы воздуха до и после замены печей отбирали при одинаковых температурах (Noonan et al., 2012). Анализ результатов показал, что

средняя концентрация $PM_{2,5}$ снизилась приблизительно на 53% ($-18,5$ $\mu\text{кг}/\text{м}^3$; 95% ДИ: от $-31,9$ $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ до $-5,2$ $\mu\text{кг}/\text{м}^3$) при корректировке по содержанию $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе, температуре атмосферного воздуха и некоторым другим характеристикам домашних хозяйств, которые могли повлиять на уровни $PM_{2,5}$ в воздухе внутри помещений. Показатели снижения концентрации $PM_{2,5}$ существенно варьировали для разных домов и разных лет исследования; в ряде домов вообще не удалось зафиксировать уменьшение концентрации $PM_{2,5}$ в результате замены печей. Так же, как в первоначальном исследовании, наблюдалось снижение уровней загрязнения воздуха ОУ, элементарным углеродом (ЭУ) и левоглюкозаном.

Небольшое вмешательство по замене печей, проведенное в резервации коренных жителей Америки (штат Айдахо), привело к улучшению качества воздуха внутри помещений. Среднее значение концентрации $PM_{2,5}$, составлявшее до замены $39,2 \pm 45,7$ $\mu\text{кг}/\text{м}^3$, снизилось до $19 \pm 47,5$ $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ (52%) (Ward et al., 2011). При этом так же, как в Либби, произошло снижение уровней левоглюкозана и других загрязнителей. Никаких изменений в качестве воздуха внутри помещений не отмечено в 5 из 15 домов.

Результаты еще одного небольшого исследования замены дровяных печей, проведенного на севере Британской Колумбии, не подтвердили существование устойчивой связи между модернизацией технологии отопления (то есть переходом от обычных несертифицированных дровяных печей к печам, имеющим сертификат EPA) и концентрациями $PM_{2,5}$ или левоглюкозана в наружном воздухе или воздухе внутри тех домов, в которых произошла замена печей (Allen et al., 2009). Измерения в 15 домах проводили до и после замены печей в течение одного и того же отопительного сезона (в исследовании был включен приблизительно месячный период, в течение которого участники осваивали эксплуатацию новых печей), а при оценке результатов учитывали уровни инфильтрации и температуру наружного воздуха.

При осуществлении инициатив по замене печей могут возникать определенные трудности. Канадский совет министров по охране окружающей среды (ССМЕ) – ассоциация министров по охране окружающей среды из федерального, провинциальных и территориальных правительств – оценил результаты 12 проведенных в Канаде кампаний по замене печей и просвещению населения и пришел к выводу, что выполнение программ замены может быть затруднено как в связи с высокой стоимостью новых технологий, так и из-за длительного запланированного срока службы уже установленных устройств. Оценка подтверждает необходимость применения нормативов, позволяющих эффективно ограничивать продажи устройств, работающих со значительными выбросами загрязнителей. Такой подход используется в ряде провинций Канады и американских штатов.

Канадский национальный сотрудничающий центр по охране окружающей среды признал необходимым принять стандарты выбросов на базе наилучших доступных технологий для того, чтобы в ходе выполнения программ замены можно было гарантировать установку таких современных устройств, которые входили бы в число самых "чистых" среди имеющихся в продаже вариантов. Без этих стандартов итогом проведения программы замены может стать фактическая потеря возможности установки наиболее "чистых" из имеющихся на рынке устройств для сжигания древесины, которые предстоит эксплуатировать в течение ряда ближайших лет. Исследование центра также показало, что вывод из обращения традиционных несертифицированных устройств (в результате замены, из-за истечения сроков эксплуатации, а также перед продажей собственности или переездом) был наиболее эффективной стратегией, направленной на снижение уровня древесного дыма в жилых районах, включенной в муниципальный типовой подзаконный акт (Environment Canada, 2006) (см. "Другие нормативные требования и добровольные меры" в разделе 6).

Централизованное теплоснабжение

Централизованное теплоснабжение — это система распределения тепла из одного центрального источника тепловой энергии, удовлетворяющая потребности в отоплении и горячем водоснабжении помещений жилого и коммерческого секторов. Система начала работать в Швеции в 1940-е гг. и была введена из соображений сохранения здоро-

вья, повышения эффективности и комфорта. Планировалось отдалить места использования кокса и серосодержащей нефти от мест проживания людей в больших и малых городах, а также поддержать производство электричества (комбинированную выработку электроэнергии и тепла). По подсчетам, сделанным в 1970-е гг., уровни вы-

бросов SO_2 в городах с централизованным теплоснабжением были в 2–5 раз ниже, чем в похожих городах, где централизованное теплоснабжение отсутствовало (Boström et al., 1982). С тех пор тяжелая нефть перестала использоваться в качестве топлива из-за введения налогов на серу, углерод и электроэнергию. Жесткий контроль выбросов привел к тому, что начал применяться ряд новых видов топлива – преимущественно вариантов биотоплива. В настоящее время системы централизованного тепло- и холодоснабжения Швеции используют в основном избыточное тепло, образующееся при производстве электроэнергии или в промышленном производстве. Такой подход считается одним из наиболее экологических способов использования биотоплива. Также применяются другие источники энергии, например, тепловые насосы, использующие тепло морской, речной или сточной воды.

В настоящее время централизованное те-

плоснабжение является наиболее распространенным в Швеции способом отопления многоквартирных домов и нежилых помещений. В результате такого подхода и других введенных изменений концентрация сажи в атмосферном воздухе второго по величине города страны Гетеборга уменьшилась с почти 50 мкг/м^3 в 1965 г. до приблизительно 5 мкг/м^3 в 1995 г. (Areskoug et al., 2000). Другим примером служит центр Стокгольма, где уровень концентрации SO_2 в воздухе, превышавший в 1965 г. 200 мкг/м^3 , к 1990 г. снизился до значения менее 25 мкг/м^3 . Роль централизованного теплоснабжения в охране окружающей среды была подробно описана. Подсчитано, что общие энергетические потребности для отопления в странах ЕС могут быть удовлетворены, если излишки тепла, образующиеся при производстве энергии, будут использоваться для централизованного теплоснабжения (Frederiksen & Werner, 2013).

Очистка воздуха с помощью HEPA-фильтров

Программы управления качеством воздуха обычно не включают стратегии, осуществляемые на уровне домашних хозяйств или отдельных лиц. В то же время два исследования, проведенные в Канаде, показывают, что использование HEPA-фильтров в домашних условиях может уменьшить воздействие древесного дыма на здоровье. Исходное простое слепое рандомизированное перекрестное исследование проводилось зимой в 21 доме, расположенном в зоне загрязнения воздуха выбросами от сжигания древесины в жилищах, а также выбросами из транспортных и промышленных источников. При использовании в домах HEPA-фильтров уровни PM в воздухе внутри помещений снизились в среднем на 55% (стандартное отклонение = 38%) (Barn et al., 2008). Впоследствии было проведено рандомизированное интервенционное слепое перекрестное исследование, в ходе которого измеряли уровень воздействия и

оценивали потенциальные выгоды в отношении здоровья, связанные с применением HEPA-фильтров (Allen et al., 2011). В результате было установлено, что очистка воздуха HEPA-фильтрами приводила к снижению концентраций $\text{PM}_{2,5}$ и левоглюкозана в воздухе внутри помещений на 60 и 75% соответственно. Применение HEPA-фильтров в течение одной недели сопровождалось улучшением функции эндотелия и снижением уровня биомаркеров воспаления у здоровых взрослых лиц (нарушение функции эндотелия и системное воспаление считаются прогностическими маркерами сердечно-сосудистых заболеваний). Ассоциации с маркерами окислительного стресса в моче не наблюдалось. Эти исследования показывают, что портативные комнатные воздухоочистители могут снижать воздействие загрязнителей, образующихся при сжигании древесины в жилищах, и уменьшать их негативное воздействие на здоровье.



Образовательно-информационные кампании

EPA запустило программу "Сжигай с умом", направленную на то, чтобы научить людей топить "правильной" (сухой, выдержанной и твердой) древесиной, а не мусором, "правильным" способом (разводя сильный, не тлеющий огонь, не перегружая отопительное устройство и не топить при значительном загрязнении наружного воздуха), пользуясь "правильным", то есть эффективным устройством для сжигания. Образовательно-информационные кампании, проводимые на уровне городов, округов и стран, могут также способствовать переходу населения на альтернативные источники энергии и отказу от ненужного сжигания древесины в местах отдыха.

Исследование, проведенное в небольшом университетском городке Армедейле (Австралия), где из-за использования дровяных печей отмечались высокие уровни загрязнения воздуха РМ, показало, что в результате образовательной кампании участники снизили выбросы древесного дыма из домов 316 участников значительно сократились (Hine et al. 2011); к сожалению, уровни загрязнения воздуха не измеряли. В ходе исследования были выявлены такие основные факторы, препятствующие сокращению выбросов дыма, как плохая работа дровяных печей, неправильное использование дров и неосведомленность относительно воздействия древесного дыма на здоровье. В результате проведения кампании не удалось повысить уровень знаний участников исследования о рисках для здоровья, связанных с горением древесины.

В целом, кампании по информированию населения о состоянии окружающей среды лишь незначительно влияют на формирование ответственного экологического поведения, а в рецензируемых журналах имеется мало данных об эффективности таких кампаний. Отсутствуют количественные оценки того, насколько может уменьшиться воз-

действие сжигания древесины на здоровье, если использовать усовершенствованные способы сжигания, но не заменять соответствующие приспособления. Причины того, почему, даже узнав о рисках для здоровья от сжигания древесины, люди не всегда меняют свое поведение в лучшую сторону, рассмотрены в очень небольшом числе исследований (Hine et al., 2007; 2011).

Образовательно-информационные кампании могут провалиться, если ограничиваются предоставлением информации о рисках, но не пытаются изменить сложившийся позитивный имидж сжигания древесины. У многих людей горящие дрова в домашнем очаге ассоциируются с природными ощущениями комфорта, доброты, счастья и тепла (Hine et al., 2007). Если человек принимает решение, сжигать или не сжигать древесину, то его выбор (если он возможен) может скорее определяться интуитивным позитивным ощущением, чем логическим расчетом рисков. Древесный дым, по-видимому, не воспринимается как явление, несущее такую же угрозу здоровью, как многие другие факторы экологического "стресса", хотя данные, подтверждающих или опровергающих такое представление, немного.

Одним из мотивов изменения поведения может стать более глубокое понимание рисков для здоровья, связанных с использованием для обогрева твердого топлива, хотя следует заметить, что осведомленность о рисках не ведет автоматически к позитивным сдвигам в поведении. Однако ободряющим примером служат активные кампании против табакокурения. В результате их проведения имидж курения претерпел, по меньшей мере, частичные изменения. Показано, что запрет на курение в барах положительно повлиял на состояние здоровья некоторых групп населения в отношении респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний (Bartecchi et al., 2006; Goodman et al., 2007).



Нормативно-правовые и добровольные меры, позволяющие сократить выбросы от дровяного отопления в развитых странах

Нормативно-правовые меры включают соблюдение принятых в ЕС норм экодизайна и экомаркировки, а также введение технологически обоснованных предельных значений выбросов в США и Канаде. Кроме того, в распоряжении лиц, формирующих политику, имеются такие инструменты, как финансовая поддержка стимулирования перехода на другие виды топлива и технологии обмена нагревательных устройств, а также выделение специальных дней "без разведения огня" и проведение экомаркировки.

В этом разделе рассматриваются нормативно-правовые и добровольные меры, которые могут быть применены в настоящее время и которые дают возможность уменьшить число смертей или травм, связанных с использованием твердого топлива для обогрева жилищ. Нужно отметить, что в данном разделе не описываются вмешательства, касающиеся сжигания угля,

так как в документе "Руководящие принципы ВОЗ по качеству воздуха внутри помещений. Сжигание топлива в домашних хозяйствах" настоятельно рекомендуется не применять в домашних хозяйствах уголь в качестве топлива (ВОЗ, 2014а); предполагается, что следует использовать любую доступную возможность для уменьшения сжигания угля в домах.

Регулирование предельных значений выбросов

В течение последнего десятилетия Европейская комиссия изучала возможность регулирования работы домашних твердотопливных нагревателей и котлов, особенно тех, в которых используются различные виды топлива на основе древесной биомассы (древесные поленья, пеллеты и брикеты из прессованной биомассы), чтобы предложить основанные на принципах экодизайна предельные значения выбросов. Расширение политических инициатив заложило основу для дальнейшей работы ЕС в этой области. На основе Директивы по экодизайну разрабатываются конкретные нормативы по энергоэффективности и выбросам для работающих на твердом топливе бытовых нагревателей (ENER Lot 20) и котлов (ENER Lot 15) (European Commission, 2009).

Внедрение в практику стандартов экодизайна в соответствии с предложениями Комис-

сии должно привести к значительному снижению выбросов $PM_{2,5}$ из домашних нагревателей и котлов, работающих на твердом топливе, по сравнению с изначально прогнозируемыми показателями.

Согласно проекту нормативов для бытовых твердотопливных нагревателей², ожидается, что соблюдение предлагаемых требований к этим изделиям в сочетании с эффектом от энергомаркировки позволит к 2030 г. достичь экономии около 41 петаджоуля энергии [0,9 млн тонн нефтяного эквивалента (Мтнэ)] в год, что соответствует сокращению выбросов CO_2 на 0,4 млн тонн. Кроме того, ожидается ежегодное снижение выбросов PM , органических газообразных соединений и CO на 27 килотонн, 5 килотонн и 399 килотонн соответственно. Предполагается, что достигнутый к 2030 г. сочетанный эффект от введения предлагаемых норма-

² Предлагаемый проект нормативов устанавливает следующие предельные значения выбросов PM : 50 mg/m^3 для бытовых нагревателей с открытой топкой, 40 mg/m^3 для нагревателей с закрытой камерой сгорания, работающих на твердом топливе (но не на пеллетах) и кухонных плит, работающих на твердом топливе; к 2022 г. предельное значение выбросов PM составит 20 mg/m^3 для нагревателей работающих на пеллетах (измерение массы PM проводится после высушивания проб).

тивов для твердотопливных котлов³ и энергомаркировки позволит сберечь ежегодно около 18 петаджоулей (0,4 Мтнэ) энергии, что соответствует ежегодному снижению выбросов CO₂ примерно на 0,2 млн тонн и ежегодному сокращению выбросов PM, органических газообразных соединений и CO на 10 килотонн, 14 килотонн и 130 килотонн соответственно.

Некоторые европейские страны, включая Австрию, Германию, Данию, Норвегию и Швецию, приняли и уже ввели в действие национальные стандарты выбросов для малогабаритных установок, использующихся для обогрева жилищ. Наиболее подробные характеристики в настоящее время представлены в законе, принятом в 2010 г. в Германии (приводится у Bond et al., 2013).

В Канаде также действуют общегосударственные стандарты, ограничивающие уровни загрязнения воздуха PM_{2,5} и озон, а сжиганию древесины в жилищах был отдан приоритет, как сектору, в котором можно добиться снижения уровня загрязняющих выбросов. CCME принял участие в инициативе обновления стандартов, ранее принятых Канадской ассоциацией стандартов (CSA), для современных устройств, предназначенных для сжигания древесины (CSA Group, 2010). Принятие новых стандартов произошло в 2010 г. и позволило снизить интенсивность выбросов PM до 4,5 г/час и до 2,5 г/час для некаталитических и каталитических установок для сжигания древесины соответственно. Также были установлены стандарты в отношении предельных значений выбросов, составившие 0,4 г/мегаджоуль и 0,13 г/мегаджоуль для внутридомовых котлов/печей и наружных жидкостных нагревателей соответственно.

В США, в соответствии с Законом о чистом воздухе, EPA установило в 1988 г. нормы выбросов для новых источников (NSPS), ограничивающие выбросы из бытовых дровяных печей. Интенсивность выбросов PM не должна превышать 7,5 г/час и 4,1 г/час для некаталитических и каталитических установок для сжигания древесины соответственно. Ожидается, что эти нормативы будут пересмотрены в 2015 г. с целью отражения возможностей по снижению выбросов из самых лучших современных установок.

Следует отметить, что принятые в 1988 г. NSPS относятся только к новым дровяным печам и не применимы к оборудованию, установленному до введения стандартов, а также к разнообразным, набирающим популярность устройствам для сжигания древесины в домах, включая камины, печи из кам-

ня (кирпичные), печи, работающие на пеллетах (см. вставку 7), внутридомовые и наружные дровяные котлы, топки паровых котлов и нагреватели. EPA были разработаны добровольные программы сертификации жидкостных нагревателей и каминов, вступившие в действие в 2007 и 2009 гг. соответственно. Сертификаты фазы 2 получают жидкостные нагреватели с интенсивностью выбросов 0,32 фунта на миллион британских тепловых единиц (млн БТЕ) и камины с интенсивностью выбросов 5,1 г/час. Согласно пересмотренным NSPS для каменных печей, среднесуточная интенсивность выбросов составляет 2 г/час; 0,32 фунта на млн БТЕ (около 0,14 г/мегаджоуль).

Жидкостный нагреватель – это древесно-сжигающий котел, часто установленный вне обогреваемого помещения (например, в сарае), нагревающий какую-либо жидкость (воду или смесь воды с антифризом), которая затем используется для циркуляции тепла. Для содействия производству и продаже более экологически чистых и эффективных наружных жидкостных нагревателей EPA в настоящее время осуществляет программу добровольной сертификации для производителей. Наружные жидкостные нагреватели, получившие сертификат самой высокой категории ("фаза 2"), считаются примерно на 90% более "чистыми", чем несертифицированные модели. Тем не менее среднегодовая интенсивность выбросов PM_{2,5} даже из тех наружных жидкостных нагревателей, которые получили сертификат фазы 2, на 1–2 порядка выше, чем для бытовых нефтяных или газовых печей. Ожидается, что в результате предлагаемого пересмотра NSPS предельное значение выбросов из внутридомовых и наружных жидкостных нагревателей в 2015 г. составит 0,32 фунта на млн БТЕ (около 0,14 г/мегаджоуль). В 2020 г. этот показатель, как для внутридомовых, так и для наружных жидкостных нагревателей, должен быть равен 0,06 фунта на млн БТЕ. Кроме того, в рамках юрисдикций ряда штатов и на местах были приняты нормативы на расстояния от наружных жидкостных нагревателей до зданий или других помещений, предположительно нуждающихся в защите (30–150 м в зависимости от сертификата в отношении выбросов).

Все вышеуказанные стандарты касаются выбросов PM, но нормативы, предложенные в США, включают, кроме того, требования к минимальной эффективности устройств, а также требования к замеру выбросов CO и сообщению этих данных в контролирующие организации с целью снижения выбросов.

3 Предлагаемый проект нормативов устанавливает, что к 2020 г. предельные значения выбросов PM составят 40 мг/м³ для котлов с автоматической подачей твердого топлива и 60 мг/м³ для котлов с ручной загрузкой твердого топлива.

Вставка 7. Пеллетные печи

В пеллетных печах в качестве топлива используется гранулированная биомасса (пеллеты). Некоторые из таких установок оборудованы системами автоматической подачи пеллетов. Чаще всего эти системы функционируют за счет электроэнергии, но в некоторых установках пеллеты опускаются в печь под действием силы тяжести, что не требует тщательного контроля со стороны пользователя. Печи, работающие на пеллетах, были разработаны в 1980-е гг. и приобрели особую популярность в Европе и, в меньшей степени, в США и Канаде.

За последнее десятилетие в некоторых странах Европы значительно выросло количество установленных в жилом и коммерческом секторах печей и котлов, работающих на пеллетах. Продажи такого оборудования в Австрии, Германии, Италии, Франции, Швейцарии и Швеции (стране, представляющей сейчас крупнейший рынок в мире) ежегодно увеличивались на 20–30%. Эти показатели слегка варьировали от года к году в зависимости от меняющегося соотношения цен на твердые виды топлива и топливные гранулы (UNEP & WMO, 2011)

Исходно производство пеллетов в некоторых европейских странах было налажено для утилизации отходов лесопилок. В период с 2001 г. по 2009 г. производство пеллетов в ЕС выросло в 4 раза, и сейчас имеет место свободный торговый обмен этой продукцией как внутри ЕС, так и с производителями из других стран, в особенности из Канады, Российской Федерации и США (FAO, 2010). Существуют определенные трудности в оценке общеевропейского "углеродного следа" от отопления пеллетами, так как большой объем этого топлива сейчас производится в Северной Америке или других регионах и экспортируется в Европу, обеспечивая растущий здесь рынок пеллетов.

Пеллетные печи меньше загрязняют окружающую среду, чем многие другие устройства (Kjällstrand & Olsson, 2004; Olsson & Kjällstrand, 2006), однако переход на них может оказаться недостаточно экономически эффективным для тех, кто самостоятельно заготавливает древесное топливо. Цены на такие печи колеблются в пределах 1000–3000 долл. США. Согласно одному из расчетов, эффективность затрат на снижение выбросов при замене дровяной печи колеблется от 130 долл. США на 0,1 мегаграмма PM для некаталитической печи до почти 1000 долл. США на 0,1 мегаграмма PM для печи, работающей на пеллетах, и в значительной степени зависит от цены на топливо и типа заменяемых печи или котла (Bond et al., 2013; Housk & Eagle, 2006).

В Швеции введение 52%-ного налога на выброс CO₂ при использовании ископаемых видов топлива привело к изменению предпочтений потребителей и повышению спроса на современные котлы, работающие на биомассе, и пеллетные печи. Кроме того, в нескольких странах действуют государственные программы стимулирования, направленные на поддержку использования в домашних хозяйствах современных способов обогрева с использованием биомассы с целью снижения выбросов парниковых газов. Например, во Франции были организованы информационные общественные кампании, налог на добавленную стоимость при приобретении печей и котлов, работающих на пеллетах, был снижен с 19,4 до 5,5%, а налоговое возмещение составило до 50% от стоимости установки отопительного оборудования. В Германии в 2008 г. субсидии на установку пеллетных котлов мощностью более 150 кВт выросли от 1500 евро до более чем 2000 евро и могут достигать даже 2500 евро при одновременной установке солнечных панелей (UNEP & WMO, 2011).

Переход на другие виды топлива

В Европе действует несколько вариантов финансового стимулирования перехода на другие виды топлива. В Австрии сжигание биомассы в котлах, работающих на пеллетах или древесной щепе, поощряется введением фиксированной ставки оплаты в раз-

мере 120 евро за кВт для устройств мощностью 0–50 кВт плюс 60 евро за каждый дополнительный кВт при использовании устройств мощностью 50–400 кВт. Эта политика позволяет потребителю вернуть до 30% стоимости оборудования.

В Германии получают скидки лица, приобретающие устройства для сжигания древесины, причем дополнительно стимулируется покупка устройств с автоматической подачей пеллетов. Минимальные скидки при покупке печей и котлов, работающих на пеллетах, колеблются в пределах 500–2500 евро в зависимости от конкретной модели.

В Северной Ирландии домашние хозяйства с низким уровнем доходов могут получить дотацию в размере до 1260 евро при замене неэффективного котла, прослужившего не менее 15 лет, на новый котел, работающий на древесных пеллетах (Brites, 2014).

Запущенная в Ирландии программа "Схема зеленого дома" в период с 2006 по г. to 2011 обеспечила выплату 19 млн евро за установ-

ку почти 6000 новых котлов и печей, использующих топливо на основе биомассы (SEAI, 2014).

Шведское правительство покрывает до 30% расходов на рабочую силу, материалы и оборудование, необходимые для перехода на отопление биомассой. К этому добавляется до 14 000 шведских крон (2000 долл. США) на каждое домашнее хозяйство. Владельцам квартир, отказавшимся от применения индивидуальных электронагревателей и перешедших на системы, подключенные к централизованному теплоснабжению, использующим топливо из биомассы или геотермальные, почвенные либо работающие на озерной воде тепловые насосы, доплачивается до 30 000 шведских крон (3150 долл. США) (Alliance for Green Heat, 2014).

Дни "без разведения огня" (обязательные и добровольные)

Во многих районах США (и за пределами этой страны) действуют обязательные правила, запрещающие разведение огня и предназначенные для снижения выбросов из бытовых нагревательных приборов при неблагоприятных погодных условиях (небольшая скорость ветра, температурная инверсия). Например, окружное отделение по управлению качеством воздуха в Области залива Сан-Франциско (Калифорния) запрещает разводить огонь в дни, когда выпускаются информационные бюллетени "Побереги воздух сегодня вечером" (BAAQMD, 2014a). В округе Берналлито (Альбукерке, Нью-Мексико) действует зимняя программа, регулирующая разведение огня и ограничивающая использование не сертифицированных EPA каминов или печей с октября по февраль (City of Albuquerque, 2014). В Денвере (штат Колорадо) действуют обязательные запреты на разведение огня в дни, которым в информационном бюллетене соответствует красный уровень опасности погодных условий. Запрет действует во время ежегодного сезона сильного загрязнения воздуха (с некоторыми исключениями). В Пьюджет-Паунде, (штат Вашингтон) запреты, направленные на улучшение качества воздуха, время от времени полностью или частично ограничивают разведение огня внутри и вне помещений и обычно являются при холодной и безветренной по-

годе. Власти округа Сан-Хоакин (Южная Калифорния) ограничивают сжигание древесины в дни, когда концентрации загрязнителей воздуха приближаются к уровням, опасным для здоровья. В округе Санта-Клара (вблизи Сан-Франциско) используется двухступенчатая система запретов на разведение огня: на стадии 1 жители могут использовать только сертифицированные дровяные печи; на стадии 2 они могут пользоваться дровяными печами только в тех случаях, когда эти устройства являются единственными источниками тепла (EPA, 2014).

В США действуют также рекомендации по добровольному отказу от разведения огня. Власти Ла Гранде (штат Орегон) просят жителей добровольно сокращать использование для обогрева дровяных печей, ориентируясь на выпускаемые ежедневно информационные бюллетени. Окружное отделение по управлению качеством воздуха (округа Йоло и Солано) инициировало принятие добровольной программы "Не разжигай огня сегодня вечером», поощряющей жителей не использовать дровяные печи и камины в те дни, когда уровни загрязнения воздуха приближаются к опасным для здоровья. Местные власти также поддерживают применение экологически более чистых способов сжигания топлива и переход на технологии полного сгорания (EPA, 2014).

Правила замены нагревателей

В некоторых районах США действуют обязательные правила замены нагревателей. В

округе Сан-Хоакин (Южная Калифорния) существует правило, согласно которому при

продаже дома имеющиеся в нем дровяные печи должны быть выведены из строя или заменены на печи, сертифицированные EPA; продаже вместе с домом подлежат только печи, работающие на пеллетах, газовые печи и печи, сертифицированные EPA. Существуют ограничения на количество дровяных печей или каминов, которые могут быть установлены в новых жилых постройках. Власти округа Санта-Клара (Северная Калифорния) запретили установку новых дровяных печей или каминов. Кроме того, окружное отделение по управлению

качеством воздуха в Области залива Сан-Франциско требует, чтобы в этом районе продавались только обеспечивающие полное сгорание топлива, сертифицированные EPA печи и установки. В реконструированных или вновь построенных зданиях должны устанавливаться только печи, работающие на пеллетах, газовые печи и сертифицированные EPA дровяные печи. Поступающие в продажу дрова, древесные поленья и древесные пеллеты должны иметь экомаркировку (BAAQMD, 2014b).

Другие нормативные требования и добровольные меры

В Канаде действует типовой подзаконный акт и Кодекс практики. CCME составил Кодекс практики при работе с бытовыми устройствами для сжигания древесины. В этом документе признается важная роль упомянутых устройств в обогреве жилых помещений, но уделяется особое внимание необходимости снизить влияние выбросов на качество воздуха и климат. Кодекс практики включает типовой подзаконный акт, который может быть принят властями муниципалитетов или провинций в целях нормативного регламентирования. Документ служит руководством по ограничению сжигания древесины в ответ на данные информационных бюллетеней о качестве воздуха, помогает тестировать выбросы из отдельных источников и реагировать на жалобы. Кодекс практики содержит рекомендации и нормативно-правовое руководство в отношении 6 наилучших практик, которые могут быть рассмотрены в рамках соответствующих юрисдикций при планировании политики и программ, нацеленных на снижение выбросов дыма от сжигания древесины:

- регламентирование эффективности устройств для сжигания;
- информационные бюллетени, предоставляющие данные о качестве воздуха и днях "без разведения огня";
- ограничения на установку или работу устройств для сжигания древесины;
- стимулирование замены нагревателей;
- информационно-просветительская работа с общественностью;
- управление деятельностью – планирование работ и оценка результатов.

В нескольких европейских странах, таких как Австрия, Германия и Швеция, была введена добровольная экомаркировка печей в соответствии со стандартами эффективности и предельных значений выбросов (Bond et al., 2013); примером может служить шведская маркировка "Северный лебедь" (Pearson et al., 2013).

Гетеборгский протокол 1999 г. к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния с поправками 2012 г. включает также рекомендации относительно предельных значений выбросов РМ из бытовых установок для сжигания древесины номинальной тепловой мощностью менее 500 кВт. Рекомендуемые предельные значения выбросов РМ зависят от вида топлива (древесина – 75 мг/м³; древесные поленья – 40 мг/м³; пеллеты и другие виды твердого топлива – 50 мг/м³) (UNECE, 2012).

"Десятиборье дровяных печей" – инициатива, с которой в 2013 г. выступил "Альянс в поддержку зеленого тепла", направленная на мобилизацию творческого потенциала и материальных ресурсов для разработки нового поколения дровяных печей. Основная цель инициативы состояла в том, чтобы поставить перед инженерами-теплотехниками, студентами технических ВУЗов, изобретателями и производителями печей задачу сконструировать инновационные, высокоэффективные и доступные по цене дровяные печи с низким уровнем выбросов. Совместные усилия могут быть направлены на производство нового поколения коммерчески привлекательных печей (Alliance for Green Heat, 2013).



7.

Необходимые направления политики в отношении использования биомассы для отопления и производства энергии в будущем

Во многих странах необходимо координировать политику в области климата и политику в области загрязнения воздуха. Приветствуется проведение информационных кампаний, особенно тех, которые повышают уровень осведомленности об энергоэффективности различных отопительных устройств.

В ближайшем будущем практика сжигания твердого топлива для обогрева жилищ все еще сохранится во многих регионах мира. Ниже приводится краткий обзор необходимых направлений политики в области использования биомассы и других видов твердого топлива для отопления и производства энергии.

Любая политика в области возобновляемых источников энергии или изменения климата, поддерживающая сжигание древесины для обогрева жилищ, требует рассмотрения **негативных последствий загрязнения атмосферного воздуха** в местном и глобальном масштабах и незамедлительного содействия использованию только тех технологий сжигания, которые характеризуются самым низким уровнем выбросов или являются наилучшими из имеющихся на рынке.

Во всем мире ощущается неотложная потребность в **правовом регулировании эффективности сжигания древесины** в со-

временных отопительных устройствах. Соблюдение этих требований поможет замедлить наблюдаемый в настоящее время процесс быстрого глобального потепления (связанный с присутствием СУ в составе тонкодисперсных РМ и выделением ЛОС, способствующих образованию озона). Кроме того, правовое регулирование позволит уменьшить большое бремя болезней, вызванных воздействием образующихся при сжигании древесины частиц (особенно органических соединений, связанных с СУ). Рекомендуется включить в нормативные требования жесткие, но технически выполнимые ограничения первичных выбросов из новых котлов и нагревателей, особенно массы РМ, газообразных углеводородов и СО.

Необходимо просвещение по вопросам энергоэффективности. Повышение эффективности сгорания древесины в малогабаритных нагревательных устройствах приводит к значительному снижению выбросов



основных парниковых газов, таких как CO₂ и метан (CH₄), в пересчете на единицу энергии, требуемой для отопления. Необходимы неотложные меры по просвещению населения в этой области, включая проведение информационно-пропагандистских мероприятий силами министерств охраны окружающей среды, энергетики и здравоохранения.

Поскольку новые устройства для сжигания древесины становятся более энергоэффективными и выбрасывают меньше загрязнителей (особенно PM), национальные правительства должны разработать **правила обязательной замены** нагревателей или программы по замене этих устройств на добровольной основе. Властям муниципалитетов, округов и штатов следует рассмотреть необходимость замены нагревателей при реконструкции или продаже домов. Во многих случаях жители будут особенно охотно следовать этим правилам, если при замене старых нагревателей устройствами, отвечающими жестким требованиям к энергоэффективности или уровням выбросов, они получают определенную компенсацию расходов.

Необходимы зоны **"без разведения огня"**. Важно (особенно, учитывая наличие современных технологий сжигания) выделить городские зоны с высокой плотностью населения и/или определенными географическими характеристиками (например, долины между гор), где отопление жилищ или приготовление пищи с использованием малогабаритных устройств, сжигающих твердые виды топлива (древесина и уголь), было бы полностью запрещено или, в крайнем случае, разрешалось бы только с применением зарегистрированных моделей с низким уровнем выбросов при сжигании древесины. Нужно также ввести постоянно действующий запрет на сжигание угля для отопления жилищ с использованием малогабаритных устройств (по крайней мере, в населенных пунктах развитых стран), а также на использование для центрального отопления не оснащенных достаточно крупным водным резервуаром устройств для сжигания древесных поленьев. В последнем случае значительная часть древесины сгорает не полностью, и это приводит к очень большим выбросам загрязнителей.

Необходима правовая регламентация установления дней **"без сжигания древесины"** или выделение для этого утренних и вечерних часов в периоды неблагоприятных погодных условий (низкая скорость ве-

тра, температурная инверсия) в уязвимых, густонаселенных местностях и, как правило, в долинах горных районов. Этот подход можно быстро использовать как для смягчения эпизодов локального загрязнения воздуха в уязвимых районах, население которых преимущественно использует сжигание древесины, так и для снижения риска острых неблагоприятных последствий для здоровья в быстро увеличивающейся восприимчивой популяции лиц старше 65 лет с хроническими респираторными или сердечно-сосудистыми заболеваниями. Это также может благоприятно сказаться на состоянии здоровья новорожденных и детей дошкольного возраста, которые проводят много времени дома и в большей степени, чем дети старшего возраста и взрослые, подвержены риску появления респираторных симптомов и развития инфекций.

Местные и региональные власти совместно с общественными организациями пациентов должны проводить в общине **кампании по информированию** жителей о выгодах в отношении климата и здоровья, получаемых при использовании местных альтернативных вариантов обогрева домов, исключая выбросы загрязнителей. Альтернативы могут включать централизованное теплоснабжение на базе контролируемых теплоэлектроцентралей, использование геотермальной энергии в масштабе отдельных домов или с помощью более крупных местных установок, а также применение тепловых насосов для отдельных домов или квартир. Во время ежегодной прочистки дымоходов власти могут организовать распространение среди жителей листовок и персонально адресованной информации о том, как организовать надлежащее высушивание и хранение древесных поленьев и как правильно использовать имеющиеся в домах небольшие нагреватели. Примером может служить информационная кампания, проведенная трубочистами в Финляндии (Levander & Bodin, 2014). Самая сложная задача – изменить взгляды людей, приверженных традиции сжигать древесину для отопления жилья и создания ощущения комфорта. Они часто дешево покупают дрова или не платят ничего, получая их из леса рядом с собственным домом или из леса, рядом с которым живут их родственники и друзья, и используют свое свободное время для сбора небольших деревьев и распиливания их на поленья.



8

Сопутствующие выгоды в отношении здоровья и климата, полученные в результате сокращения выбросов при обогреве жилищ

Сопутствующие выгоды - это "ситуации, в которых нет проигравших". В выигрыше оказывается не только тот сектор, от которого исходила инициатива формирования политики, но и другие. Снижение уровня выбросов при обогреве жилищ может дать существенные выгоды, как в отношении климата, так и в отношении здоровья, особенно в краткосрочной перспективе.

К сопутствующим выгодам относятся выгоды в отношении здоровья, полученные в результате мероприятий, первоначально направленных на решение проблем изменения климата, и выгоды в отношении климата, полученные при проведении мероприятий, первоначально разработанных с целью улучшения состояния здоровья населения. Уменьшение выбросов вредных для здоровья загрязнителей воздуха, особенно тех, которые также влияют на климат (например, CH_4 и CO), может в краткосрочной и среднесрочной перспективе быть выгодным для здоровья и, кроме того, немедленно уменьшит экспозицию к таким ассоциированным загрязнителям, как взвешенные частицы. Учет этих сопутствующих выгод в отношении здоровья может помочь в составлении более полной экономической картины затрат и выгод, связанных с такими усилиями по снижению выбросов при обогреве жилищ, как реализация программ замены дровяных печей.

Повышение эффективности и повсеместное ужесточение нормативов, ограничивающих выбросы, образующиеся при использовании для отопления древесины и угля, позволит замедлить быстро прогрессирующее в настоящее время глобальное потепление (связанное с присутствием CO в тонкодисперсных PM , а также с формированием озона при участии ЛОС и CH_4) и уменьшить бремя болезней, вызванных экспозицией к частицам, образующимся при горении (особенно к органическим соединениям, входящим в состав CO , и к примесям, содержащимся в угле). Общественность должна быть лучше осведомлена о том, что повышение эффективности сжигания древесины в малогабаритных нагревателях значительно уменьшает выбросы основных долгоживущих парниковых газов (в частности CO_2) и короткоживущих загрязнителей, влияющих на климат

(таких как CO и CH_4), а также о том, что следует прекратить отопление углем, чтобы не вредить ни здоровью, ни климату.

Уголь – источник энергии, связанный с интенсивным образованием парниковых газов. При сжигании угля на одинаковое количество произведенной энергии выбросы CO_2 в 1,5 раза больше, чем при сжигании нефти, и в 2 раза больше, чем при сжигании природного газа (Epstein et al., 2011). Кроме того, сжигание угля в домах, а не на электростанциях, является основным источником загрязнения окружающей среды CO и другими $\text{PM}_{2,5}$ (см. вставку 2). Древесина и другие виды биомассы часто считаются возобновляемым и безопасным для климата топливом, так как деревья ассимилируют CO_2 в процессе роста и сохраняют его в форме углерода. В процессе горения древесины этот углерод снова выделяется в атмосферу не только в составе CO_2 , но также в большинстве случаев сжигания топлива в домашних хозяйствах в форме таких короткоживущих загрязняющих воздух парниковых газов, как CO , CO , а также ЛОС, включая CH_4 . Таким образом, для того чтобы древесное топливо было абсолютно "углеродно-нейтральным", оно должно быть не только возобновляемым, но и полностью сгорать с образованием CO_2 .

Форма, в которой происходит выделение углерода при горении, имеет большое значение как для климата, так и для состояния здоровья человека, поскольку CO и CH_4 оказывают существенное влияние на потепление климата. CO – это влияющий на климат компонент тонкодисперсных PM , присутствующих в выхлопных газах автомобилей или образующихся при сжигании древесины или других видов биомассы для отопления жилищ. Кроме того, CO оказывает вредное воздействие на здоровье (см. раздел 3). Следует отметить, что токсический эффект

обусловлен воздействием не самого СУ, а связанных с ним органических и неорганических соединений. В то же время СУ принимает непосредственное участие в изменении климата за счет усиленного поглощения света частицами сажи, присутствующими в атмосферном аэрозоле и оседающими на снег и лед (Bond et al., 2013; Smith et al., 2009).

Исследование Всемирного банка показало, что такие вмешательства, как замена использующихся сегодня для обогрева жилищ дровяных печей и котлов на печи и котлы, работающие на пеллетах, и применение (в основном в Восточной Европе и Китае) угольных брикетов вместо кускового угля, могут принести значительные выгоды в отношении климата. Они могут также предотвратить около 230 000 ежегодных смертей. Основная часть выгод для здоровья будет получена в странах, входящих в Организацию экономического сотрудничества и развития (Pearson et al., 2013). (Не рекомендуется продолжать использовать уголь для отопления жилищ, однако в описанном здесь сценарии учитывалась возможность применения угольных брикетов).

В другом исследовании, координаторами которого выступали Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде и Всемирная метеорологическая организация, было показано, что широкое распространение пеллетных печей (в промышленно развитых странах) и угольных брике-

тов (в Китае), направленное на уменьшение выбросов СУ, может положительно повлиять на здоровье, так как эти вмешательства ведут к снижению выбросов $PM_{2,5}$. Ожидается, что в результате этих вмешательств ежегодно регистрируемое число преждевременных смертей снизится примерно на 22 000 в Северной Америке и Европе, на 86 000 в Восточной и Юго-Восточной Азии и Тихоокеанском регионе и на 22 000 в Южной, Западной и Центральной Азии (UNEP & WMO, 2011).

Если целью становится смягчение изменений климата в Арктике (например, из-за угроз, связанных с повышением уровня моря), то широкому распространению пеллетных печей, и угольных брикетов может быть уделено более пристальное внимание в связи с непропорционально большим влиянием этих вмешательств на замедление потепления, вызванного оседанием частиц сажи в Арктике (UNEP & WMO, 2011). Всемирный банк обнаружил, что если печи в Европе будут топиться не древесными поленьями, а пеллетами, то это может замедлить потепление в Арктике на 15% (около $0,1^{\circ}C$). Что касается арктических стран, то моделирование убедительно показывает, что наиболее эффективные меры по снижению выбросов СУ должны быть ориентированы на усовершенствование используемых в регионе печей, что должно оказать положительное влияние как на климат, так и на здоровье населения (Pearson et al., 2013).



Представленные результаты показывают, что во многих регионах мира борьба с загрязнением наружного воздуха будет затруднена, если не рассматривать в ряду прочих источников загрязнения воздуха сжигание биомассы для обогрева домашних хозяйств. Для защиты здоровья населения лица, формирующие политику в регионах с относительно высокими уровнями загрязнения атмосферного воздуха, обусловленными сжиганием топлива для обогрева домашних хозяйств, должны стимулировать жителей к переходу от обогрева жилищ с помощью твердого топлива к применению отопительных систем, работающих на газе или электричестве.

Учитывая, что сжигание древесины для обогрева жилищ будет продолжаться во многих регионах мира из-за экономических трудностей и недоступности других видов топлива, необходимо незамедлительно приступить к разработке и внедрению в практику технологий сжигания, характеризующихся минимальными уровнями выбросов, или использовать наилучшие из доступных технологий. Кроме того, при осуществлении политики, касающейся возобновляемых источников энергии или изменений климата и поддерживающей сжигание древесины для отопления жилищ, необходимо учитывать факторы загрязнения атмосферного воздуха в местном и глобальном масштабах и срочно способствовать внедрению в практику только тех технологий сжигания, которые характе-

ризуются минимальными уровнями выбросов, или наилучших доступных технологий.

Лица, формирующие политику в регионах с высоким уровнем выбросов $PM_{2,5}$, который обусловлен обогревом помещений в домашних хозяйствах с помощью различных видов топлива на основе биомассы, могут при желании рассмотреть возможности использования материального стимулирования для облегчения перехода населения на более эффективные технологии, способствующие более полному сгоранию топлива и, следовательно, снижению выбросов $PM_{2,5}$ и других загрязнителей, влияющих на состояние здоровья.

Во многих случаях, возможно, стоит сосредоточить усилия на том, чтобы сделать процесс обогрева жилищ с помощью топлива из биомассы более эффективным и в меньшей степени загрязняющим окружающую среду, а не на том, чтобы заменить биомассу ископаемыми видами топлива, учитывая, что применение последних может играть роль в изменении климата.

Необходимо, чтобы национальные, региональные и местные власти, политики, а также общество в целом лучше понимали, что во всем мире обогрев жилищ с помощью биомассы является основным источником образования вредных для здоровья загрязнителей атмосферного воздуха (особенно тонкодисперсных частиц).



AAir Resources Board (2014). California emission inventory data [online database]. Sacramento, CA: California Environmental Protection Agency (<http://www.arb.ca.gov/ei/emsmain/emsmain.htm>, accessed 22 September 2014).

Allen RW, Adar SD, Avol E, Cohen M, Curl CL, Larson T et al. (2012). Modeling the residential infiltration of outdoor PM_{2.5} in the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollution (MESA Air). *Environ Health Perspect.* 120(6):824–830.

Allen RW, Carlsten C, Karlen B, Leckie S, van Eeden S, Vedal S et al. (2011). An air filter intervention study of endothelial function among healthy adults in a woodsmoke-impacted community. *Am J Respir Crit Care Med.* 183(9):1222–1230.

Allen RW, Leckie S, Millar G, Brauer M (2009). The impact of wood stove technology upgrades on indoor residential air quality. *Atmos Environ.* 43(37):5908–5915.

Alliance for Green Heat (2011). 2010 census shows wood is fastest growing heating fuel in US. Takoma Park, MD: Alliance for Green Heat (<http://forgreenheat.blogspot.co.uk/2011/10/2010-census-shows-wood-is-fastest.html>, accessed 21 October 2014).

Alliance for Green Heat (2013). Wood Stove Decathlon [website]. Takoma Park, MD: Alliance for Green Heat (<http://www.forgreenheat.org/stovedesign.html>, accessed 26 November 2014).

Alliance for Green Heat (2014). Policy: international – Sweden [website]. Takoma Park, MD: Alliance for Green Heat (<http://www.forgreenheat.org/policy/international/sweden.html>, accessed 1 October 2014).

Amann M, Bertok I, Borken-Kleefeld J, Cofala J, Heyes C, Hoeglund-Isaksson L, Klimont Z, Nguyen B, Posch M, Rafaj P, Sandler R, Schoepp W, Wagner F, Winiwarter W (2011). Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe: Modeling and policy applications. *Environmental Modelling & Software*, 26(12):1489–1501.

Amann M, Borken-Kleefeld J, Cofala J, Hettenlingh JP, Heyes C, Höglund-Isaksson L, et al. (2014). The Final Policy Scenarios of the EU Clean Air Policy Package. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis (http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/MitigationofAirPollutionandGreenhousegases/TSAP_11-finalv1-1a.pdf, accessed 13 November 2014).

Arbex MA, Martins LC, de Oliveira RC, Pereira LAA, Arbex FF, Delfini Caçado JE et al. (2007). Air pollution from biomass burning and asthma hospital admissions in a sugar cane plantation area in Brazil. *J Epidemiol Community Health.* 61(5):395–400.

Areskoug H, Camner P, Dahlén S-E, Låstbom L, Nyberg F, Pershagen G et al. (2000). Particles in ambient air: a health risk assessment. *Scand J Work Environ Health.* 26:1–96.

BAAQMD (2014a). Wood burning regulation [website]. San Francisco, CA: Bay Area Air Quality Management District (<http://www.sparetheair.org/Stay-Informed/Particulate-Matter/Wood-Smoke/Regulation.asp>, accessed 21 October 2014).

BAAQMD (2014b). Regulation 6, particulate matter and visible emissions: Rule 3, wood-burning devices. San Francisco, CA: Bay Area Air Quality Management District (http://www.baaqmd.gov/?sc_itemid=D39A3015-453E-4A0D-9C76-6F7F4DA5AED5, accessed 1 October 2014).

Barn P, Larson T, Noullett M, Kennedy S, Copes R, Brauer M (2008). Infiltration of forest fire and residential wood smoke: an evaluation of air cleaner effectiveness. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 18:503–511.

Barreca A, Clay K, Tarr J (2014). Coal, smoke, and death: bituminous coal and American home heating. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research (NBER Working Paper No. 19881; <http://www.nber.org/papers/w19881>, accessed 25 September 2014).

Barregard L, Sällsten G, Andersson L, Almstrand A-C, Gustafson P, Andersson M et al. (2008). Experimental exposure to wood smoke: effects on airway inflammation and oxidative stress. *Occup Environ Med.* 65:319–324.

- Barregard L, Sällsten G, Gustafson P, Andersson L, Johansson L, Basu S et al. (2006). Experimental exposure to wood-smoke particles in healthy humans: effects on markers of inflammation, coagulation, and lipid peroxidation. *Inhal Toxicol.* 18:845–853.
- Bartecchi C, Alsever RN, Nevin-Woods C, Thomas WM, Estacio RO, Bartelson BB et al. (2006). Reduction in the incidence of acute myocardial infarction associated with a citywide smoking ordinance. *Circulation* 114:1490–1496.
- Bennett DH, McKone TE, Evans JS, Nazaroff WW, Margni MD, Jolliet O et al. (2002). Peer reviewed: defining intake fraction. *Environ Sci Technol.* 36(9):206A–211A.
- Bhalla K, Shotten M, Cohen A, Brauer M, Shahrz S, Burnett R et al. (2014). Transport for health: the global burden of disease from motorized road transport. Washington, DC: World Bank (<http://documents.worldbank.org/curated/en/2014/01/19308007/transport-health-global-burden-disease-motorized-road-transport>, accessed 30 September 2014).
- Bond TC, Doherty SJ, Fahey DW, Forster PM, Berntsen T, DeAngelo BJ et al. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: a scientific assessment. *J Geophys Res Atmos.* 118(11):5380–5552.
- Bonjour S, Adair-Rohani H, Wolf J, Bruce NG, Mehta S et al. (2013). Solid fuel use for household cooking: country and regional estimates for 1980–2010. *Environ Health Perspect.* 121:784–790.
- Boström C-E, Levander T, Persson B (1982). *Lufffororeningar i Sverige 1970-1980 [Air pollution in Sweden 1970–1980]*. Solna: Swedish Environmental Protection Agency.
- Braniš M, Domasová M (2003). PM10 and black smoke in a small settlement: case study from the Czech Republic. *Atmos Environ.* 37(1):83–92.
- Brimblecombe P (2012). *The big smoke: a history of air pollution in London since medieval times*. New York: Routledge.
- Brites (2014). Domestic grants and assistance [website]. Enniskillen: Brites (<http://www.brites.eu/grants-assistance/>, accessed 1 October 2014).
- Caamano-Isorna F, Figueiras A, Sastre I, Montes-Martinez A, Taracido M, Piñeiro-Lamas M (2011). Respiratory and mental health effects of wildfires: an ecological study in Galician municipalities (north-west Spain). *Environ Health.* 10:48.
- Caseiro A, Bauer H, Schmidl C, Pio CA, Puxbaum H (2009). Wood burning impact on PM10 in three Austrian regions. *Atmosc Environ.* 43(13):2186–2195.
- Chafe ZA, Brauer M, Klimont Z, Dingenen RV, Mehta S et al. (2014). Household cooking with solid fuels contributes to ambient PM2.5 air pollution and the burden of disease. *Environ Health Perspect.* DOI:10.1289/ehp.120634.
- Chafe ZA, Brauer M, Klimont Z, Dingenen RV, Mehta S et al. (in press). Ambient air quality (PM2.5) and human health effects of household combustion of solid fuels (wood, coal) for space heating.
- City of Albuquerque (2014). Burn restrictions [website]. Albuquerque: City of Albuquerque (<http://www.cabq.gov/airquality/todays-status/burn-no-burn/burn-restrictions#details-of-burn-regulations>, accessed 21 October 2014).
- Clancy L, Goodman P, Sinclair H, Dockery DW (2002). Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study. *Lancet.* 360:1210–1214.
- CSA Group (2010). B415.1-10 – performance testing of solid-fuel-burning heating appliances. Toronto: CSA Group (<http://shop.csa.ca/en/canada/fuel-burning-equipment/b4151-10/inv/27013322010>, accessed 21 October 2014).
- Dennekamp M, Abramson MJ (2011). The effects of bushfire smoke on respiratory health. *Respirology* 16:198–209.
- Dockery D, Rich DQ, Goodman PG, Clancy L, Ohman-Strickland P, George P et al. (2013). Effect of coal bans on air quality and health in Ireland. Boston, MA: Health Effects Institute (Research Report 176; <http://pubs.healtheffects.org/view.php?id=409>, accessed 1 October 2014).
- Duclos P, Sanderson LM (1990). The 1987 forest fire disaster in California: assessment of emergency room visits. *Arch Environ Health.* 45:53–58.
- Dziubinski O, Chipman R (1999). Trends in consumption and production: household energy consumption. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs (DESA Discussion Paper No. 6; <http://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=77&menu=35>, accessed 25 September 2014).

- ECF (2010). Biomass for heat and power: opportunity and economics. The Hague: European Climate Foundation (http://www.europeanclimate.org/documents/Biomass_report_-_Final.pdf, accessed 22 September 2014).
- EC JRC (2014). ACU – Air and Climate Unit [website]. Brussels: European Commission Joint Research Centre (<http://ccaqu.jrc.ec.europa.eu/home.php>, accessed 21 October 2014).
- Environment Canada (2006). Model municipal by-law for regulating wood heating appliances. Ottawa: Environment Canada (<http://publications.gc.ca/pub?id=286239&sl=0>, accessed 21 October 2014).
- EPA (2014). Agencies – ordinances and regulations [website]. Research Triangle Park, NC: United States Environmental Protection Agency (<http://www.epa.gov/burnwise/ordinances.html>, accessed 1 October 2014).
- Epstein PR, Buonocore JJ, Eckerle K, Hendryx M, Stout III BM, Heinberg R et al. (2011). Full cost accounting for the life cycle of coal. *Ann N Y Acad Sci.* 1219:73–98.
- Eriksson AC, Nordin EZ, Nyström R, Pettersson E, Swietlicki E, Bergvall C et al. (2014). Particulate PAH emissions from residential biomass combustion: time-resolved analysis with aerosol mass spectrometry. *Environ Sci Technol.* 48(12):7143–7150.
- European Commission (2009). Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. O. J. E. U., L 285 (http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/harmonised-standards/ecodesign/index_en.htm, accessed 21 October 2014).
- FAO (2010). What woodfuels can do to mitigate climate change. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO Forestry Paper 162; <http://www.fao.org/docrep/013/i1756e/i1756e00.htm>, accessed 1 October 2014).
- Frederiksen S, Werner S (2013). District heating and cooling. Lund: Studentlitteratur.
- Gan WQ, FitzGerald JM, Carlsten C, Sadatsafavi M, Brauer M (2013). Associations of ambient air pollution with chronic obstructive pulmonary disease hospitalization and mortality. *Am J Respir Crit Care Med.* 187:721–727.
- Gehring U, Tamburic L, Sbihi H, Davies H, Brauer M (2014). Impact of noise and air pollution on pregnancy outcomes. *Epidemiology.* 25:351–358.
- Ghio AJ, Soukup JM, Case M, Dailey LA, Richards J, Berntsen J et al. (2011). Exposure to wood smoke particles produces inflammation in healthy volunteers. *Occup Environ Med.* 69(3):170–5.
- Gianelle V, Colombi C, Caserini S, Ozgen S, Galante S, Marongiu A et al. (2013). Benzo(a)pyrene air concentrations and emission inventory in Lombardy region, Italy. *Atmos Pollut Res.* 4:257–266.
- Golshan M, Faghihi M, Roushan-Zamir T, Marandi MM, Esteki B, Dadvand P et al. (2002). Early effects of burning rice farm residues on respiratory symptoms of villagers in suburbs of Isfahan, Iran. *Int J Environ Health Res.* 12(2):125–131.
- Goodman P, Agnew M, McCaffrey M, Paul G, Clancy L (2007). Effects of the Irish smoking ban on respiratory health of bar workers and air quality in Dublin pubs. *Am J Respir Crit Care Med.* 175:840–845.
- Hanigan I, Johnston F, Morgan G (2008). Vegetation fire smoke, indigenous status and cardio-respiratory hospital admissions in Darwin, Australia, 1996–2005: a time-series study. *Environ Health.* 7:42.
- Hine DW, Bhullar N, Marks ADG, Kelly P, Scott JG (2011). Comparing the effectiveness of education and technology in reducing wood smoke pollution: a field experiment. *J Environ Psychol.* 31:282–288.
- Hine DW, Marks ADG, Nachreiner M, Gifford R, Heath Y (2007). Keeping the home fires burning: the affect heuristic and wood smoke pollution. *J Environ Psychol.* 27:26–32.
- Hoek G, Kos G, Harrison R, de Hartog J, Meliefste K, ten Brink H et al. (2008). Indoor–outdoor relationships of particle number and mass in four European cities. *Atmos Environ.* 42(1):156–169.
- Holstius D, Reid C, Jesdale B, Morello-Frosch R (2012). Birth weight following pregnancy during the 2003 Southern California wildfires. *Environ Health Perspect.* 120:1340–1345.
- Houck JE, Eagle BN (2006). Control analysis and documentation for residential wood combustion in the MANE-VU Region. Baltimore, MD: Mid-Atlantic Regional Air Management Association.
- IARC (2010). Household use of solid fuels and high-temperature frying. Lyon: IARC (IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol. 95; <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol95/>, accessed 21 October 2014).

- IEA (2013). Nordic energy technology perspectives: pathways to a carbon neutral energy future. Paris: International Energy Agency (http://energiogresund.org/pic_m/23_verdi_182_Nordic-Energy-Technology-Perspectives.pdf, accessed 22 September 2014).
- IIASA (2014). Greenhouse gas – air pollution interactions and synergies (GAINS) model [website]. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis (<http://gains.iiasa.ac.at/models/>, accessed 21 October 2014).
- Jacobs J, Kreutzer R (1997). Rice burning and asthma hospitalizations, Butte County, California, 1983–1992. *Environ Health Perspect.* 105:980–985.
- Jacobson LdSV, Hacon SdS, Castro HAd, Ignotti E, Artaxo P, Ponce de Leon ACM (2012). Association between fine particulate matter and the peak expiratory flow of schoolchildren in the Brazilian subequatorial Amazon: a panel study. *Environ Res.* 117:27–35.
- Janssen NA, Gerlofs-Nijland ME, Lanki T, Salonen RO, Cassee F, Hoek G et al. (2012). Health effects of black carbon. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; (<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2012/health-effects-of-black-carbon>, accessed 26 September 2014).
- Jeong C-H, Evans GJ, Dann T, Graham M, Herod D, Dabek-Zlotorzynska E et al. (2008). Influence of biomass burning on wintertime fine particulate matter: source contribution at a valley site in rural British Columbia. *Atmos Environ.* 42:3684–3699.
- Johnston F, Bailie R, Pilotto L, Hanigan I (2007). Ambient biomass smoke and cardio-respiratory hospital admissions in Darwin, Australia. *BMC Public Health.* 7:240.
- Johnston F, Hanigan I, Henderson S, Morgan G (2013). Evaluation of interventions to reduce air pollution from biomass smoke on mortality in Launceston, Australia: retrospective analysis of daily mortality, 1994–2007. *BMJ.* 346:e8446–e8446.
- Johnston F, Henderson S, Chen Y, Randerson JT, Marlier M, Defries RS et al. (2012). Estimated global mortality attributable to smoke from landscape fires. *Environ Health Perspect.* 120:695–701.
- Karr CJ, Demers PA, Koehoorn MW, Lencar CC, Tamburic L, Brauer M (2009). Influence of ambient air pollutant sources on clinical encounters for infant bronchiolitis. *Am J Respir Crit Care Med.* 180:995–1001.
- Kim E, Hopke PK (2008). Source characterization of ambient fine particles at multiple sites in the Seattle area. *Atmos Environ.* 42(24):6047–6056.
- Kjällstrand J, Olsson M (2004). Chimney emissions from small-scale burning of pellets and fuelwood – examples referring to different combustion appliances. *Biomass Bioenergy.* 27(6):557–561.
- Kocbach Bølling A, Pagels J, Yttri K, Barregard L, Sallsten G, Schwarze PE et al. (2009). Health effects of residential wood smoke particles: the importance of combustion conditions and physicochemical particle properties. *Part Fibre Toxicol.* 6:29.
- Kunii O, Kanagawa S, Yajima I, Hisamatsu Y, Yamamura S, Amagai T et al. (2002). The 1997 haze disaster in Indonesia: its air quality and health effects. *Arch Environ Health.* 57:16–22.
- Kupiainen K, Klimont Z (2007). Primary emissions of fine carbonaceous particles in Europe. *Atmos Environ* 41(10): 2156–2170.
- Larson T, Gould T, Simpson C, Liu LJS, Claiborn C, Lewtas J (2004). Source apportionment of indoor, outdoor, and personal PM_{2.5} in Seattle, Washington, using positive matrix factorization. *J Air Waste Manag Assoc.* 54(9):1175–1187.
- Larson T, Koenig JQ (1994). Wood smoke: emissions and noncancer respiratory effects. *Annu Rev Public Health.* 15:133–156.
- Levander T, Bodin S (2014). Controlling emissions from wood burning: legislation and regulations in Nordic countries to control emissions from residential wood burning – an examination of past experience. Copenhagen: Nordic Council of Ministers.
- Lighty JS, Veranth JM, Sarofim AF (2000). Combustion aerosols: factors governing their size and composition and implications to human health. *J Air Waste Manag Assoc.* 50(9):1565–1618.
- Lim SS, Vos T, Flaxman AD, Danaei G, Shibuya K, Adair-Rohani H et al. (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet.* 380:2224–2260.

- Long WQ, Tate RB, Neuman M, Manfreda J, Becker AB, Anthonisen NR (1998). Respiratory symptoms in a susceptible population due to burning of agricultural residue. *Chest*. 113:351–357.
- Loomis D, Grosse Y, Lauby-Secretan B, Ghissassi FE, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L et al. (2013). The carcinogenicity of outdoor air pollution. *Lancet Oncol*. 14(13):1262–1263.
- MacIntyre EA, Karr CJ, Koehoorn M, Demers PA, Tamburic L, Lencar C et al. (2011). Residential air pollution and otitis media during the first two years of life. *Epidemiology*. 22:81–89.
- Mazzoleni LR, Zielinska B, Moosmuller H (2007). Emissions of levoglucosan, methoxy phenols, and organic acids from prescribed burns, laboratory combustion of wildland fuels, and residential wood combustion. *Environ Sci Technol*. 41(7):2115–2122.
- McCracken JP, Wellenius GA, Bloomfield GS, Brook RD, Tolunay HE, Dockery DW et al. (2012). Household air pollution from solid fuel use: evidence for links to CVD. *Glob Heart*. 7(3): 223–234.
- Mirabelli MC, Kunzli N, Avol E, Gilliland FD, Gauderman WJ, McConnell R et al. (2009). Respiratory symptoms following wildfire smoke exposure: airway size as a susceptibility factor. *Epidemiology*. 20:451–459.
- Mott JA, Mannino DM, Alverson CJ, Kiyu A, Hashim J, Lee T et al. (2005). Cardiorespiratory hospitalizations associated with smoke exposure during the 1997 Southeast Asian forest fires. *Int J Hyg Environ Health*. 208:75–85.
- Naeher LP, Brauer M, Lipsett M, Zelikoff JT, Simpson CD, Koenig JQ et al. (2007). Woodsmoke health effects: a review. *Inhal Toxicol*. 19(1):67–106.
- Noonan C, Navidi W, Sheppard L, Palmer CP, Bergauff M, Hooper K et al. (2012). Residential indoor PM_{2.5} in wood stove homes: follow-up of the Libby changeout program. *Indoor Air*. 22:492–500.
- Ofgem (2014). About the Domestic Renewable Heat Incentive [website]. London: Office of Gas and Electricity Markets (<https://www.ofgem.gov.uk/environmental-programmes/domestic-renewable-heat-incentive/about-domestic-renewable-heat-incentive>, accessed 22 September 2014).
- Olsson M, Kjällstrand J (2006). Low emissions from wood burning in an ecolabelled residential boiler. *Atmos Environ*. 40:1148–1158.
- Ovadnevaite J, Kvietkus K, Maršalka A (2006). 2002 summer fires in Lithuania: impact on the Vilnius city air quality and the inhabitants health. *Sci Total Environ*. 356:11–21.
- Pearson P, Bodin S, Nordberg L, Pettus A (2013). On thin ice: how cutting pollution can slow warming and save lives, vol. 1. Washington DC: World Bank (<http://documents.worldbank.org/curated/en/2013/10/18496924/thin-ice-cutting-pollution-can-slow-warming-save-lives-vol-1-2-main-report>, accessed 22 September 2014).
- Piazzalunga A, Belis C, Bernardoni V, Cazzuli O, Fermo P, Valli G et al. (2011). Estimates of wood burning contribution to PM by the macro-tracer method using tailored emission factors. *Atmos Environ*. 45(37):6642–6649.
- Riahi K, Dentener F, Gielen D, Grubler A, Jewell J, Klimont Z et al. (2012). Energy pathways for sustainable development. In: *Global Energy Assessment: toward a sustainable future*. Cambridge: Cambridge University Press: pp. 1203–1306 (<http://catalog.ipbes.net/assessments/101>, accessed 30 September 2014).
- Riddervold IS, Bønløkke JH, Mølhav L, Massling A, Jensen B, Grønborg TK et al. (2011). Wood smoke in a controlled exposure experiment with human volunteers. *Inhal Toxicol*. 23(5):277–288.
- Ries FJ, Marshall JD, Brauer M (2009). Intake fraction of urban wood smoke. *Environ Sci Technol*. 43(13):4701–4706.
- Saarnio K, Niemi JV, Saarikoski S, Aurela M, Timonen H, Teinilä K et al. (2012). Using monosaccharide anhydrides to estimate the impact of wood combustion on fine particles in the Helsinki Metropolitan Area. *Boreal Environ Res*. 17(3–4):163–183.
- Saffari A, Daher N, Samara C, Voutsas D, Kouras A et al. (2013). Increased biomass burning due to the economic crisis in Greece and its adverse impact on wintertime air quality in Thessaloniki. *Environ. Sci. Technol*. 47:13313–13320.
- Schipper L, Ketoff A, Kahane A (1985). Explaining residential energy use by international bottom-up comparisons. *Annu Rev Energy*. 10:341–405.
- SEAI (2014). Greener homes scheme statistics [website]. Dublin: Sustainable Energy Authority of Ireland (http://www.seai.ie/Grants/GreenerHomes/Scheme_Statistics/, accessed 1 October 2014).

- Sehlstedt M, Dove R, Boman C, Pagels J, Swietlicki E, Löndahl J et al. (2010). Antioxidant airway responses following experimental exposure to wood smoke in man. *Part Fibre Toxicol.* 7:21.
- Smith K, Bruce N, Balakrishnan K, Adair-Rohani H, Balmes J, Chafe Z et al. (2014). Millions dead: how do we know and what does it mean? Methods used in the comparative risk assessment of household air pollution. *Annu Rev Public Health.* 35:185–206.
- Smith K, Jerrett M, Anderson HR, Burnett RT, Stone V, Derwent R et al. (2009). Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: health implications of short-lived greenhouse pollutants. *Lancet.* 374:2091–2103.
- Smith K, McCracken JP, Weber M, Hubbard A, Jenny A, Thompson LM et al. (2011). Effect of reduction in household air pollution on childhood pneumonia in Guatemala (RESPIRE): a randomized controlled trial. *Lancet.* 378:1717–1726.
- Solomon C (2003). The effect of smoke from burning vegetative residues on airway inflammation and pulmonary function in healthy, asthmatic, and allergic individuals. Sacramento, CA: California Environmental Protection Agency (http://www.arb.ca.gov/research/single-project.php?row_id=59924, accessed 30 September 2014).
- Statistics Finland (2014). Energy 2013 [online database]. Helsinki: Statistics Finland (http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2013/html/eng10000.htm, accessed 6 November 2014).
- Taimisto P, Tainio M, Karvosenoja N, Kupiainen K, Porvari P, Karppinen A et al. (2011). Evaluation of intake fractions for different subpopulations due to primary fine particulate matter (PM_{2.5}) emitted from domestic wood combustion and traffic in Finland. *Air Qual Atmos Health.* 4:199–209.
- UNECE (2012). Decision 2012/2: amendment of the text of and annexes II to IX to the 1999 Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone and the addition of new annexes X and XI. Geneva: United Nations Economic Commission for Europe (http://www.unece.org/env/lrtap/multi_h1.html, accessed 1 October 2014).
- UNEP, WMO (2011). Integrated assessment of black carbon and tropospheric ozone. Nairobi: United Nations Environment Program and World Meteorological Organization (<http://climate-l.iisd.org/news/unep-wmo-release-black-carbon-and-tropospheric-ozone-assessment/>, accessed 1 October 2014).
- United States Census Bureau (2011). Historical census of housing tables: house heating fuel [website]. Washington, DC: United States Census Bureau (<https://www.census.gov/hhes/www/housing/census/historic/fuels.html>, accessed 25 September 2014).
- Unosson J, Blomberg A, Sandstrom T, Muala A, Boman C, Nyström R et al. (2013). Exposure to wood smoke increases arterial stiffness and decreases heart rate variability in humans. *Part Fibre Toxicol.* 10:20.
- Ward T, Boulafentis J, Simpson J, Hester C, Moliga T, Warden K et al. (2011). Lessons learned from a woodstove changeout on the Nez Perce Reservation. *Sci Total Environ.* 409:664–670.
- Ward T, Lange T (2010). The impact of wood smoke on ambient PM_{2.5} in northern Rocky Mountain valley communities. *Environ Pollut.* 158:723–729.
- Ward T, Palmer C, Bergauff M, Hooper K, Noonan C (2008). Results of a residential indoor PM_{2.5} sampling program before and after a woodstove changeout. *Indoor Air.* 18:408–415.
- Ward T, Palmer C, Bergauff M, Jayanty RKM, Noonan C (2011). Organic/elemental carbon and woodsmoke tracer concentrations following a community wide woodstove changeout program. *Atmos Environ.* 45:5554–5560.
- Ward T, Palmer C, Noonan C (2010). Fine particulate matter source apportionment following a large woodstove changeout program in Libby, Montana. *J Air Waste Manage Assoc.* 60:688–693.
- Европейское региональное бюро ВОЗ (2006). Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха, касающиеся твердых частиц, озона, двуокиси азота и двуокиси серы. Глобальные обновленные данные, 2005 г. Краткое изложение оценки риска. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ (http://www.who.int/publications/list/who_sde_phe_oe_h_06_02/ru/, по состоянию на 1 декабря 2014 г.).
- Европейское региональное бюро ВОЗ (2013). Обзор данных о воздействии загрязнения воздуха на здоровье – проект REVIHAAP. Краткое изложение научного отчета. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/218574/REVIHAAP-Final-technical-report-Rus.pdf, по состоянию на 1 декабря 2014 г.).

ВОЗ (2014а). Руководящие принципы ВОЗ по качеству воздуха в помещениях. Сжигание топлива в домашних хозяйствах. Резюме на русском языке [веб-сайт]. Женева: Всемирная организация здравоохранения (<http://www.who.int/phe/publications/indoor-air-quality/ru/>, по состоянию на 1 декабря 2014 г.).

WHO (2014b). Frequently asked questions: ambient and household air pollution and health – update 2014. Geneva: World Health Organization (http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/, accessed 26 September 2014).



Вклад от сжигания древесины в домашних хозяйствах в концентрацию РМ в атмосферном воздухе

Местонахождение	Рассчитанный вклад в концентрацию РМ в атмосферном воздухе	Рассчитанная концентрация РМ _{2,5} ^а (мкг/м ³) в атмосферном древесном дыме	Примечания	Ссылка
Австралия и Новая Зеландия				
Крайстчерч, Новая Зеландия	90% РМ _{2,5} в отопительный сезон (РИ) ^б	–	–	McGowan et al. (2002)
Тасмания, Австралия	77% годовой концентрации РМ _{2,5} (РИ)	~20 (зима)	Элементарный углерод (ЭУ): 2,27 ± 0,74 мкг/м ³ ; органический углерод (ОУ): 12,49 ± 3,68 мкг/м ³ ; левоглюкозан: 6,02 ± 1,99 мкг/м ³	Reisen et al. (2013)
Тасмания, Австралия	–	90-я перцентиль расчетной концентрации: Лонсестон: 30 ^а ; Хобарт: 15 ^а	–	Bennett et al. (2010)
Лонсестон, Австралия	95% РМ зимой	–	–	Jordan et al. (2006)
Армитаж, Австралия	–	200	2-недельное среднее в ночное время зимой	Robinson et al. (2007)
Соединенные Штаты Америки и Канада				
Сан-Хосе, США	42% РМ ₁₀ в отопительный сезон (РИ)	–	–	Chow et al. (1995)
Атланта, США	11% годовой концентрации РМ _{2,5}	–	–	Polissar et al. (2001)
Атланта, США	11% РМ _{2,5} зимой (РИ)	–	Устойчивость ассоциаций, выявленных различными методами, между РМ _{2,5} из передвижных источников и от сжигания биомассы и обращения в отделения неотложной помощи в связи с сердечно-сосудистыми и респираторными заболеваниями	Sarnat et al., 2008

Местонахождение	Рассчитанный вклад в концентрацию PM в атмосферном воздухе	Рассчитанная концентрация PM _{2,5} ^a (мкг/м ³) в атмосферном древесном дыме	Примечания	Ссылка
Вермонт, США	10–18% PM _{2,5} зимой	–	–	Polissar et al. (2001)
Монтана (5 общин), США	55–77% PM _{2,5} в отопительный сезон (ПИ)	7–11	–	Ward et al. (2010)
Сельские районы Нью-Йорка, США	–	4–22	Ночное время, отопительный сезон, температурная инверсия; кратковременные пиковые концентрации, определенные на передвижных постах мониторинга, до 100 мкг/м ³	Allen et al. (2011)
Рочестер, Нью-Йорк, США	17% PM _{2,5} зимой (ПИ)	3,2	Вклад древесного дыма в концентрации PM _{2,5} увеличивался до 27%, когда соответствующие почасовые концентрации были выше 15 мкг/м ³	Wang et al. (2011)
Сиэтл, США	–	11,2	Усредненный вклад PM _{2,5} , выбрасываемых во время отопительного сезона, в концентрацию PM в атмосферном воздухе страдающих от древесного дыма районах Сиэтла (измерено в панельном исследовании 19 объектов): 11,2 мкг/м ³ (стандартное отклонение = 6,5); экспозиция к наружному источнику PM _{2,5} : 6,26 мкг/м ³ (стандартное отклонение = 3,9)	Allen et al. (2008)
Сиэтл, США	7–31% годовой концентрации PM _{2,5} (ПИ)	–	–	Kim & Hopke (2008a)
Сиэтл, США	~30% PM _{2,5} в отопительный сезон (ПИ)	4	Рассчитанный вклад древесного дыма в концентрацию PM _{2,5} в атмосферном воздухе	Wu et al. (2007)
Портленд, США	27% годовой концентрации PM _{2,5} (ПИ)	7	Пропорциональный вклад в концентрацию PM _{2,5} может также включать влияние лесных пожаров	Kim & Hopke (2008b)
Фэрбенкс, США	60–80% PM _{2,5} зимой (ПИ)	~25	24-часовая средняя концентрация PM _{2,5} зимой	Ward et al. (2012)
Траки, США	11–15% PM _{2,5} зимой (ПИ)	–	–	Chen et al. (2012)

Местонахождение	Рассчитанный вклад в концентрацию PM в атмосферном воздухе	Рассчитанная концентрация PM _{2,5} ^a (мкг/м ³) в атмосферном древесном дыме	Примечания	Ссылка
Лас Вегас, США	11–21% годовой концентрации PM _{2,5} (PI)	–	Отдельные районы: вклад в годовую концентрацию PM _{2,5} составил 11,3 ±9,8%, 15,9 ±12,9%, 11,1 ±8,0, 20,8 ±12,5% ОУ: вклад от сжигания древесины в жилищах 8–16%; ЭУ: вклад от сжигания древесины в жилищах 3–7%	Green et al. (2013)
Населенные пункты (n=23) в Калифорнии, США	24% PM _{2,5} зимой	–	–	Jeong et al. (2008)
Голден, Британская Колумбия, Канада	31% PM _{2,5} зимой	–	–	Jeong et al. (2008)
Ванкувер, Канада	–	8,8	Ночное время, отопительный сезон, расчетное геометрическое среднее вклада древесного дыма в концентрацию PM _{2,5} в наружном воздухе	Ries et al. (2009); Larson et al. (2007)
Сельские районы Британской Колумбии, Канада	–	11 (отопительный сезон, среднее за 7 дней)	Расчетная концентрация PM _{2,5} , загрязняющих наружный воздух, измеренная внутри помещений: 3,5 мкг/м ³ (стандартное отклонение = 2,3)	Allen et al. (2009)
Европа				
Паданская равнина, Италия	Сельские районы: Сондрио – 16–23% и Канту – 11–24%; городские районы (включая Милан): 10–27% PM ₁₀ зимой (PI) (положительная факторизация матрицы)	–	Вклад в концентрацию ЭУ – 15–35%; вклад в концентрацию ОУ – 19–50%	Piazzalunga et al. (2011)
Австрия	10–20% PM ₁₀ зимой (PI)	–	–	Caseiro et al. (2009)
Южная Германия	59% PM ₁₀ зимой (PI)	–	–	Bari et al. (2010)
Дуйсберг, Германия	13% PM _{2,5} осенью (PI)	1,9	Концентрация в атмосферном воздухе	Saarikoski et al. (2008)

Местонахождение	Рассчитанный вклад в концентрацию PM в атмосферном воздухе	Рассчитанная концентрация PM _{2,5} ^a (мкг/м ³) в атмосферном древесном дыме	Примечания	Ссылка
Прага, Чешская Республика	37% PM _{2,5} зимой (РИ)	11,0	Концентрация в атмосферном воздухе	Saarikoski et al. (2008)
Амстердам, Нидерланды	11% PM _{2,5} зимой (РИ)	2,8	Концентрация в атмосферном воздухе, включая вклад от переноса на большие расстояния аэрозоля биомассы	Saarikoski et al. (2008)
Хельсинки, Финляндия	Городские районы: 18–29%; пригородные районы: 31–66% PM _{2,5} в отопительный сезон (РИ)	1–3	Дополнительный вклад от сжигания древесины в жилищах в течение 6 холодных месяцев в концентрацию PM _{2,5} в атмосферном воздухе	Saarnio et al. (2012)
Хельсинки, Финляндия	Городские районы: 17% PM _{2,5} в течение 4 сезонов (РИ)	1,6	Концентрация в атмосферном воздухе	Saarikoski et al. (2008)
Северная Швеция	36–81% PM ₁₀ зимой (РИ)	–	–	Krecl et al. (2008)
Куркимаки, Финляндия	–	8	Небольшая община (164 индивидуальных семейных дома) в центральной части Финляндии: м ³ to 8 мкг/PM _{2,5} (среднее значение концентрации за весь период сбора образцов); суточные значения 5–40 мкг/м ³ и среднечасовые – до 50 мкг/м ³	Hellen et al. (2008)
Ликселе, Швеция	–	–	На ЭУ приходилось 11% и на ОУ – 35% 5-недельной средней концентрации PM ₁₀ , составлявшей 12 мкг/м ³ ; вклад от сжигания древесины в местных домах в концентрацию PM ₁₀ составил 31–83%	Krecl et al. (2007; 2008b)
Жилой район, небольшой город, Дания	–	4	6-недельная средняя концентрация PM _{2,5} в атмосферном воздухе: 16 мкг/м ³	Glasius et al. (2006)

Местонахождение	Рассчитанный вклад в концентрацию PM в атмосферном воздухе	Рассчитанная концентрация PM _{2,5} ^a (мкг/м ³) в атмосферном древесном дыме	Примечания	Ссылка
Дуйсбург, Прага, Амстердам и Хельсинки	до 37% в Праге зимой	–	–	Saarikoski et al. (2008)
Другое местонахождение				
Китай (городские и пригородные районы Пекина и Гуанчжоу)	3–19% 24-часового содержания PM _{2,5} из сжигаемой биомассы	6–183	Октябрь 2004 г.	Wang et al. (2007)

- a Там, где измеряли PM₁₀, а не PM_{2,5}, уровень PM_{2,5} древесного дыма рассчитывали, основываясь на вкладе в PM₁₀ и исходя из того, что типичное соотношение PM₁₀:PM_{2,5} для аэрозоля, преобладающего при сжигании, составляет 0,65.
- b РИ: исследование распределения источников – литература, выявленная путем поиска в базах данных Web of Science и PubMed [с использованием следующих ключевых слов: "древесный дым" ("woodsmoke"), "биомасса" ("biomass"), "дым" ("smoke") и "сжигание в жилищах" ("residential combustion")].

Библиография

- Allen G, Miller P, Rector L, Brauer M, Su J (2011). Characterization of valley winter woodsmoke concentrations in northern NY using highly time-resolved measurements. *Aerosol Air Qual Res.* 11(5):519–530.
- Allen R, Mar T, Koenig J, Liu L, Gould T, Simpson C et al. (2008). Changes in lung function and airway inflammation among asthmatic children residing in a woodsmoke-impacted urban area. *Inhal Toxicol.* 20(4):423–433.
- Allen R, Leckie S, Millar G, Brauer M (2009). The impact of wood stove technology upgrades on indoor residential air quality. *Atmos Environ.* 43(37):5908–5915.
- Bari MA, Baumbach G, Kuch B, Scheffknecht G (2010). Temporal variation and impact of wood smoke pollution on a residential area in southern Germany. *Atmos Environ.* 44(31):3823–3832.
- Bennett CM, Dharmage SC, Matheson M, Gras JL, Markos J, Meszaros D et al. (2010). Ambient wood smoke exposure and respiratory symptoms in Tasmania, Australia. *Sci Total Environ.* 409(2):294–299.
- Caseiro A, Bauer H, Schmidl C, Pio C, Puxbaum H (2009). Wood burning impact on PM₁₀ in three Austrian regions. *Atmos Environ.* 43(13):2186–2195.
- Chen L-A, Watson J, Chow J, Magliano K (2007). Quantifying PM_{2.5} source contributions for the San Joaquin Valley with multivariate receptor models. *Environ Sci Technol.* 41(8):2818–2826.
- Chen L-A, Watson J, Chow J, Green M, Inouye D, Dick K (2012). Wintertime particulate pollution episodes in an urban valley of the western US: a case study. *Atmos Chem Phys.* 12(21):10051–64.
- Chow J, Fairley D, Watson J, Demandel R, Fujita E, Lowenthal D et al. (1995). Source apportionment of wintertime PM₁₀ at San Jose, Calif. *J Environ Eng.* 121(5):378–387.
- Glasius M, Ketzel M, Wåhlin P, Jensen B, Mønster J, Berkowicz R, Palmgren F (2006). Impact of wood combustion on particle levels in a residential area in Denmark. *Atmos Environ.* 40: 7115–7124.
- Green M, Chow J, Chang M-O, Chen L-A, Kuhns H, Etyemezian V et al. (2013). Source apportionment of atmospheric particulate carbon in Las Vegas, Nevada, USA. *Particuology.* 11(1):110–118.
- Hellen H, Hakola H, Haaparanta S, Pietarila H, Kauhaniemi M (2008). Influence of residential wood combustion on local air quality. *Sci Total Environ.* 393(2–3):283–290.
- Jeong C-H, Evans GJ, Dann T, Graham M, Herod D, Dabek-Zlotorzynska E et al. (2008). Influence of biomass burning on wintertime fine particulate matter: source contribution at a valley site in rural British Columbia. *Atmos Environ.* 42:3684–3699.
- Jordan T, Seen A, Jacobsen G (2006). Levoglucosan as an atmospheric tracer for woodsmoke. *Atmos Environ.* 40(27):5316–5321.
- Kim E, Hopke P (2008a). Source characterization of ambient fine particles at multiple sites in the Seattle area. *Atmos Environ.* 42(24):6047–6056.
- Kim E, Hopke P (2008b). Characterization of ambient fine particles in the northwestern area and Anchorage, Alaska. *J Air Waste Manage Assoc.* 58(10):1328–1340.
- Krecl P, Larsson E, Ström J, Johansson C (2008a). Contribution of residential wood combustion and other sources to hourly winter aerosol in northern Sweden determined by positive matrix factorization. *Atmos Chem Phys.* 8(13):3639–3653.
- Krecl P, Ström J, Johansson C (2007). Carbon content of atmospheric aerosols in a residential area during the wood combustion season in Sweden. *Atmos Environ.* 41:6974–6985.
- Krecl P, Ström J, Johansson C (2008b). Diurnal variation of atmospheric aerosol during the wood combustion season in northern Sweden. *Atmos Environ.* 42:4113–4125.
- Larson T, Su J, Baribeau A, Buzzelli M, Setton E, Brauer M (2007). A spatial model of urban winter woodsmoke concentrations. *Environ Sci Technol.* 41(7):2429–2436.
- McGowan J, Hider P, Chacko E, Town G (2002). Particulate air pollution and hospital admissions in Christchurch, New Zealand. *Aust N Z J Public Health.* 26(1):23–29.
- Piazzalunga A, Belis C, Bernardoni V, Gazzuli O, Fermo P, Valli G et al. (2011). Estimates of wood burning contribution to PM by the macro-tracer method using tailored emission factors. *Atmos Environ.* 45(37):6642–6649.

- Polissar A, Hopke P, Poirot R (2001). Atmospheric aerosol over Vermont: chemical composition and sources. *Environ Sci Technol.* 35(23):4604–4621.
- Reisen F, Meyer CP, Keywood MD (2013). Impact of biomass burning sources on seasonal aerosol air quality. *Atmos Environ.* 67:437–447.
- Ries F, Marshall J, Brauer M (2009). Intake fraction of urban wood smoke. *Environ Sci Technol.* 43(13):4701–4706.
- Robinson D, Monro J, Campbell E (2007). Spatial variability and population exposure to PM_{2.5} pollution from woodsmoke in a New South Wales country town. *Atmos Environ.* 41(26):5464–5478.
- Saarikoski S, Sillanpää M, Saarnio K, Hillamo R, Pennanen A, Salonen R (2008). Impact of biomass combustion on urban fine particulate matter in central and northern Europe. *Water Air Soil Pollut.* 191(1–4):265–277.
- Saarnio K, Niemi JV, Saarikoski S, Aurela M, Timonen H, Teinila K et al. (2012). Using monosaccharide anhydrides to estimate the impact of wood combustion on fine particles in the Helsinki metropolitan area. *Boreal Environ Res.* 17(3–4):163–183.
- Sarnat J, Marmur A, Klein M, Kim E, Russell A, Sarnat S et al. (2008). Fine particle sources and cardiorespiratory morbidity: an application of chemical mass balance and factor analytical source-apportionment methods. *Environ Health Perspect.* 116(4):459–466.
- Wang Q, Shao M, Liu Y, Williams K, Paul G, Li X et al. (2007). Impact of biomass burning on urban air quality estimated by organic tracers: Guangzhou and Beijing as cases. *Atmos Environ.* 41(37):8380–8390.
- Wang Y, Hopke P, Utell M (2011). Urban-scale spatial-temporal variability of black carbon and winter residential wood combustion particles. *Aerosol Air Qual Res.* 11(5):473–481.
- Ward T, Palmer C, Noonan C (2010). Fine particulate matter source apportionment following a large woodstove changeout program in Libby, Montana. *J Air Waste Manage Assoc.* 60(6):688–693.
- Ward T, Trost B, Conner J, Flanagan J, Jayanty R (2012). Source apportionment of PM_{2.5} in a subarctic airshed – Fairbanks, Alaska. *Aerosol Air Qual Res.* 12(4):536–543.
- Wu C, Larson T, Wu S, Williamson J, Westberg H, Liu L-S (2007). Source apportionment of PM_{2.5} and selected hazardous air pollutants in Seattle. *Sci Total Environ.* 386(1–3):42–52.

Европейское региональное бюро ВОЗ

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) – специализированное учреждение Организации Объединенных Наций, созданное в 1948 г., основная функция которого состоит в решении международных проблем здравоохранения и охраны здоровья населения. Европейское региональное бюро ВОЗ является одним из шести региональных бюро в различных частях земного шара, каждое из которых имеет свою собственную программу деятельности, направленную на решение конкретных проблем здравоохранения обслуживаемых ими стран.

Государства-члены

Австрия
Азербайджан
Албания
Андорра
Армения
Беларусь
Бельгия
Болгария
Босния и Герцеговина
Бывшая югославская
Республика Македония
Венгрия
Германия
Греция
Грузия
Дания
Израиль
Ирландия
Исландия
Испания
Италия
Казахстан
Кипр
Кыргызстан
Латвия
Литва
Люксембург
Мальта
Монако
Нидерланды
Норвегия
Польша
Португалия
Республика Молдова
Российская Федерация
Румыния
Сан-Марино
Сербия
Словакия
Словения
Соединенное Королевство
Таджикистан
Туркменистан
Турция
Узбекистан
Украина
Финляндия
Франция
Хорватия
Черногория
Чешская Республика
Швейцария
Швеция

ISBN 978-92-890-5085-2



9 789289 050852 >

Всемирная организация здравоохранения Европейское региональное бюро ВОЗ

UN City, Marmorvej 51, DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark

Тел.: +45 45 33 70 00 Факс: +45 45 33 70 01

Эл. почта: contact@euro.who.int

Веб-сайт: www.euro.who.int