

Выбросы черного углерода: воздействие и смягчение последствий

Что такое черный углерод?

Черный углерод (ЧУ), продукт неполного сгорания угля, дизельного топлива, биотоплива и биомассы, является «самым сильным светоабсорбирующим компонентом взвешенных частиц (ВЧ)»¹. Его можно определить как «твердые частицы, в основном состоящие из чистого углерода, которые абсорбируют солнечную радиацию во всех длинах волн». Черный углерод является наиболее активной частью взвешенных частиц, абсорбирующей солнечную радиацию, и основным компонентом сажи, которая состоит из частиц углерода с примесями и также содержит органический углерод. «Черный углерод выбрасывается непосредственно в атмосферу в виде мелких частиц (размером менее 2,5 микрон)»; по оценкам, его выбросы в 2005 г. составили приблизительно 10% от всех прямых выбросов взвешенных частиц размером менее 2,5 микрон (PM_{2.5}). Результаты предварительного анализа показывают, что на долю России приходится около 7% мировой эмиссии черного углерода, причем основными источниками этих выбросов в России являются лесные пожары, а также потребление энергии в жилищном секторе, на транспорте и в промышленности. В российской Арктике к крупнейшим источникам выбросов черного углерода относятся мобильные и стационарные дизельные двигатели, причем существуют значительные возможности сокращения этих выбросов.

Влияние черного углерода на здоровье населения, экологию и климат

Являясь компонентом взвешенных частиц PM_{2.5}, черный углерод также оказывает «отрицательное влияние на здоровье людей, экосистемы и атмосферную видимость». Кратковременное и долговременное воздействие взвешенных частиц PM_{2.5} приводит к возникновению респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, а также к преждевременной смерти. Взвешенные частицы PM_{2.5}, содержащие черный углерод, также связывают со снижением урожайности и нанесением ущерба материалам и зданиям. Частицы черного углерода попадают в организм человека через легкие в процессе дыхания, через желудочно-кишечный тракт с водой и пищей, а также через кожу и слизистые оболочки. В исследовании Российской академии наук выявлена положительная связь взвешенных частиц PM_{2.5} с ростом смертности от ишемической болезни сердца и цереброваскулярных заболеваний в Москве.

Черный углерод оказывает три вида воздействия на климат: прямой эффект, снижение отражающей способности снега (альбедо) и загрязнение облаков. Прямой эффект заключается в том, что, поглощая солнечную радиацию во всех длинах волн, черный углерод способствует прогреву атмосферы. Черный углерод, «загрязняющий снег и лед, затемняет поверхность, снижает отражающую способность и таким образом увеличивает поглощение и таяние». Кроме того, черный углерод взаимодействует с облаками, что сказывается на их стабильности, количестве осадков и отражающей способности. Эти воздействия делают Арктику особенно

¹ Все цитаты приведены по тексту «Агентство по защите окружающей среды. (2012). Доклад Конгрессу по черному углероду. Вашингтон, Агентство США по защите окружающей среды. Размещено на сайте: <http://www.epa.gov/blackcarbon/>».

уязвимым регионом для выбросов черного углерода. Кроме того, воздействие на климат может способствовать повышению вероятности экстремальных погодных явлений, таких как длительная и необычайная жара в Москве летом 2010 г., которая сопровождалась высокой смертностью в этот период.

Стратегии сокращения выбросов и климатические, экологические, медицинские и экономические выгоды

Черный углерод выбрасывается вместе с другими взвешенными частицами и газами и оказывает смешанное воздействие на климат. Поэтому при оценке возможностей сокращения выбросов черного углерода необходимо учитывать побочные эффекты от выбросов других частиц и газов. Например, черный углерод составляет около 75% выбросов взвешенных частиц от мобильных дизельных двигателей, в то время как в процессе сгорания биомассы выбрасывается в основном органический углерод.

Повышение эффективности процесса горения и контроль прямых выбросов взвешенных частиц $PM_{2.5}$ может содействовать сокращению выбросов черного углерода. Рекомендации по сокращению выбросов включают повышение эффективности использования энергии в целях снижения потребности в работе дизель-генераторов; повышение КПД дизельных двигателей; ужесточение стандартов в отношении новых двигателей или стандартов на топливо в целях сокращения выбросов от мобильных источников; а также замену или модернизацию промышленных котлов и дизель-генераторов. Продолжительность пребывания черного углерода в атмосфере невелика, и климат быстро отреагирует на сокращение выбросов, особенно в таких чувствительных регионах, как российская Арктика. Кроме того, стратегии сокращения выбросов черного углерода, как правило, приводят и к сокращению выбросов взвешенных частиц $PM_{2.5}$, обеспечивая значительные медицинские, экологические и экономические выгоды. По оценкам, к 2030 г. выгоды от сокращения выбросов взвешенных частиц $PM_{2.5}$ в США варьируют в диапазоне от 290 тыс. до 1,2 млн. долл. в расчете на тонну взвешенных частиц $PM_{2.5}$; предполагаемые затраты для достижения такого сокращения выбросов намного меньше.

Литература

Бонд, Т.С., Стритс, Д.Г., Ярбер, К.Ф., Нельсон, С.М., Ву, Дж.Х. и Климонт, З. (2004). Глобальная инвентаризация на технологической основе выбросов черного и органического углерода от сжигания. *Журнал геофизических исследований: атмосферы*, 109(D14), n/a-n/a. doi: 10.1029/2003jd003697. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2003JD003697/abstract> .

Агентство по защите окружающей среды. (2012). Доклад Конгрессу по черному углероду. Вашингтон, Агентство США по защите окружающей среды. Размещено на сайте: <http://www.epa.gov/blackcarbon/>.

Ламарк, Дж.Ф., Бонд, Т.С., Эйринг, В., Гранье, С., Хейл, А., Климонт, З. и др. (2010). Выбросы химически активных газов и аэрозолей (антропогенные и от сжигания биомассы) в ретроспективе (1850-2000 гг.) с координатной сеткой: методология и применение. *Atmos. Chem. Phys.*, 10(15), 7017-7039. Размещено на сайте: <http://www.atmos-chem-phys.net/10/7017/2010/acp-10-7017-2010.html>.

Менон, С., Хансен, Дж., Назаренко, Л. и Луо, Й. (2002). Воздействие на климат аэрозолей черного углерода в Китае и Индии. *Наука*, 297(5590), 2250-2253. doi: 10.1126/science.1075159. Размещено на сайте: <http://www.sciencemag.org/content/297/5590/2250>.

Панченко, М.В., Козлов, В.С., Польшкин, В.В., Яушева, Е.П., Терпугова, С.А., Шмаргунов, В.П. и др. (2012). *Субмикронные аэрозоли и сажа (черный углерод)*. Презентация на российско-американском академическом симпозиуме по проблемам черного углерода, проводимом совместно Национальной академией наук США и Российской академией наук, октябрь 17-19, Москва.

Поповичева, О. (2012). *Физико-химические характеристики черного углерода: воздействие на климат и здоровье населения*. Презентация на российско-американском академическом симпозиуме по проблемам черного углерода, проводимом совместно Национальной академией наук США и Российской академией наук, октябрь 17-19, Москва.

Ревич, Б. и Шапошников Д. (2012). *Загрязнение воздуха и смертность от волн жары в Москве*. Презентация на российско-американском академическом симпозиуме по проблемам черного углерода, проводимом совместно Национальной академией наук США и Российской академией наук, октябрь 17-19, Москва.

Шевченко В. (2012). *Распределение и источники черного углерода в российской Арктике*. Презентация на российско-американском академическом симпозиуме по проблемам черного углерода, проводимом совместно Национальной академией наук США и Российской академией наук, октябрь 17-19, Москва.

Толстикова, Т.Г. (2012). *Современное состояние проблемы токсического воздействия «черного углерода» на биологические системы. Возможности комплексных исследований в Сибирском отделении Российской академии наук*. Презентация на российско-американском академическом симпозиуме по проблемам черного углерода, проводимом совместно Национальной академией наук США и Российской академией наук, октябрь 17-19, Москва.