Целевая группа по полусферному переносу загрязнения воздуха

МСЦ-В внес вклад в работу Целевой группы по переносу загрязнения воздуха в масштабах полушария (ЦГ ПЗВП), направленную на оценку загрязнения ртутью и СОЗ. В частности, Центр участвовал в совместных мероприятиях ПЗВП, направленных на мультимодельную оценку и исследование долговременных тенденций и будущих сценариев загрязнения ртутью, а также на оценку влияния природных пожаров и сжигания биомассы на загрязнение окружающей среды различными загрязнителями.

Проект многосредового моделирования и анализа ртути (MCHgMAP)

Текущая деятельность ПЗВП, направленная на оценку загрязнения ртутью, осуществляется в рамках проекта комплексного моделирования и анализа ртути (MCHgMAP). Проект направлен на всесторонний анализ пространственно-временных тенденций уровней загрязнения ртутью, влияния различных источников ртути и исследования влияния сценариев будущих эмиссий ртути на её уровни в окружающей среде. Эти исследования позволят обосновать эффективность Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха и Минаматской конвенции по ртути.

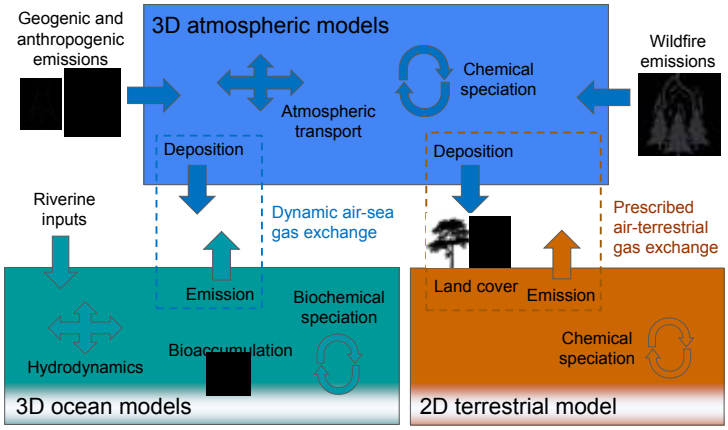

Рис. 4.1. *Концептуальная схема моделирования ртути в рамках MCHgMAP.*

Для руководства работами проекта международная экспертная группа разработала долгосрочный план действий в виде программного документа, который будет опубликован в ближайшее время и представлен обеим конвенциям. Документ содержит всю необходимую информацию по организации и координации работ, включая обзор, научное обоснование и рекомендации по использованию и дальнейшему совершенствованию кадастров антропогенных и геогенных выбросов, данные наблюдений за содержанием ртути в воздухе и морской воде и потоками обмена между воздухом и поверхностью, характеристики имеющихся моделей химического переноса ртути, а также подробный план моделирования и анализа результатов оценки. Документ имеет следующую структуру:

- *Краткая характеристика проекта;*
- *Набор участвующих моделей (выбор и характеристики имеющихся моделей распространения ртути в атмосфере, океане, а также массового баланса ртути и воздействия);*
- *Источники выбросов (антропогенные и геогенные выбросы, выбросы от лесных пожаров и сценарии будущих выбросов);*

- *Данные наблюдений (измерения концентраций ртути в воздухе и морской воде, влажное выведение и обмен между атмосферой и поверхностью, и различные архивы данных);*
- *Разработка мульти-модельных расчетов (координация мульти-модельных расчетов участвующих моделей) (рис. 4.1);*
- *Оценка результатов моделей (методология оценки результатов моделирования в сравнении с наблюдениями);*
- *Анализ результатов моделей и разработка показателей качества расчетов (анализ пространственных закономерностей, исторических тенденций, оценка вкладов различных источников);*
- *Сценарии будущих уровней загрязнения (прогнозы на основе моделей и анализ будущих уровней ртути);*
- *Анализ неопределенности результатов моделирования.*

На всех этапах проекта МСЦ-В принимал участие в разработке программы работ по оценке уровней загрязнения ртутью, а также в подготовке программного документа. В частности, Центр участвовал в разработке программы моделирования и анализа, постановке мультимодельных экспериментов и спецификации выходных результатов. Также был разработан согласованный подход к оценкам обмена ртутью между атмосферой и океаном для последовательного использования в рамках проекта. Кроме того, был составлен глобальный кадастр выбросов ртути в результате лесных пожаров (раздел 4.1.2). Центр участвовал во всех технических совещаниях группы экспертов MCHgMAP и в ежегодном совещании ЦГ ПЗВП по глобальным выбросам и моделированию ртути (19 апреля 2023 г.)., https://htap.org/event/global-mercury-emissions-and-modeling/).

Выбросы ртути при лесных пожарах

Лесные пожары являются значительным источником многих загрязнителей атмосферы, в том числе ртути [*Andreae and Merlet*, 2001; *Urbanski et al.*, 2009; *De Simone et al.*, 2015; *Kumar and Wu*, 2019; *van der Werf et al.*, 2017; *Friedli et al.,* 2003a,b]. Для изучения влияния лесных пожаров на концентрации, межконтинентальный перенос и выведение ртути из атмосферы, а также для улучшения модельных оценок уровней ртути ЦГ ПЗВП был инициирован процесс разработки инвентаризации выбросов ртути от лесных пожаров. Первые результаты МСЦ-В по выбросам ртути от лесных пожаров в различных пространственных масштабах были представлены на заседании ЦГ ПЗВП в ноябре 2022 года. В данном разделе представлены дальнейшие шаги по разработке подхода к оценке выбросов от лесных пожаров.

Подход к оценке выбросов ртути в атмосферу в результате лесных пожаров основан на предположении, что эмиссия ртути пропорциональна сжигаемой во время пожара биомассе. Коэффициент пропорциональности называется коэффициентом эмиссии. Информация о сгоревшей биомассе берется из имеющихся баз данных по лесным пожарам. Краткий обзор имеющихся баз данных по лесным пожарам глобального масштаба представлен в табл. 4.1. Эксперты ЦГ ПЗВП, участвующие в проекте MCHgMAP, приняли решение подготовить два набора данных о выбросах ртути в результате лесных пожаров на основе наборов данных GFED4 и FINN (версия 2.5). В частности, за подготовку данных о выбросах ртути на основе данных FINN отвечал МСЦ-В.

Таблица 4.1. *Глобальные наборы данных по выбросам от сжигания биомассы*

Набор данных	Пространственное разрешение	Временной диапазон и временное разрешение	Виды данных
GFED(*)	0.25°x0.25°	2000-2020; 3-ч, ежедневно, ежемесячно	Площадь сжигания; Сгоревшая масса; Коэффициенты выбросов, в т.ч. PM2.5
FINN(**)	1x1 км^2	2002-2021; Ежедневно	Площадь сжигания; Сгоревшая масса; Выбросы ртути по формам, в т.ч. PM2.5
GFAS(***)	0.1°x0.1°	2003-настоящее время; Ежедневно	Скорость горения; Сгоревшая масса; Выбросы специй, в т.ч. PM2.5; Высота выброса
QFED(****)	0.1°x0.1°	2000- настоящее время; ежедневно, ежемесячно	Выбросы ртути по формам, в т.ч. PM2.5

(*) - Глобальная база данных по пожарным выбросам; http://www.globalfiredata.org
(**) - Fire INventory from NCAR; https://www2.acom.ucar.edu/modeling/finn-fire-inventory-ncar
(***) - Глобальная система ассимиляции пожаров; http://modis-fire.umd.edu
(****) - Quick Fire Emissions Dataset; https://portal.nccs.nasa.gov/datashare/iesa/aerosol/emissions/QFED/v2.4r6/

Подробное описание базы данных FINN (версия 2.5) приведено в [*Wiedinmyer et al.*, 2023]. Эти данные получены на основе спутниковых измерений пожарной активности MODIS. Кроме того, прибор VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) позволяет идентифицировать небольшие лесные пожары. Выделяются пожары нескольких типов растительного покрова (луга и саванны, лесные саванны и кустарники, тропические леса, леса умеренного пояса, бореальные леса, вечнозеленые леса умеренного пояса, пахотные земли). Для каждого типа почвенно-растительного покрова устанавливался свой коэффициент выбросов. Значения коэффициентов эмиссии (рис. 4.2) взяты из работ [*Anderae*, 2019; *McLagan et al.,* 2021 и *Desservettaz et al.*, 2017] Пространственное распределение выбросов Hg от лесных пожаров было подготовлено на глобальной сетке с пространственным разрешением 0,25°x0,25°. Пример эмиссии ртути в 2015 году приведен на рис. 4.3. Основными регионами выбросов ртути являются юг Африки, Южная Америка и Юго-Восточная Азия. Кроме того, отдельные районы значительных выбросов от лесных пожаров отмечены для Сибирского региона России и северо-западной части Северной Америки. В Европе выбросы от лесных пожаров относительно невелики. Хотя пространственное распределение выбросов ртути от лесных пожаров может меняться из года в год, основные регионы выбросов остаются неизменными.

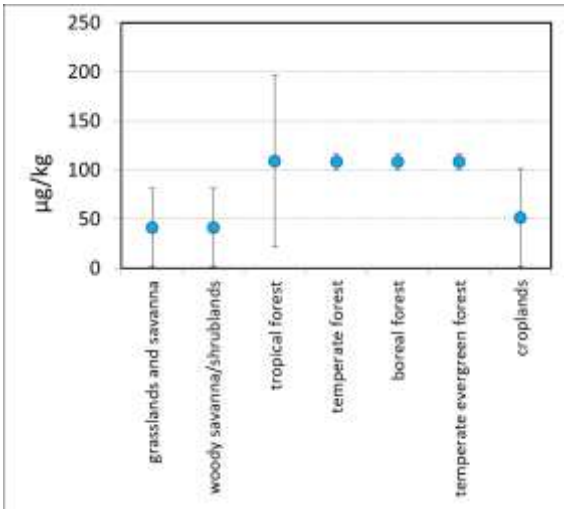

Рис. 4.2. *Коэффициенты выбросов для различных типов почвенно-растительного покрова и диапазон неопределенности.*

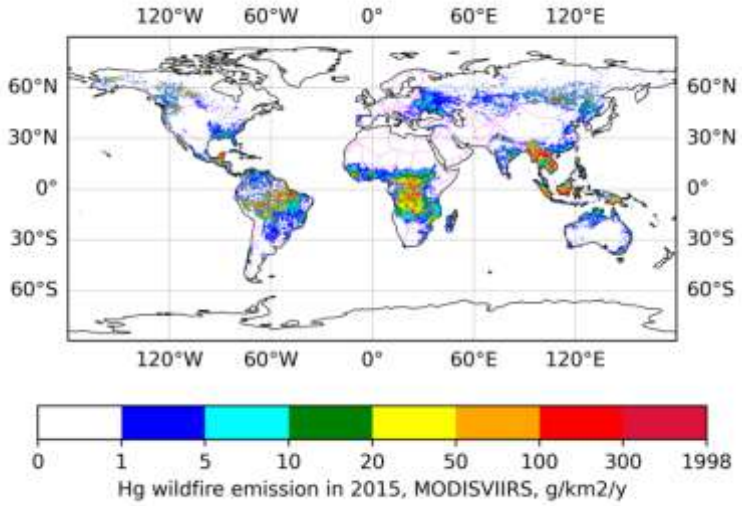

Рис. 4.3. *Выбросы ртути от лесных пожаров в 2015 г. по данным FINNv2.5 с пространственным разрешением 0,25°x0,25°.*

В 2010-2020 гг. суммарные выбросы ртути от лесных пожаров варьирует от 714 т в год (2010 г.) до около 500 т в год (2018 г.), а их среднее значение составляет около 600 т в год (рис. 4.4). Основными регионами ЦГ ПЗВП, на которые приходится большая часть выбросов ртути от лесных пожаров, являются юг Африки, Южная Америка и Юго-Восточная Азия. Их средний вклад составляет 33%, 22% и 20% соответственно. Вклад лесных пожаров в Северной Америке составляет в среднем 3%, а пожаров в Сибири - в среднем 5% ртути.

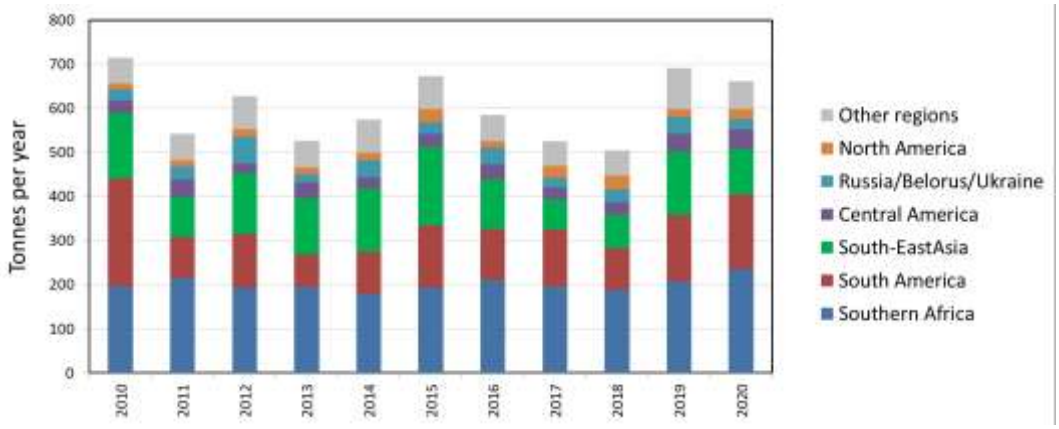

Рис. 4.4. *Вклад различных регионов ТН НТАР в глобальные выбросы ртути от лесных пожаров в 2010 - 2020 гг.*

Среди семи типов почвенно-растительного покрова, на которых возникают лесные пожары, основной вклад (в среднем около 60%) вносят тропические леса (рис. 4.5). На втором месте по значимости находятся луга и саванны, доля которых колеблется от 13% до 17%. Вклад других типов почвенно-растительного покрова в глобальные выбросы ртути от лесных пожаров обычно не превышает 10%.

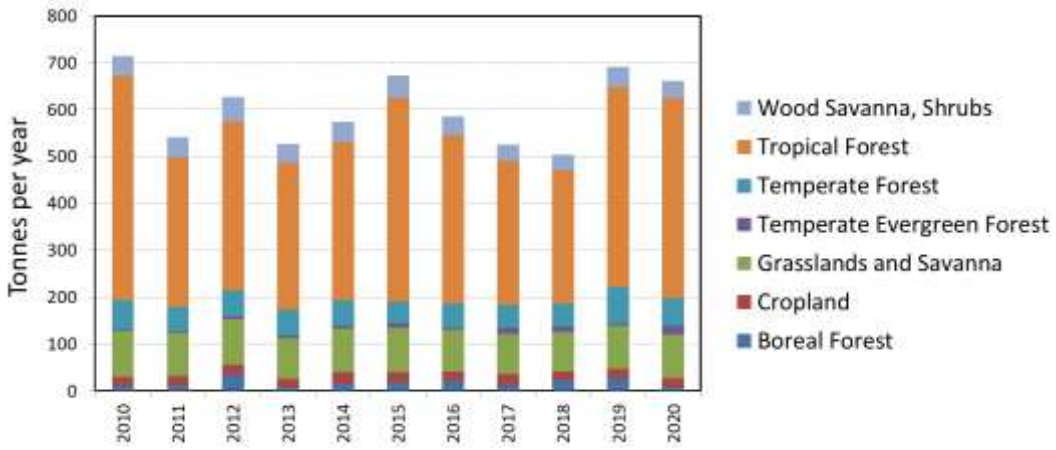

Рис. 4.5. *Вклад типов почвенно-растительного покрова в глобальную эмиссию ртути от лесных пожаров в 2010 - 2020 гг.*

Сезонные изменения глобальных выбросов ртути от лесных пожаров демонстрируют два максимума. Первый пик приходится на март-апрель, второй - на август-сентябрь (рис. 4.6). Весенний пик приходится на пожары в Юго-Восточной Азии, а летне-осенний - в основном на пожары в Южной Америке. Пики как весной, так и летом/осенью приходятся на юг Африки.

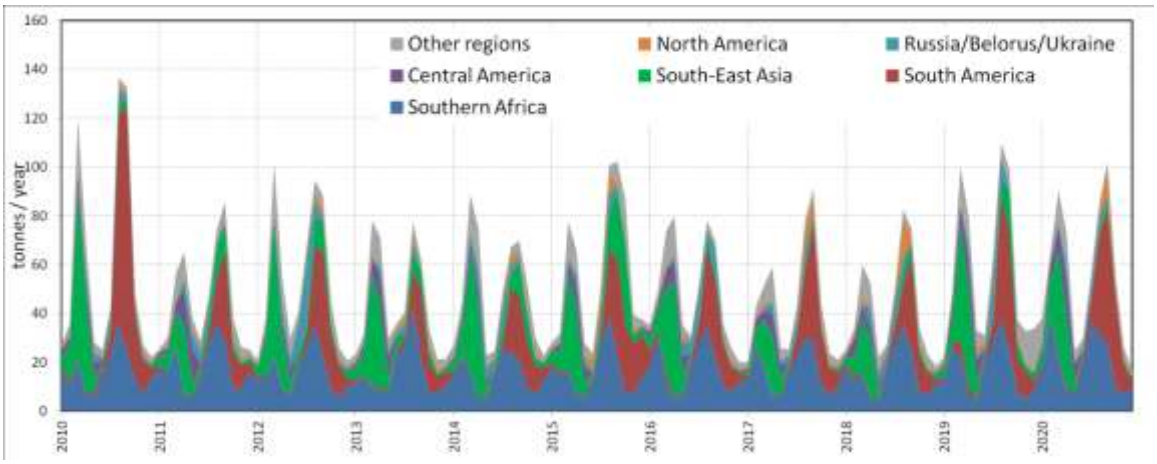

Рис. 4.6. *Помесячные значения глобальных выбросов ртути от лесных пожаров в 2010 - 2020 гг.*

Глобальные годовые выбросы ртути от антропогенных источников составляют около 2200 т [*AMAP/UNEP*, 2019], что примерно в 3,5 раза превышает средние выбросы ртути от лесных пожаров. Тем не менее в отдельных регионах и в определенные периоды времени вклад лесных пожаров в суммарные выбросы ртути может быть значительным. Дальнейшая работа по изучению влияния лесных пожаров на уровень ртути будет включать сравнение выбросов ртути на основе баз данных FINN и GFED. Кроме того, будут проведены модельные эксперименты для определения вклада лесных пожаров в концентрации в воздухе и выпадения ртути в различных регионах земного шара.