

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В этом году финансирование МСЦ-В было приостановлено в соответствии с решением Исполнительного органа CLRTAP, принятым на 42-й сессии в декабре 2022 года [ECE/EB.AIR/150]. Для поддержки дальнейшей деятельности ЕМЕП по оценке загрязнения тяжелыми металлами и СОЗ Правительство Российской Федерации приняло решение о выплате начисленного взноса России за 2022 и 2023 годы в соответствии с обязательствами по Протоколу 1984г. к Конвенции непосредственно в бюджет МСЦ-В ЕМЕП (<https://unece.org/sites/default/files/2023-08/Item%203%20Letter%20on%20MSC-E%20-%20en.pdf>). Это позволило МСЦ-В возобновить свою работу в 2023 году и подготовить Отчет о состоянии дел.

## Общая информация

---

Тяжёлые металлы и Стойкие органические загрязнители (СОЗ) известны своей токсичностью и вредным воздействием на здоровье человека и окружающую среду. Для того, чтобы снизить уровни этих загрязняющих веществ в окружающей среде была принята Конвенция ЕЭК ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (далее **КТЗВБР** или Конвенция). В рамках Конвенции был разработан ряд протоколов. В частности, Протокол по тяжелым металлам и Протокол по СОЗ к Конвенции, направленные на сокращение выбросов этих загрязнителей в атмосферу, были приняты в 1998 г. и дополнены в 2012 и 2009 гг. соответственно. Согласно Протоколам, приоритетными тяжелыми металлами и СОЗ являются свинец (Pb), кадмий (Cd) и ртуть (Hg), полихлорированные бифенилы (ПХБ), полихлорированные дибензо(р)диоксины и дибензофураны (ПХДД/Ф), гексахлорбензол (ГХБ) и полиароматические углеводороды (ПАУ). К ПАУ относятся бензо(а)пирен (Б(а)П), бензо(б)флуорантен (Б(б)Ф), бензо(к)флуорантен (Б(к)Ф) и индено(1,2,3-сд)пирен (И(сд)П). В соответствии с поправками, внесенными в 2009 году, в Протокол по СОЗ был также включен ряд потенциально опасных химических веществ (ПОВ).

Программа ЕМЕП (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe, [www.emep.int](http://www.emep.int)) направлена на оказание научной поддержки выполнения положений Протоколов. В рамках программы ЕМЕП учрежден ряд международных центров, деятельность которых направлена на информирование Сторон Конвенции об уровнях загрязнения и трансграничном переносе. В частности, информацию о выбросах тяжелых металлов и СОЗ в регионе ЕМЕП готовит Центр по кадастрам и прогнозам выбросов (ЦКАП). Мониторинг загрязняющих веществ в рамках ЕМЕП контролируется Координационным химическим центром (КХЦ). Оценки уровней загрязнения и трансграничного переноса тяжелых металлов и СОЗ методами моделирования выполняет Метеорологический синтезирующий центр - Восток (МСЦ-В). Рабочая группа по воздействию (РГВ) занимается оценкой негативного воздействия загрязнителей на окружающую среду и здоровье человека.

## Выбросы

---

Наборы данных по выбросам для моделирования на 2021 год были подготовлены МСЦ-В на основе пространственно-распределённых данных по выбросам от отдельных секторов, подготовленных ЦКАП и полученных из базы данных ЦКАП WebDab. Эти данные были дополнены информацией о временной изменчивости, вертикальном распределении и химическом составе выбросов. Для моделирования на глобальном масштабе МСЦ-В также подготовил данные по выбросам на регулярной сетке, используя результаты исследовательских проектов и экспертные оценки.

## Мониторинг

---

Информация о измеренных концентрациях в воздухе, концентрациях в осадках и суммах осадков доступна в базе данных EBAS, которая поддерживается КХЦ. В 2021 году информация о концентрациях Pb и Cd, измеренных в воздухе, была доступна с 51 станции, а о концентрациях в осадках - с 58 станций. На 47 станциях проводились совместные измерения. Концентрации Hg в воздухе и осадках были доступны с 10 и 21 станции соответственно. Концентрации Б(а)П, ГХБ и ПХБ-153 измерялись на 30, 11 и 12 станциях соответственно. Имеющиеся данные мониторинга были проанализированы в МСЦ-В. Наиболее надежные измерения были использованы для сопоставления результатов моделирования с данными наблюдений.

## Состояние загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами в 2021 году

---

Уровни загрязнения тяжелыми металлами (Pb, Cd, Hg) и CO<sub>3</sub> (ПАУ, ПХДД/Ф, ГХБ) в 2021 году были оценены для региона ЕМЕП, его субрегионов и отдельных стран. Наиболее высокие уровни загрязнения отмечены для Центральной Европы. Для этого субрегиона характерны самые высокие уровни содержания Pb, Cd, Hg, ПАУ и ГХБ по сравнению с другими субрегионами. Самые низкие уровни загрязнения наблюдаются в Северной Европе, на Кавказе и в Центральной Азии. Было показано, что изменения уровней загрязнения в субрегионах ЕМЕП за счёт влияния межгодовой метеорологической изменчивости с 2020 по 2021 год не превышают ±15%.

Сравнение результатов моделирования с данными наблюдений проводилась для концентраций в воздухе и потоков влажных выпадений, полученных на сети мониторинга ЕМЕП. Для Pb и Cd на большинстве станций мониторинга разница между рассчитанными и наблюдаемыми концентрациями в воздухе или потоками влажных выпадений находится в пределах фактора 2. Модель имеет тенденцию к завышению концентраций Pb и Cd в воздухе и влажных выпадений Hg, а также к занижению потоков Pb и Cd во влажных выпадениях по

сравнению с измеренными величинами. Соответствие рассчитанных и измеренных концентраций Hg в воздухе находится в пределах  $\pm 6\%$  в среднем по всем станциям и  $\pm 25\%$  для отдельных станций ЕМЕП. Сопоставление результатов моделирования суммы четырёх ПАУ с данными измерений ЕМЕП показывает хорошее соответствие рассчитанных и наблюдаемых концентраций, что выражается в низкой погрешности и высокой пространственной корреляции. Примерно для 80% станций мониторинга различия между результатами моделирования и измеренными концентрациями находятся в пределах фактора 2. Моделируемые концентрации ПХБ-153 в воздухе в 2 раза выше измеренных. Для большинства станций различия между смоделированными и измеренными концентрациями ГХБ в воздухе меньше, чем фактор 2.

Уровни загрязнения в регионе ЕМЕП формируются за счёт трёх групп источников, таких как 1) антропогенные выбросы стран ЕМЕП, 2) вторичные выбросы с территории ЕМЕП (ветровой подъём, природные источники, повторная мобилизация антропогенных поступлений, реэмиграция) и 3) источники выбросов, расположенные за пределами стран ЕМЕП (источники, не входящие в ЕМЕП). Выпадения Pb и Cd в основном обусловлены антропогенными выбросами и вторичными источниками ЕМЕП. Hg является глобальным загрязнителем, поэтому её уровни формируются в основном за счёт источников, расположенных за пределами стран ЕМЕП. В случае ПАУ наибольший вклад (более 80%) в выпадения вносят антропогенные источники стран ЕМЕП, в то время как вклад других типов источников выбросов составляет менее 20%. Наибольший вклад в потоки выпадений ПХДД/Ф, ПХБ-153 и ГХБ вносят вторичные источники выбросов в регионе ЕМЕП. Вторым по значимости вкладом для ПХДД/Ф и ПХБ-153 являются антропогенные выбросы стран ЕМЕП. Для ГХБ второй по значимости вклад вносят выбросы за пределами региона ЕМЕП.

В отчёте представлена информация о выпадениях тяжёлых металлов на различные типы подстилающей поверхности в 2021 году, подготовленная МСЦ-В. Эта информация важна для оценки превышений критических нагрузок. Кроме того, было рассчитано превышение нормативов качества воздуха по ПАУ. Расчёты показали, что около 11% населения стран ЕМЕП в 2021 году проживало в районах с превышением принятого в странах ЕС норматива среднегодовых концентраций Б(а)П в воздухе. Норматив, принятый Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) был превышен для 63% населения стран ЕМЕП. Кроме того, были оценены атмосферные поступления и вклады источников тяжёлых металлов и CO<sub>2</sub> загрязнение окраинных морей (Балтийского, Северного, Средиземного, Черного и Каспийского) и Арктики. Наконец, были представлены результаты моделирования на глобальном масштабе, проводимого с целью вычисления граничных концентраций загрязняющих веществ в регионе ЕМЕП.

## Исследования и разработки

---

Продолжилось инициированное Целевой группой по измерениям и разработке моделей (ЦГИРМ) в 2021 году исследование по сравнению моделей атмосферного переноса Б(а)П Eurodelta-Carb. Эта работа является частью более широкого научного исследования по моделированию атмосферного переноса вторичных аэрозолей и чёрного углерода. Основными задачами исследования Eurodelta-Carb по Б(а)П были анализ качества моделирования атмосферного переноса и оценка неопределенности результатов моделирования. В процессе моделирования концентраций Б(а)П в Европе были задействованы четыре химико-транспортные модели (CHIMERE, GLEMOS, MINNI и SILAM) регионального масштаба. Участвовавшие в моделировании модели показали высокую пространственную корреляцию прогнозируемых и наблюдаемых концентраций Б(а)П. Кроме того, для большинства моделей была получена высокая корреляция расчетных и наблюдаемых внутригодовых вариаций концентраций Б(а)П. Кроме того, моделирование показало завышение рассчитанных концентраций Б(а)П по сравнению с наблюдаемыми в Испании, а также недооценку для Северной Европы (Финляндия, Латвия, Эстония), что, вероятно, объясняется неопределенностью данных о выбросах Б(а)П. Дальнейшая работа в рамках данного исследования может быть направлена на анализ чувствительности, оценку воздействия метеорологических факторов и анализ других рассчитанных переменных, таких как концентрация Б(а)П в осадках и потоки выпадения, а также концентрации веществ, влияющих на химические превращения Б(а)П в атмосфере.

Подготовлен обзор информации о некоторых потенциально опасных химических веществах (ПОВ), таких как гексабромциклододекан (ГБЦД), полихлорированные нафталины (ПХН) и пентахлорбензол (ПХБ). В обзор вошли нормативно-правовые документы, сведения об производстве ПОВ, их использовании и выбросах, а также результаты мониторинга и моделирования их переноса и связанных с ними процессов в окружающей среде. Было показано, что информации о физико-химических свойствах SECs, концентрациях в объектах окружающей среды и уровнях выбросов недостаточно для проведения детальной оценки их переноса и судьбы в окружающей среде. Для моделирования уровней загрязнения атмосферы необходимы дополнительные данные мониторинга и инвентаризации выбросов, а также более глубокое понимание связанных с SECs процессов.

## Сотрудничество

---

На заседании Целевой группы ЕМЕП по измерениям и разработке моделей (ЦГИРМ) была представлена информация об исследовательской деятельности МСЦ-В в сотрудничестве с ЦГИРМ и национальными экспертами в рамках исследования Eurodelta-Carb по сравнению результатов моделирования В(а)Р. Были представлены обновленные результаты моделирования Б(а)П несколькими группами моделирования (ЕМЕР/МСЦ-В, CIEMAT, INERIS, ENEA, FMI) и проведено их сопоставление с данными измерений. В ходе исследования было

рассмотрено сходство и различия между среднегодовыми концентрациями, а также внутригодовой изменчивостью, рассчитанных с помощью моделей и наблюдаемых уровней Б(а)П. Также были предложены дальнейшие исследования и совместные работы в рамках данного направления.

MSC-E внес вклад в работу Целевой группы по переносу загрязнения воздуха в масштабах полушария (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. 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. 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 многомодельных экспериментов и спецификации выходных результатов.

Для изучения влияния лесных пожаров на концентрацию, выпадения и межконтинентальный перенос ртути, а также для улучшения оценок моделирования уровня ртути ПЗВП инициировала процесс инвентаризации выбросов ртути от лесных пожаров. МСЦ-В подготовил набор данных по выбросам ртути от природных пожаров за период с 2010 по 2020 год. Было показано, что основными регионами эмиссии ртути от пожаров являются юг Африки, Южная Америка и Юго-Восточная Азия, российская Сибирь и северо-западная часть Северной Америки. Основной вклад в глобальную эмиссию от лесных пожаров (в среднем около 60%) вносят тропические леса, далее следуют луга и саванны (13-17%). Сезонные изменения глобальных выбросов ртути от природных пожаров характеризуются наличием весеннего и осеннего пиков. Дальнейшая работа по изучению влияния природных пожаров на уровень ртути будет включать в себя сравнение выбросов ртути, полученных на основе различных баз данных. Кроме того, будут проведены модельные эксперименты для определения вклада природных пожаров в концентрацию в воздухе и выпадения ртути в различных регионах земного шара.

МСЦ-В продолжил сотрудничество с международными организациями. В частности, МСЦ-В продолжил обмен данными со Стокгольмской конвенцией по СОЗ. В рамках долгосрочного сотрудничества между ЕМЕП и Хельсинкской комиссией (HELCOM) проводится оценка поступления из атмосферы тяжелых металлов и СОЗ на акваторию Балтийского моря. Данные по атмосферным выбросам и результаты моделирования атмосферных выпадений кадмия и В(а)Р на период с 1990 по 2020 г. были подготовлены и обсуждены в ходе третьей неофициальной консультативной сессии Рабочей группы HELCOM Pressure. В соответствии с

контрактом с Комиссией OSPAR был проведен анализ выбросов Pb, Cd и Hg в 2020 году от различных секторов хозяйственной деятельности в странах-участницах OSPAR. Кроме того, были проведены модельные расчёты поступления Pb, Cd и Hg из атмосферы на акватории регионов OSPAR. Полученные результаты были представлены на гибридном совещании, организованном Комиссией OSPAR.

## Будущие исследования

---

МСЦ-В планирует внести свой вклад в исследовательскую и кооперационную деятельность в области оценки уровней загрязнения тяжелыми металлами и CO<sub>2</sub> с учетом приоритетов Долгосрочной стратегии Конвенции на 2020-2030 гг. В частности, в рамках исследования ЦГИРМ/EuroDelta-Carb по сравнению моделей будет продолжен детальный анализ пространственно-временных вариаций загрязнения ПАУ в регионе ЕМЕП и совершенствование подходов к моделированию ПАУ. Для выполнения задач проекта ПЗВП по комплексному моделированию и анализу ртути будут организованы новые численные эксперименты по моделированию ртути на глобальном уровне с привлечением ряда моделей. Для оценки влияния природных пожаров на уровень загрязнения и межконтинентальный перенос ПЗВП планирует разработать сравнительное исследование по моделированию загрязняющих веществ (ТЧ, CO<sub>2</sub>, металлы, озон) с вовлечением ряда моделей. Будет продолжена подготовительная работа по оценке уровней ПОВ, сбор информации об их физико-химических свойствах, мониторинг их концентраций в объектах окружающей среды, численные эксперименты по моделированию их атмосферного переноса и влияющих на их уровни процессов. Планируется продолжить совместный анализ измерений концентраций тяжелых металлов в мхах и выпадений на различные типы подстилающей поверхности в сотрудничестве с Международными совместными программами (МСП) по воздействию на растительность, леса и комплексному мониторингу, а также обмен данными об уровнях загрязнения ПАУ и превышениями нормативов качества воздуха с Целевой группой по здоровью. Оценка атмосферного загрязнения морской среды тяжелыми металлами, и ПОВ является важным направлением дальнейших исследований и сотрудничества с HELCOM и OSPAR.